



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**PENGARUH PENAMBAHAN METHYLENE DIACRYLAMIDE (MDA)  
PADA POLYVINYL ALCOHOL (PVA) SEBAGAI MATERIAL SENSITIF  
TERHADAP KELEMBABAN**

**TESIS**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Sains**

**ENDI PRIJOWIDYANTORO  
6305220157**

**Kekhususan Fisika Murni dan Terapan  
Program Studi Magister Fisika  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengatahuan Alam  
Universitas Indonesia  
Depok, 2008**

## LEMBAR PENGESAHAN

Tesis ini diajukan oleh :  
Nama : Endi Prijowidyantoro  
NPM : 6305220157  
Program Studi : Magister Fisika  
Judul Tesis : Pengaruh Penambahan Methylene Diacrylamide  
(MDA) pada Polyvinyl Alcohol ( PVA ) sebagai  
Material Sesitif terhadap Kelembaban

**Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Magister Sain pada Program Pascasarjana Fisika Fakultas matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Indonesia**

### DEWAN PENGUJI

Pembimbing 1 : Dr. Ing. Cuk Imawan : .....

Pembimbing 2 : Dr. Yanti Sabarinah S. : .....

Penguji : Prof. Dr. rer. nart Rosari Saleh : .....

Penguji : Dr. Djoko Triyono : .....

Penguji : Dr. Bambang Soegijono : .....

Tanggal lulus :  
Depok, 30 Mei 2008

Mengetahui  
Ketua Program Magister Fisika

Dr. Dedi Suyanto  
NIP. 130 935 271

## KATA PENGANTAR

### **Dengan nama Allah Yang Maha Pengasih dan Penyayang**

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, yang telah memberi nikmat, rahmat, petunjuk dan karunianya sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis. Penyusunan tesis ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Sains Program Studi Fisika pada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Indonesia. Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan dan bimbingan berbagai pihak, baik pada masa perkuliahan sampai pada penyusunan tesis sangatlah sulit bagi penulis untuk menyelesaikan tesis ini. Oleh karena itu dalam kesempatan ini penulis ingin mengucapkan rasa terima kasih yang tak terhingga kepada

1. Bapak Dr. Ing. Cuk Imawan dan Ibu Dr. Yanti Sabarinah selaku pembimbing 1 dan 2 dalam penulisan tesis, yang dengan penuh kesabaran dan kemurahan hati membimbing penulis sampai tesis ini selesai.
2. Bapak Dr. Dedi Suyanto, selaku pembimbing akademik dan ketua Program Pascasarjana Fisika atas kesempatan dan bantuan yang diberikan selama perkuliahan
3. Ketua Departemen Fisika FMIPA-UI, Staf pengajar, karyawan dan rekan-rekan seperjuangan program Pascasarjana Fisika yang secara langsung maupun tidak langsung membantu kelancaran tugas yang dibebankan kepada penulis.
4. Kepala Sekolah dan rekan-rekan Guru SMA N 94 Jakarta yang telah memberikan kesempatan dan kerja sama serta pengertiannya.
5. Orang tua dan seluruh anggota keluarga serta Istri dan anak-anak tercinta Bening dan Ganis yang telah memberi semangat dan dorongan baik moril maupun materiil selama ini.

Akhir kata , penulis berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas semua kebaikan yang telah diberikan kepada penulis. Dan semoga tesis ini dapat membawa manfaat bagi perkembangan ilmu.

Jakarta, Juni 2008

Penulis



**LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH  
UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

---

---

Sebagai sivitas akademik universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Endi Prijowidyantoro  
NPM : 6305220157  
Program studi : Fisika  
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Jenis karya : Tesis

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia Hak Bebas Royalti Non- Eksklusif ( **Non-exclusive Royalty Free Right** ) atas karya ilmiah saya yang berjudul :  
Pengaruh Penambahan Methylene Diacrylamide (MDA) pada Polyvinyl Alcohol (PVA) sebagai Material Sensitif terhadap Kelembaban beserta perangkat yang ada (bila diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalih media/formatkan, mengelolanya dalam bentuk pangkalan data (database), mendistribusikannya, dan menampilkan/ mempublikasikannya di internet atau media lain untuk kepentingan akademis tanpa perlu meminta ijin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik hak Cipta dalam karya ilmiah ini menjadi tanggung jawab saya pribadi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok  
Pada tanggal : Juni 2008  
Yang menyatakan

Endi Prijowidyantoro

## ABSTRAK

Nama : Endi Prijowidyantoro  
Program studi : Magister Fisika  
Judul : Pengaruh Penambahan Methylene Diacrylamide ( MDA ) pada Polyvinyl Alcohol ( PVA ) sebagai Material Sensitif terhadap Kelembaban

Film material sensitif kelembaban berbasis *polyvinyl alcohol* (PVA) dengan penambahan methylene diacrylamide (MDA) telah dipreparasi dan dideposisikan pada substrat PCB berelektroda dari material tembaga yang dilapisi perak dengan metode pencelupan (*dip coating*). Karakterisasi Film yang dilakukan meliputi sifat mekanik, struktur dan sifat listrik dalam lingkungan kelembaban yang divariasikan. Sifat mekanik film diteliti dengan melakukan pengukuran swelling, fraksi gel dan uji tarik. Struktur film dikarakterisasi dengan menggunakan FTIR sedangkan sifat listrik dikarakterisasi dengan RCL meter. Frekuensi ukur RCL meter divariasikan dari 1 kHz – 1 MHz dengan tegangan ac 1 volt.

Hasil uji sifat mekanik film menunjukkan bahwa dengan adanya penambahan MDA tingkat swelling film menjadi turun, fraksi gelnnya meningkat serta menyebabkan kekuatan tarik film berkurang. Hal ini sebagai akibat dari terjadinya ikatan antara MDA dengan PVA, yaitu MDA telah berhasil bertindak sebagai *crosslinker* antara PVA. Hasil karakterisasi dengan FTIR menunjukkan bahwa penambahan MDA tidak berpengaruh pada spektrum PVA karena kemampuan menyerap air PVA telah membuat spektrum absorpsinya sangat lebar.

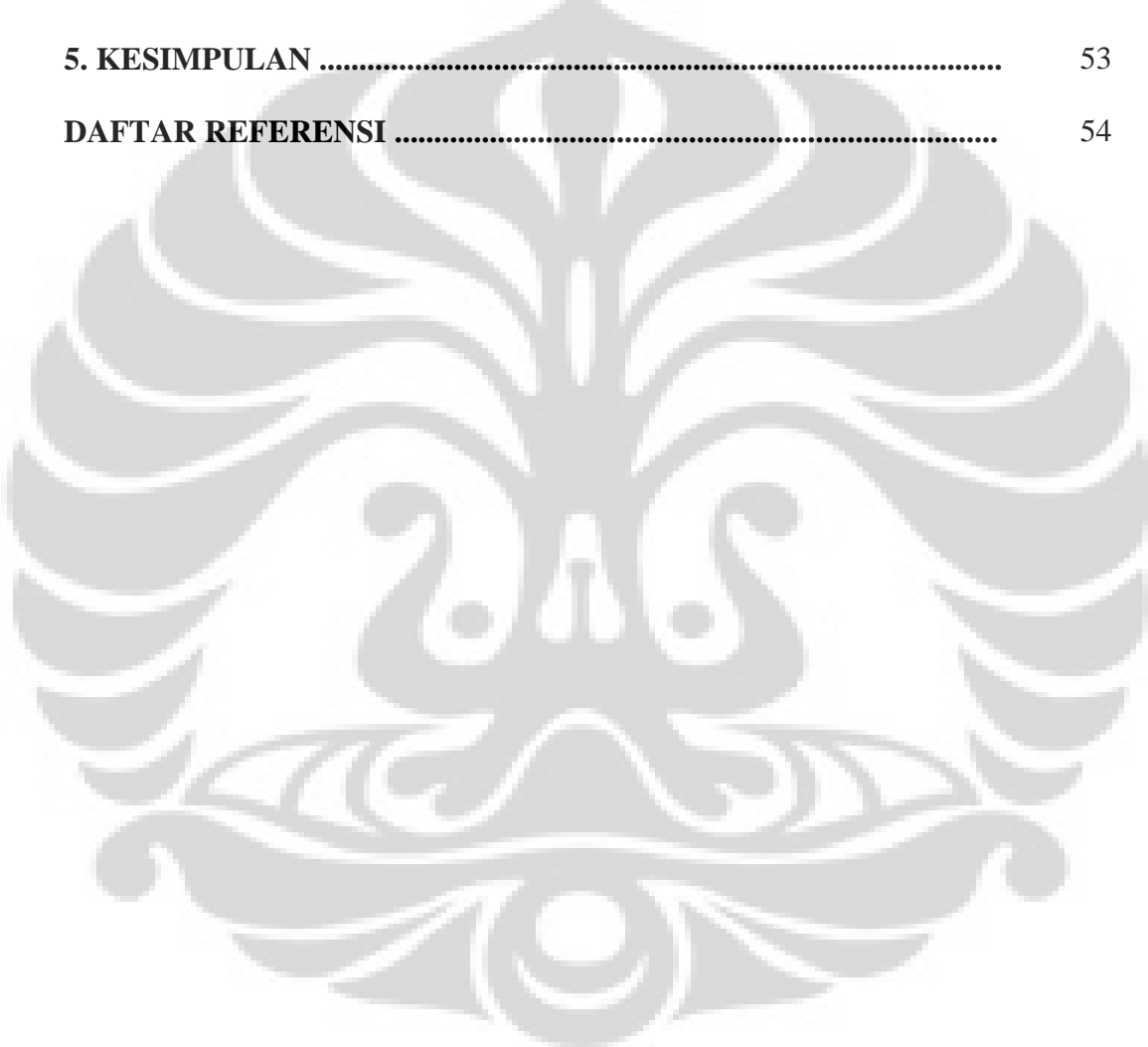
Pengaruh frekuensi pada impedansi film PVA menunjukkan bahwa film hanya sensitif pada kondisi RH tinggi. Penambahan MDA dapat menurunkan impedansi film PVA hanya pada daerah kondisi RH tinggi tetapi tidak merubah secara signifikan impedansi film di daerah RH rendah. Sifat terbaik film material sensitif kelembaban ditunjukkan ketika diukur pada frekuensi 1 kHz dan terjadi pada komposisi film PVA ( 1,0g ) – MDA (0,03g). Reprodusibilitas film PVA- MDA menunjukkan hasil yang lebih baik dibandingkan film PVA terjadi pada komposisi film PVA ( 1,0 g ) – MDA ( 0,10 g). Sedangkan berdasarkan hasil pengujian efek penuaan terhadap impedansi film selama 100 hari, terlihat bahwa untuk film lapis satu dan dua menunjukkan stabilitas impedansi yang baik. Perbaikan sifat sensitif film PVA karena penambahan MDA kurang signifikan karena MDA hanya berfungsi sebagai *crosslinker*, walaupun demikian telah dapat meningkatkan sifat mekanis dari film, sehingga reprodusibilitas dan stabilitas film PVA dapat diperbaiki.

*Kata kunci: Film sensitif kelembaban, Polyvinyl Alcohol (PVA), Methylene Diacrylamide (MDA), dipcoating*

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>i</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN .....</b>	<b>ii</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>iii</b>
<b>LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI ILMIAH .....</b>	<b>v</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>vi</b>
<b>DAFTAR ISI .....</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xiii</b>
<b>1. PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
<b>2. TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>5</b>
2.1. Beberapa Definisi .....	5
2.2. Material Sensitif Kelembaban .....	7
2.3. Material Sensitif Kelembaban Berbasis Polimer.....	10
2.4. Polyvinyl Alcohol ( PVA ) .....	11
2.5. Methylene di acrylamide ( MDA ) .....	13
2.6. Mekanisme Grotthuss, Polarisasi dalam Material Sensitif....	14
<b>3. METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>16</b>
3.1. Metodologi .....	16
3.2. Preparasi Material Sensitif Kelembaban berbasis PVA .....	17
3.3. Karakterisasi Film Material Sensitif Kelembaban PVA- MDA .....	22
3.4. Preparasi Swelling, dan Fraksi Gel.....	24
<b>4. ANALISIS.....</b>	<b>25</b>
4.1 Sifat mekanik film material sensitif PVA-MDA.....	25
4.1.1 Swelling .....	25
4.1.2 Fraksi Gel .....	27
4.1.3 Uji Tarik .....	28
4.2 Struktur Film PVA-MDA.....	30
4.3 Sifat Listrik Material Sensitif PVA – MDA .....	32
4.4 Sifat Sensitif Kelembaban Material sensitif PVA – MDA ...	32
4.4.1 Pengaruh Frekuensi Ukur pada Impedansi Material Sensitif PVA – MBA .....	32
4.4.2 Pengaruh Konsentrasi Massa Crosslinker MDA pada Impedansi Material Sesitif PVA – MDA .....	36
4.4.3 Pengaruh Perubahan Kelembaban Relatif ( RH ) pada Material Sesitif PVA – MDA pada Frekuensi 1kHz untuk Berbagai Konsentrasi MDA .....	37

4.4.4	Pengaruh Perubahan RH terhadap Material Sensitif PVA – MBA untuk Berbagai Frekuensi Ukur .....	38
4.4.5	Pengaruh tebal Lapisan Material Sensitif PVA – MDA .....	42
4.5	Reproduksibilitas Fabrikasi Material Sensitif PVA – MDA ....	47
4.6	Stabilitas Material Sensitif PVA – MDA .....	51
<b>5.</b>	<b>KESIMPULAN .....</b>	<b>53</b>
	<b>DAFTAR REFERENSI .....</b>	<b>54</b>





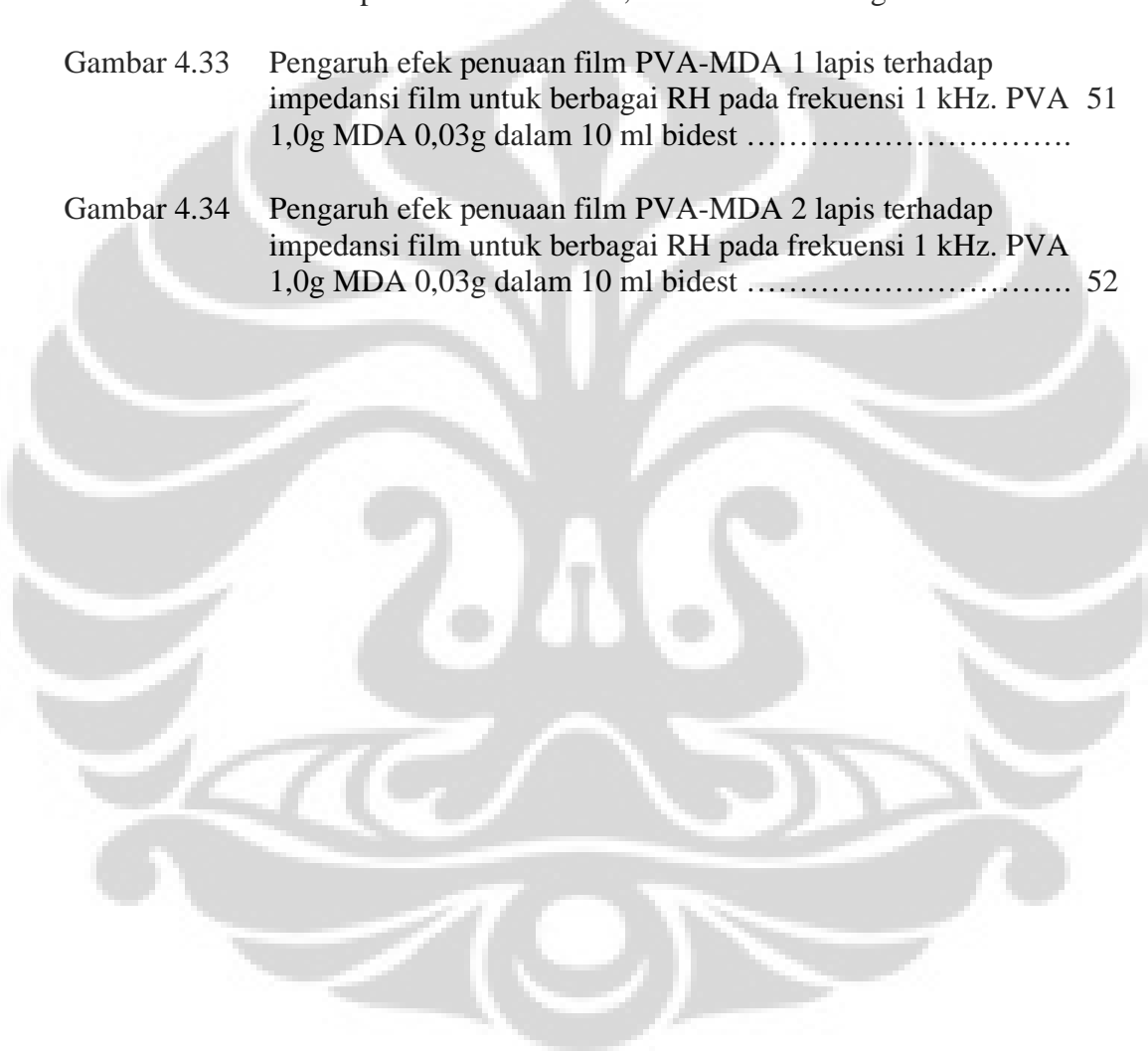
## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Struktur molekul PVA .....	12
Gambar 2.2	Molekul H <sub>2</sub> O bersifat polar .....	12
Gambar 2.3	Mekanisme penyerapan molekul H <sub>2</sub> O pada film PVA yang telah berikatan silang (crosslink) .....	13
Gambar 2.4	Struktur Methylene di acrylamide, MDA .....	13
Gambar 2.5	Mekanisme Grotthus proton conductivity pada air .....	14
Gambar 3.1	Diagram metodologi penelitian .....	16
Gambar 3.2	Diagram langkah preparasi film material sensitive .....	17
Gambar 3.3	Bagan modul untuk mengetahui sifat listrik material sensitive .	18
Gambar 3.4	Prosedur kerja pembuatan material sensitif kelembaban .....	19
Gambar 3.5	Larutan material sensitif PVA – MDA yang telah diaduk selama 25 menit .....	21
Gambar 3.6	Chamber kedap udara .....	22
Gambar 3.7	Karakterisasi sifat listrik film material sensitif .....	23
Gambar 4.1	Pengaruh penambahan konsentrasi massa MDA terhadap tingkat swelling pada film material sensitif PVA-MDA .....	26
Gambar 4.2	Pengaruh penambahan konsentrasi MDA terhadap fraksi gel dari film material sensitif PVA-MDA ( PVA = 1g, dalam total volume air 10 ml) .....	28
Gambar 4.3	Pengaruh penambahan konsentrasi MDA terhadap kekuatan tarik dari film material sensitif PVA-MBA ( PVA = 1g, dalam total volume air 10 ml ) .....	29
Gambar 4.4	Hasil overlap spektrum PVA, MDA dan PVA-MDA dengan	

	FTIR .....	31
Gambar 4.5	Pengaruh frekuensi ukur terhadap impedansi pada film material sensitif PVA 1gram, untuk berbagai kelembaban relatif dalam total volume air 10 ml .....	33
Gambar 4.6	Pengaruh frekuensi ukur terhadap impedansi pada material sensitif PVA 1g ; MDA 0,03g, untuk berbagai kelembaban relatif dalam total volume air 10ml .....	34
Gambar 4.7	Pengaruh frekuensi ukur terhadap impedansi pada material sensitif PVA 1g ; MBA 0,05g, untuk berbagai kelembaban relatif dalam total volume air 10ml.....	34
Gambar 4.8	Pengaruh frekuensi ukur terhadap impedansi pada material sensitif PVA 1g ; MBA 0,10g, untuk berbagai kelembaban relatif dalam total volume air 10ml .....	35
Gambar 4.9	Pengaruh frekuensi ukur terhadap impedansi pada material sensitif PVA 1g ; MDA 0,15g, untuk berbagai kelembaban relatif dalam total volume air 10ml.....	35
Gambar 4.10	Pengaruh frekuensi ukur terhadap impedansi pada material sensitif PVA 1g ;MDA 0,20g, untuk berbagai kelembaban relatif dalam total volume air 10ml .....	36
Gambar 4.11	Pengaruh konsentrasi massa pada impedansi material sensitif PVA-MDA untuk berbagai kelembaban relatif pada frekuensi ukur 1kHz. Angka 0.00g pada artinya material sensitif PVA tanpaMDA.....	37
Gambar 4.12	Pengaruh perubahan RH terhadap impedansi material sensitif PVA-MDA untuk berbagai konsentrasi MDA pada frekuensi 1kHz .....	38
Gambar 4.13	Pengaruh perubahan RH terhadap impedansi material sensitif PVA untuk berbagai frekuensi .....	39
Gambar 4.14	Pengaruh perubahan RH terhadap impedansi material sensitif PVA-MDA 0,03g untuk berbagai frekuensi .....	40
Gambar 4.15	Pengaruh perubahan RH terhadap impedansi material sensitif PVA-MDA 0,05g untuk berbagai frekuensi .....	40

Gambar 4.16	Pengaruh perubahan RH terhadap impedansi material sensitif PVA-MDA 0,10g untuk berbagai frekuensi .....	41
Gambar 4.17	Pengaruh perubahan RH terhadap impedansi material sensitif PVA-MDA 0,15g untuk berbagai frekuensi .....	41
Gambar 4.18	Pengaruh perubahan RH terhadap impedansi material sensitif PVA-MDA 0,20g untuk berbagai frekuensi .....	42
Gambar 4.19	Pengaruh tebal lapisan material sensitif PVA-MDA 0,03g untuk berbagai RH .....	43
Gambar 4.20	Pengaruh tebal lapisan material sensitif PVA-MDA 0,05g untuk berbagai RH .....	43
Gambar 4.21	Pengaruh tebal lapisan material sensitif PVA-MDA 0,10g untuk berbagai RH .....	44
Gambar 4.22	Pengaruh tebal lapisan material sensitif PVA-MDA untuk berbagai RH .....	44
Gambar 4.23	Pengaruh tebal lapisan material sensitif PVA-MDA 0,15g untuk berbagai RH .....	45
Gambar 4.24	Pengaruh tebal lapisan material sensitif PVA-MDA 0,20g untuk berbagai RH .....	45
Gambar 4.25	Pengaruh konsentrasi massa pada impedansi material sensitif PVA-MDA pada berbagai kelembaban relatif pada frekuensi ukur 1kHz, untuk ketebalan 2 lapis .....	46
Gambar 4.26	Pengaruh konsentrasi massa pada impedansi material sensitif PVA-MDA pada berbagai kelembaban relatif pada frekuensi ukur 1kHz, untuk ketebalan 3 lapis .....	47
Gambar 4.27	Reproduksibilitas fabrikasi material sensitif PVA-MdA. diukur pada frekuensi 1kHz tanpa MDA .....	48
Gambar 4.28	Reproduksibilitas fabrikasi material sensitif PVA-MDA. diukur pada frekuensi 1kHz, massa MDA 0.03g .....	48
Gambar 4.29	Reproduksibilitas fabrikasi material sensitif PVA-MDA. diukur pada frekuensi 1kHz, massa MDA 0.05g .....	49
Gambar 4.30	Reproduksibilitas fabrikasi material sensitif PVA-MDA.	

	diukur pada frekuensi 1kHz, massa MDA 0.10g .....	49
Gambar 4.31	Reproduksibilitas fabrikasi material sensitif PVA-MDA. diukur pada frekuensi 1kHz, massa MDA 0.15g .....	50
Gambar 4.32	Reproduksibilitas fabrikasi material sensitif PVA-MDA. diukur pada frekuensi 1kHz, massa MDA 0.20g .....	50
Gambar 4.33	Pengaruh efek penuaan film PVA-MDA 1 lapis terhadap impedansi film untuk berbagai RH pada frekuensi 1 kHz. PVA 1,0g MDA 0,03g dalam 10 ml bidest .....	51
Gambar 4.34	Pengaruh efek penuaan film PVA-MDA 2 lapis terhadap impedansi film untuk berbagai RH pada frekuensi 1 kHz. PVA 1,0g MDA 0,03g dalam 10 ml bidest .....	52



## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Kelebihan dan kekurangan berbagai jenis material .....	8
Tabel 2.2 Karakteristik material sensitif kelembaban .....	9
Tabel 3.1 Komposisi larutan material sensitif untuk meneliti sifat film PVA – MDA .....	21
Tabel 3.2 Nilai RH ( % ) larutan jenuh garam .....	22

## 1. PENDAHULUAN

Udara di atmosfer, selalu mengandung kelembaban. Jumlah molekul air di dalam udara pada dasarnya berbeda-beda, bisa saja sama keringnya dengan di gurun atau sama dengan yang ada di daerah tropis<sup>[1]</sup>. Kelembaban adalah banyaknya kadar air atau uap air yang terkandung di udara atau gas lain, hal ini sangat penting bagi kehidupan manusia. Kenyamanan suatu ruangan atau kualitas dari produk industri sangat erat kaitannya dengan kelembaban, sehingga pengontrolan atau pengaturan kelembaban yang sering disebut dengan sensor kelembaban sangat diperlukan<sup>[3]</sup>.

Ada beberapa istilah dalam pengukuran kelembaban yaitu kelembaban absolut ( absolute humidity ), kelembaban relatif ( relative humidity, RH ), dan titik embun ( dew point )<sup>[2]</sup>. Kelembaban absolut adalah perbandingan massa uap air terhadap volume udara atau gas. Kelembaban relatif adalah perbandingan kandungan kelembaban udara dengan tingkat kelembaban saturasi pada temperatur dan tekanan yang sama. Kelembaban relatif menunjukkan persentase tingkat kelembaban maksimum yang ada di udara<sup>5</sup>. Sedangkan titik embun adalah temperatur dan tekanan dimana gas mulai berkondensasi menjadi cairan. Titik embun adalah ukuran untuk kelembaban absolut<sup>1</sup>.

Secara umum sensor kelembaban yang berbasis material cerdas bersifat resistif atau kapasitif<sup>[4]</sup>. Oleh karena pada material sensor terjadi absorpsi atau penempelan molekul air pada suatu material maka akan mempengaruhi sifat listrik pada material tersebut. Berbagai material telah dicoba untuk digunakan sebagai bahan sensor kelembaban relatif (RH) yaitu elektrolit, keramik dan polimer.

Bahan polimer akhir-akhir ini banyak digunakan sebagai material sensor karena preparasinya yang sederhana dan dapat dilakukan pada temperatur kamar serta harganya yang relatif murah. Kelemahan material jenis ini adalah mudah larut dalam air sehingga mudah terjadi perubahan struktur yang mengakibatkan umur pemakaiannya tidak lama<sup>[3]</sup>. Berbeda dengan bahan polimer, sensor dari

bahan keramik mempunyai stabilitas mekanik, termal, dan kimia yang tinggi, tetapi pembuatannya relatif mahal karena adanya proses sintering dan pemeliharaannya memerlukan heat cleaning (pembersihan dengan temperatur tinggi). Sedangkan untuk sensor kelembaban yang baik diharapkan mempunyai sensitivitas yang tinggi, waktu tanggap (response time) yang cepat, stabilitas yang tinggi, struktur yang sederhana dan harga yang murah (low cost)<sup>[7]</sup>. Salah satu masalah serius dari polimer hidropilik adalah bahwa polimer dapat larut dalam air sehingga tidak dapat digunakan dalam kelembaban yang tinggi atau pada tempat dimana embun mulai terbentuk<sup>[6]</sup>.

Beberapa polimer dapat digunakan sebagai material sensitif untuk mengukur kelembaban. Prinsip pengukuran kelembaban dengan material sensitif dari bahan polimer adalah adanya perubahan sifat listrik dari material pada saat menyerap uap air, yang dibedakan dalam dua tipe yaitu tipe resistif dan tipe kapasitif. Polimer yang bersifat hidropilik digunakan dalam pengukuran kelembaban pada tipe resistif sedangkan polimer hidropobik biasa digunakan untuk tipe kapasitif. Salah satu bahan polimer yang digunakan dalam pengukuran kelembaban adalah polivinil alkohol (poliviny alcohol, PVA) yang mempunyai sifat hidropilik. Kelarutannya dalam air tergantung dari tingkat polimerisasi dan tingkat hidrolisis yang sangat mempengaruhi kemampuannya dalam menyerap air. Sebelumnya PVA dikenal sebagai pelapis kertas, bahan pelapis untuk bahan-bahan yang ramah lingkungan. PVA digunakan sebagai material sensitif terhadap kelembaban dikarenakan PVA memiliki tingkat kesamaan dengan air. Tingkat kesamaan atau kemiripan ini dikarenakan PVA memiliki banyak gugus fungsional. Gugus fungsional ini dapat menangkap dan melepaskan uap air pada lingkungan.

Penelitian material sensitif RH resistif dengan bahan PVA yang didoping dengan NaCl dan komposit PVA - TiO<sub>2</sub> dengan tambahan APS sebagai inisiator untuk membentuk crosslinking pada PVA telah dilakukan. Hasil yang diperoleh menunjukkan impedansi dari material sensitif berbasis PVA menurun terhadap RH. Penambahan TiO<sub>2</sub> pada PVA terbukti dapat meningkatkan sensitivitas

material <sup>[4]</sup> . NaCl digunakan untuk menambahkan konduktivitas PVA yang terlalu rendah , dengan demikian pengukuran listriknya dapat dilakukan dengan cara yang lebih sederhana <sup>[3]</sup> .

Berdasarkan pertimbangan tersebut maka pada penelitian ini dipilih untuk pembuatan material sensitif yang berbasis bahan polimer (polyvinyl alcohol, PVA) yang ditambahkan bahan crosslinker methylene diacrylamide ( MDA ). Pada penelitian terdahulu telah dihasilkan material sensitif RH resistif yang berbasis PVA tetapi masih memiliki kelemahan antara lain kestabilan yang rendah, swelling dan tidak reproduksibel. Untuk memperbaiki kelemahan-kelemahan tersebut pada penelitian ini PVA akan ditambahkan dengan MDA (methylene diacrylamide). APS (ammonium perokdisulfat) yang bersifat sebagai inisiator ditambahkan agar terjadi cross-linking pada PVA, sehingga diharapkan akan dapat menambah kestabilan struktur PVA serta memperbaiki sifat mekanik material sensitif terhadap kelembaban.

Preparasi material sensitif menggunakan metode celup ( dip-coating ). Larutan PVA-MDA dengan perbandingan konsentrasi tertentu dilapiskan pada substrate Printed Circuit Board ( PCB ) atau modul berelektroda yang telah dilapisi logam perak ( Ag). Karakterisasi dilakukan dengan cara meletakkan modul di dalam chamber yang tertutup rapat dan di dalamnya terdapat larutan garam jenuh yang memiliki nilai RH tertentu. Pengukuran sifat listrik material sensitif dilakukan dengan menggunakan RCL meter pada tegangan AC 1 volt dengan variasi frekuensi mulai dari 1 kHz , 10 kHz , 100 kHz dan 1MHz pada masing-masing sampel. Berdasarkan data-data yang diperoleh dari hasil karakterisasi kemudian dibahas dan diambil kesimpulan sebagai hasil akhir.

Tujuan dari penelitian ini adalah memperbaiki sifat mekanik dan sifat sensitif kelembaban material sensitif berbasis PVA dengan menambahkan methylene di acrylamide ( MDA ) sebagai crosslinker. Sifat sensitif kelembaban yang akan diperbaiki adalah reproduksibilitas fabrikasi dan stabilitas impedansi.

Teori singkat yang menunjang tujuan tesis ini akan dibahas dalam Bab II, yaitu beberapa definisi, material sensitif kelembaban, PVA, MDA serta polarisasi



dan kapasitansi. Barulah dalam Bab III dijelaskan secara terinci mengenai metodologi penelitian yang terdiri dari preparasi dan karakterisasi material sensitif. Kemudian dilanjutkan dengan analisis (pengolahan data dan pembahasan) pada Bab IV, dan yang terakhir pada Bab V penulis mengambil beberapa kesimpulan yang dapat digunakan dalam studi lebih lanjut.



## 2. TINJAUAN PUSTAKA

Teori singkat yang mendukung dalam penelitian akan dijelaskan pada Bab ini, antara lain mengenai beberapa definisi, material sensitif kelembaban, material sensitive berbasis polimer, sifat-sifat dari PVA dan MDA serta mekanisme konduksi dan polarisasi dalam material sensitif kelembaban..

### 2.1 Beberapa definisi

Kelembaban ( humidity) adalah banyaknya kadar air atau uap air yang terkandung di udara. Ada beberapa jenis kelembaban yaitu kelembaban absolute (absolute humidity), humidity ratio, kelembaban relatif ( relative humidity, RH ) dan kelembaban spesifik ( specific humidity )<sup>[18]</sup>.

- a. Kelembaban absolute adalah perbandingan massa uap air terhadap volume udara/ gas, atau uap air dalam volume unit udara lembab yang dinyatakan dalam  $\text{gram/m}^3$ .

$$d_w = \frac{M_w}{V_w + V_g} = \frac{M_w}{V} \quad (2.1)$$

$M_w$  = massa dari uap air

$V_w$  = volume uap air

$V_g$  = volume udara kering/gas

$V$  = volume total yang terdiri dari campuran uap air dan udara kering

- b. Humidity ratio adalah perbandingan antara massa uap air dengan massa udara kering yang dinyatakan dalam  $\text{kg/kg}$  atau  $\text{g/kg}$ .

$$W = \frac{M_w}{M_g} \quad (2.2)$$

$M_w$  = massa uap air

$M_g$  = massa udara kering

- c. Kelembaban relatif ( relatif humidity, RH ) merupakan perbandingan kandungan kelembaban udara dengan tingkat kelembaban saturasi pada temperatur dan tekanan yang sama atau dengan kata lain adalah perbandingan tekanan udara aktual dengan tekanan uap saturasi atau dapat juga dinyatakan sebagai kelembaban absolut dibagi dengan nilai kelembaban saturasi pada temperatur tersebut. Kelembaban relatif dinyatakan dalam persen ( % )

$$RH ( \% ) = \frac{P_w}{P_s} \times 100 \quad ( 2.3 )$$

$P_w$  = tekanan uap air

$P_s$  = tekanan uap saturasi

- d. Kelembaban spesifik ( specific humidity ) adalah perbandingan antara massa uap air dengan massa total yang terdiri dari campuran uap air dan udara kering.

$$q = \frac{M_w}{M_w + M_g} = \frac{M}{1 + M} \quad ( 2.4 )$$

$M_w$  = massa uap air

$M_g$  = massa udara kering

$M$  = massa total

Temperatur titik embun ( dew point temperatur ) merupakan temperatur dimana gas mulai berkondensasi menjadi cairan atau dalam istilah lain dinyatakan sebagai temperatur yang dicapai dimana tekanan parsial air sama dengan tekanan uap saturasi . Titik embun dinyatakan dalam  $^{\circ}C$ .

Kelembaban mutlak digunakan dalam aplikasi yang berhubungan dengan jumlah air yang dibutuhkan dalam proses khusus, seperti proses pengolahan makanan dan dalam proses kimia. Humidity ratio dan kelembaban spesifik

digunakan dalam aplikasi dimana kadar uap air diperlukan, pada saat uap air dianggap sebagai salah satu pengotor atau komponen yang tidak diperlukan dalam proses pencampuran gas maka indikator ini digunakan.

Kelembaban relatif pada umumnya digunakan dalam aplikasi peralatan panas, ventilasi, pendingin ruangan ( heating, ventilation, and air conditioning, HVAC ). Kelembaban relatif merupakan indikator yang digunakan untuk mengetahui kualitas udara dalam ruangan ( indoor air quality ). Kelembaban relatif yang rendah dapat menyebabkan kerapuhan material dan masalah elektrostatik, sementara untuk kelembaban relatif tinggi dapat menyebabkan pemuatan dan penggumpalan.

Dew point temperatur dapat digunakan untuk mengukur tingkat kekeringan udara/ gas, dapat juga digunakan untuk mengukur uap air dalam proses industri pada temperatur tinggi, seperti industri pengeringan.

Swelling ( mengembang ), ukuran tingkat swelling sebuah film material sensitif adalah perbandingan massa film basah dari material sensitif yang telah ditiriskan dengan massa film material sensitif kering yaitu sebelum direndam, biasanya dinyatakan dalam %. Sedangkan fraksi gel adalah perbandingan massa film kering material sensitif setelah direndam dengan masa film kering material sensitif sebelum perendaman yang dinyatakan dalam %

## **2.2 Material sensitif kelembaban**

Jenis-jenis material sensitif yang telah dikembangkan sebagai material sensitif kelembaban relatif adalah keramik, polimer dan garam elektrolit. Masing-masing material ini memiliki kelebihan dan kekurangan. Pada tabel 2.1 menunjukkan kekurangan dan kelebihan ke tiga jenis material tersebut.

Tabel 2.1 Kelebihan dan kekurangan berbagai jenis material sensitif kelembaban  
[7]

Material	Elektrolit	Keramik	Polimer
Kelebihan	Murah Reproduksibel	Stabil Respon cepat Sensitivitas tinggi Reproduksibel	Murah Proses sederhana
Kekurangan	Tidak stabil Respon lambat <i>Life time</i> pendek	Mahal (material dan proses )	Impedansi tinggi Respon lambat Kurang stabil

Material keramik memiliki keunggulan yang lebih banyak dibandingkan polimer dan garam elektrolit, yaitu stabil, respon cepat, sensitivitas tinggi dan reproduksibel. Namun demikian jika ditinjau dari segi ekonomis, material keramik relatif mahal karena memerlukan temperatur tinggi untuk proses pemeliharaan ( heat cleaning ). Garam elektrolit juga stabil terhadap waktu dan harganya murah, namun memiliki beberapa kelemahan, yaitu responnya lambat, akurasi rendah dan umurnya pendek. Kelebihan material polimer dibandingkan keramik adalah proses pembuatan sederhana dan tidak memerlukan heat cleaning sehingga dimungkinkan terciptanya material sensitif kelembaban dengan harga murah. Pemilihan material sensitif dapat dilakukan dengan mempertimbangkan kelebihan dan kekurangan dari masing-masing material tersebut.

Pada tabel 2.2 menunjukkan karakteristik material sensitif kelembaban dilihat dari jenis material, tipe, elemen sensing serta prinsip sensing atau mekanisme sensingnya.

Tabel 2.2 Karakteristik material sensitif kelembaban [2,7]

Material	Tipe	Elemen sensing	Prinsip sensing
Polimer	Swelling	Hygroscopic resin carbon	Perubahan konduktifitas karena swelling carbon
	Dielektrik	Polimer konduktif	Perubahan konduktifitas polimer karena menyerap air
		Polimer hidropilik	Perubahan kapasitansi polimer karena menyerap uap air
Elektrolit	Lithium klorida	LiCl + binder organik LiCl + Fiber	Perubahan konduktifitas ion LiCl
Keramik	Protonik	MgCr <sub>2</sub> O <sub>4</sub> -TiO <sub>2</sub> TiO <sub>2</sub> -V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Perubahan konduktifitas karena physisorbtion uap air pada permukaan keramik
	Semikonduktor	Kompo sit spinel	Perubahan konduktifitas chemisorbtion uap air pada permukaan keramik
	Kapasitansi	Perovskite-type oxide ZrO <sub>2</sub> -MgO In <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Perubahan konduktifitas karena physisorbtion uap air pada permukaan keramik

### 2.3 Material sensitif kelembaban berbasis polimer

Polimer atau sering disebut makro molekul adalah molekul besar yang dibangun oleh pengulangan kesatuan kimia yang kecil dan sederhana. Kesatuan-kesatuan berulang itu setara atau hampir setara dengan monomer, yaitu bahan dasar pembuat polimer.<sup>[19]</sup>

Polimer merupakan material organik yang terdiri dari perulangan molekul-molekul (mer) yang membentuk rantai panjang. Sebagian besar polimer adalah campuran karbon-hibrida atau turunannya. Atom-atom karbon terhubung satu sama lain dengan ikatan sigma ( ikatan tunggal), atau kombinasi antara ikatan sigma dengan ikatan pi ( ikatan rangkap ) membentuk rantai panjang yang disebut backbone ( rantai utama ) polimer<sup>[18,20]</sup>. Gugus fungsional yang terikat pada backbone dapat berupa single atom ( seperti oksigen atau halogen ) atau molekular group ( seperti -OH, -COOH, -NO<sub>2</sub> ). Gugus fungsional inilah yang menentukan sifat fisika dan kimia dari polimer

Ikatan antar molekul polimer lebih lemah daripada keramik dan metal, sehingga untuk memperkuat ikatannya dapat dilakukan dengan tehnik tertentu, antara lain dengan pemberian fillers dan ikatan silang pada rantai ( crosslinking of chains), atau dapat juga diberikan sifat hidropilik pada polimer yang bersifat hidropobik yaitu dengan cara pencangkakan monomer yang hidropilik. Polimer adalah material yang telah lama dan terus dikembangkan. Pemilihan polimer sebagai bahan untuk material sensitif kelembaban karena memiliki beberapa keunggulan, yaitu harga relatif murah ( low cost material ), proses fabrikasi yang relatif sederhana ( quite simple fabrication process ) karena tidak memerlukan ruangan khusus yang bebas debu dan temperatur tinggi, dapat dideposisikan pada berbagai jenis substrat, struktur bervariasi dan mudah dimodifikasi. Kopolimer adalah jenis polimer yang disintesa dari dua atau lebih jenis monomer yang berbeda.

Ada beberapa jenis polimer yang sering digunakan sebagai material sensitif yaitu

- a. **Polielektrolit**<sup>[20]</sup>, adalah polimer yang mengandung elektrolit dapat berupa garam, asam, atau basa. Konduktivitas material jenis akan

meningkat seiring dengan meningkatnya kelembaban. Polielektrolit termasuk polimer hidrofilik dan mudah larut dalam air, untuk mengatasi agar tidak mudah larut dalam air digunakan metode pengikatan silang (crosslinking).

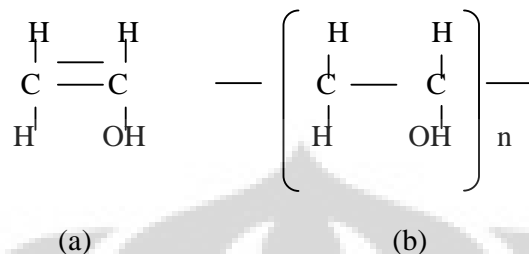
- b. **Polimer konduktor /semikonduktor**<sup>[20]</sup>, adalah polimer yang memiliki ikatan tunggal dan ikatan rangkap pada rantai utama (backbone) yang disebut dengan struktur konjugasi. Mekanisme konduksinya dengan prinsip perpindahan pasangan elektron-hole dalam medan listrik.
- c. **Polimer Hidrophobik**<sup>[18,20]</sup>, adalah polimer yang sulit/sukar menyerap air. Polimer ini dapat digunakan sebagai material sensitif jenis kapasitif karena nonionik dan polaritasnya besar. Pada polimer hidrophobik, selama terjadi proses penyerapan dan pelepasan uap air, molekul-molekul uap air diikat pada tempat yang sesuai dalam jaringan polimerik, sehingga molekul-molekul uap air dalam polimer akan mempengaruhi konstanta dielektriknya atau dapat dikatakan bahwa konstanta dielektrik akan meningkat seiring dengan meningkatnya kandungan molekul uap air dalam polimer.
- d. **Polimer Hidrofilik**<sup>[18]</sup>, adalah jenis polimer yang dapat menangkap atau menyerap uap air. Sifat-sifat polimer hidrofilik adalah tahan air, penyerapan air rendah, fleksibilitas yang rendah pada temperatur rendah, elastis, stabilitas panas, tahan terhadap bahan kimia dan proses pembuatan yang mudah serta sederhana untuk berbagai aplikasi.

#### 2.4 Polivinil alkohol, PVA <sup>[22,23,24]</sup>

Salah satu bahan polimer adalah polivinil alkohol ( PVA ). Secara umum PVA memiliki sifat fisik (mekanik) dengan tampilan sebagai padatan kering dan secara komersial tersedia dalam bentuk butiran (bubuk). Jika dibuat film memiliki bentuk yang baik, lembut dan bersifat adhesif serta lentur. Sifat listrik yang dimiliki PVA adalah isolator dengan resistivitas yang tinggi ( $\rho$ ) yang tinggi yaitu  $(3,1 - 3,8) \cdot 10^7 \Omega\text{cm}$ . Polivinil alkohol berasal dari monomer vinil alkohol, dengan rumus kimia  $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}$ , yang biasanya digunakan sebagai bahan pelapis



kertas, modivikator permukaan yang mengkilap, dan bahan perekat. Pada gambar 2.1 diperlihatkan struktur molekul monomer dan polimer dari PVA.



(a)

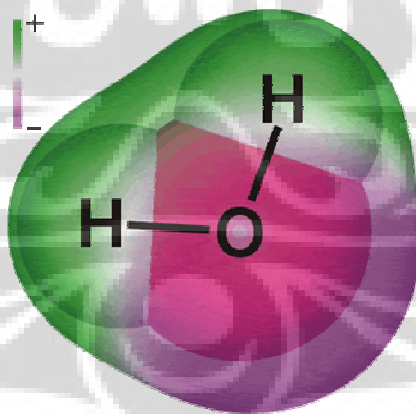
(b)

Gambar 2.1 Struktur molekul

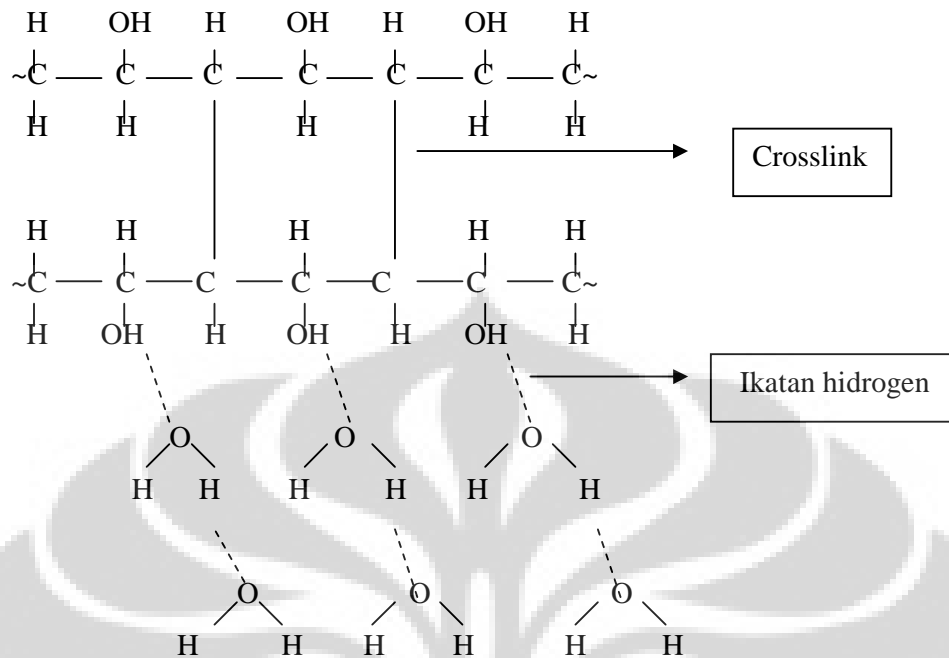
(a) monomer vinil alkohol

(b) Polimer PVA

Selain itu PVA juga digunakan sebagai bahan material sensitif terhadap kelembaban. Hal ini dikarenakan PVA mampu menyerap dan melepaskan uap air dengan adanya gugus OH pada struktur molekulnya. Molekul H<sub>2</sub>O bersifat polar (ion H cenderung bermuatan positif dan ion O akan cenderung bermuatan negatif). Ion O dari uap air yang bermuatan negatif akan berikatan dengan ion H pada gugus OH dari PVA.

Gambar 2.2 Molekul H<sub>2</sub>O bersifat polar

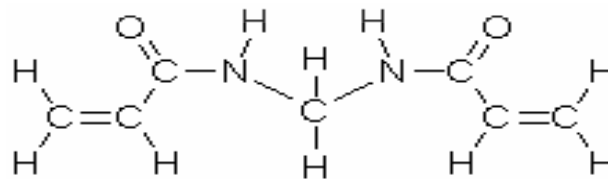
Pada gambar 2.3 memperlihatkan mekanisme penyerapan uap air oleh material sensitif kelembaban dari polivinil alkohol (PVA)



Gambar 2.3 Mekanisme penyerapan molekul  $H_2O$  pada film PVA yang telah berikatan silang (crosslink)

## 2.5 Methylene diacrylamide, MDA

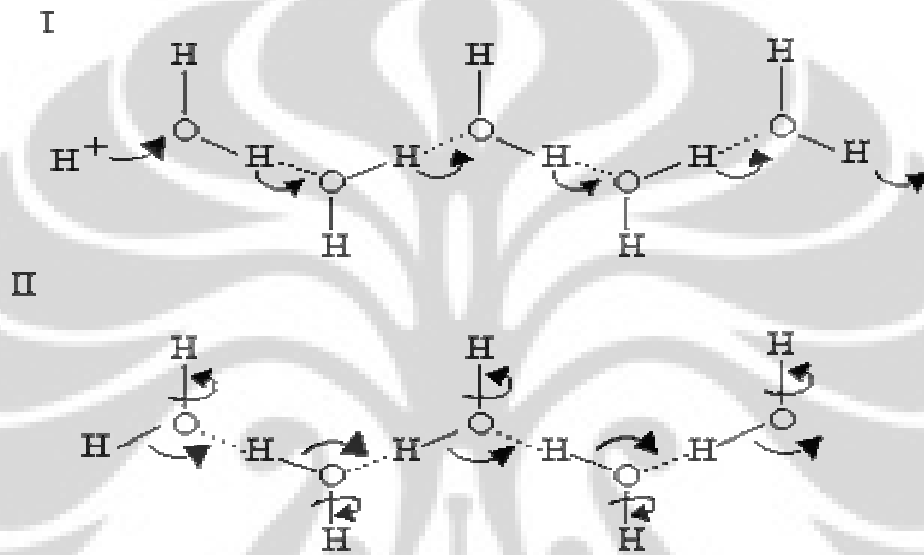
Methylene diacrylamide, MDA mempunyai sinonim lebih dari sepuluh diantaranya adalah Methylene bis acrylamide (MBA), MDA berupa serbuk yang berwarna putih crystalline dengan densitas  $1,235 \text{ gcm}^{-3}$ , melting point  $> 300^{\circ}\text{C}$ , solubilitas 2% air serta rumus molekul  $C_7H_{10}N_2O_2$ . Dalam penelitian ini digunakan MDA termasuk hidropilik yang diproduksi oleh Merck. Sering digunakan sebagai crosslinker dalam berbagai reaksi kimia yaitu sebagai pengikat. Struktur dari Methylene diacrylamide, MDA diperlihatkan pada gambar 2.4 dibawah ini



Gambar 2.4 Struktur Methylene diacrylamide, MDA

## 2.6 Mekanisme Grotthuss dan Polarisasi dalam material sensitif kelembaban

Mekanisme Grotthuss adalah sebuah mekanisme yang disebabkan oleh adanya kelebihan proton atau proton defect yang bergerak melalui jaringan ikatan hidrogen dari molekul air. Oleh karena adanya mekanisme Grotthuss ini maka akan terjadi konduksi proton diantara molekul air sehingga akan meningkatkan konduktivitas dari material sensitif kelembaban.



Gambar 2.5 Mekanisme Grotthuss proton conductivity pada air <sup>[25]</sup>.

Konduktivitas film material sensitif kelembaban selain disebabkan oleh adanya mobilitas muatan seperti yang dijelaskan dalam mekanisme Grotthuss, dapat juga disebabkan oleh adanya polaritas molekul-molekul air yang membentuk dipol-dipol air diantara dua elektroda yang sejajar, jika medan listrik dibangkitkan oleh sumber tegangan bolak-bali ( AC), maka orientasi dipole-dipol air juga akan bolak-balik.

Untuk polimer pada umumnya adalah isolator sehingga sifat listriknya akan lebih mudah dikarakterisasi dengan arus AC. Prinsip dasar mekanisme sensing polimer adalah perubahan konduktivitas material sensitif karena adanya perubahan kelembaban. Pada saat tegangan AC diberikan pada film polimer maka dipol-dipol dari uap air yang diserap oleh film polimer akan terpolarisasi

sehingga muatan-muatan internal dari uap air kan menjadi searah dan bolak-balik sesuai dengan frekuensi dari tegangan AC yang diberikan .

Oleh karena sembarang material jika ditempatkan diantara pelat sejajar kapasitor maka densitas muatan pada pelat akan naik akibat adanya polarisasi yang terdapat dalam material. Semakin tinggi kelembaban akan semakin banyak uap air yang diserap oleh material sensitif sehingga polarisasi dari material sensitif akan semakin besar. Pada saat polarisasi semakin besar maka konstanta dielektrik juga akan semakin besar. Perubahan nilai konstanta dielektrik akan mempengaruhi nilai dari kapasitansi material sensitif. Nilai kapasitansi untuk kapasitor pelat sejajar adalah :

$$C = \frac{\kappa \epsilon_0 A}{d} \quad (2.5)$$

C = kapasitansi

$\kappa$  = konstanta dielektrik relatif

$\epsilon_0$  = permitivitas listrik

A = luas pelat

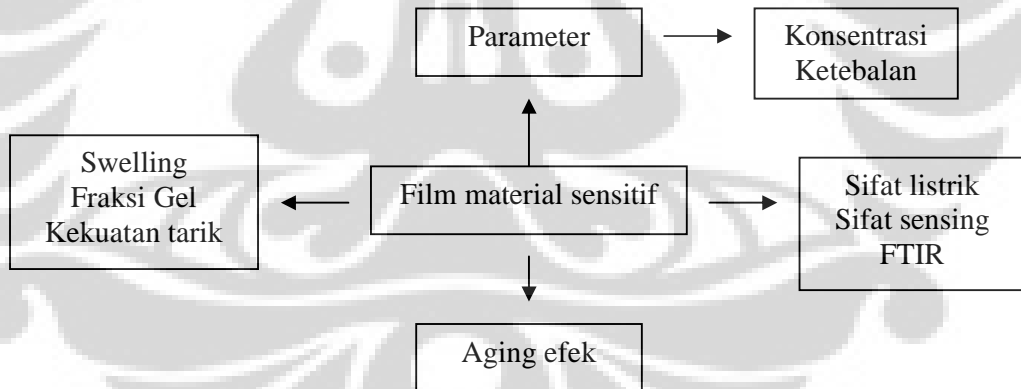
d = jarak antar pelat

### 3. METODOLOGI PENELITIAN

Untuk mencapai tujuan penelitian, maka diperlukan metode penelitian. Pada Bab III ini akan diuraikan metodologi penelitian material sensitif kelembaban yang berbasis PVA. Metodologi yang digunakan dalam penelitian ini adalah eksperimen yang meliputi proses preparasi dan karakterisasi material sensitif. Dalam proses preparasi akan dibahas mengenai persiapan bahan, modul material sensitif, pembuatan larutan dan deposisi material sensitif kelembaban. Sedangkan untuk karakterisasi sifat sensing dan sifat listrik dengan menggunakan RCL meter. Untuk mengetahui struktur film dilakukan karakterisasi menggunakan FTIR.

#### 3.1 Metodologi

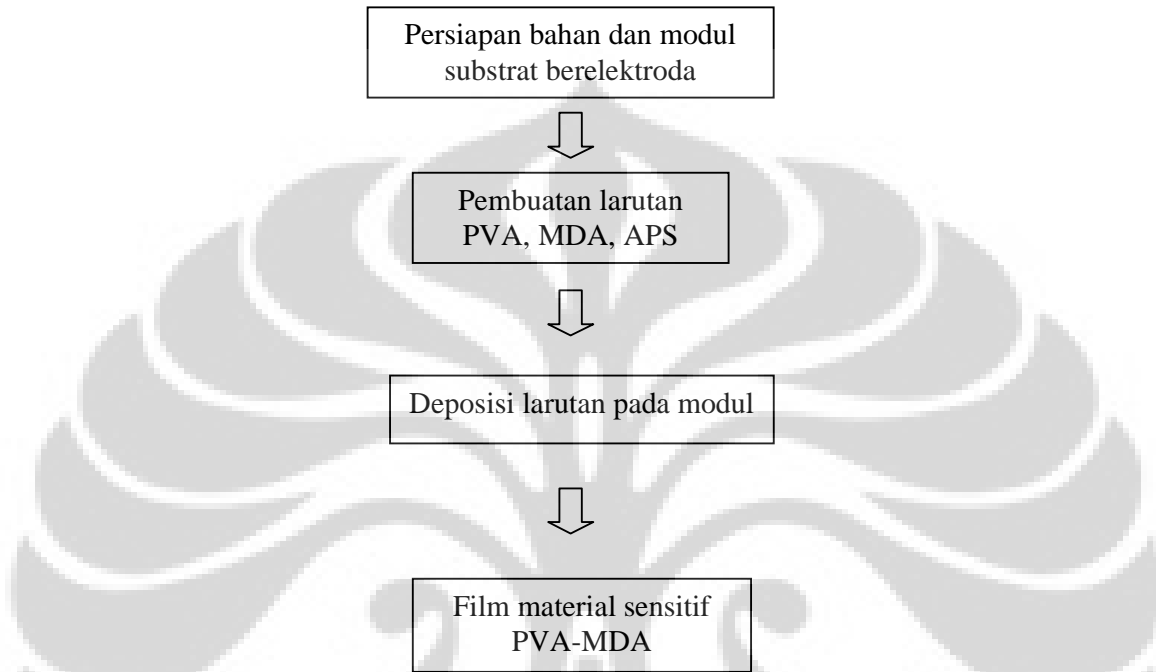
Metodologi dalam penelitian material sensitif PVA-MDA seperti terlihat pada gambar 3.1 sebagai berikut



Gambar 3.1 Diagram metodologi penelitian

### 3.2 Preparasi material sensitif kelembaban berbasis PVA

Proses preparasi seperti terlihat pada gambar 3.2 dibawah ini

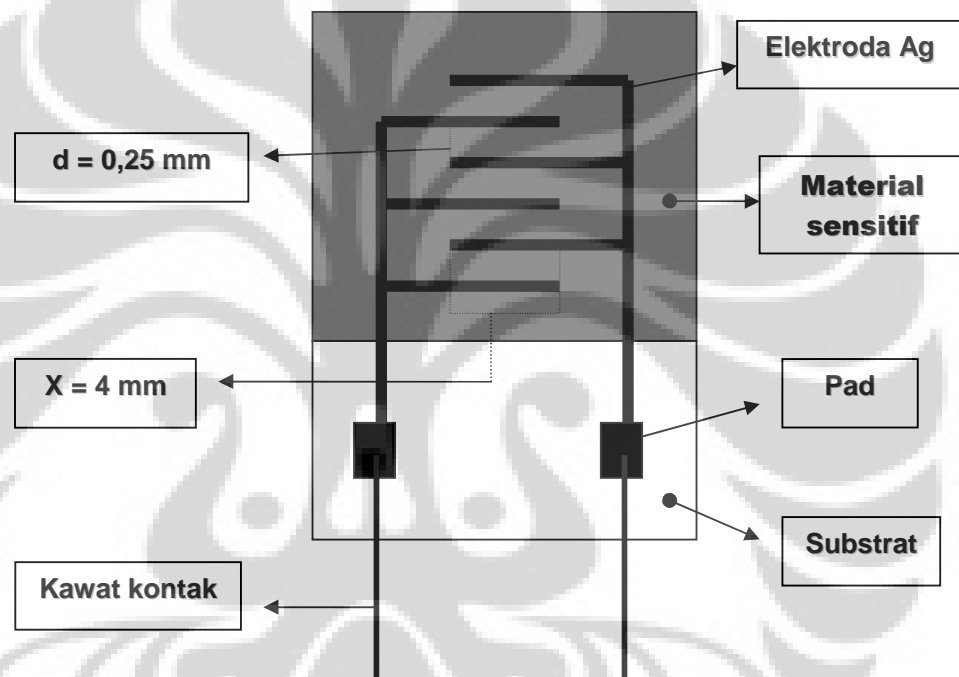


Gambar 3.2 Diagram langkah preparasi film material sensitif

Bahan-bahan kimia yang digunakan dalam proses pembuatan film material sensitif kelembaban adalah bahan pro analisis (p.a) yang diproduksi oleh MERCK. Bahan-bahan kimia itu adalah Polivinil alkohol ( PVA ), Methylene diacrylamide ( MDA ), Amonium peroksodisulfat (  $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$  ) atau APS, Magnesium klorida (  $\text{MgCl}_2$  ), Magnesium nitrat (  $\text{MgN}_2\text{O}_6$  ), Natrium klorida (  $\text{NaCl}$  ), Kalium klorida (  $\text{KCl}$  ) dan Kalium nitrat (  $\text{KNO}_3$  ). Sebagai bahan pelarutnya adalah air demineral ( Bidestilata ).

Modul yang digunakan untuk mengetahui sifat listrik material sensitif adalah substrat PCB ( printed board circuit ) yang memiliki ketahanan terhadap temperatur hingga  $200^{\circ}\text{C}$  dan berukuran 10 mm x 10 mm. Substrat PCB berelektroda tembaga ( Cu ) yang dilapisi dengan perak ( Ag ) supaya lebih tahan terhadap korosif. Untuk menurunkan impedansi film material sensitif digunakan

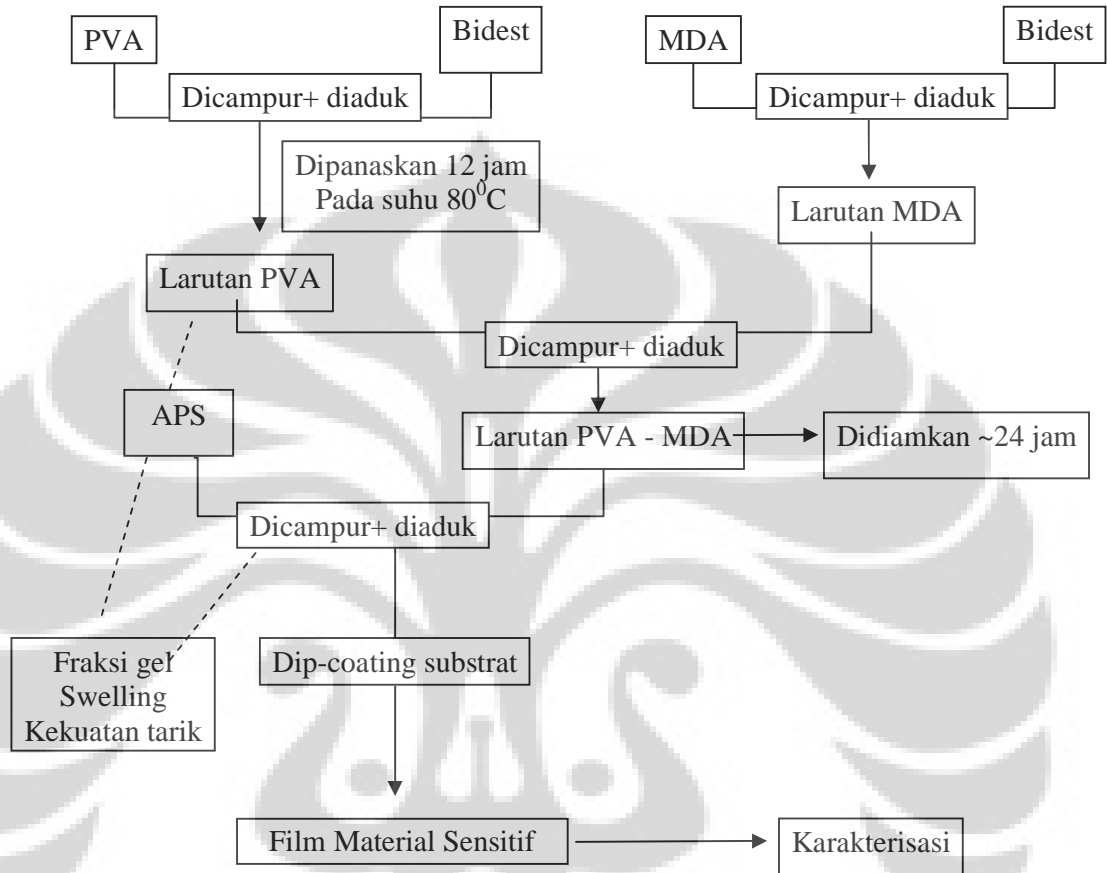
model interdigital menyerupai sisir dengan 3 pasang elektroda yang menghasilkan tahanan sistem yang lebih rendah jika dibandingkan dengan tahanan satu pasang elektroda. Modul material sensitif terhadap kelembaban terdiri dari beberapa komponen, yaitu substrat, elektroda, material sensitif berupa film tebal ( thick film ), pad dan kawat kontak elektroda, secara skematik diberikan pada gambar 3.3.



Gambar 3.3 Bagan modul untuk mengetahui sifat listrik material sensitif

Pada penelitian ini telah dilakukan preparasi film material sensitif kelembaban dengan berbagai komposisi. Pelaksanaan proses preparasi dilakukan di laboratorium kimia industri jurusan Fisika Universitas Indonesia Depok, kecuali untuk preparasi swelling , fraksi gel dan uji kekuatan tarik dilakukan di laboratorium Polimer BATAN Pasar Jum'at Jakarta Selatan. Karakterisasi struktur menggunakan FTIR di laboratorium Kimia Polimer LIPI Puspitek Serpong.

Bagan porses pembuatan material sensitif terhadap kelembaban yang meliputi prosedur preparasi larutan PVA – MDA dan pelapisan film material sensitif pada substrat dapat dilihat pada gambar 3.4



Gambar 3.4 Prosedur kerja pembuatan material sensitif kelembaban

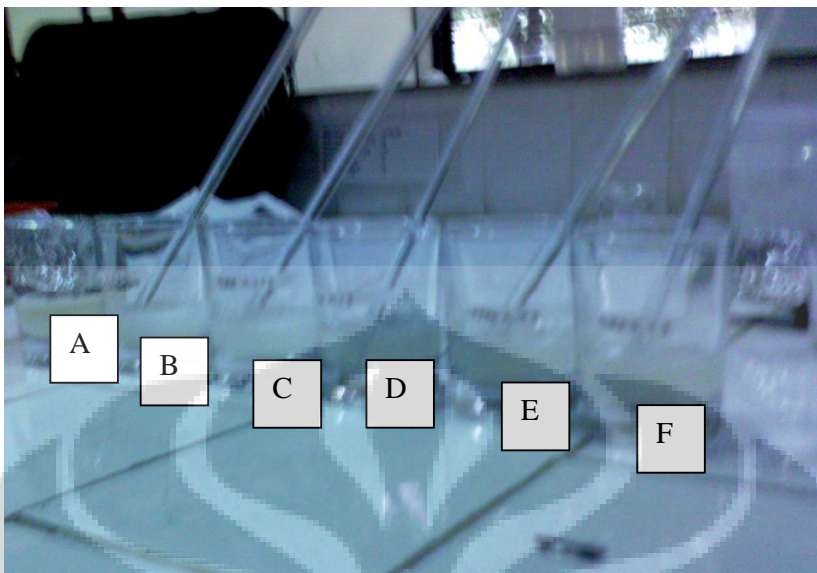
Langkah awal yang dilakukan dalam preparasi adalah semua bahan ditimbang dengan menggunakan timbangan digital ( Shimadzu Libror AeU ) dengan kapasitas 200,0000 g. Bubuk PVA kemudian dicampur dengan bidestilata 5 ml dan diaduk menggunakan pengaduk yang terbuat dari kaca hingga larut di dalam gelas sloki yang tahan panas hingga 100<sup>0</sup>C. Pengadukan ini dilakukan secara bergantian dimulai dari sampel A, B, C, D,E, dan F kemudian kembali ke sampel A dan seterusnya selama 30 menit. Selanjutnya larutan PVA dalam gelas sloki ditutup rapat dengan aluminium foil. Setelah itu dilakukan pemanasan terhadap larutan atau pasta PVA ke dalam termostat ( Memmert ) pada suhu 80<sup>0</sup>C selama 12 jam agar diperoleh larutan PVA yang homogen dan didiamkan sampai



suhu kamar. Setelah pembuatan larutan PVA selanjutnya pembuatan larutan MDA yaitu dengan cara bubuk MDA dicampur dengan 5 ml bidestilata di dalam gelas sloki yang terpisah B1, C1, D1, E1 dan F1 diaduk seperti yang dilakukan pada pembuatan larutan PVA tapi tidak dipanaskan, kemudian didiamkan kurang lebih selama 24 jam agar larutan homogen. Langkah selanjutnya yang dilakukan adalah mencampur larutan MDA kedalam larutan PVA. Pengadukan dilakukan secara bergantian dimulai dari sampel B, C, D, E dan F kemudian kembali ke sampel B dan seterusnya selama 25 menit seperti terlihat pada gambar 3.5. Larutan PVA – MDA selanjutnya ditutup dengan aluminium foli dan didiamkan beberapa jam sampai gelembung dalam larutan PVA – MDA hilang.

Proses pengikatan silang ( crosslinking ) pada PVA dengan cara kimia yaitu menggunakan inisiator Amonium peroksodisulfat (  $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$  ) atau APS. Penambahan APS dilakukan pada suhu ruang untuk sampel A, B, C, D, E, dan F kemudian dilakukan pengadukan sampai merata.

Sebelum melakukan deposisi larutan material sensitif PVA – MDA, modul dibersihkan dengan larutan HCL 90% dengan perbandingan 1 : 20, kemudian dikeringkan dengan hair dryer. Selanjutnya deposisi larutan PVA – MDA pada modul dilakukan setelah pencampuran dengan APS. Deposisi dilakukan dengan metode celup ( dip coating ) satu kali untuk film satu lapis., dua kali untuk film dua lapis dan tiga kali untuk film tiga lapis. Setiap kali selesai dipcoating film dikeringkan terlebih dahulu dalam desikator pada suhu kamar selama kurang lebih 24 jam.



Gambar 3.5 Larutan material sensitif PVA – MDA yang telah diaduk selama 25 menit

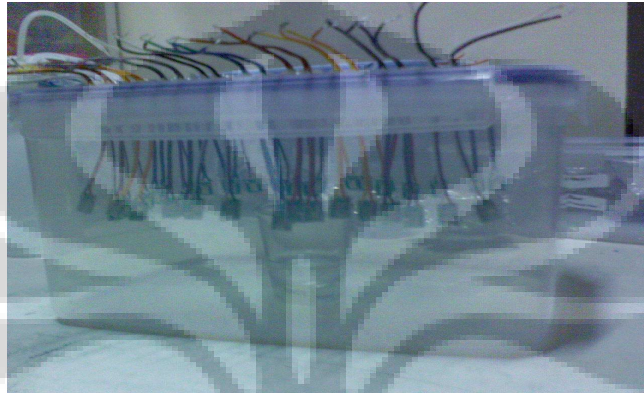
Komposisi larutan film material sensitif PVA - MDA dapat dilihat pada tabel 3.1 dengan variasi konsentrasi massa MDA mulai dari tanpa MDA, 0.03g, 0.05g, 0.10g, 0.15g dan 0.20g.

Tabel 3.1 Komposisi larutan material sensitif untuk meneliti sifat film PVA – MDA

No	Sampel	PVA ( g )	Bidest ( ml )	Cross linker MDA ( g )	APS ( g )	Ket.
1	A	1,00	10,0	0,00	0,04	Tanpa MBA
2	B	1,00	10,0	0,03	0,04	
3	C	1,00	10,0	0,05	0,04	
4	D	1,00	10,0	0,10	0,04	
5	E	1,00	10,0	0,15	0,04	
6	F	1,00	10,0	0,20	0,04	

### 3.3 Karakterisasi film material sensitif kelembaban PVA – MDA

Sebelum melakukan karakterisasi sifat listrik film, terlebih dahulu film yang akan dikarakterisasi diletakkan dalam sebuah chamber yang sudah dipersiapkan sedemikian rupa sehingga tidak ada pergantian udara selama proses karakterisasi dilakukan ( gambar 3.6 )



Gambar 3.6 Chamber kedap udara

Chamber tersebut dibuat dari bahan plastik yang telah dimodifikasi sehingga dapat digunakan untuk mengukur perubahan impedansi yang terjadi pada film material sensitif. Modul material sensitif kelembaban relatif yang telah diberi lapisan film PVA – MDA , dikondisikan pada RH tertentu dengan metode larutan garam jenuh, karena prosesnya yang sederhana yaitu dengan mendesain chamber pengkondisi RH dan diberi larutan jenuh garam yang telah diketahui keadaan kelembabannya. Garam-garam yang digunakan untuk kalibrasi ditunjukkan pada tabel 3.2

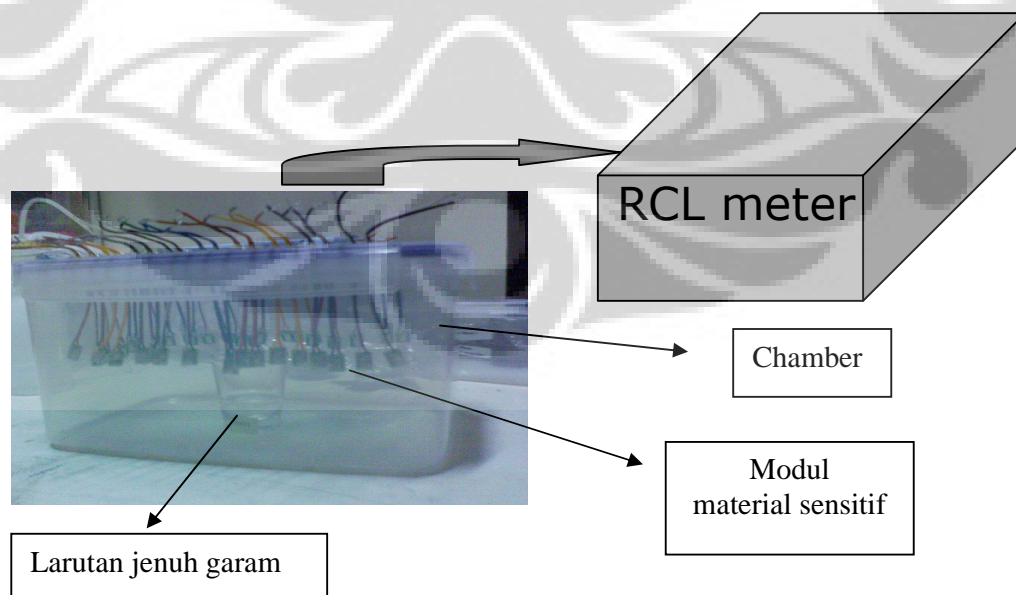
Tabel 3.2 Nilai RH ( % ) larutan jenuh garam

No	Jenis garam	15 <sup>0</sup> C	20 <sup>0</sup> C	25 <sup>0</sup> C	30 <sup>0</sup> C	35 <sup>0</sup> C
1	Magnesium Klorida (MgCl <sub>2</sub> )	33.30	33.07	32.78	32.44	32.05
2	Magnesium nitrat ( MgN <sub>2</sub> O <sub>6</sub> )	55.87	54.38	52.89	51.40	49.91
3	Natrium klorida ( NaCl )	75.61	75.47	75.29	75.09	74.87
4	Kalium klorida ( KCl )	85.92	85.11	84.34	83.62	82.95
5	Kalium nitrat ( KNO <sub>3</sub> )	95.41	94.62	93.58	92.31	90.79

Selanjutnya larutan garam diletakkan pada dasar chamber. Garam jenuh dibuat dari garam kalibrasi yang dilarutkan dengan demin hingga terdapat endapan yang menandakan bahwa larutan garam tersebut telah jenuh .

Pengambilan data dilakukan pada temperatur yang stabil. Dikarenakan kondisi lingkungan sangat mempengaruhi proses kalibrasi, maka di usahakan tidak terjadi perubahan temperatur yang besar pada kondisi sekitar chamber saat pengambilan data dilakukan. Data yang diamati untuk setiap pengukuran adalah nilai impedansi, resistansi, kapasitansi dan sudut fase antara resistansi dan kapasitansi. Karakterisasi sifat listrik film sensitif kelembaban berbasis PVA dilakukan dengan menggunakan RCL meter ( gambar 3.7 ).

Respon elektrik dari film material sensitif diukur dengan cara mengontrol kelembaban di dalam chamber yang terisolasi pada temperatur ruang sesuai dengan jenis larutan garam jenuh yang digunakan. Pengukuran ini dilakukan setelah larutan garam jenuh yang diletakkan pada dasar chamber terisolasi selama  $\pm 24$  jam, hal ini dilakukan agar udara di dalam chamber menghasilkan tingkat kelembaban yang homogen. Perubahan respon elektrik dari film material sensitif diukur dengan RCL meter tipe PM6306 pada tegangan AC 1 volt dan frekuensi yang digunakan bervariasi mulai dari 1 kHz, 10 kHz, 100 kHz dan 1 MHz.



Gambar 3.7 Karakterisasi sifat listrik film material sensitif

### 3.4 Preparasi swelling dan fraksi gel

Sebelum melakukan preparasi dan karakterisasi material sensitif, dilakukan preparasi untuk menentukan swelling dan fraksi gel dari bahan material sensitif. Hal ini sangat diperlukan karena material sensitif yang dipilih bersifat hidropilik dan untuk mengetahui komposisi yang tepat, agar dalam pelaksanaan preparasi selanjutnya, material sensitif dapat di dipcoating dan di karakterisasi dengan baik.

Untuk menentukan sifat swelling material sensitif, yaitu dengan cara larutan PVA atau PVA – MDA yang sebelumnya telah ditentukan komposisinya dituangkan dalam preparat, setelah kering dikelupas ( diangkat dan dilepas ) dari preparat dalam bentuk lembaran-lembaran tipis ( film). Untuk mengetahui besar/tingkat swelling, selanjutnya film ditimbang untuk menentukan massa sebelum perendaman dan kemudian direndam selama 24 jam didalam sebuah gelas ukur yang berisi air dengan volume 100 ml . Setelah dilakukan perendaman selama 24 jam ditiriskan dan ditimbang untuk mengetahui besar massa film hasil perendaman.

Fraksi gel film ditentukan dengan cara yang sama seperti pada penentuan swelling, yang membedakan adalah setelah film ditiriskan kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu  $70^{\circ}\text{C}$  selama 2 jam dan ditimbang.

Uji kekuatan tarik dilakukan dengan cara film PVA-MDA yang sudah dikelupas dari preparat dipotong menjadi 4 - 5 bagian , selanjutnya dilakukan uji tarik .

## 4. ANALISIS

Pada bab ini akan dipaparkan hasil preparasi dan karakterisasi dari film material sensitif PVA-MDA. Sifat-sifat film material sensitif PVA-MDA yang dibahas adalah sifat mekanik, sifat sensitif terhadap kelembaban dan sifat listrik beserta parameter-parameter yang mempengaruhi sifat tersebut. Selain itu dibahas juga tentang reproduibilitas preparasi dan stabilitas material sensitif PVA-MDA yang dinyatakan dalam variabel impedansi.

### 4.1 Sifat mekanik film material sensitif PVA – MDA

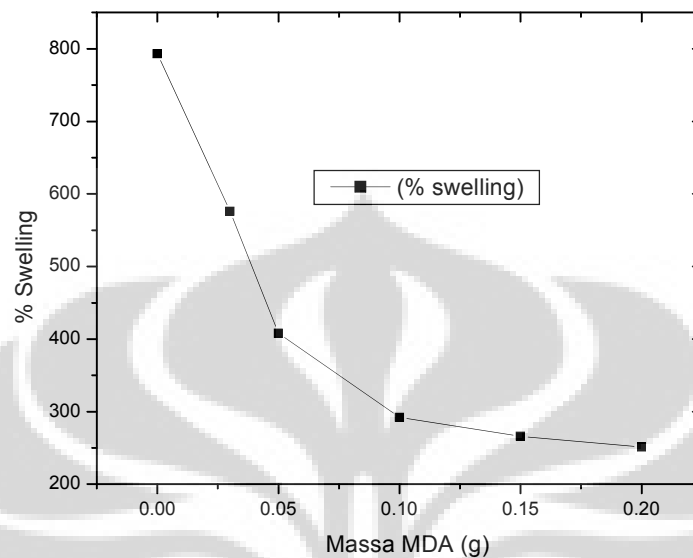
Telah dilakukan preparasi untuk menentukan pengukuran uji swelling, uji fraksi gel dan uji tarik yang dipengaruhi oleh konsentrasi massa MDA hal ini dilakukan untuk mengetahui sifat mekanik film material sensitif PVA – MDA.

Pada penelitian film material sensitif PVA sebelumnya dinyatakan bahwa variasi massa PVA tidak mempengaruhi impedansi film, hanya saja film material sensitif PVA dengan massa yang besar memiliki viskositas yang tinggi sehingga akan menyulitkan saat pendeposisian pada substrat. Untuk itu dalam penelitian ini massa PVA yang digunakan adalah 1,00 gram dan massa APS 0,4 gram, sedangkan komposisi MDA yang digunakan untuk pembuatan film material sensitif dengan variasi massa MDA 0,03 g, 0,05 g, 0,10 g, 0,15 g dan 0,20 g. Kemudian film di uji tingkat swellingnya, fraksi gel dan uji tarik..

#### 4.1.1 Uji Swelling

Uji swelling dilakukan untuk mengetahui pengaruh massa MDA pada film material sensitif PVA – MDA dalam menyerap air.

Hasil uji swelling film material sensitif PVA-MDA diperlihatkan pada gambar 4.1 sebagai berikut :



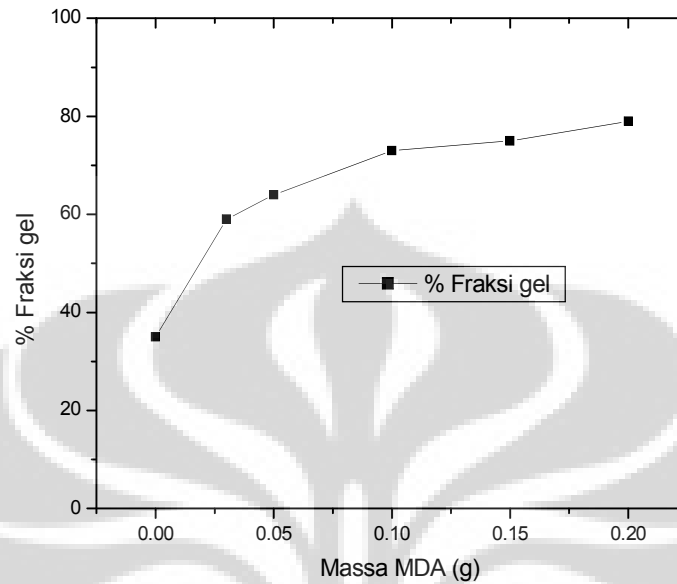
Gambar 4.1 Pengaruh penambahan konsentrasi massa MDA terhadap tingkat swelling pada film material sensitif PVA-MDA

Pada gambar 4.1 terlihat bahwa swelling mengalami penurunan mulai konsentrasi MDA 0,03 gram sampai dengan 0,20 gram. Swelling mencapai nilai maksimum terjadi pada film material sensitif PVA tanpa penambahan MBA dan mencapai nilai minimum pada penambahan konsentrasi massa MDA sebesar 0,20 gram. Pada konsentrasi massa MDA 0,00gram atau film tanpa MDA yaitu larutan hanya terdiri dari PVA, APS dengan bidest sebagai pelarut, diperoleh data tingkat swelling sebesar 800% sedangkan dengan penambahan MDA 0,03 gram, 0,05 gram, 0,10 gram, 0,15 gram dan 0,20 gram swelling semakin menurun berturut – turut adalah 580%, 400%, 300%, 270% dan 250%. Sehingga dapat diambil kesimpulan bahwa dengan adanya penambahan crosslinker MDA dapat menurunkan swelling. Hal ini dikarenakan pada film material sensitif PVA – MDA dimana MDA berfungsi sebagai penyangga yang menyebabkan PVA sulit menyerap air.

#### 4.1.2 Uji Fraksi gel

Penelitian sifat mekanik film material sensitif PVA – MDA berikutnya adalah uji fraksi gel. Hasil dari uji fraksi gel dari film material sensitif PVA-MDA diperlihatkan pada gambar 4.2. Dari gambar 4.2 tampak bahwa semakin besar konsentrasi MDA semakin besar persentase fraksi gel. Persentase fraksi gel mncapai nilai minimum pada film material sensitif PVA tanpa panambahan MDA, kemudian persentase fraksi gel meningkat ketika film mengandung MDA 0,03 gram, 0,05 gram, 0,10 gram, 0,15 gram dan persentase fraksi gel mencapai nilai makasimum ketika film material sensitif ditambahkan MDA 0,20 gram. Film material sensitif PVA tanpa MDA memiliki persentase fraksi gel 35% setelah ditambahkan MDA 0,03 gram, 0,05 gram, 0,10 gram, 0,15 gram dan 0,20 gram, persentase fraksi gel masing – masing adalah 60%, 64%, 73%, 75% dan 80%. Dari data persentase fraksi gel dapat diambil kesimpulan bahwa penambahan massa MDA dapat meningkatkan persentase fraksi gel pada film material sensitif PVA dan nilai fraksi gel maksimum adalah 80%, serta variasi massa MDA mempengaruhi nilai fraksi gel. Hal ini disebabkan pada film material sensitif telah terjadi pengikatan silang ( crosslinking ) di dalam larutan PVA-MDA.

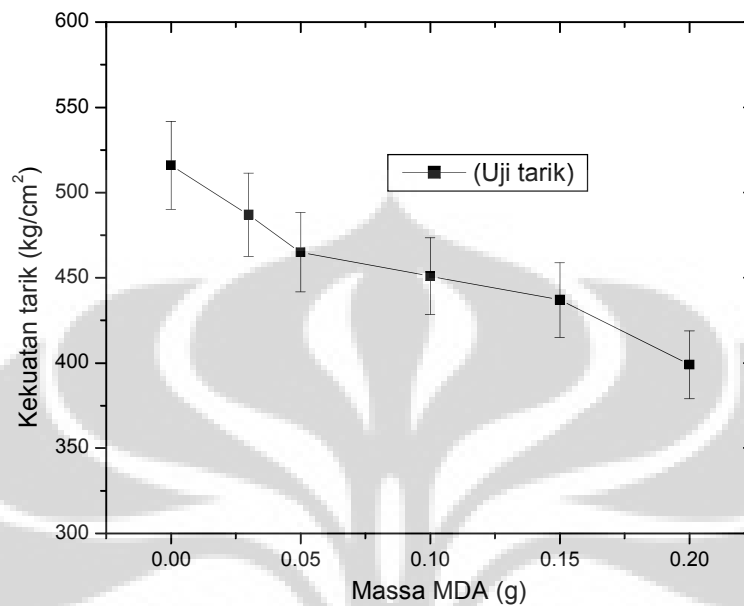




Gambar 4.2 Pengaruh penambahan konsentrasi MDA terhadap fraksi gel dari film material sensitif PVA-MDA (PVA = 1g, dalam total volume air 10 ml).

### 4.1.3 Uji Tarik

Untuk mengetahui sifat mekanik film material sensitif PVA – MDA selanjutnya dilakukan uji tarik, hal ini dilakukan untuk melihat kekuatan tarik dari film material sensitif PVA–MDA akibat adanya penambahan crosslinker MDA. Hasil uji tarik film material sensitif PVA – MDA diperlihatkan pada gambar 4.3.



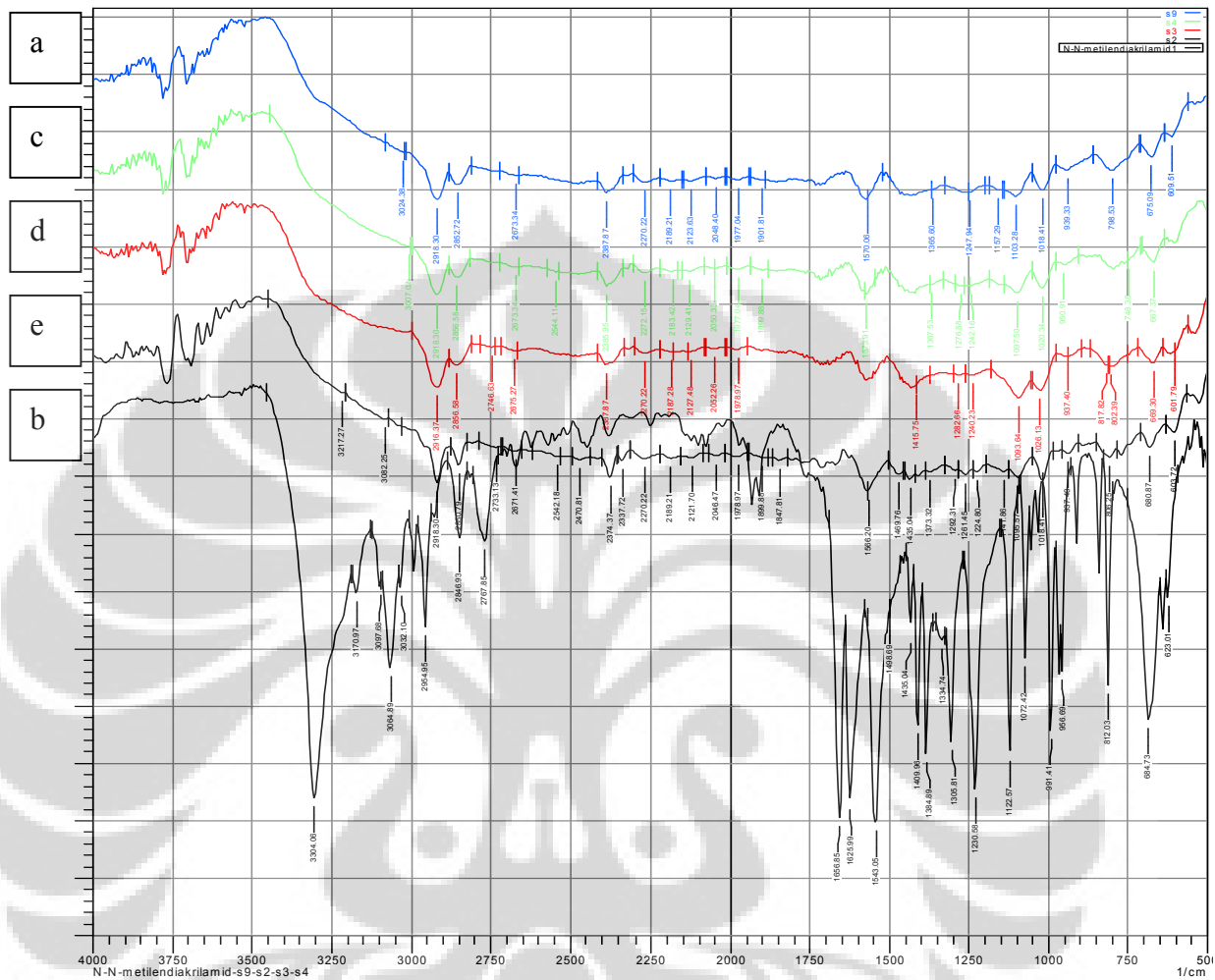
Gambar 4.3 Pengaruh penambahan konsentrasi MDA terhadap kekuatan tarik dari film material sensitif PVA-MDA (PVA = 1g, dalam total volume air 10 ml).

Dari gambar 4.3 tampak bahwa pada film material sensitif PVA-MDA memiliki kekuatan tarik yang menurun dengan nilai maksimum terdapat pada film PVA tanpa MDA dan nilai minimum pada konsentrasi massa MDA 0,20 gram. Film PVA tanpa MDA memiliki kekuatan tarik sebesar 516 kg/cm<sup>2</sup>, dengan penambahan MDA 0,03 gram nilai kekuatan tarik menurun menjadi 487 kg/cm<sup>2</sup>, setelah ditambahkan MDA 0,05 gram nilai kekuatan tarik menjadi 465 kg/cm<sup>2</sup> dan MDA 0,10 gram kekuatan tarik menjadi 451 kg/cm<sup>2</sup>, selanjutnya dengan penambahan MDA 0,15 gram kekuatan tarik turun menjadi 437 kg/cm<sup>2</sup>, kemudian kekuatan tarik film material sensitif PVA-MDA terus mengalami penurunan sampai penambahan massa MDA 0,20 gram dengan nilai kekuatan tarik sebesar 400 kg/cm<sup>2</sup>. Hasil uji tarik ini menunjukkan bahwa dengan adanya penambahan massa MDA dapat mengurangi kekuatan tarik film material sensitif PVA – MDA, hal ini terjadi diduga karena sifat film yang semakin rapuh..

## 4.2 Struktur film PVA-MDA

Struktur film PVA-MDA dianalisis dengan menggunakan Fourier Transform Infra Red ( FTIR ). Sampel yang dianalisis adalah bubuk MDA dan film PVA serta film PVA-MDA. Karakterisasi struktur dengan FTIR ini dilakukan dengan harapan dapat mengetahui bagaimana struktur film PVA sebelum dan sesudah ditambahkan MDA. Hasil karakterisasi dengan FTIR dapat dilihat pada gambar 4.4.

Dari gambar 4.4 terlihat dari grafik PVA adanya puncak pada rentang  $3800\text{cm}^{-1}$  sampai  $2700\text{cm}^{-1}$ , berdasarkan literatur daerah rentang ini merupakan daerah OH dan  $\text{CH}_2$ . Dengan adanya gugus OH ini maka film PVA tersebut mengandung uap air. Hasil FTIR pada film PVA dengan penambahan MDA menghasilkan spektrum yang tidak jauh berbeda meskipun konsentrasi MDA semakin ditingkatkan dari 0,03g sampai dengan 0,15g. Berdasarkan hasil FTIR ini dapat disimpulkan bahwa penambahan MDA tidak mempengaruhi struktur PVA. Hal ini dapat terjadi diduga karena adanya perbedaan berat molekul yang sangat jauh berbeda dan kemampuan menyerap air PVA telah membuat spektrum absorpsinya sangat lebar



Gambar 4.4 Hasil overlap spektrum dengan FTIR

- a. PVA
- b. MDA
- c. PVA-MDA 0,03g
- d. PVA-MDA 0,05g
- e. PVA-MDA 0,15g

### **4.3 Sifat Listrik material sensitif PVA - MDA**

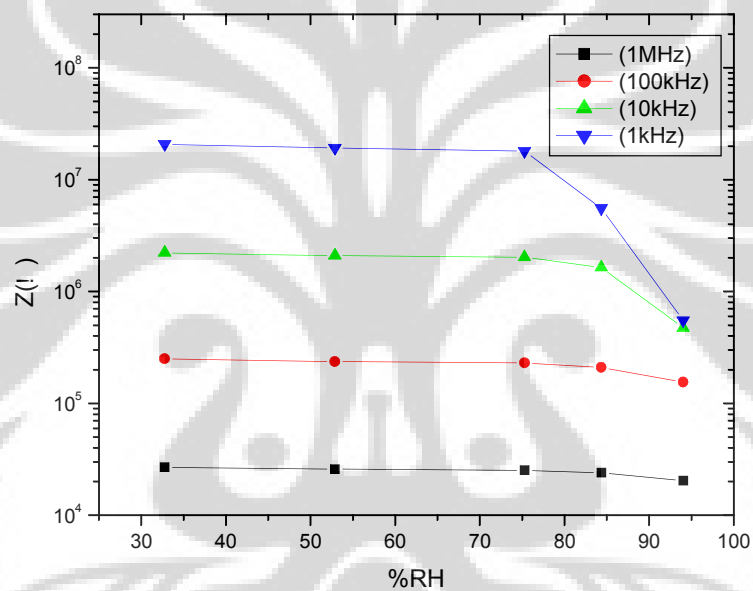
Sifat listrik dari material sensitif PVA-MDA tidak semuanya dapat diukur dengan tegangan DC tetapi dapat diukur dengan tegangan AC. Pada saat material sensitif PVA-MBA diberikan tegangan DC resistansi tidak terukur, hal ini disebabkan resistansi material sensitif PVA-MDA sangat besar, sehingga RCL meter yang digunakan tidak dapat mengukur resistansi material sensitif PVA-MDA dengan tegangan DC. Untuk itu dalam penelitian ini sumber tegangan yang digunakan adalah tegangan AC 1 volt. Sehingga hasil pengukuran berupa impedansi yang terdiri dari komponen resistansi ( R ) dan komponen kapasitansi ( C ).

### **4.4 Sifat sensitif kelembaban film material sensitif PVA-MDA**

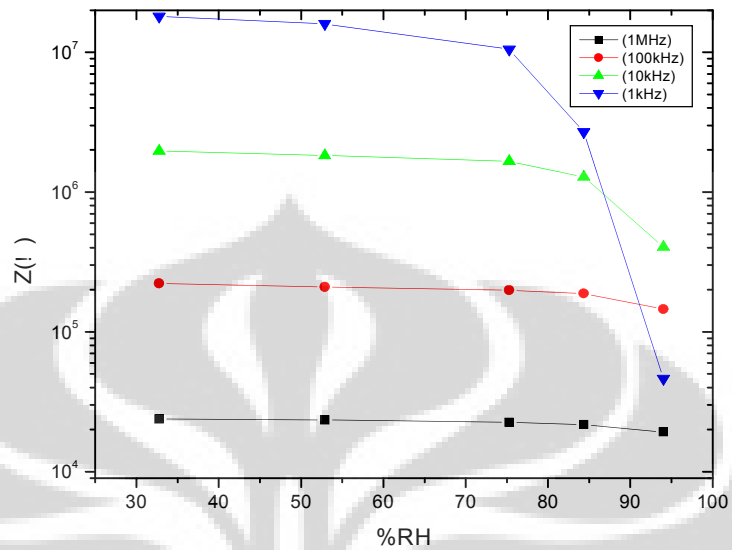
#### **4.4.1 Pengaruh frekuensi ukur pada impedansi material sensitif PVA-MDA**

Kadar PVA tidak mempengaruhi impedansi material sensitif, sedangkan kadar PVA di atas satu gram agak sulit dideposisikan pada substrat. Oleh karena itu massa PVA yang digunakan untuk semua preparasi material sensitif dalam penelitian ini adalah satu gram<sup>2</sup>. Telah diteliti sifat sensitif RH material sensitif berbasis PVA dengan cara memvariasikan massa methylene di acrylamide ( MDA ) pada modul berelektroda untuk berbagai kondisi RH. Massa MDA divariasikan mulai dari 0,03 gram sampai dengan 0,20 gram. Hasil yang diperoleh dari karakterisasi dengan menggunakan RCL meter adalah adanya penurunan impedansi material sensitif yang cukup signifikan untuk frekuensi rendah 1kHz , pada kelembaban yang tinggi yaitu antara 75%RH sampai dengan 95%RH. Hal ini bisa dilihat pada gambar 4.5 untuk film material sensitif PVA 1 gram tanpa penambahan MDA yaitu adanya penurunan impedansi sekitar 1,5 orde. Selanjutnya untuk film material sensitif PVA-MDA untuk PVA 1gram dengan penambahan 0,03gram MDA dapat dilihat pada gambar 4.6 adanya penurunan impedansi sekitar 2,5 orde. Penurunan impedansi yang cukup signifikan juga terjadi pada film

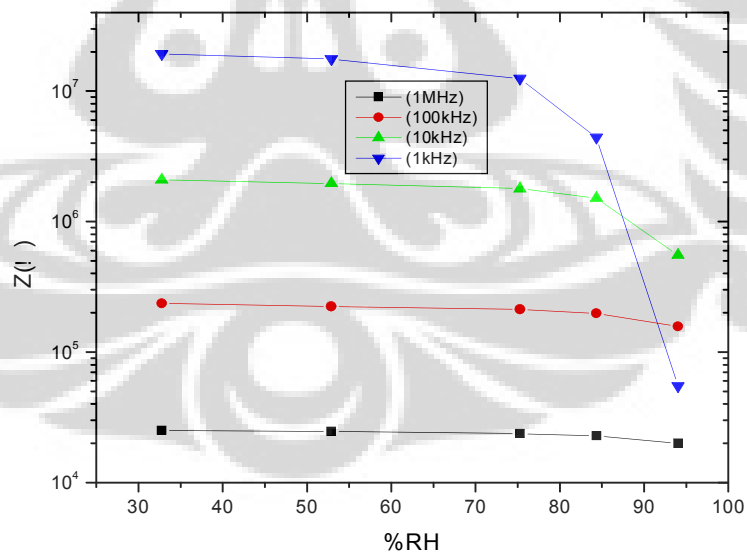
material sensitif PVA-MDA untuk PVA 1gram yang dicampur dengan 0,05gram MDA seperti terlihat pada gambar 4.7 terjadi penurunan impedansi sekitar 2,5 orde. Sedangkan untuk material sensitive PVA-MDA dengan PVA 1gram dicampur MDA 0,10gram, film dengan PVA 1gram dicampur MDA 0,15gram dan film dengan PVA 1gram dicampur MDA 0,20gram terjadi penurunan impedansi yang hampir sama sebesar 1,5 orde.



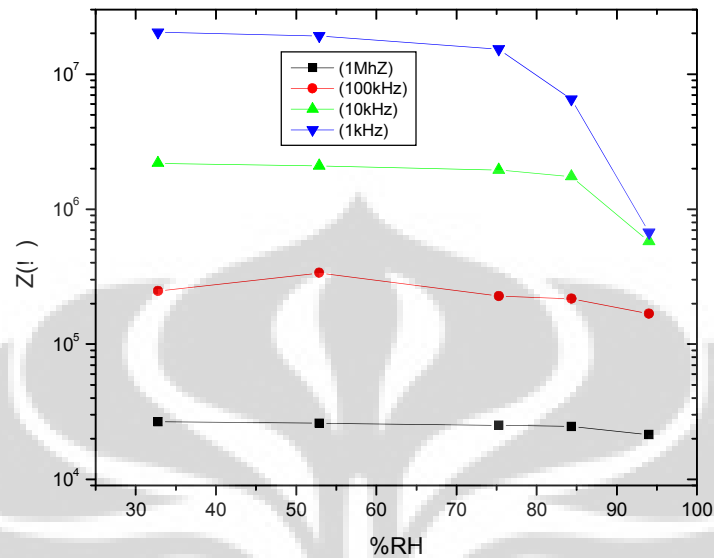
Gambar 4.5 Pengaruh frekuensi ukur terhadap impedansi pada film material sensitif PVA 1gram, untuk berbagai kelembaban relatif dalam total volume air 10 ml



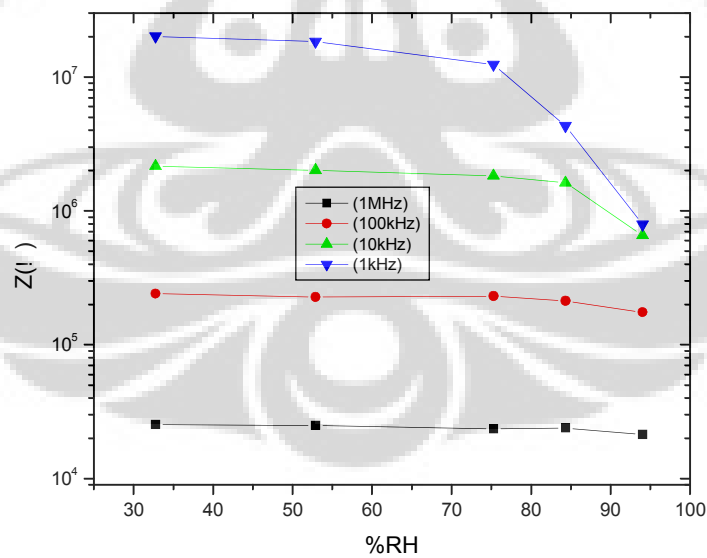
Gambar 4.6 Pengaruh frekuensi ukur terhadap impedansi pada material sensitif PVA 1g ;  
MDA 0,03g, untuk berbagai kelembaban relatif dalam total volume air 10ml



Gambar 4.7 Pengaruh frekuensi ukur terhadap impedansi pada material sensitif PVA 1g ;  
MDA 0,05g, untuk berbagai kelembaban relatif dalam total volume air 10ml

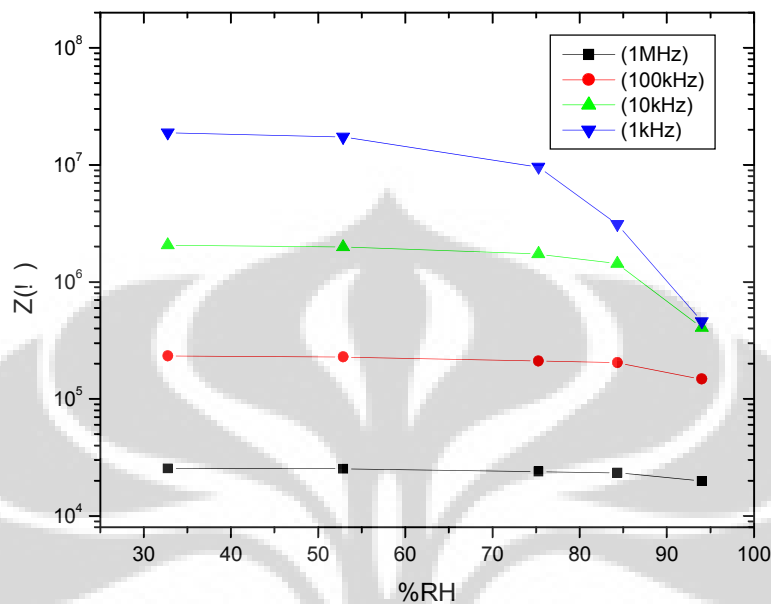


Gambar 4.8 Pengaruh frekuensi ukur terhadap impedansi pada material sensitif PVA 1g ;  
MDA 0,10g, untuk berbagai kelembaban relatif dalam total volume air 10ml



Gambar 4.9 Pengaruh frekuensi ukur terhadap impedansi pada material sensitif PVA 1g ;  
MDA 0,15g, untuk berbagai kelembaban relatif dalam total volume air 10ml

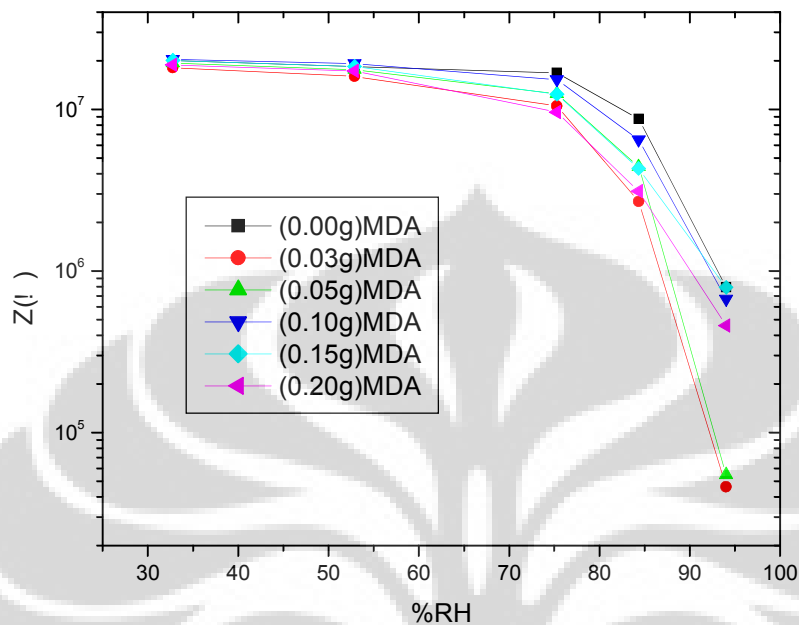




Gambar 4.10 Pengaruh frekuensi ukur terhadap impedansi pada material sensitif PVA 1g ; MDA 0,20g, untuk berbagai kelembaban relatif dalam total volume air 10ml

#### 4.4.2 Pengaruh konsentrasi massa MDA pada impedansi material sensitif PVA-MDA

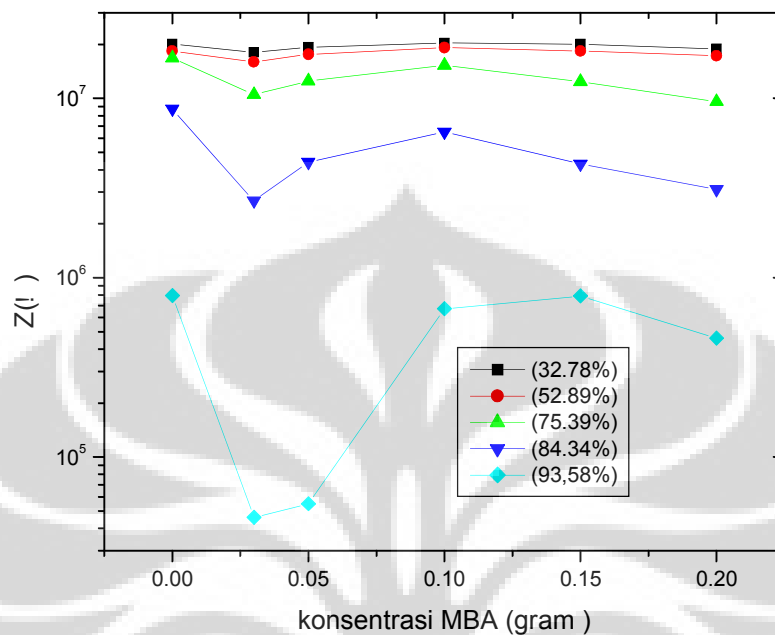
Oleh karena hasil karakterisasi material sensitif PVA-MDA dengan RCL meter pada frekuensi tinggi 1MHz, 100kHz dan 10kHz tidak memperlihatkan adanya penurunan impedansi yang cukup signifikan, maka dibawah ini akan ditampilkan hasil karakterisasi pada frekuensi 1kHz untuk sampel A, B, C, D, E dan F yang dipengaruhi massa konsentrasi MDA untuk berbagai kelembaban relatif. Seperti terlihat gambar 4.11 bahwa pada merial sensitif sampel B dan C terjadi penurunan impedansi yang cukup tajam.



Gambar 4.11 Pengaruh konsentrasi massa pada impedansi material sensitif PVA-MDA untuk berbagai kelembaban relatif pada frekuensi ukur 1kHz. Angka 0.00g pada artinya material sensitif PVA tanpa MDA

#### 4.4.3 Pengaruh perubahan kelembaban relatif ( RH ) pada material sensitif PVA-MDA pada frekuensi 1kHz untuk berbagai konsentrasi MDA

Seperti terlihat pada gambar 4.12 bahwa pengaruh perubahan RH menyebabkan adanya perubahan impedansi material sensitif PVA-MDA turun lebih tajam untuk setiap kenaikan RH jika dibandingkan dengan material sensitif PVA saja, khususnya pada daerah RH tinggi. Untuk daerah RH rendah tidak terlalu mempengaruhi perubahan impedansi material sensitif PVA-MDA. Selain itu dari gambar 4.12 juga terlihat adanya kecenderungan penurunan impedansi yang optimal pada saat konsentrasi MDA 0.03 gram untuk berbagai daerah RH.

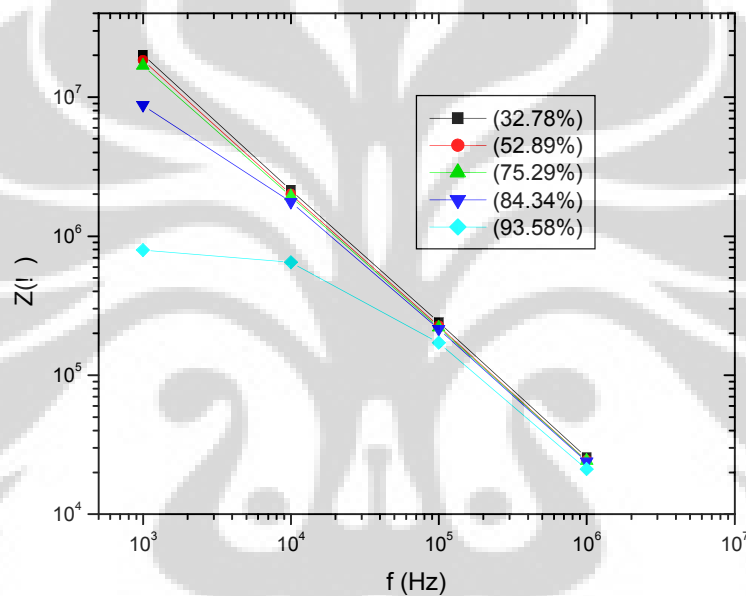


Gambar 4.12 Pengaruh perubahan RH terhadap impedansi material sensitif PVA-MDA untuk berbagai konsentrasi MDA pada frekuensi 1kHz

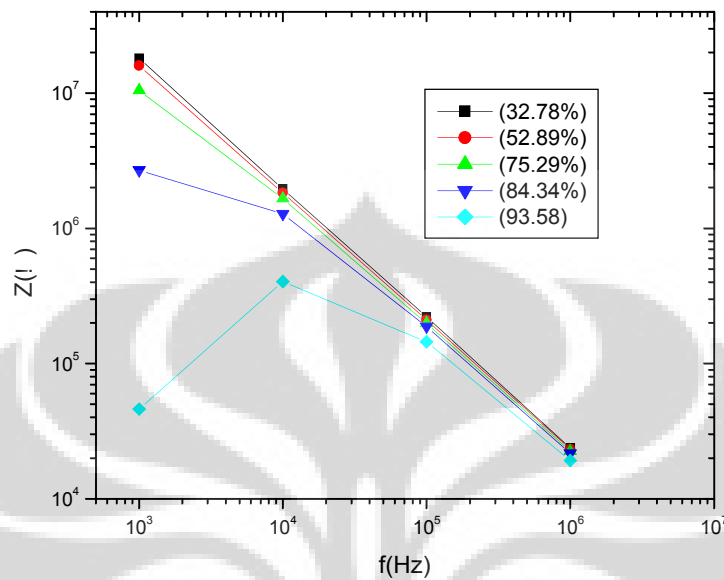
#### 4.4.4 Pengaruh perubahan RH terhadap material sensitif PVA-MDA untuk berbagai frekuensi ukur

Pengaruh perubahan RH terhadap impedansi material sensitif PVA-MDA pada berbagai daerah frekuensi ukur juga diteliti dengan cara yang berbeda, yaitu dengan melihat langsung hubungan antara perubahan RH dengan penurunan impedansi material sensitif PVA-MDA seperti pada gambar 4.13 untuk film A yang memperlihatkan bahwa pada RH ( 32.78% sampai dengan 75.29% ) grafik cenderung linier dan menyatu untuk berbagai ferkuensi. Kemudian dengan adanya perubahan RH yang semakin tinggi ( 84.34% dan 93.58% ) mulai terlihat grafik terpisah artinya telah terjadi perubahan impedansi pada material sensitif. Semakin lebar jarak antar kurva grafik semakin besar perubahan impedansi dan sensitivitas material/flm semakin besar . Hal yang demikian juga terjadi pada material sensitif

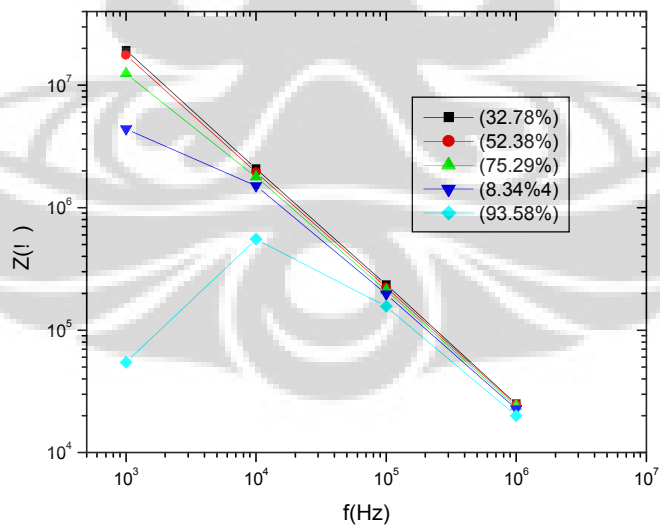
film B , C, D, E dan F. Dari grafik ke enam film tersebut perubahan impedansi yang paling besar terjadi pada film B untuk frekuensi 1kHz. Dari penjelasan ini dapat disimpulkan bahwa pada RH tinggi ( 84.34% dan 93.58% ) dan frekuensi 1kHz memberikan sifat sensing dan sifat listrik yang paling baik dibandingkan dengan pada RH rendah dan pada frekuensi ukur yang lain



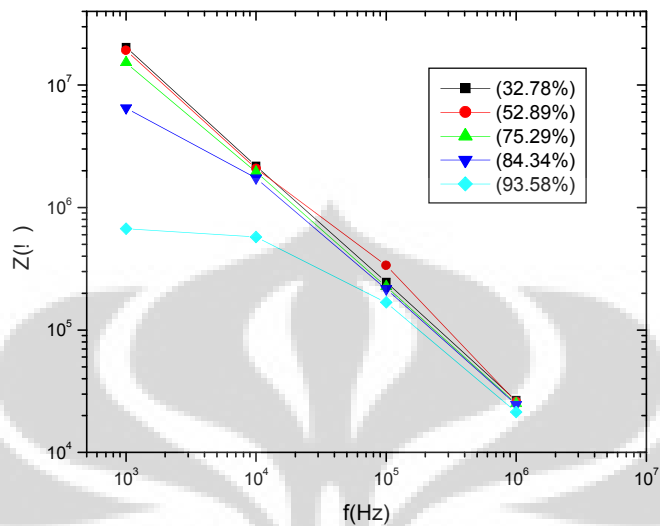
Gambar 4.13 Pengaruh perubahan RH terhadap impedansi material sensitif PVA untuk berbagai frekuensi .



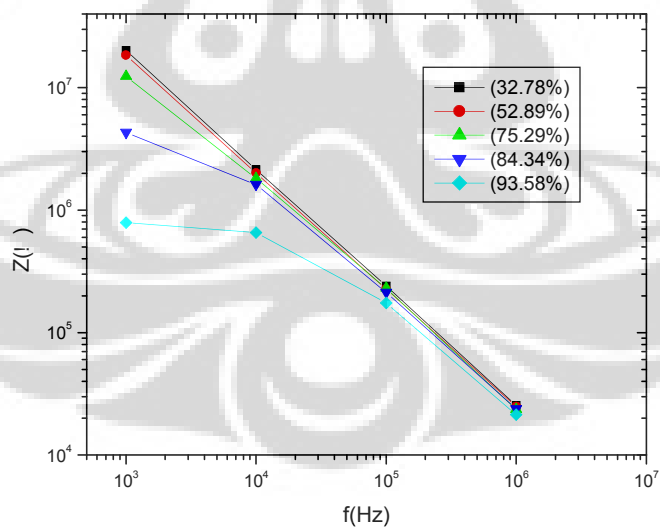
Gambar 4.14 Pengaruh perubahan RH terhadap impedansi material sensitif PVA-MDA 0,03g untuk berbagai frekuensi .



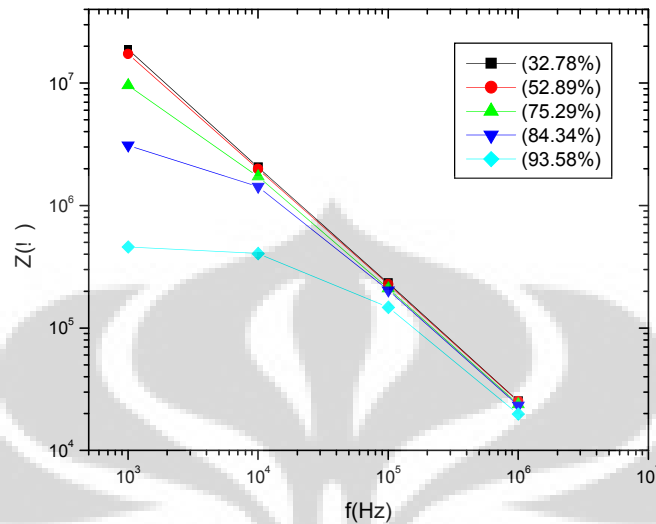
Gambar 4.15 Pengaruh perubahan RH terhadap impedansi material sensitif PVA-MDA 0,05g untuk berbagai frekuensi .



Gambar 4.16 Pengaruh perubahan RH terhadap impedansi material sensitif PVA-MDA 0,10g untuk berbagai frekuensi .



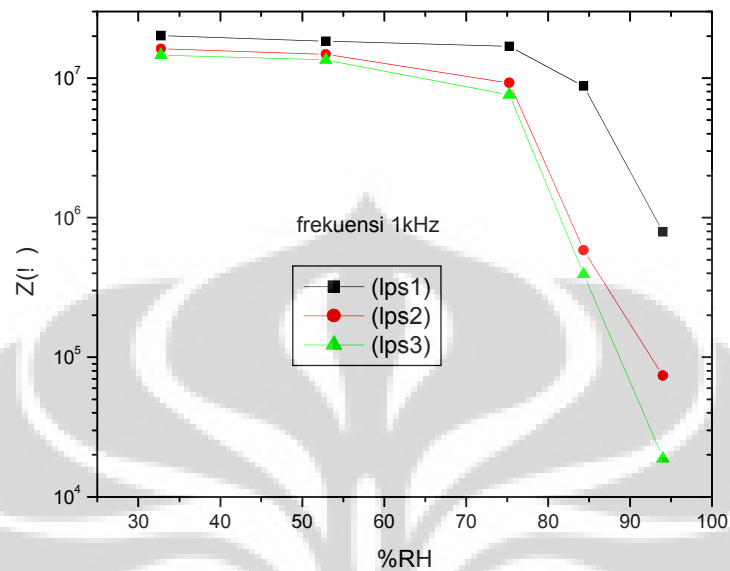
Gambar 4.17 Pengaruh perubahan RH terhadap impedansi material sensitif PVA-MDA 0,15g untuk berbagai frekuensi



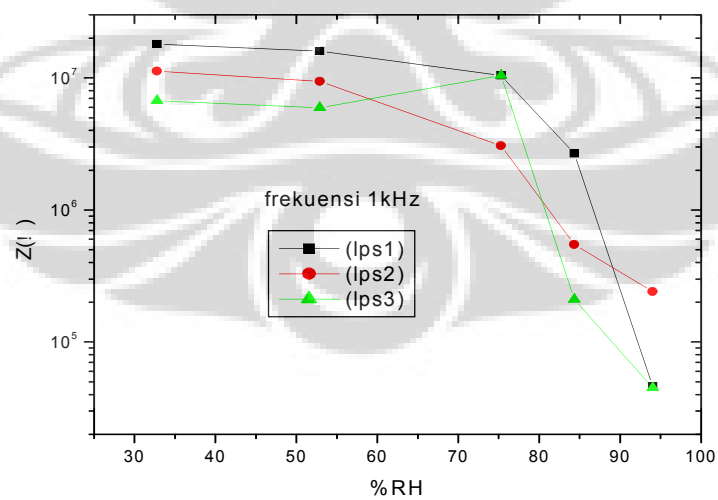
Gambar 4.18 Pengaruh perubahan RH terhadap impedansi material sensitif PVA-MDA 0,20g untuk berbagai frekuensi .

#### 4.4.5 Pengaruh tebal lapisan material sensitif PVA-MDA

Lapisan ketebalan film material sensitif juga diteliti, hal ini dilakukan untuk melihat sejauh mana ketebalan mempengaruhi sifat sensing dan sifat listrik pada film material sensitif PVA – MDA, untuk berbagai kelembaban relative ( RH ) pada frekuensi 1 kHz. Hasil karakterisasi untuk film PVA diberikan pada gambar 4.19 terlihat bahwa pada RH tinggi terjadi penurunan impedansi yang paling signifikan terjadi pada film dengan ketebalan tiga lapis dibandingkan dengan film satu atau dua lapis. Hal ini dikarenakan pada pelapisan ketiga, film material sensitif lebih merata atau homogen. Sedangkan untuk film PVA-MDA yang terlihat pada gambar 4.20 dengan adanya penambahan cross-linker MDA sebesar 0,03g, pada RH tinggi terjadi penurunan impedansi yang sama kecuali pada film dua lapis penurunan impedansinya lebih kecil.

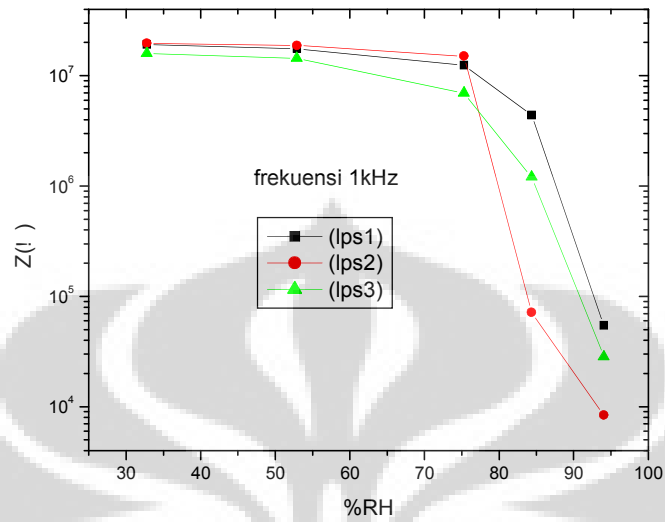


Gambar 4.19 Pengaruh tebal lapisan material sensitif PVA-MDA 0,03g untuk berbagai RH.

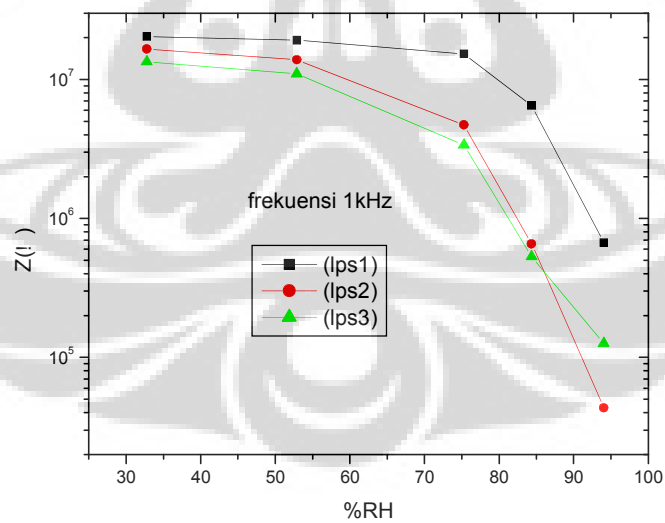


Gambar 4.20 Pengaruh tebal lapisan material sensitif PVA-MDA 0,05g untuk berbagai RH



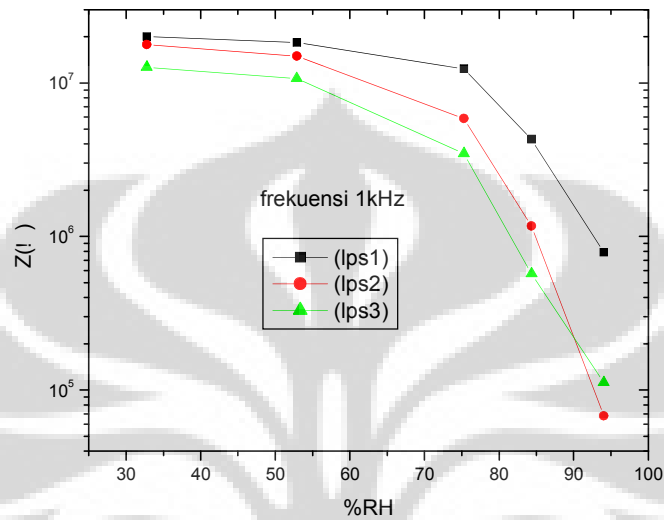


Gambar 4.21 Pengaruh tebal lapisan material sensitif PVA-MDA 0,10guntuk berbagai RH

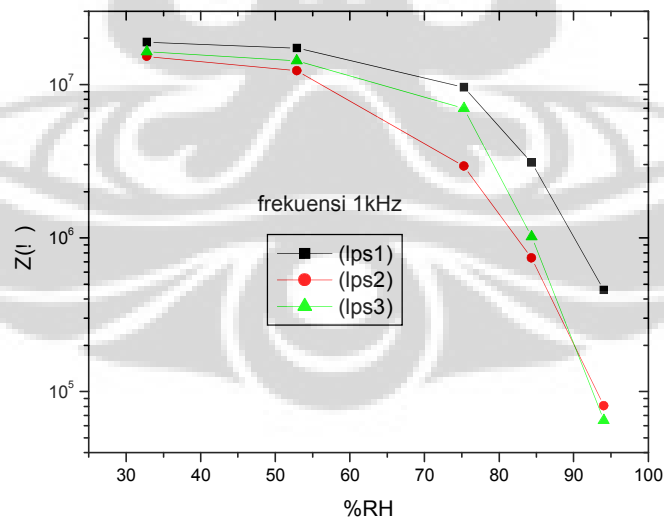


Gambar 4.22 Pengaruh tebal lapisan material sensitif PVA-MDA untuk berbagai RH .

Penurunan impedansi terbesar untuk film PVA-MDA 0,03g dan PVA-MDA 0,05g terjadi pada film dengan ketebalan film 2 lapis seperti pada gambar 4.21 dan 4.22



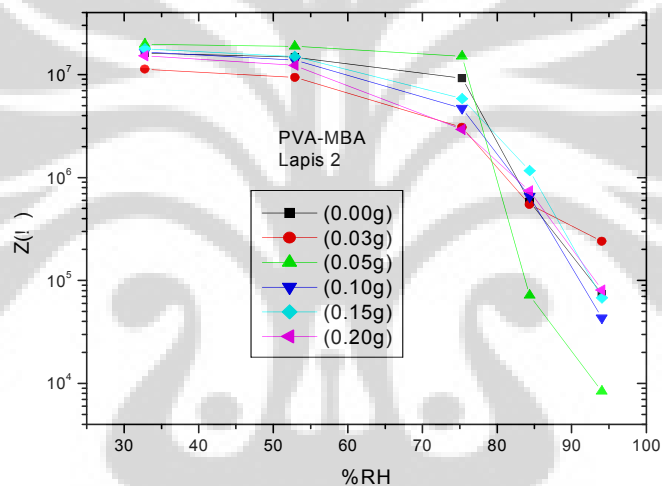
Gambar 4.23 Pengaruh tebal lapisan material sensitif PVA-MDA 0,15g untuk berbagai RH



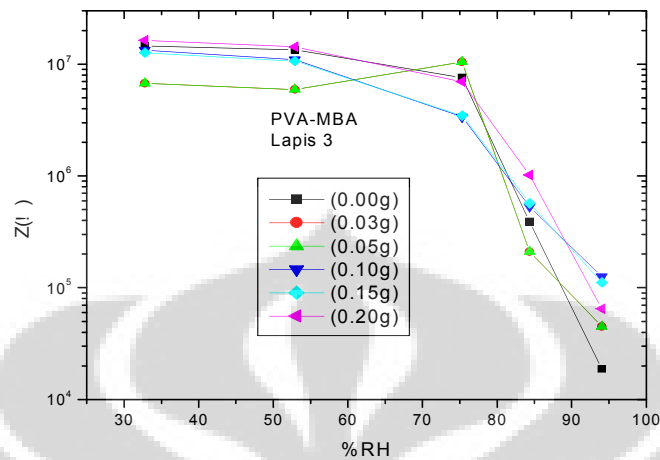
Gambar 4.24 Pengaruh tebal lapisan material sensitif PVA-MDA 0,20g untuk berbagai

Penurunan impedansi terbesar untuk film PVA-MDA 0,15g terjadi pada film dengan ketebalan film 2 lapis sedangkan untuk film PVA-MDA 0,20g terjadi pada film 3 lapis seperti pada gambar 4.23 dan 4.24. Pengaruh ketebalan pada masing – masing film PVA – MDA lapis satu, dua dan tiga berbeda-beda tapi secara umum tidak terlalu signifikan .

Untuk melihat pengaruh massa konsentrasi terhadap impedansi pada masing-masing film lapis 2 dan 3 diperlihatkan pada gambar 4.25 dan 4.26



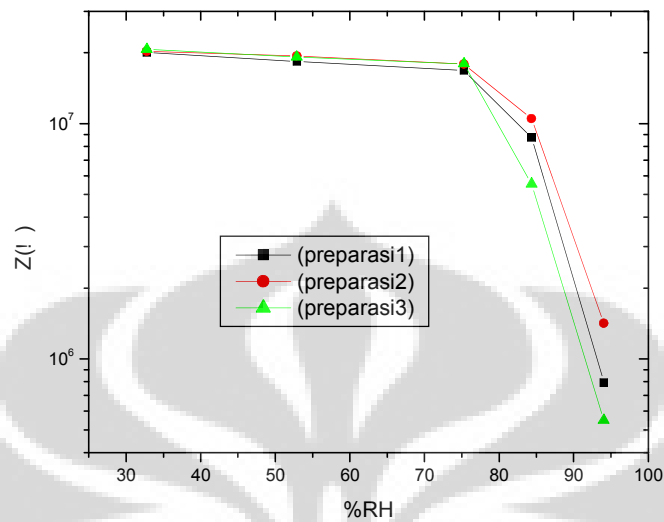
Gambar 4.25 Pengaruh konsentrasi massa pada impedansi material sensitif PVA-MDA pada berbagai kelembaban relatif pada frekuensi ukur 1kHz, untuk ketebalan 2 lapis



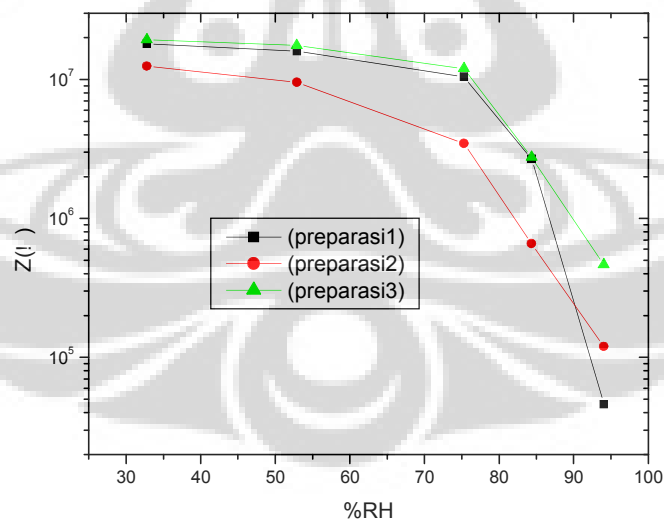
Gambar 4.26 Pengaruh konsentrasi massa pada impedansi material sensitif PVA-MDA pada berbagai kelembaban relatif pada frekuensi ukur 1kHz, untuk ketebalan 3 lapis

#### 4.5 Reprodusibilitas fabrikasi material sensitif PVA-MDA

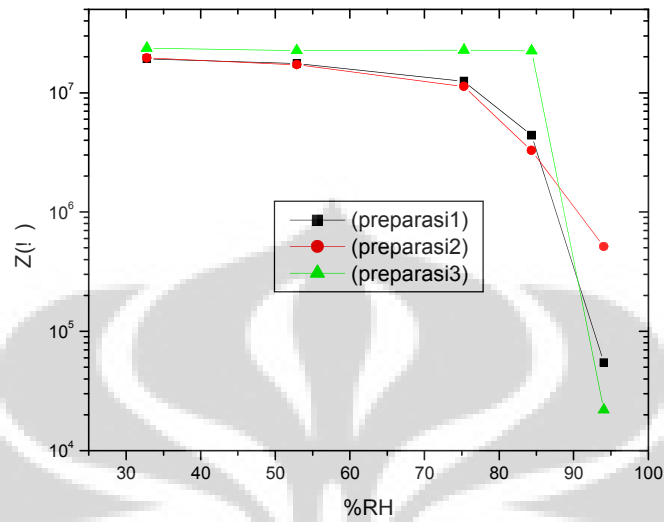
Untuk mengetahui reprodusibilitas fabrikasi dari masing-masing film, langkah yang dilakukan adalah dengan membuat duplikat masing – masing film menjadi 3 buah film. Untuk film PVA dari gambar 4.27 terlihat bahwa dari tiga buah film identik atau tidak memiliki perbedaan yang signifikan dengan kata lain dapat dikatakan bahwa reprodusibilitas film PVA baik, sedangkan untuk film PVA-MDA 0,03g yang terlihat pada gambar 4.28, film PVA-MDA 0,05g pada gambar 4.29 dan film PVA-MDA 0,15g pada gambar 4.31 mempunyai reprodusibilitas yang cukup baik jika di bandingkan dengan film PVA. Reprodusibilitas selanjutnya yaitu untuk film PVA-MDA 0,10g pada gambar 4.30 dan film PVA-MDA 0,20g pada gambar 4.32 terlihat bahwa kedua film mempunyai reprodusibilitas yang baik. Jadi dapat disimpulkan bahwa secara umum film PVA – MDA mempunyai reprodusibilitas fabrikasi yang cukup baik.



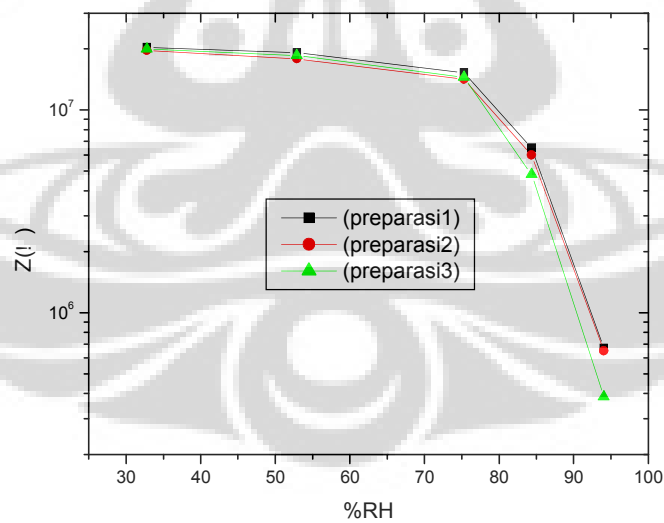
Gambar 4.27 Reproduksiabilitas fabrikasi material sensitif PVA-MDA. Diukur pada frekuensi 1kHz tanpa MDA



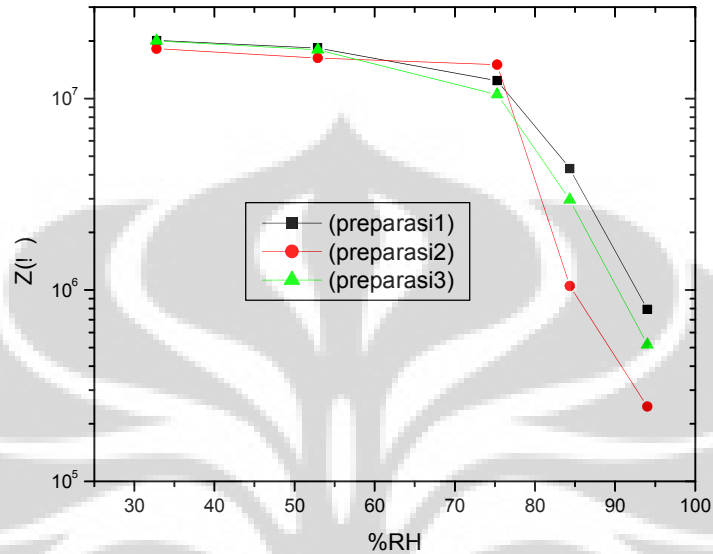
Gambar 4.28 Reproduksiabilitas fabrikasi material sensitif PVA-MDA. Diukur pada frekuensi 1kHz, massa MDA 0.03g



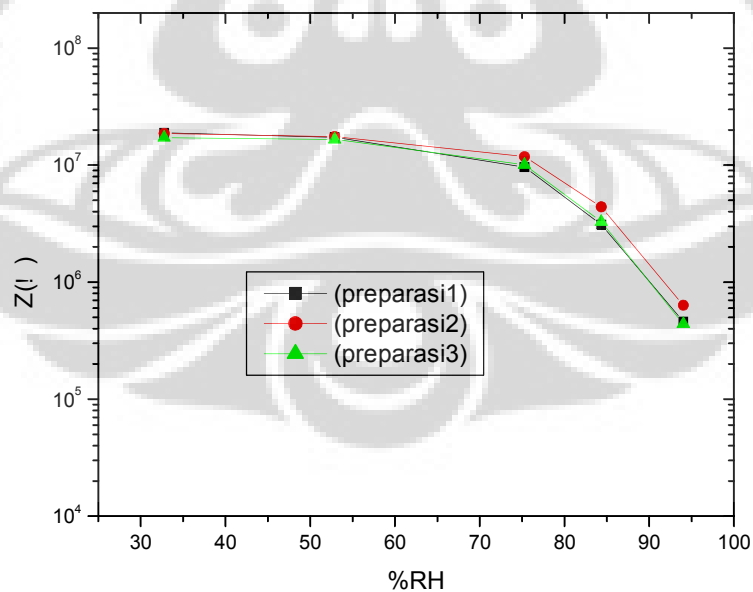
Gambar 4.29 Reproduksiabilitas fabrikasi material sensitif PVA-MDA. Diukur pada frekuensi 1kHz, massa MDA 0.05g



Gambar 4.30 Reproduksiabilitas fabrikasi material sensitif PVA-MDA. Diukur pada frekuensi 1kHz, massa MDA 0.10g )



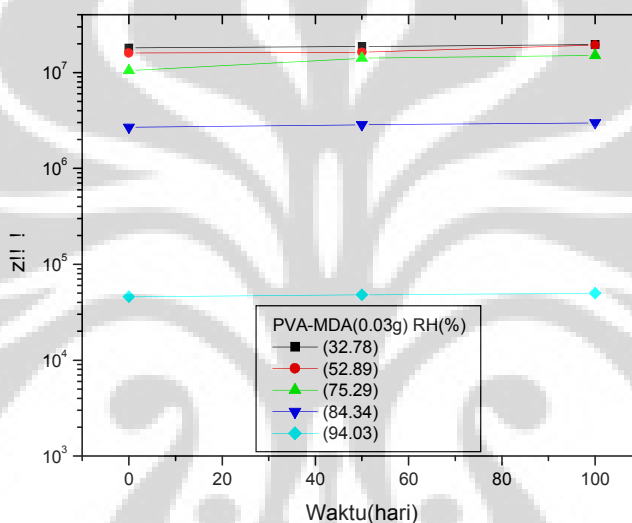
Gambar 4.31 Reproduksiabilitas fabrikasi material sensitif PVA-MDA. Diukur pada frekuensi 1kHz, massa MDA 0.15g



Gambar 4.32 Reproduksiabilitas fabrikasi material sensitif PVA-MDA. Diukur pada frekuensi 1kHz, massa MDA 0.20g

#### 4.6 Stabilitas impedansi material sensitif PVA-MDA

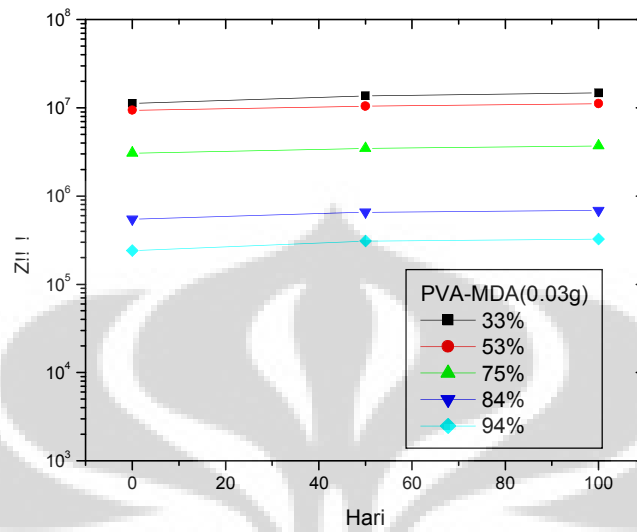
Stabilitas impedansi film diukur selama 100 hari melalui pengukuran impedansi film pada berbagai tingkat kelembaban pada frekuensi tertentu untuk ketebalan satu lapis dan dua lapis.



Gambar 4.33 Pengaruh efek penuaan film PVA-MDA 1 lapis terhadap impedansi film untuk berbagai RH pada frekuensi 1 kHz. PVA 1g, MDA 0,03g dalam 10 ml bidest.

Gambar 4.33 menunjukkan hubungan antara umur film PVA-MDA dengan konsentrasi MDA 0,03g selama 100 hari terhadap impedansi film untuk berbagai RH pada frekuensi 1kHz. Pada gambar tersebut terlihat bahwa pada kondisi RH rendah 33% sampai dengan RH tinggi 94% nilai impedansi film hanya sedikit mengalami perubahan atau masih dalam satu orde. Jadi untuk film satu lapis dengan penambahan MDA 0,03g selama 100 hari masih dalam keadaan stabil. Demikian juga untuk film dengan ketebalan dua lapis pada gambar 4.34 setelah umur film 100 hari impedansi masih dalam keadaan stabil.





Gambar 4.34 Pengaruh efek penuaan film PVA-MDA 2 lapis terhadap impedansi film untuk berbagai RH pada frekuensi 1 kHz. PVA 1g, MDA 0,03g dalam 10 ml bidest

## 5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan dalam penelitian ini maka dapat disimpulkan bahwa :

1. Penambahan MDA menyebabkan berkurangnya tingkat swelling menurun dan meningkatnya fraksi gel serta menurunnya kekuatan tarik film tetapi tidak menyebabkan perubahan struktur film yang signifikan.
2. Sensitifitas film terhadap kelembaban. Secara umum sensitifitas film PVA-MDA terbaik terjadi pada frekuensi 1 kHz dan pada RH 53% sampai dengan 94%. Pada film PVA-MDA tingkat sensitifitas yang paling baik terjadi pada film dengan penambahan konsentrasi MDA 0,03g dan 0,05g.
3. Secara umum pada film PVA-MDA ketebalan mempengaruhi konduktivitas film meskipun tidak terlalu signifikan. Ketika film semakin tebal impedansinya semakin rendah.
4. Film PVA-MDA memiliki reproduksibilitas yang lebih baik dibandingkan film PVA pada komposisi PVA 1,0 g – MDA 0,10g .
5. Berdasarkan hasil pengukuran ulang impedansi film selama 100 hari, terlihat bahwa untuk film lapis satu dan dua mempunyai kestabilan yang baik.
6. Perbaikan sifat sensitif film PVA karena penambahan MDA kurang signifikan hal ini terjadi karena MDA hanya berfungsi sebagai *crosslinker*.

**DAFTAR REFERENSI**

- [1] Humidity & Temperatur Sensmitter. Aplication Note Introduction to Relative Humidity. <http://www.sensirion.com>
- [2] Nurlaila, Imawan Cuk, Sabarinah S, Yanti, Sensor Kelembaban Relatif berbasis Film Polyvinyl Alcohol, Departemen Fisika FMIPA UI, Depok, 2005.
- [3] Cuk Imawan, Afdhal M., Film Polivinil Alkohol yang Didoping dengan NaCl sebagai Sensor Kelembaban Relatif, Prosiding Kentingan Physics Forum 3th, 24 September 2005.
- [4] Wulandari Dena, Imawan Cuk, Sabarinah S, Yanti., Preparasi dan Karakterisasi Film Komposit PVA-TiO<sub>2</sub> sebagai Sensor RH, 2005.
- [5] Roveti, K. Denes , Choosing a Humidity Sensor, a Review of Three Technologies, Ohmic Instruments Co., 2001.
- [6] Sakai Y., Sadaoka Y., Matsuguchi M., Humidity Sensors Based on Polymer Thin Films, Sensors & Actuators B, 35-36, 1996, 85-90
- [7] Goepel W. (Editor), Sensor, a comprehensive survey, Vol. 3 Chemical and Biomchemical sensors part II, VCH, Weinheim, Germany, 1992
- [8] Lecture 4, Electrophoresis. <http://courses.utexas.edu/aechive/Fall2000/lectures>.
- [9] Van Vlack, LH. Elemen-elemen Ilmu dan Rekayasa Material, edisi keenam, Erlangga, Jakarta, 2001
- [10] Callister, W D, Material Science and Engineering, Fourt edition, John Wiley & Sons, Inc, New York, 1997
- [11] Yang Mu-Rong, Chen Ko-Sao, Humidity Sensors Using Polyvinil Alcohol Mixed with Electrolytes, Sensors & Actuaors B, 49, 1998, 240-247.
- [12] Sakai Y., Sadaoka Y., Matsuguchi M., Sakai H, Humidity Sensors durable at high humidity using simultaneously crosslinked and quaterized poly(chloromethyl styrene), Sensors & Actuators B, 1995, 689-691

- [13] Ossipov DimitriA., Hiborn John, Poly(Vinyl Alcohol) Hydrogels by Click Chemistry, Proceeding of the 8<sup>th</sup> of Advanced Tecnologies International Symposium, Budapest, Hungary, 13-16 September 2005
- [14] Sakai Y., Sadaoka Y., Matsuguchi M., Sakai H, Kuroiwa T, Shinmoto M., Effect of the degree of cross-linking on the characteristics of a PVCA capacitive-type humidity sensor, *Sensors & Actuators B* 34,1996, 349-355
- [15] Cordos Emil, Levi Andrei, Prodan Nicolae, Bodea Olimpiu, Roman Cecilia, Manoviciu Ionel, A capacitive-type humidity sensor using crosslinked poly(methyl methacrylate-co-(2 hydroxypropyl)-methacrylate), *Sensors & Actuators B* 24-25,1995, 710-713
- [16] Denton Denice D., Bajikar S., Tobin Jeffrey A., Raltson Andrew R.K., Comparative performance of linear, cross-linked, and plasma-deposited PMMA capacitive humidity sensors, *Sensors and Actuator B* 22, 1994, 139-147
- [17] Sakai Y., Sadaoka Y., Matsuguchi M., Ito A, Kuroiwa T, A capacitive-type humidity sensor using cross-linked poly(methyl metacrylate) thin films, *J. Electrchem.soc.*, Vol. 138, No. 6, June 1991
- [18] Budiwanti Sri, Perbaikan sifat sensitif kelembaban dari film PVA-Elektrolit dengan Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> sebagai modifikator, Tesis Pscasarjana UI, 2007.
- [19] Cowd M. A., Kimia Polimer, ITB, Bandung, 1991
- [20] Chen Zhi, luChi, Humidity sensor : A Review of Material and Mechanism, *Sensor Letter*, vol 3, 2005, 274-295
- [21] Yan Hongyuan, Row Ho Kyung, Characteristic and Synthetic Approach of Molecularly Imprinted Polymer, *Int.J. Mol. Sci.* 2006,7, 155 - 178
- [22] Saxena, S.K. Polyvinyl Alcohol (PVA), Chemical and Technical Assessment (CTA), 61 st JECFA, FAO, 2004
- [23] Paranhos Caio Marcio, Oliviera Renata Nunes, Soares Bluma Guenther, Pessan Luiz Antonio, Poly(vinyl alcohol)/sulfonated Polyester Hydrogels Produced by Freezing and Thawing Technique : Preparation and Characterization, *Mareial Research* Vol. 10, No. 1, 43 – 46, 2007
- [24] Katz David A., Polyvinyl Alcohol Slime, Permission for classroom use and education related activities, 2005

[25] Wikipedia, Grotthuss Mechanism, 2 hlm.  
<http://en.wikipedia.org/wiki/grotthussmechanism>, 6 Oktober 2006

