

Sensor Kelembaban Relatif Resistif Berbasis Film Polivinil Alkohol

Nurlaila^{*)}, Cuk Imawan^{*)}, Yanti Sabarinah S.^{**)}

^{*)}Smart Systems Technology (SST), Dept. Fisika - FMIPA - Universitas Indonesia, Depok

^{**)}Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Isotop dan Radiasi (P3TIR)-BATAN

imawan@fisika.ui.ac.id

Abstrak

Telah dikembangkan sensor kelembaban relatif tipe resistif dengan film polivinil alkohol (PVA). Pelapisan film dilakukan dengan cara *dip-coating* pada substrat berstruktur elektroda dari film Cu-Ag. Pengaruh komposisi film, konsentrasi PVA, efek jarak elektroda dan frekuensi triger terhadap sifat sensing RH telah diukur dan didiskusikan. Sensitivitas film diperoleh meningkat dengan penambahan komponen NaCl. Penambahan APS pada film menunjukkan efek kecenderungan penurunan impedansi dan peningkatan kestabilan struktur film. Konsentrasi PVA sekitar 7% (= 1g) memberikan komposisi optimum bagi film. Frekuensi operasi sensor untuk menghasilkan sensitivitas yang optimum diperoleh sekitar 1kHz.

Kata kunci: Polivinil alkohol (PVA), sensor RH, *dip-coating*, NaCl

1. PENDAHULUAN

Penggunaan material polimer sebagai sensor akhir-akhir ini menunjukkan peningkatan [1,2]. Disamping proses preparasi dan fabrikasinya yang relatif sederhana polimer memberikan harapan terciptanya suatu sensor yang murah. Beberapa sensor kelembaban telah pula menggunakan material sensitif berbasis polimer [3-6]. Kelambatan pemanfaatan polimer sebagai sensor kelembaban disebabkan karena kestabilannya yang masih rendah. Sakai dkk. telah mencoba meningkatkan kestabilan polimer dengan menggunakan metode graft copolymers sebagai bahan film sensitifnya [7].

Penggunaan polimer hidrofilik seperti PVA sebagai material sensitif terhadap RH telah dicoba diteliti [8,9]. Untuk menurunkan resistansinya beberapa elektrolit dicoba digunakan sebagai doping. Mu-Rong dkk [8] telah mencoba meningkatkan kestabilan PVA melalui ikatan silang dengan menggunakan plasma. Metode pengikatan silang secara kimiawi telah pula dilakukan [10].

Pada paper ini dilaporkan hasil penelitian pemanfaatan film PVA sebagai material sensitif bagi sensor RH. Tujuan dari riset ini adalah untuk mendapatkan metode preparasi dan fabrikasi film yang optimal bagi PVA sehingga nantinya dapat dimanfaatkan lebih lanjut sebagai basis material untuk pengembangan sensor RH.

2. EKSPERIMEN

2.1 Preparasi dan Fabrikasi Modul Sensor RH

Bahan-bahan kimia yang dipergunakan untuk preparasi film yaitu polivinil alkohol (PVA), ammonium perokdisulfat (APS) dan sodium klorida (NaCl) diperoleh dari produk MERCK. Langkah preparasi larutan untuk film secara skematis ditampilkan dalam diagram alir pada gambar 1. PVA dan air demineral yang telah diukur massa dan volumenya dicampurkan dan diaduk hingga melarut kemudian didiamkan selama 24 jam agar PVA-nya *swelling*. Campuran ini kemudian dipanaskan pada temperatur 70 °C selama 12 jam agar diperoleh larutan yang homogen. Penambahan NaCl dilakukan dengan cara melarutkan terlebih dahulu NaCl ke air demineral, kemudian baru dicampurkan ke larutan PVA dan diaduk sampai tercampur homogen. Sebelum dilapiskan ke substrat modul sensor larutan diberi APS yang digunakan sebagai triger untuk reaksi pengikatan silang (*cross-linking*) pada PVA. Komposisi film yang digunakan dalam penelitian ini didaftar pada tabel 1.

Deposisi film pada modul sensor menggunakan metode pencelupan (*dip-coating*). Modul sensor terbuat dari substrat PCB (14 mm x 11 mm x 1 mm) dengan struktur elektroda dari film Cu-Ag. Elektroda yang dipilih berbentuk garis dengan empat jarak antar elektroda yang berbeda (0,25; 0,50; 0,75 dan 1,50

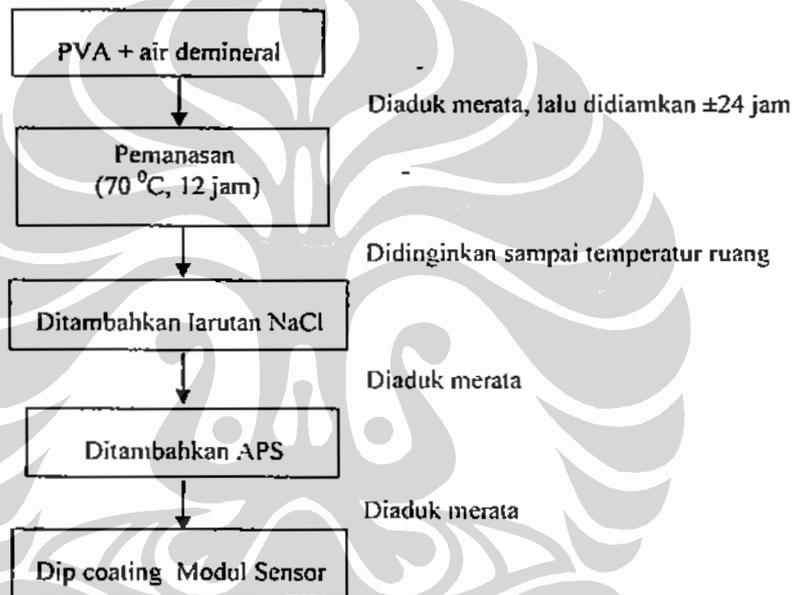
mm). Struktur elektroda ini dirancang sekaligus sebagai bagian untuk meneliti pengaruh jarak elektroda terhadap impedansi dari film. Modul sensor dengan struktur elektrodanya diperlihatkan secara diagram pada gambar 2.

2.2 Karakterisasi dan Kalibrasi

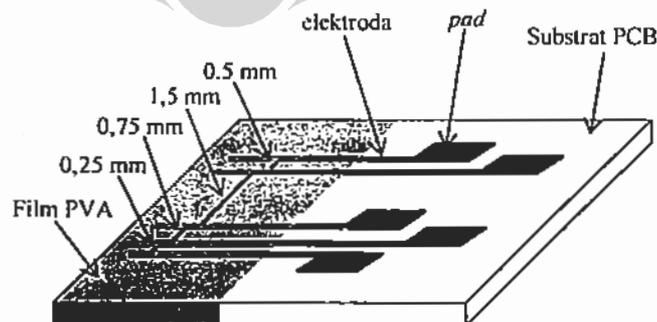
Modul sensor RH dikarakterisasi listrik dengan menggunakan alat RCL meter *Fluke PM6306*. Karakterisasi ini ditujukan untuk meneliti impedansi sensor sebagai fungsi dari tegangan, frekuensi, jarak elektroda dan ekivalensi rangkaian listriknya. Tegangan triger yang digunakan antara 1 – 2 volt,

dengan frekuensi 1k, 10k, 100k dan 1Mohm. Hasil karakterisasi ini dimanfaatkan untuk mempelajari sifat-sifat listrik dari film PVA dan modul sensor RH.

Kalibrasi sensor RH dilakukan dengan mendisain chamber kalibrasi yang diberi larutan garam jenuh yang sudah diketahui keadaan kelembabannya. Chamber ini dapat mengkalibrasi sensor sebanyak 5 modul dan dijaga pada kondisi temperatur konstan 25°C. Garam-garam yang digunakan untuk kalibrasi adalah *magnesium chloride* (RH: 32,78), *magnesium nitrate* (RH: 52,89), *sodium chloride* (RH: 75,291), *potassium chloride* (RH: 84,34) dan *potassium nitrate* (RH: 93,58).



Gambar 1. Diagram langkah preparasi film PVA untuk sensor RH.



Gambar 2. Modul sensor RH dengan elektroda garis. Pendeposisian film PVA-NaCl dilakukan dengan metode dip-coating.

Tabel 1. Komposisi larutan bahan film sensor RH.

Sensor	Air demineral (ml)	PVA		NaCl		APS	
		(%) ^{*1}	(g)	(%) ^{*1}	(g)	(%) ^{*1}	(g)
1	14	3,6	0,50	0,6	0,08	-	-
2	14	5,4	0,75	0,6	0,08	-	-
3	14	7,1	1,00	0,6	0,08	-	-
4	14	8,9	1,25	0,6	0,08	-	-
5	14	14,3	2,00	0,6	0,08	-	-
6	14	3,6	0,50	0,6	0,08	0,1	0,02
7	14	5,4	0,75	0,6	0,08	0,1	0,02
8	14	7,1	1,00	0,6	0,08	0,1	0,02
9	14	8,9	1,25	0,6	0,08	0,1	0,02
10	14	14,3	2,00	0,6	0,08	0,1	0,02

*1% terhadap air demineral

3. HASIL DAN DISKUSI

3.1 Pengaruh Komposisi Film

Riset pendahuluan dilakukan untuk mempelajari respon sensor RH terhadap komposisi film. Hasil karakterisasi pengamatan ini ditunjukkan pada gambar 3. Disini terlihat bahwa komposisi bahan film sangat mempengaruhi responnya terhadap kelembaban. Film yang hanya mengandung PVA menunjukkan impedansi yang tinggi dan tidak berespon terhadap perubahan RH dari 30% - 80%. Pada RH yang lebih besar dari 80% impedansinya baru mengalami penurunan. Efek pemberian APS tidak menunjukkan perubahan karakter dari film PVA begitu juga pada film PVA-NaCl. Respon film terhadap kelembaban terlihat dapat ditingkatkan dengan baik ketika ada penambahan komponen NaCl. Impedansi film PVA-NaCl segera berubah ketika terjadi kenaikan kelembaban. Dari RH 30% - 80% terjadi penurunan impedansi sampai 3 orde. Hasil ini menunjukkan bahwa film PVA-NaCl merupakan kandidat yang baik untuk dijadikan sebagai material sensitif bagi sensor RH.

Penurunan impedansi yang tajam pada film PVA-NaCl ini telah diamati dan dimodelkan sebelumnya [10]. Hasil pengamatan pada film ini menunjukkan bahwa PVA-NaCl tidak membentuk suatu polimer konduktor yang telah dibuktikan dengan tidak terjadinya penurunan impedansi pada keadaan

kelembaban yang rendah. Kenaikan konduktivitas dari film PVA pada RH diatas 80% diterangkan dengan peningkatan jumlah proton mobil yang semakin banyak saat PVA mengikat air. Pada film PVA-NaCl, ketika film mengikat air maka NaCl menjadi terlarut dan membentuk ion Na^+ dan Cl^- , dengan demikian terjadi penambahan konduktivitas yang berasal dari ion-ion tersebut. Semakin banyak air yang terserap pada film maka jumlah ion semakin besar, sehingga impedansi film semakin rendah. Karena mobilitas ion Na^+ lebih besar dari pada ion Cl^- , maka sumbangan konduktivitas film ketika menyerap air lebih banyak disebabkan oleh ion Na^+ .

Pada riset ini untuk selanjutnya dilakukan pengamatan pengaruh konsentrasi PVA terhadap sifat sensor RH. Semua film yang diteliti mengandung NaCl dan komposisinya seperti diberikan pada tabel 1.

3.2 Pengaruh konsentrasi PVA

Pengaruh konsentrasi PVA terhadap impedansi film yang berespon pada perubahan RH diperlihatkan pada gambar 4. Gambar 4 juga menunjukkan pengaruh keberadaan APS pada film terhadap karakteristik respon RH-nya. Hasil ini menunjukkan bahwa APS terlihat cenderung menurunkan impedansi film. Efek APS lebih terlihat pada kondisi RH yang tinggi. Gejala ini dapat dimengerti sebab fungsi APS adalah menyebabkan terjadinya ikatan silang dari PVA, dengan demikian lintasan listrik ionik pembawa

muatan menjadi cenderung lebih pendek sehingga menyebabkan impedansi film relatif lebih rendah. Kecenderungan penurunan impedansi oleh APS ditunjukkan lebih jelas pada gambar 5.

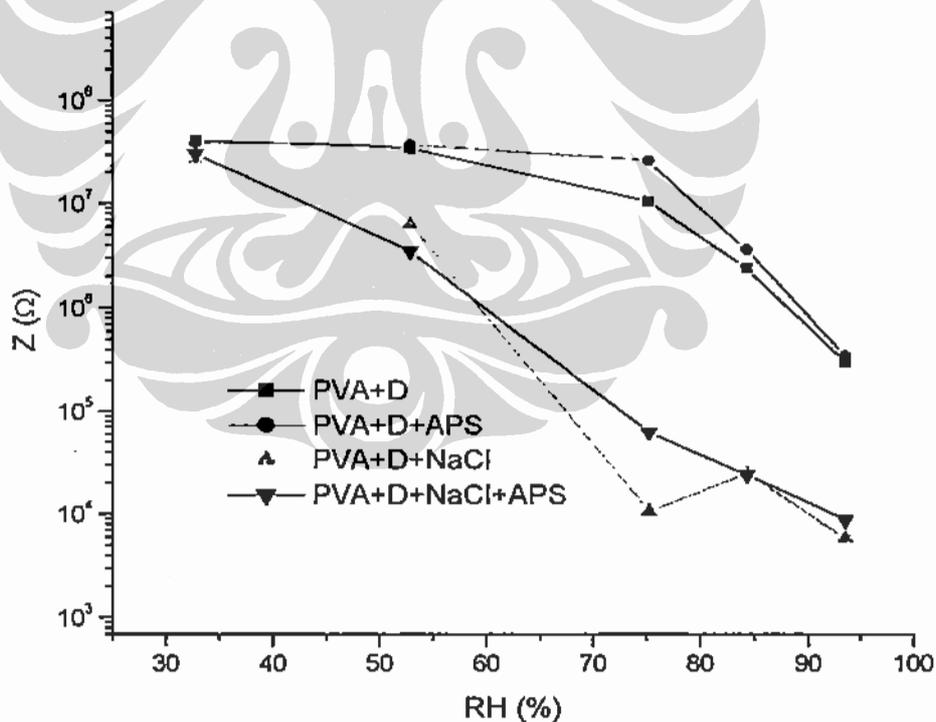
Efek konsentrasi PVA pada sifat sensing film mempunyai pola yang tidak teratur untuk film tanpa APS. Kemungkinan ini disebabkan struktur film yang kurang stabil sebab belum terjadi pengikatan silang. Pada film dengan APS terlihat adanya kecenderungan peningkatan sensitivitas terhadap RH untuk konsentrasi PVA yang semakin tinggi. Peningkatan sensitivitas terhadap RH diamati mulai terjadi pada konsentrasi 1 g. Ditinjau dari proses dip coating, larutan yang mempunyai konsentrasi PVA yang tinggi lebih sulit untuk dideposisikan sebab viskositasnya yang tinggi. Berdasarkan fakta ini dan data hasil eksperimen maka konsentrasi PVA yang optimum untuk film adalah sekitar 1 g.

3.3 Pengaruh Jarak Elektroda

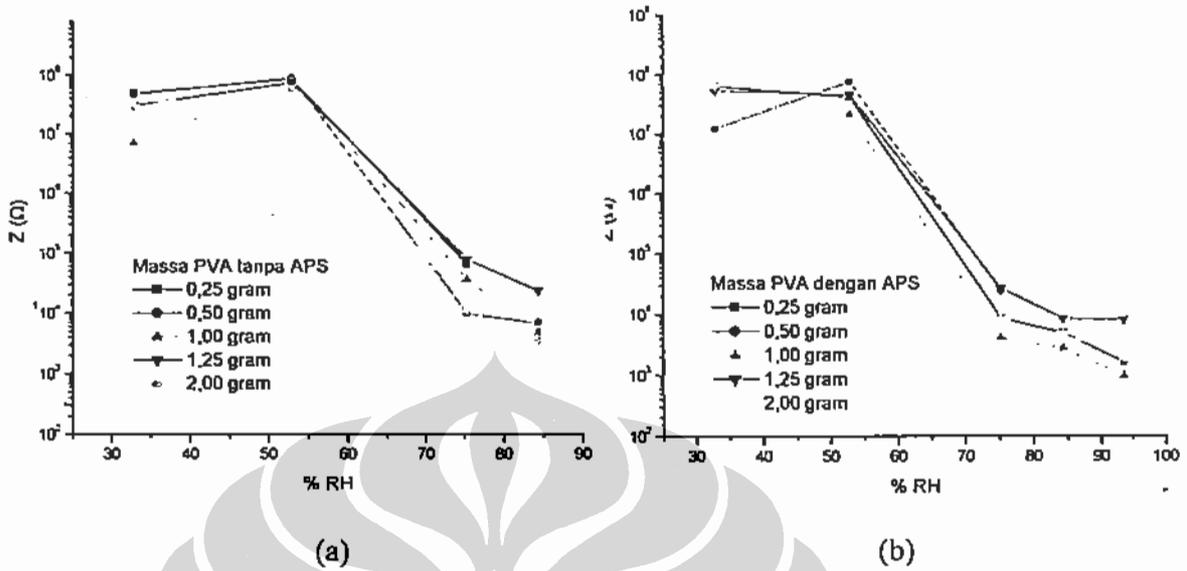
Hasil pengamatan pengaruh jarak elektroda terhadap impedansi film diperlihatkan pada gambar 6. Terlihat bahwa semakin besar jarak elektroda maka impedansi film semakin besar. Pada RH rendah impedansi film tidak terlalu sensitif terhadap jarak elektroda, tetapi pada daerah RH besar, impedansi film berubah linier terhadap perubahan jarak elektroda. Hasil ini sesuai dengan hubungan antara resistansi yang berubah linier terhadap panjang resistor,

$$R = \rho \frac{l}{A}$$

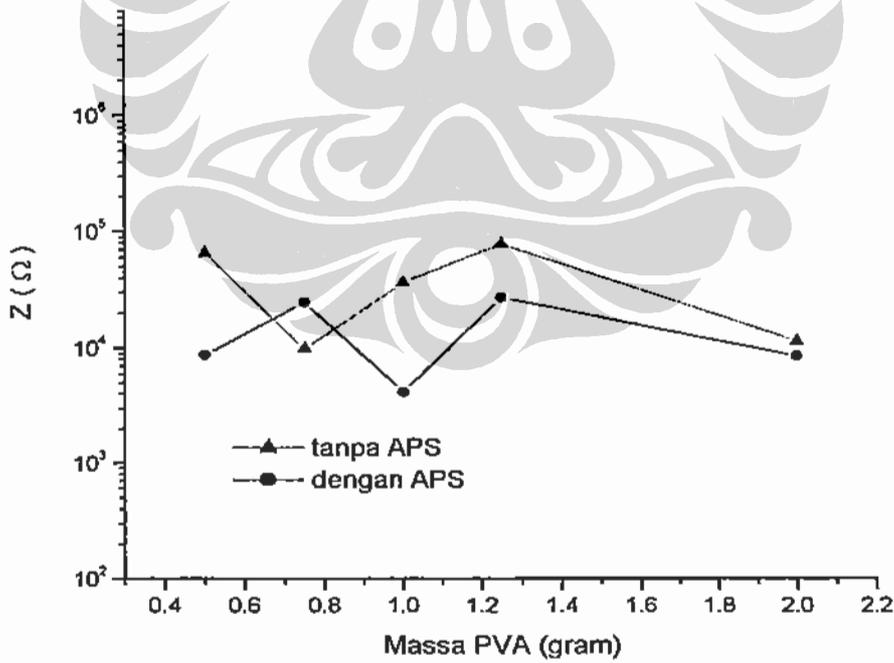
dengan R = resistansi, ρ = resistivitas, l = panjang resistor dan A = luas penampang resistor. Pengukuran efek tegangan triger terhadap impedansi film menunjukkan bahwa pada tegangan 1-2 volt, impedansi film tidak dipengaruhi oleh tegangan.



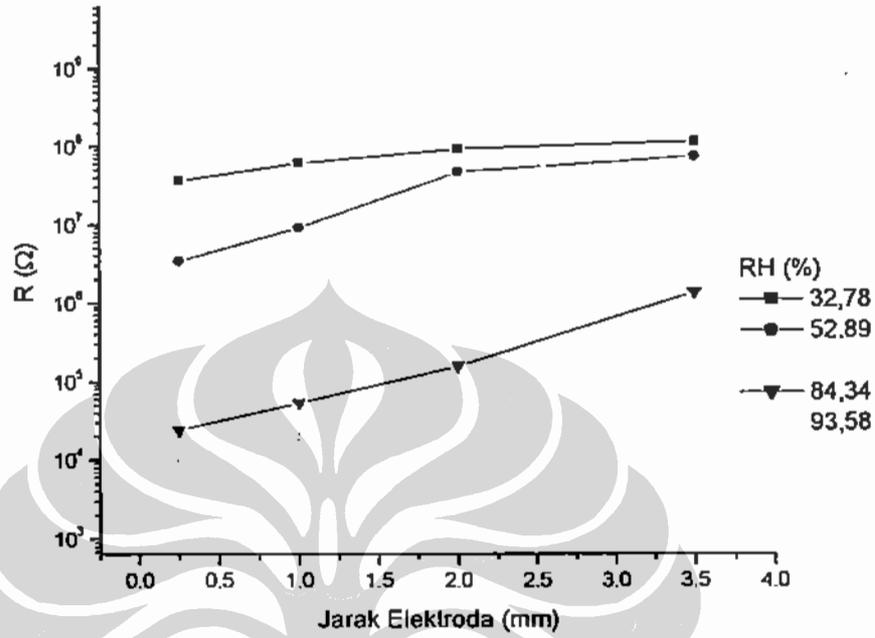
Gambar 3. Pengaruh komposisi film terhadap respon sensor pada kelembaban. Air: 10 ml, PVA: 1,00 g, NaCl: 0,08 g dan APS: 0,02 g. Sensor diukur pada frekuensi 1 kHz dan tegangan triger 1 V.



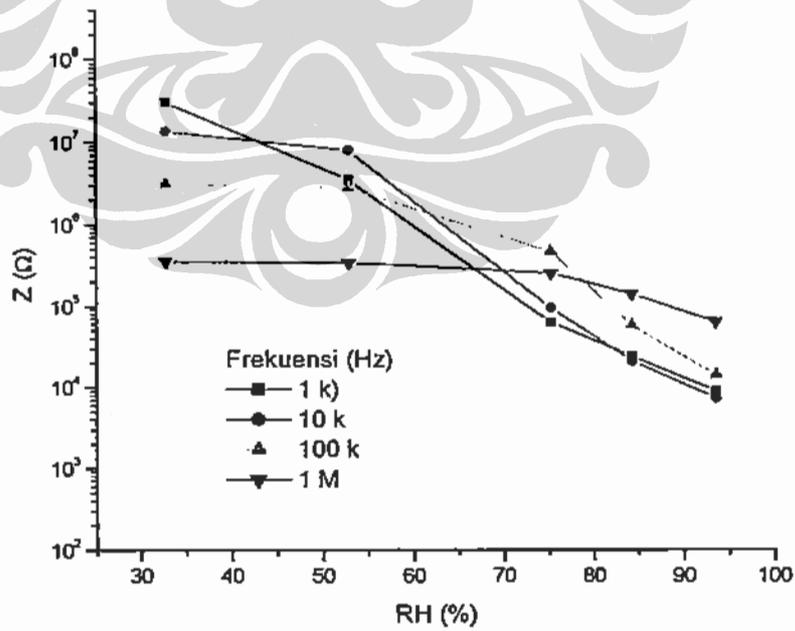
Gambar 4. Pengaruh konsentrasi PVA terhadap sifat sensing sensor RH. (a) tanpa APS (b) dengan APS. Pengukuran dilakukan pada $f = 1 \text{ kHz}$ dan tegangan triger 1 V . Komposisi sampel sesuai dengan tabel 1.



Gambar 5. Pengaruh massa PVA pada impedansi film. Diukur pada RH 75%, $f = 1 \text{ kHz}$ dan $V = 1 \text{ volt}$.



Gambar 6. Pengaruh jarak elektroda pada resistansi film (PVA = 1 g).



Gambar 7. Pengaruh frekuensi terhadap sifat sensing RH (PVA = 1g).

3.4 Pengaruh Frekuensi

Film berbasis PVA ini mempunyai resistansi yang tinggi sehingga pengukuran dengan triger tegangan dc tidak dapat dilakukan. Dengan demikian pengukuran harus dilakukan dengan tegangan ac. Konsekuensi dari metode pengukuran ini sifat sensing film dapat terpengaruh oleh frekuensi triger. Hasil pengamatan pengaruh frekuensi terhadap impedansi film ditampilkan pada gambar 7. Hasil ini menunjukkan impedansi film pada kondisi RH rendah sangat dipengaruhi oleh frekuensi. Semakin besar frekuensi triger maka impedansi film semakin kecil. Pada kondisi RH tinggi sebaliknya semakin tinggi frekuensi maka impedansi film menjadi membesar. Analisis dengan menggunakan RCL meter memberikan model rangkaian ekuivalen listrik dari film yang terdiri dari komponen R dan C yang tersusun paralel. Pada kondisi RH rendah diperoleh komponen kapasitansi C yang sensitif terhadap perubahan frekuensi, sedangkan komponen resistif R tidak terlalu sensitif berubah. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa pada kondisi ini dengan kenaikan frekuensi maka komponen reaktansi kapasitif $X_C = 1 / \omega C$ semakin mengecil dan jauh lebih kecil dari komponen R sehingga arus listrik lebih suka melewati X_C dari pada R atau dengan kata lain komponen kapasitif lebih berperan pada kondisi RH yang rendah.

Pada daerah RH yang tinggi banyak air yang terserap pada film dan digunakan NaCl untuk terionisasi sehingga menyebabkan resistansi film turun dengan drastis, maka arus akan lebih suka untuk melewati komponen resistif, dengan demikian yang berperan pada kondisi RH tinggi adalah komponen resistif. Hasil ini ditunjukkan dengan impedansi film yang tidak terlalu sensitif terhadap frekuensi.

Hasil pengukuran efek frekuensi juga menunjukkan sensor RH baik digunakan pada frekuensi operasi 1kHz. Pada frekuensi ini sensitivitas sensor teramati paling besar dibandingkan pada frekuensi operasi yang lebih tinggi.

4. KESIMPULAN

Film PVA menunjukkan sensitivitas yang baik terhadap kelembaban pada kondisi RH di atas 80%. Peningkatan sensitivitas film dapat dilakukan dengan menambahkan komponen NaCl sehingga film menjadi lebih sensitif terhadap RH pada rentang yang lebih lebar. Penambahan APS yang dapat menyebabkan

ikatan silang pada PVA menunjukkan efek kecenderungan penurunan impedansi film dan peningkatan kestabilan strukturnya. Semakin tinggi konsentrasi PVA sensitivitas film semakin besar, tetapi mempunyai konsekuensi semakin sulit untuk dideposisi di modul sensor sebab viskositas larutan yang semakin besar. Konsentrasi PVA sekitar 7% (= 1g) menunjukkan komposisi yang optimum untuk dijadikan film sensitif. Frekuensi operasi sensor untuk menghasilkan sensitivitas yang optimum diperoleh sekitar 1kHz.

DAFTAR ACUAN

- [1] Harsanyi, Gabor, *Polymer Film in Sensor Applications: a Review of Present Uses and Future Possibilities*, Sensor Review, Vol. 20, No.2, 2000.
- [2] Goepel W. (Editor), "Sensors, a comprehensive survey, Vol. 3 Chemical and Biochemical sensors part II", VCH, Weinheim, Germany, 1992.
- [3] Roveti, K. Denes, *Choosing a Humidity Sensor, a Review of Three Technologies*, Ohmic Instruments Co., 2001.
- [4] Kulwicki, B.M., *Humidity Sensor*, Journal American Ceramic Society 74 [4] (1991) 697-708.
- [5] Wang Hui, Feng Chang-Dong, Sun Shen-Liang, Segre C.U., Joseph R., "Comparison of conductometric humidity-sensing polymer", Sensors & Actuators B, 40, 1998, 211-216.
- [6] Story P.R., Galipeau D.W., Mileham R.D., "A study of low cost sensors for measuring low relative humidity", Sensors & Actuators B, 24-25, 1998, 681-685.
- [7] Sakai Y., Sadaoka Y., Matsuguchi M., "Humidity sensors based on polymer thin films", Sensors & Actuators B, 35-36, 1996, 85-90
- [8] Yang Mu-Rong, Chen Ko-Shao, "Humidity sensors using polyvinil alcohol mixed with electrolytes", Sensors & Actuators B, 49, 1998, 240-247.
- [9] C.A. Finch, *Polyvinyl Alcohol-Development*, Wiley, New York, 1992. Calibration of Humidity Sensors, [URL:http://www.smartec.nl/pdf/apphs1002.pdf](http://www.smartec.nl/pdf/apphs1002.pdf)
- [10] Cuk Imawan, Afdhal M., "Film Polivinil Alkohol yang Didoping dengan NaCl sebagai Sensor Kelembaban Relatif", Prosiding Ketingan Physics Forum 3th , 24 September 2005.