

## MAKALAH PENDAMPING : PARALEL B



**SEMINAR NASIONAL KIMIA DAN PENDIDIKAN KIMIA IV**  
"Peran Riset dan Pembelajaran Kimia dalam Peningkatan Kompetensi  
Profesional"  
Program Studi Pendidikan Kimia Jurusan PMIPA FKIP UNS  
Surakarta, 31 Maret 2012



### PEMBUATAN MEMBRAN KOMPOSIT DARI POLISTIREN TERSULFONASI DENGAN ZEOLIT ALAM PANDANSIMPING UNTUK APLIKASI SEL BAHAN BAKAR ( FUEL CELL )

**Aris Wicaksono<sup>1\*</sup>, Edi Pramono<sup>1</sup>, I.F Nurcahyo<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Kelompok Penelitian Material Organik Sub Divisi Kimia Polimer Jurusan Kimia, FMIPA, UNS, Surakarta, Indonesia

<sup>2</sup>Solid State and Catalyst Research Groups, Chemistry Department, FMIPA, UNS, Surakarta, Indonesia

\*Korespondensi: [dede\\_usil89@yahoo.co.id](mailto:dede_usil89@yahoo.co.id)

#### ABSTRAK

Telah dilakukan pembuatan membran komposit polistiren tersulfonasi/zeolit untuk aplikasi membran polimer elektrolit. Proses sulfonasi dilakukan pada polistiren (PS) untuk menghasilkan polistiren tersulfonasi (PST). Campuran PST dan zeolit dibuat membran dengan metode inversi fasa dengan memvariasikan jenis dan konsentrasi zeolit. Polimer dan membran yang dihasilkan dikarakterisasi dengan *Fourier Transform Infrared Spectroscopy*(FTIR), *Thermogravimetric Analysis*(TGA), *swelling degree*, dan kapasitas penukar kation (KPK). Hasil FTIR menunjukkan bahwa PST dan komposisinya berhasil disintesis, pada membran komposit zeolit alam (KZA) dan membran komposit zeolit sintetik (KZS) terdapat serapan gugus O=S=O dari PST dan gugus Si-O-Si dari zeolit. Hasil analisis KPK menunjukkan nilai KPK membran komposit lebih tinggi dibandingkan membran tanpa zeolit. Nilai KPK membran KZA hampir sama dengan membran KZS yaitu sebesar 1.17 mmeq/g akan tetapi KZS memiliki nilai *swelling degree* yang lebih rendah daripada KZA yaitu sebesar 15.68%. Dari hasil analisis termal menunjukkan bahwa membran komposit mengalami tiga tahap degradasi yaitu pelepasan molekul air, degradasi PEG dan rantai utama PST. Berdasarkan data karakterisasi, membran komposit berpotensi untuk diaplikasikan sebagai membran polimer elektrolit.

**Kata kunci :** polistiren tersulfonasi, zeolit, komposit, membran polimer elektrolit

#### PENDAHULUAN

Sumber energi utama yang digunakan saat ini berasal bahan bakar fosil yang tidak terbarukan dan penggunaannya dapat mencemari lingkungan. Sel bahan bakar merupakan salah satu sumber energi alternatif yang dapat diperbarui dan ramah lingkungan. Sel bahan bakar (*fuel cell*) adalah sistem elektrokimia yang memiliki elektroda dan dilengkapi oleh suatu membran khusus yang bekerja dengan mengkonversi energi kimia secara langsung menjadi energi listrik dengan efisiensi tinggi dengan emisi polutan yang rendah[1].

Sel bahan bakar yang banyak dikembangkan saat ini yaitu *Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell* (PEMFC) dan *Direct Methanol Fuel Cells* (DMFC) karena dapat menghasilkan energi tinggi pada suhu operasi relatif rendah (50-80 °C), bersih, dan ramah lingkungan [2]. Efisiensi PEMFC dapat mencapai 40-50%, suatu nilai yang jauh melampaui efisiensi mesin bakar BBM yang kurang dari 20% [3]. Aplikasi PEMFC banyak dipakai sebagai sumber energi untuk kendaraan, perumahan, dan bermacam-macam peralatan *portable*. Salah satu komponen utama dalam *Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell* (PEMFC) adalah membran polimer

elektrolit yang berfungsi sebagai sarana transportasi ion hidrogen yang dihasilkan dari reaksi di anoda menuju katoda dan sebagai pembatas antara kedua elektroda tersebut [4].

Membran polimer berbasis *perfluorosulfonic acid* (PFSA) seperti Nafion® merupakan salah satu jenis membran polimer elektrolit yang telah dikembangkan. Nafion® banyak digunakan dalam PEMFC karena sifat konduktivitas ionik yang tinggi, stabilitas kimia, serta sifat mekanik yang tinggi [4], walaupun kemampuan Nafion® untuk penghantar proton sudah cukup baik, namun adanya permeabilitas metanol yang cukup besar, harganya yang mahal, dan kinerja membran Nafion® yang menurun pada suhu diatas 80 °C membatasi pemakaiannya [4], oleh karena itu saat ini beberapa usaha pengembangan membran polimer elektrolit terus dilakukan untuk mendapatkan membran polimer dengan konduktivitas proton dan stabilitas termal maupun kimia yang tinggi serta harga yang relatif murah dibanding Nafion®. Salah satu usaha yang dilakukan adalah pemilihan polimer tersulfonasi beserta membran komposit anorganiknya [6].

Pemilihan polimer termoplastik seperti polistiren (PS) dapat digunakan sebagai pengganti material polimer ionomer perfluorinasi [7]. Material tersebut memiliki stabilitas termal yang tinggi dan juga sifat mekaniknya yang cukup baik [8]. Namun demikian modifikasi pada bahan tersebut perlu dilakukan agar menghasilkan material yang bermuatan, sehingga dapat digunakan sebagai membran polimer elektrolit. Salah satu cara modifikasi yang dapat dilakukan adalah dengan sulfonasi [7]. Sulfonasi pada polistiren akan menghasilkan polistiren tersulfonasi (PST) yang memiliki gugus sulfonat ( $\sim\text{SO}_3\text{H}$ ) pada rantainya. Namun polimer tersebut masih memiliki kelemahan yaitu sifat fisiknya yang rapuh dan kestabilan kimia maupun termalnya rendah.

Dalam aplikasi membran polimer elektrolit, penambahan oksida mampu meningkatkan sifat elektrik membran [9]. Penambahan oksida yang memiliki gugus bermuatan negatif pada strukturnya akan mampu meningkatkan kemampuan penukar kation pada membran. Salah satu oksida yang memiliki karakteristik tersebut adalah zeolit. Penambahan zeolit dalam pembuatan membran komposit terbukti mampu meningkatkan stabilitas termal dan stabilitas mekanik [10].

Pada penelitian ini dilakukan pembuatan membran komposit polistiren tersulfonasi dengan zeolit alam dari daerah Pandansimping, Klaten dan karakterisasinya untuk aplikasi membran polimer elektrolit. Selain itu juga digunakan zeolit sintetik dalam pembuatan membran komposit untuk membandingkan karakteristik dari membran yang telah dibuat.

## METODE PENELITIAN

### *Bahan*

Bahan yang digunakan adalah polistiren ( $M_w = 350.000$ ,  $M_n = 170.000$ ) (Aldrich), zeolit alam dari daerah Pandansimping Klaten, zeolit sintetik,  $\text{H}_2\text{SO}_4$  96%, anhidrida asetat, diklorometana, 2-propanol, NaOH, HCl, NaCl, akuades, poli-etilenglikol (PEG 1000) dan dimetil asetamida (DMAc) berasal dari Merck.

### *Pembuatan Asetil Sulfat*

Pembuatan asetil sulfat mengacu pada prosedur yang dilakukan sebelumnya [11]. Sebanyak 395,7 ml 1,2-diklorometana dimasukkan ke dalam erlenmeyer 100 ml yang sudah direndam es batu, ditambahkan anhidrida asetat sebanyak 76,3 ml dan diaduk. Campuran tersebut didinginkan sampai suhu di bawah 10 °C kemudian ditambahkan asam sulfat 96 % sebanyak 28 ml dan diaduk sehingga diperoleh 500 ml larutan acetyl sulfat 1 M.

### *Pembuatan Polistiren Tersulfonasi*

Sulfonasi polistiren dilakukan sesuai prosedur yang telah dipublikasi sebelumnya [7,8]. Sebanyak 20 ml 1,2-diklorometana dimasukkan dalam labu leher dua kemudian ditambahkan polistiren sebanyak 8 gram, distirer sampai semua polistiren larut dan jenuh. Setelah polistiren larut dan jenuh lalu ditambahkan asetil sulfat dari 10 ml sampai dengan 50 ml dan direfluks pada suhu 50°C selama 1 jam. Reaksi diterminasi dengan penambahan 2-propanol sebanyak 10 ml. Polistiren tersulfonasi (PST) diisolasi dengan meneteskan larutan PST kedalam air mendidih sehingga diperoleh padatan polistiren tersulfonasi. PST dioven pada suhu 60°C selama satu malam untuk mendapatkan polistiren tersulfonasi kering.

### *Sintesis Membran Komposit*

Zeolit direndam dalam larutan DMAc selama semalam, dengan perbandingan masing-masing campuran ( DMAc : zeolit alam )

yang digunakan adalah (67:3; 65:5; 63:7) % w/w. Polistiren tersulfonasi dan PEG yang ditambahkan masing-masing dibuat tetap yaitu 20 % dan 10 % w/w dari berat total 10 gram. Pengadukan dibantu dengan stirer sampai diperoleh campuran yang homogen kemudian didiamkan selama satu malam. Setelah terbentuk campuran yang homogen, dicetak pada plat kaca dan dikeringkan pada suhu ruang.

#### Analisis Kapasitas Penukar Kation (KPK)

Polistiren tersulfonasi (PST) kering sebanyak 0,5 gram dimasukkan ke dalam gelas beker lalu ditambahkan HCl 0,1 sebanyak 50 ml, ditutup dengan aluminium foil dan dioven pada suhu 50-60°C selama satu jam. Setelah satu jam campuran tersebut disaring sehingga diperoleh ampas/padatan dan filtrat. Padatan tersebut selanjutnya direndam dengan NaCl 1M sebanyak 100 ml dan distirer selama 12 jam kemudian disaring. Filtrat yang diperoleh diambil 25 ml dan ditambahkan 3 tetes indikator PP, dititrasi dengan NaOH 0,05M sampai terjadi perubahan warna dari bening ke merah muda. Saat terjadi perubahan warna kemudian dicatat volume NaOH yang dibutuhkan. Sedangkan analisis KPK untuk membran komposit, terlebih dahulu membran dipotong dengan ukuran 2 cm x 2 cm kemudiandilakukan langkah yang sama dengan analisis PST dan dititrasi dengan NaOH 0,005 M. Rumus yang digunakan untuk menghitung KPK [5,12] adalah:

$$KPK = \frac{V_{NaOH} \times M_{NaOH}}{W_{sampel}}$$

#### Analisis Struktur

Analisis struktur membran komposit ditentukan dengan menggunakan alat spektrofotometer FTIR Prestige-21 SHIMADZU. SpektralIR komposit membran dicatat pada bilangan gelombang antara 4000 dan 400  $\text{cm}^{-1}$  dengan resolusi 4  $\text{cm}^{-1}$ . Sampel dicampurkan dengan KBr dan dibuat dalam bentuk pelet, diletakkan pada pemegang sampel dan dianalisis.

#### Swelling degree

Membrandengan ukuran 2 cm x2cm dioven pada suhu 50-60°C selama 12 jam dan ditimbang berat keringnya. Kemudian direndam dengan aquades selama 24 jam dan ditimbang berat basahya. Dihitung swelling-nya [7,13] dengan rumus :

*swelling degree*

$$= \frac{W_{\text{basah}} - W_{\text{kering}}}{W_{\text{kering}}} \times 100\%$$

#### Analisis Termal

Stabilitas termal membran komposit dan membran PST dianalisis menggunakan alat *thermogravimetric analysis* (TGA) Linseis STA PT-1600. Pemanasan dilakukan pada suhu 30-700 °C dengan kecepatan pemanasan 20 °C per menit pada atmosfer ruang.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

#### Analisis Gugus Fungsi

PST hasil sintesis dikarakterisasi dengan spektroskopi FTIR untuk menentukan gugus-gugus fungsional yang ada sekaligus memastikan bahwa produk sulfonasi telah terbentuk. Pada penelitian ini digunakan 2 jenis zeolityaitu zeolit sintetis (ZS) dan zeolit alam (ZA). Komposit yang dihasilkan ada 2 jenis yaitu komposit zeolit sintetis (KZS) dan komposit zeolit alam (KZA). Hasil analisis spektra IR polistiren (PS), zeolitdan kompositnya ditunjukkan pada gambar 1.

Dari spektra IR PS, zeolit dan komposit menunjukkan bahwa PS berhasil disulfonasi yang ditunjukkan oleh adanya serapan gugus sulfonat pada PST pada daerah 1055,05 - 1124,5  $\text{cm}^{-1}$ , dimana pada penelitian sebelumnya serapan gugus sulfonat pada PST terdapat sebagai pita lebar pada daerah 1100 - 1350  $\text{cm}^{-1}$ [8]. Pada membran komposit baik KZA maupun KZS terdapat serapan dari gugus sulfonat yaitu pada range bilangan gelombang 1124,5 - 1180,44  $\text{cm}^{-1}$ . Berdasarkan data tersebutjuga menunjukkan bahwa pada komposit KZS dan KZA terdapat vibrasi ulur Si-O-Si dari zeolit pada bilangan gelombang 1089,78dan 1047,35  $\text{cm}^{-1}$ . Pita serapan pada 785,01 - 794,67 $\text{cm}^{-1}$ menunjukkan adanya vibrasi tekuk Si-Opada kerangka zeolit. Serapan bilangan gelombang 457,13 - 464,84 $\text{cm}^{-1}$ merupakan vibrasi tekuk Si-O-Si.Dari data ini dapat dipastikan bahwa membran komposit memiliki karakteristik serapan dari material penyusunnya.

#### Analisis Kapasitas Penukar Kation dan Kelarutan

Gambar 2 menunjukkan bahwa semakin banyak jumlah agen sulfonasi yang ditambahkan maka rendemennya akan turun dan nilai KPKnya akan naik, hal ini disebabkan adanya gugus  $\sim\text{SO}_3\text{H}$

menyebabkan polistiren tersulfonasi mudah melepaskan ion  $H^+$ . Semakin besar jumlah agen sulfonasi yang ditambahkan maka gugus  $\sim SO_3H$  semakin banyak sehingga  $H^+$  yang dilepaskan oleh PST juga akan semakin besar, hal ini akan meningkatkan sifat KPKnya. Penambahan agen sulfonasi berlebih ternyata juga meningkatkan kelarutan polimer dalam air, oleh karena itu rendemen yang diperoleh semakin berkurang [8]. Berdasarkan data tersebut dipilih PST dengan penambahan agen sulfonasi 30 ml (PST 30) untuk pembuatan membran komposit karena nilai KPK dan rendemennya tinggi.

#### *Analisis KPK dan Swelling Degree Membran Komposit*

Kemampuan membran dalam menyerap air menentukan kinerjanya sebagai membran polimer elektrolit dalam sel bahan bakar [4]. Kemampuan penyerapan air pada membran PST dan membran komposit PST/zeolit ditentukan oleh banyaknya gugus hidrofil pada membran dan daya ikat antar rantai pada membran. Membran komposit PST/zeolit memiliki gugus hidrofil yang bersumber dari gugus  $\sim SO_3H$  dan PEG. Adanya gugus hidrofil tersebut mengakibatkan kemudahan penyerapan air oleh membran sehingga transpor proton akan semakin baik, tetapi jika nilai *swelling* air pada membran terlalu besar akan menimbulkan *fuel cross over* dan menyebabkan kerapuhan pada membran. Hubungan KPK dan *swelling* membran komposit ditunjukkan pada gambar 3 dan gambar 4.

Analisis nilai KPK zeolit menunjukkan bahwa zeolit sintetik (ZS) memiliki nilai KPK yang lebih tinggi daripada zeolit alam (ZA), sedangkan membran komposit dengan penambahan zeolit memiliki nilai KPK yang lebih tinggi dibandingkan membran PST/PEG. Hal ini membuktikan bahwa zeolit mampu meningkatkan sifat kapasitas ionik dalam membran, karena zeolit mengandung gugus OH yang menyebabkan membran lebih bersifat hidrofil sehingga transpor proton dalam membran juga akan semakin meningkat. Pada KZS maupun KZA, penambahan zeolit mampu meningkatkan nilai KPK, karena gugus OH dalam membran semakin banyak dan makin bersifat hidrofil. Nilai KPK tertinggi ditunjukkan pada penambahan komposisi zeolit 5% w/w, akan tetapi pada penambahan komposisi 7% w/w baik pada ZA maupun ZS memiliki nilai KPK lebih

rendah daripada 5%. Penurunan nilai KPK kemungkinan disebabkan karena pada komposisi 7% terjadi interaksi yang berlebih antara gugus sulfonat dengan zeolit sehingga jumlah gugus sulfonat dalam membran menjadi berkurang.

Membran PST/PEG memiliki nilai *swelling degree* yang tinggi jika dibandingkan dengan membran dengan zeolit (KZS dan KZA). Penambahan zeolit sintetik (ZS) ke dalam membran mengakibatkan penurunan derajat pengembangan membran yang memberikan efek positif dalam aplikasi membran karena akan menghambat terjadinya permeasi bahan bakar melalui membran tetapi menurunnya *swelling* air juga mengakibatkan media transport untuk proton jadi berkurang sehingga dapat menyebabkan penurunan kapasitas penukar proton. Pada membran KZA menunjukkan peningkatan *swelling degree*, hal tersebut dapat dijelaskan melalui analisis morfologi. Hasil analisis pada gambar 5 menunjukkan bahwa distribusi zeolit alam pada membran kurang homogen yang menyebabkan membran kurang rapat sehingga banyak air yang terserap melalui pori-porinya, sedangkan distribusi partikel zeolit sintetik pada membran lebih homogen sehingga membran lebih rapat yang menyebabkan penyerapan air yang lebih sedikit.

Pada KZS dan KZA dengan variasi komposisi jumlah zeolit yang sama terjadi perbedaan nilai *swelling* yang signifikan, hal ini disebabkan selain distribusi partikel zeolit yang kurang homogen juga disebabkan karena membran memiliki ketebalan yang berbeda. Walaupun demikian, membran KZS yang dihasilkan memiliki derajat pengembangan kurang dari 30%, ini artinya membran tersebut dapat digunakan sebagai membran polimer elektrolit untuk sel bahan bakar. Pada penelitian sebelumnya Nafion® 117 memiliki nilai derajat pengembangan (*swelling*) sebesar 22,57% [14].

#### *Analisis Termal*

Untuk mengetahui stabilitas termal membran komposit dan polimernya, pengujian dilakukan analisis dengan TGA (*Thermogravimetric Analyzer*). Dalam penelitian ini analisis termal dilakukan pada material penyusun dan membran komposit yang dihasilkan. Hasil TGA ditunjukkan pada gambar 6. Data termogram menunjukkan terjadi perubahan masa pada rentang suhu 70-120 °C yang merupakan pelepasan molekul air. Degradasi pertama membran terjadi pada suhu 200-250 °C yang



menunjukkan degradasi PEG. Gugus sulfonat pada hilang pada suhu 300 °C [14]. Degradasi rantai utama polimer terjadi setelah suhu 465 °C [7]. Data ini juga menunjukkan bahwa stabilitas termal dari membran KZA dan KZS tidak berbeda secara signifikan dari membran tanpa zeolit (PST/PEG). Suhu awal degradasi ini masih diatas suhu operasi PEMFC. Dalam aplikasinya membran polimer elektrolit akan bekerja pada suhu 100 °C – 150 °C [4], oleh karena itu membran yang dihasilkan dari penelitian ini berpotensi diaplikasikan sebagai membran polimer elektrolit dalam sel bahan bakar.

## KESIMPULAN

Pada penelitian ini telah dibuat membran komposit dari polistiren tersulfonasi (PST) dengan zeolit melalui metode inversi fasa. Hasil FTIR menunjukkan bahwa PST dan kompositnya berhasil disintesis, pada membran komposit zeolit alam (KZA) dan membran komposit zeolit sintetik (KZS) terdapat serapan gugus sulfonat ( $\sim\text{SO}_3\text{H}$ ) dari PST dan gugus Si-O-Si dari zeolit. Hasil analisis KPK menunjukkan nilai KPK membran komposit lebih tinggi dibandingkan membran tanpa zeolit (PST/PEG). Nilai KPK membran KZA sama dengan membran KZS yaitu sebesar 1.17 mmeq/g akan tetapi KZS memiliki nilai *swelling degree* yang lebih rendah daripada KZA yaitu sebesar 15.68%. Hasil analisis termal dengan TGA menunjukkan hampir semua komposit yang dihasilkan memiliki ketahanan termal di atas 200°C. Berdasarkan data karakterisasi, membran komposit berpotensi untuk diaplikasikan sebagai membran polimer elektrolit dalam sel bahan bakar.

## UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Direktorat Penelitian dan Pengabdian Masyarakat Direktorat Jendral Pendidikan Tinggi (DITLITABMAS Ditjen Dikti) yang telah memberikan dana penelitian ini melalui Program Kreativitas Mahasiswa (PKM) dan Universitas Sebelas Maret Surakarta.

## DAFTAR RUJUKAN

[1] Steele, B.C.H and Heinzl, A. 2001. "Material for Fuel-Cell Technologies". *Nature* vol. 414, No.6861 p. 345 – 352

- [2] William, M.C. 2000. *Fuel Cell Handbook*. 5<sup>th</sup> Edition. West Virginia : US Department of Energy, p. 352
- [3] Smith, N. O. 1971. *Chemical Thermodynamics*. New York : Reinhold Publishing Corporation.
- [4] Handayani, S, Dewi, E.L, Purwanto, W.W dan Soemantojo, R.W. 2007. "Preparasi Membran Elektrolit Berbasis Poliaromatik untuk Aplikasi Sel Bahan Bakar Metanol Langsung Tinggi". *Jurnal Sains Materi Indonesia*, Vol. 8, No. 3, hal 192-197
- [5] Chen, S.L. Krishnan, L, Srinivasan, S, Benziger, J and Bocarsly, A.B. 2004. "Ion Exchange Resin/Polystyrene Sulfonate Composite Membranes for PEM Fuel Cells". *J.Membrane Sci*, 243, 327–328, 330
- [6] Li, Qingfeng, He, Ronghuan , Jensen, J.O and Bjerrum, N.J. 2003. "Approaches and Recent Development of Polymer Electrolyte Membranes for Fuel Cells Operating above 100 °C". *Chem. Mater.* 15, p. 4896-4915
- [7] Smitha, B, S.Sridhar and A.A Khan 2003. "Synthesis and characterization of proton conducting polymer membranes for fuel cells." *J. Membr. Sci.* 225: 63-76
- [8] Martins, C. R., G. Ruggeri and M. D. Paoli 2003. "Synthesis in Pilot Plant Scale and Physical Properties of Sulfonated Polystyrene." *J. Baz. Chem. Soc* 14(5): 797-802.
- [9] Kim, K. M., J. C. Kim and K. S. Ryu. 2006. "Characteristics of PVdF-HFP/TiO<sub>2</sub> Composite Electrolytes Prepared by a Phase Inversion Technique Using Dimethyl Acetamide Solvent and Water Non-Solvent." *Macromol. Mater. Eng* 291: 1495-1502
- [10] Aksoy, E.A, Akata B, Bac N, and Hasirci, N. 2006. "Preparation and Characterization of Zeolite Beta-Polyurethane Composite Membranes". *Journal of Applied Polymer Science*, Vol. 104, 3378–3387
- [11] Makowski, H. S., R. D. Lundberg and J. Bock. 1975. *Process For The*

*Sulfonation of An Elastomeric Polymer*. US. Patent. 4184988.

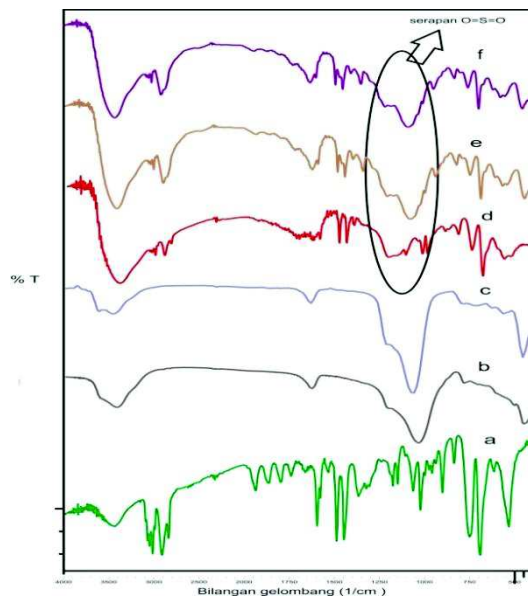
Polielektrolit. *Jurnal Nanosains & Nanoteknologi*. Vol. 2, No.1. hal 27-31.

[12] Lufrano, F, Squadrito, G, Patti, A and Passalacqua, E. 1999. "Sulfonated Polysulfon as Promising Membrane for Polymer Electrolyte Fuel Cells". *Journal of Applied Polymer Science*, Vol. 77, 1250–1257

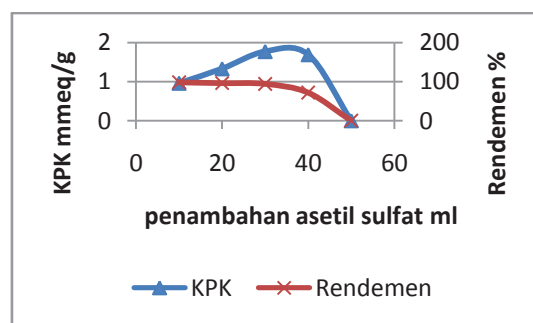
[14] Wang N, Sui Peng, Y Li, H Wang, S Liu, Y Liu. 2011."Sulfonated poly(phthalazinone ether sulfone) membrane as separator of vanadium redox flow battery". *J Solid State Electrochem* (2012).

[13] Eniya, L.D. 2009. Sintesis dan Karakteristik Nanokomposit Membran ABS Tersulfonasi sebagai Material

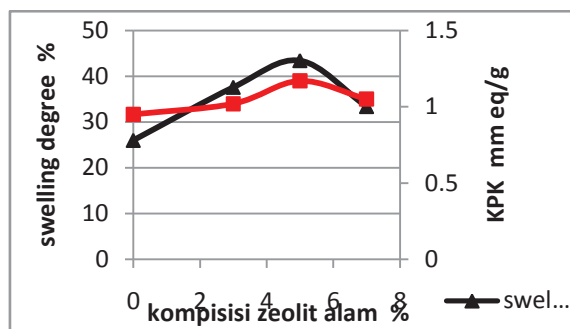
## LAMPIRAN



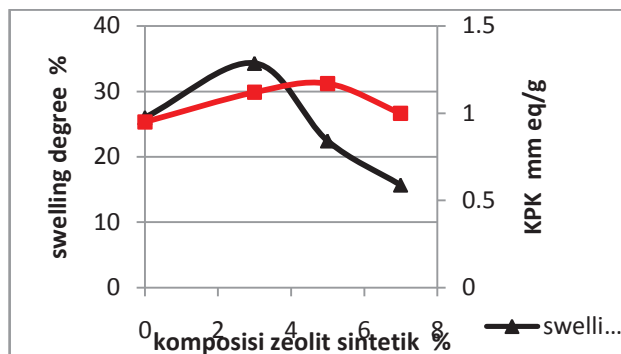
Gambar 1. Spektra IR dari (a)PS, (b) zeolit alam, (c) zeolit sintetis, (d) PST, (e) KZA dan (f) KZS



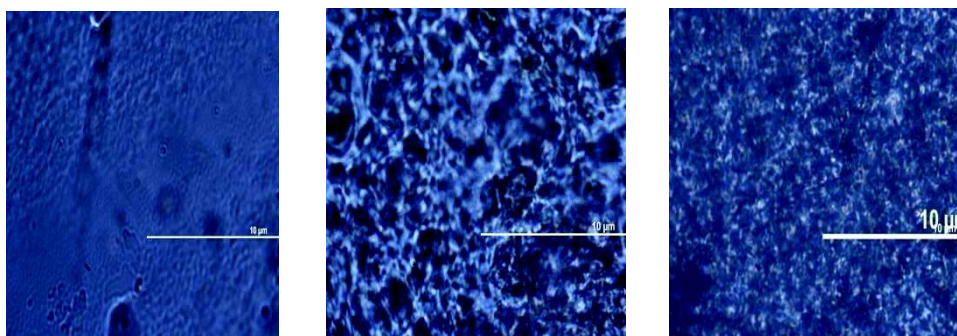
Gambar 2. Grafik hubungan komposisi sulfonat, KPK dan rendemen



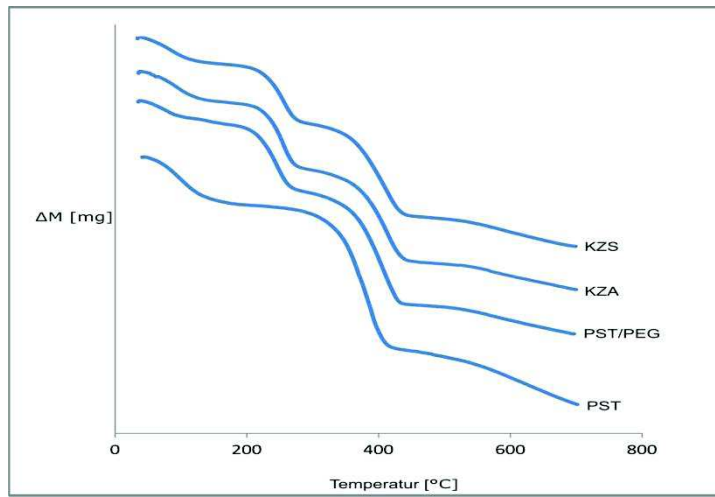
Gambar 3. Hubungan komposisi zeolit alam (ZA),KPK dan *swelling degree*



Gambar 4. Hubungan komposisi zeolit sintetik (ZS),KPK dan *swelling degree*



Gambar 5. Analisis permukaan membran dengan mikroskop optik perbesaran 1000x berturut-turut dari kiri : membran komposit PST/PEG, KZA dan KZS



Gambar 6. Termogram dari polimer dan membran komposit