

SINTESIS DAN KARAKTERISASI SODIUM-POLISTIREN SULFONAT DAN IDENTIFIKASI PENEMPELAN GUGUS SULFONAT DENGAN METODE FT-IR DAN NMR

D. Mansur dan A. Haryono

Pusat Penelitian Kimia (P2K)-LIPI

Kawasan PUSPIPTEK Serpong Tangerang Selatan, Banten 15314

e-mail: dieni.mansur@lipi.go.id, dienilipi@gmail.com

Diterima: 1 Juli 2014

Diperbaiki: 19 Agustus 2014

Disetujui: 18 September 2014

ABSTRAK

SINTESIS DAN KARAKTERISASI SODIUM-POLISTIREN SULFONAT DAN IDENTIFIKASI PENEMPELAN GUGUS SULFONAT DENGAN METODE FT-IR DAN NMR. Sodium polistiren sulfonat merupakan polimer yang banyak digunakan sebagai bahan baku dan bahan penunjang di industri kimia. Namun kebutuhan sodium polistiren sulfonat di Indonesia masih diperoleh dari impor. Oleh karena itu perlu dilakukan sintesis polimer dan karakterisasi produk yang dihasilkan untuk mengurangi impor. Sintesis sodium polistiren sulfonat dilakukan melalui proses sulfonasi menggunakan H_2SO_4 sebagai *agent* sulfonasi. Dari hasil penelitian ini, produk sodium polistiren sulfonat ada yang larut air dan ada yang tidak larut air. Produk yang larut air adalah sodium polistiren sulfonat yang diinginkan. Berdasarkan analisis *Fourier Transform-Infra Red (FT-IR)* dan *Nuclear Magnetic Resonance (NMR)*, gugus sulfonat menempel pada posisi para dari benzen. Dengan posisi gugus sulfonat tersebut maka struktur produk yang dihasilkan sesuai dengan struktur sodium polistiren sulfonat acuan.

Kata kunci: Sodium polistiren sulfonat, Polistiren, Sulfonasi, Gugus sulfonat, Asam sulfat

ABSTRACT

SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF SODIUM-POLYSTYRENE SULFONATE AND IDENTIFICATION OF SULFONATE GROUP ATTACHMENT BY FT-IR AND NMR. Sodium polystyrene sulfonate is one of polymers for raw and supporting materials in chemical industry. However, the need of sodium polystyrene sulfonate in Indonesia is fulfilled by import. Therefore, synthesis and characterization of the polymer is needed to cut the import commodity. Synthesis of sodium polystyrene sulfonate was carried out by sulfonation using sulphuric acid as sulfonation agent. According to the results, there were two types of product based on their solubility in water. One was water soluble and the other was water insoluble. Water soluble sodium polystyrene sulfonate was intended product. Based on FT-IR and NMR analysis, sulfonate group bounded to para-disubstituted benzene. Under such position of sulfonate group, therefore, chemical structure of product from this experiment was similar with the structure of sodium polystyrene sulfonate standard.

Keywords: Sodium polystyrene sulfonate, Polystyrene, Sulfonation, Sulfonate group, Sulfuric acid.

PENDAHULUAN

Polistiren adalah polimer termoplastik yang disintesis dari monomer stiren melalui proses polimerisasi adisi. Karena manfaatnya yang besar, beberapa jenis polimer dikombinasikan dengan polistiren melalui proses ko-polimerisasi dengan monomer lain. Lebih dari itu, polistiren dan kopolimernya dilakukan proses sulfonasi, untuk mendapatkan jenis polimer yang lebih bermanfaat.

Proses sulfonasi telah diketahui dapat meningkatkan sifat hidrofilik dan konduktivitas proton dari polimer dengan masuknya gugus sulfonik ke rantai polimer [1].

Selain itu polistiren memiliki sifat yang cenderung kurang stabil, mudah mengalami proses *yellowing* oleh sinar *Ultra Violet (UV)* dan oksidasi [2]. Oleh karena itu polistiren digunakan untuk aplikasi dalam waktu yang

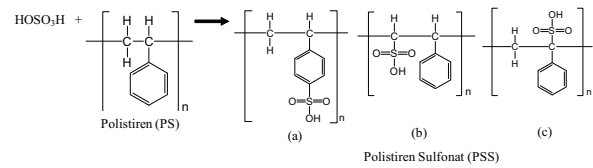
pendek, seperti kemasan atau alat makan sekali pakai. Namun tidak dapat digunakan untuk pemakaian aplikasi jangka panjang seperti papan jalan atau eksterior bangunan. Beberapa peneliti telah melakukan proses sulfonasi terhadap limbah polistiren untuk mendapatkan manfaat yang lebih besar dan aplikasi yang berbeda [3-5].

Beberapa metode sulfonasi dilakukan melalui penambahan berbagai jenis senyawa *agent* sulfonasi, seperti sulfur trioksida (SO₃), oleum, asam klorosulfat (HSO₃Cl) atau asam sulfat (H₂SO₄) [6]. Pemilihan metode sulfonasi sangat mempengaruhi hasil polimer tersulfonasi yang diperoleh. Proses sulfonasi menggunakan *agent* sulfonasi SO₃ harus dilakukan melalui proses *pre-treatment* yang rumit. Sedangkan penggunaan HSO₃Cl sebagai *agent* sulfonasi cenderung membentuk proses ikat silang antar gugus *sulphone* sebagai bagian dari rantai polimer yang sulit untuk dikontrol dan menghasilkan produk samping berupa hidrogen klorida [6]. Pada penelitian ini, H₂SO₄ digunakan sebagai *agent* sulfonasi karena merupakan reaksi kesetimbangan dengan produk samping berupa air. Proses sulfonasi berlangsung dalam kondisi homogen dan relatif lebih mudah dikontrol untuk menghasilkan polistiren sulfonat.

Polistiren sulfonat (PSS)_n merupakan salah satu bentuk sintesis polimer yang diproduksi dengan sulfonasi *post-polimerisasi* dari polistiren yang menangkap gugus sulfonat pada posisi para dari cincin fenil dan dapat menghasilkan distribusi yang acak, *n* mewakili derajat sulfonasi atau jumlah polistiren yang tersulfonasi. Sifat unik dari polistiren sulfonat adalah kekuatan hidrofilik dan konduktivitas proton mulai dari penggabungan dari sulfonat pada level yang bervariasi. Juga dapat digunakan sebagai penyerap, transfer ion dalam sistem pemurnian elektromigrasi [7]. Adanya sintesis senyawa ini dalam ukuran kecil memberikan keuntungan karena dapat meningkatkan area permukaan yang spesifik.

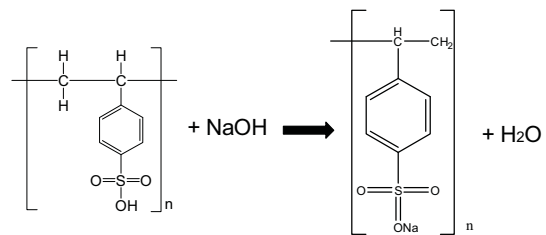
Pada proses sulfonasi polistiren dengan menggunakan asam sulfat pekat, akan terjadi penambahan gugus sulfonat pada polistiren yang dapat meningkatkan kemampuan penghantar proton pada polistiren. Gugus sulfonat dapat berinteraksi dengan molekul air dan dapat mempengaruhi transport proton melalui membran [8]. Proses sulfonasi polistiren menjadi polistiren sulfonat dengan menggunakan H₂SO₄ memungkinkan tiga jenis produk yang dihasilkan tergantung kepada proses penempelan gugus sulfonat. Adapun tiga kemungkinan reaksi yang terjadi pada proses sulfonasi dengan asam sulfat, ditunjukkan pada Gambar 1.

Oleh karena itu pada penelitian ini akan diinvestigasi posisi penempelan gugus sulfonat pada polistiren. Sementara itu, untuk menghasilkan sodium polistiren sulfonat, maka dilakukan penambahan NaOH, dimana Na akan menggantikan posisi H pada gugus



Gambar 1. Kemungkinan reaksi polistiren dengan asam sulfat.

sulfonat sesuai posisinya seperti yang diperlihatkan Gambar 1. Contoh reaksi penambahan NaOH yang terbentuk jika gugus sulfonat berada pada posisi para dari benzen pada polistiren dapat ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Reaksi pembentukan sodium polistirena sulfonat dari kemungkinan produk pada Gambar 2 (a).

Pada penelitian ini difokuskan untuk menghasilkan sodium polistiren sulfonat dan produk yang terbentuk dikarakterisasi. Produk sodium polistiren sulfonat yang dihasilkan memerlukan pemisahan secara fisik dan kimia [9]. Selain itu, dilakukan polimerisasi dengan teknik pemvakuman tinggi dan dilakukan proses polimerisasi pada kondisi *inert* dalam penelitian sebelumnya [10, 11]. Oleh karena itu, pada penelitian ini, kami melangsungkan proses polimerisasi pada kondisi atmosferik serta proses *recovery product* dilakukan dengan evaporasi vakum rendah dan suhu rendah.

METODE PERCOBAAN

Bahan dan Alat

Pembuatan sodium polistiren sulfonat ini menggunakan bahan baku polistiren dengan berat molekul 280.000 (Aldrich), kloroform (Merck) sebagai pelarut, asam sulfat (H₂SO₄ 95-97%, Merck) dan sodium hidroksida (NaOH, Merck). *Aquadest* dibuat menggunakan alat GFL (*Gesellschaft für Labortechnik* mbH D-30938 Burgwedel, Typ 2012).

Karakterisasi *Fourier Transform-Infra Red* (FT-IR) dilakukan menggunakan IR Prestige-21 (Shimadzu) dengan metode ATR 800. Sementara, karakterisasi NMR dilakukan menggunakan 500 MHz *Nuclear Magnetic Resonance* (NMR) JEOL JNM-ECA 500 spektrometer dengan pelarut deuterium oxide (DLM-4-100:D,99.9%).

Cara Kerja

Proses sulfonasi dilakukan di dalam labu leher tiga dengan volume 300 mL. Labu leher tiga tersebut

dilengkapi dengan kondensor, termometer, pengaduk mekanik dan tempat pemasukan umpan. Proses sulfonasi dilakukan dengan memasukan 3 g polistiren ke dalam labu, dimana jumlah ini selalu konstan (variabel tetap) pada setiap percobaan. Kemudian ditambahkan kloroform untuk melarutkan polistiren, sehingga memudahkan proses sulfonasi yang dilakukan pada fasa cair. Jumlah kloroform yang ditambahkan divariasi (20 mL hingga 50 mL) untuk melihat pengaruhnya terhadap produk sulfonasi. Variasi kloroform yang ditambahkan dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Variasi jumlah kloroform.

Nama Sampel	Polistirena (g)	Kloroform (mL)	H ₂ SO ₄ (mL)
PSSNa 1		20	
PSSNa 2	3	30	20
PSSNa 3		40	
PSSNa 4		50	

Pelarutan polistiren oleh kloroform ini dilakukan pada suhu ruang selama 1 jam. Setelah polistiren larut, dilakukan proses pemanasan sampai mencapai suhu 50 °C. Setelah suhu larutan polistiren di dalam kloroform ini konstan, kemudian ditambahkan H₂SO₄ pekat ke dalam labu tetes demi tetes untuk mencegah peningkatan suhu yang sangat drastis karena reaksi sulfonasi bersifat eksotermis. Selama proses pemasukan H₂SO₄ ini dijaga suhu reaksi konstan pada 50 °C. Saat H₂SO₄ ditambahkan, saat itulah proses sulfonasi mulai berlangsung, akan tetapi perhitungan waktu reaksi dimulai setelah semua H₂SO₄ masuk ke dalam labu dan reaksi dilakukan selama 1,5 jam dan 20 jam. Jumlah H₂SO₄ yang ditambahkan juga divariasi dari 20 mL hingga 80 mL, seperti yang terlihat pada Tabel 2. Dari proses ini, diharapkan terbentuk polimer polistiren sulfonat.

Tabel 2. Variasi jumlah H₂SO₄

Kode Sampel	Polistiren (g)	Kloroform (mL)	H ₂ SO ₄ (mL)
PSSNa 5			20
PSSNa 6			40
PSSNa 7	3	20	50
PSSNa 8			70
PSSNa 9			80

Selanjutnya, proses sulfonasi dihentikan dengan menambahkan aquadest sebanyak 10 kali lipat dari jumlah larutan pada suhu ruang. Kemudian ditambahkan larutan NaOH 10 M sambil diaduk sampai dicapai pH netral. Diharapkan setelah proses penambahan larutan NaOH pekat ini akan terbentuk polimer sodium polistiren sulfonat. Sodium polistiren sulfonat ini dievaporasi vakum pada suhu 70 °C sampai kental, dan kemudian dikeringkan di dalam oven suhu 50 °C untuk memisahkan air. Produk yang sudah kering, kemudian dikarakterisasi dengan menggunakan FT-IR dan NMR. Analisis dengan menggunakan FT-IR dilakukan dengan membandingkan puncak antara produk dengan polistiren sebelum proses.

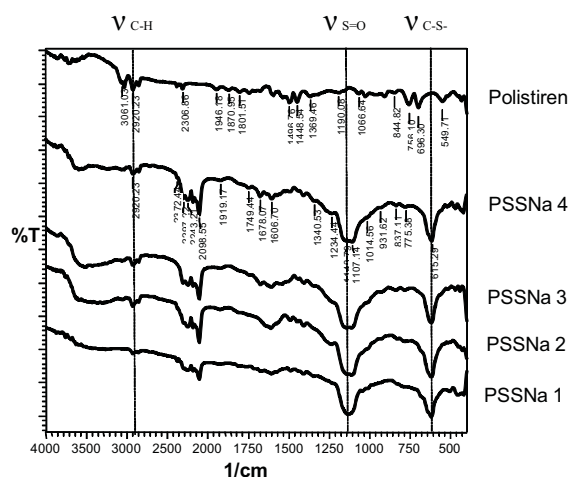
Sementara hasil analisis NMR diprediksi dengan membandingkan dengan literatur dan prediksi ChemDraw.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengaruh Jumlah Kloroform Terhadap Sulfonasi Polistiren

Reaksi sulfonasi polistiren dilangsungkan secara batch dalam kondisi cair dengan melarutkannya di dalam kloroform. Kloroform merupakan salah satu pelarut polistiren [12]. Proses pelarutan polistiren ini dilakukan dengan menggunakan magnetic stirrer untuk mempercepat proses dan diperoleh larutan yang homogen. Kemudian ditambahkan asam sulfat pekat untuk memulai proses sulfonasi yaitu penambahan gugus sulfonat ke polistiren.

Pengaruh penambahan kloroform terhadap proses sulfonasi diidentifikasi dengan analisis Fourier Transform-Infra Red (FT-IR) dan Nuclear Magnetic Resonance (NMR) dari produk polistiren sulfonat yang dihasilkan. Hasil analisis FT-IR ditunjukkan pada Gambar 3.

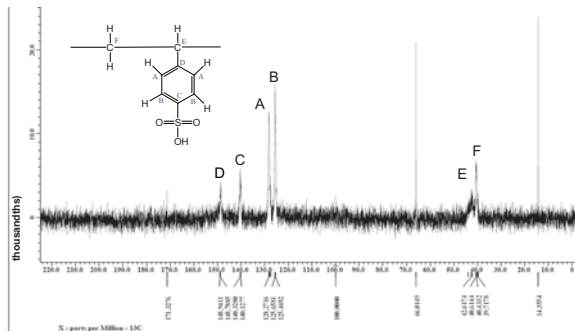


Gambar 3. Spektrum analisis FT-IR dari polistiren dan PSSNa dengan variasi jumlah kloroform.

Untuk mengetahui apakah terbentuknya polistiren sulfonat, maka dilakukan pembacaan bilangan gelombang dari puncak yang muncul dan dibandingkan dengan literatur [13,14]. Pada penelitian sebelumnya tentang karakterisasi serapan infrared terhadap ikatan gugus sulfonic dengan cincin aromatik polistiren, menyatakan bahwa gugus sulfonic berada pada daerah vibrasi 1040 cm⁻¹ dan 1180 cm⁻¹. Absorpsi pada bilangan gelombang 1040 cm⁻¹ dihasilkan dari regangan vibrasi simetrik dari gugus SO₃OH dan absorpsi pada 1127 cm⁻¹ dihasilkan dari serangan anion sulfonat ke γ cincin aromatik [13]. Dari hasil yang diperoleh seperti yang terlihat pada Gambar 4, bersesuaian dengan penelitian sebelumnya [13]. ν_{S=O} tervibrasi cukup lebar pada jangkauan 1071cm⁻¹ hingga 1214 cm⁻¹. Kemudian pada bilangan gelombang 714 cm⁻¹ terlihat

puncak baru pada produk PSSNa 1-4 yang menyatakan gugus-gugus C-S-.

Berdasarkan perkiraan hasil analisis FT-IR bahwa gugus sulfonat berada pada posisi para dari struktur benzen (Gambar 1 (a)), maka dilakukan analisis ^{13}C dan ^1H NMR karena PSSNa 1-4 dapat larut ke salah satu pelarut yang digunakan untuk analisis NMR yaitu air (D_2O). Polimer yang dianalisa dengan NMR adalah salah satu dari produk PSSNa yang ada. Hasil analisis dengan menggunakan NMR dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Spektrum analisis ^{13}C NMR dari PSSNa variasi kloroform (PSSNa 3).

Puncak ^{13}C NMR yang tertera pada Gambar 4 dibandingkan dengan literatur untuk mengetahui kebenaran sinyal dari PSSNa. Peneliti sebelumnya telah menganalisis polistiren sulfonat (PSS) dengan menggunakan ^{13}C NMR dan membandingkan dengan polistiren (PS). Dari hasil analisis menyatakan bahwa munculnya spektrum baru pada 139 ppm yang menandakan pergeseran kimia karbon yang berikatan dengan gugus SO_3 [11]. Hasil analisis ^{13}C NMR pada penelitian ini ada pada 140,3 ppm. Selain itu, juga memprediksi pergeseran kimia PSSNa dengan menggunakan perkiraan ^{13}C NMR di program ChemDraw untuk identifikasi senyawa. Perbandingannya dapat dilihat pada Tabel 3.

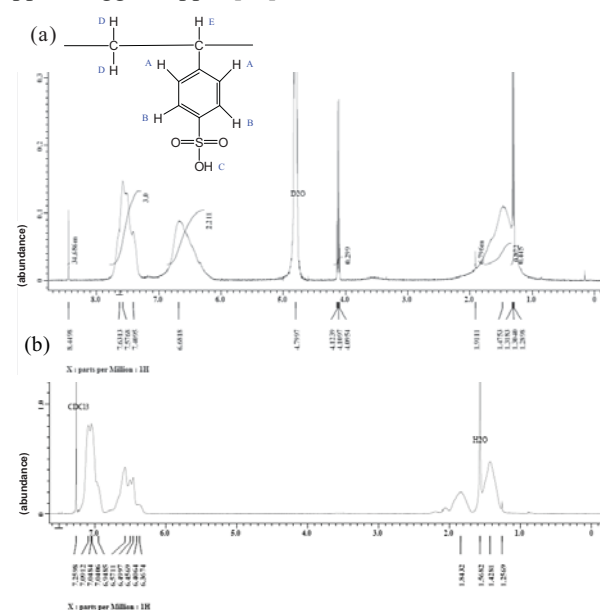
Tabel 3. Perbandingan pergeseran kimia ^{13}C NMR antara ChemDraw dan analisis.

Kode*	Pergeseran kimia di ChemDraw (ppm)	Pergeseran kimia Analisa (ppm)
A	128,3	128,3
B	126,9	125,5
C	142,8	140,3
D	150,9	148,9
E	41,3	42,6
F	30,3	39,7

*Kode = kode karbon yang terdapat pada struktur kimia

Berdasarkan Tabel 3 terlihat bahwa pergeseran kimia antara perkiraan ChemDraw dengan analisis tidak berbeda dan untuk gugus SO_3 yang berikatan dengan atom karbon terlihat pada 142,8 ppm dan 140,3 ppm. Analisis ini perlu ditunjang dengan analisis ^1H NMR. Pada Gambar 5 dan Tabel 4 dapat dilihat spektrum ^1H NMR dan perbandingan pergeseran kimia menggunakan perkiraan ^1H NMR di program ChemDraw.

Identifikasi gugus $-\text{OH}$ pada analisis ^1H NMR biasanya lemah, jadi sering tidak terlihat puncak. Berdasarkan Tabel 4, pergeseran kimia antara perkiraan dengan ChemDraw dengan analisis hampir mendekati, sehingga dapat dikatakan bahwa gugus sulfonat dari polistiren sulfonat menempel pada posisi para dari benzen. Selain itu, pada Gambar 5 terlihat pergeseran kimia proton aromatik untuk PSSNa berada pada 6,3 ppm hingga 6,8 ppm dan 7,3 ppm hingga 7,7 ppm. Sementara, untuk PS proton aromatik berada pada pergeseran 6,3 ppm hingga 6,7 ppm dan 6,9 ppm hingga 7,2 ppm. Dari hasil ini terlihat ada sedikit perbedaan yang tidak signifikan. Hasil ini juga sesuai dengan penelitian sebelumnya, dimana proton aromatik PS berada pada 6,0 ppm dan 7,3 ppm dan polistiren tersulfonasi pada 6,0 ppm hingga 8,0 ppm [15].



Gambar 5. Spektrum analisis ^1H NMR dari (a) PSSNa variasi kloroform (PSSNa 3) dan (b) PS.

Tabel 4. Perbandingan pergeseran kimia ^1H NMR antara ChemDraw dan analisis untuk PSSNa 3.

Kode*	Pergeseran kimia di ChemDraw (ppm)	Pergeseran kimia Analisa (ppm)
A	7,58	6,68
B	7,78	7,63
C	2,0	lemah
D	1,52	1,48
E	2,55	1,91

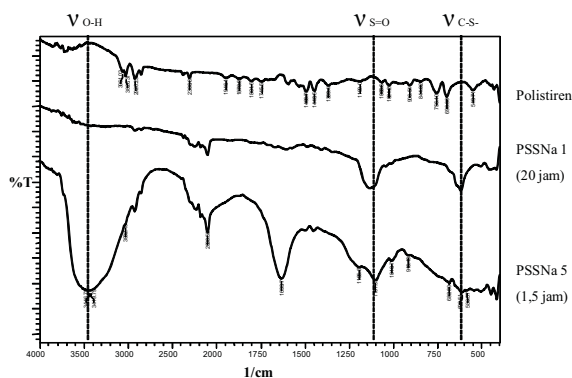
*Kode = kode hidrogen yang terdapat pada struktur kimia senyawa PSSNa pada Gambar 5 (a).

Hasil di atas didukung dari literatur, di mana sulfonasi polistiren terjadi melalui reaksi substitusi elektrofilik. Pusat elektrofilik pada atom sulfur dapat berinteraksi dengan elektron phi terdelokalisasi pada cincin benzen yang terdapat pada polistiren dengan densitas elektron tertinggi. Gugus alkil yang merupakan rantai karbon induk pada polistiren menjadi pengarah orto dan para melalui aktivasi cincin benzen. Sehingga kemungkinan besar, gugus sulfonat akan menempel pada posisi orto dan para cincin benzen. Namun dengan

adanya halangan sterik dari rantai karbon induk, menyebabkan penempelan gugus sulfonat pada posisi para lebih stabil dibandingkan dengan posisi orto. Sehingga produk utama dari sulfonasi polistiren adalah polistiren sulfonat dengan substituen pada posisi para [16].

Pengaruh Waktu Proses Terhadap Sulfonasi Polistiren

Waktu proses yang divariasi adalah dengan mengurangi lamanya proses dari 20 jam menjadi 90 menit. Proses dengan waktu yang lebih singkat ini akan dilanjutkan dengan bervariasi penambahan jumlah H₂SO₄. Produk yang dihasilkan dari variasi waktu proses ini dianalisis dengan FT-IR karena produk yang diproses selama 90 menit tidak larut sempurna dalam pelarut. Gambar 6 menunjukkan hasil analisis FT-IR dengan variasi perubahan waktu proses.



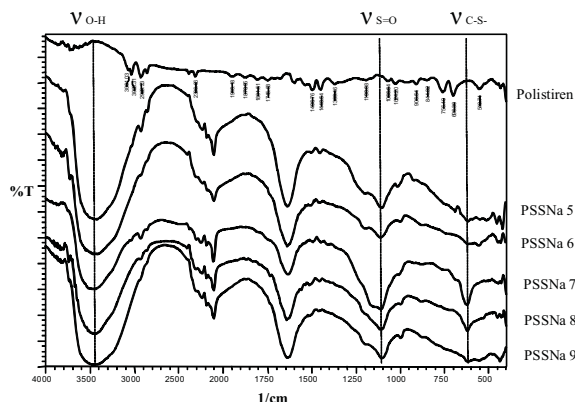
Gambar 6. Pengaruh waktu proses sulfonasi terhadap hasil analisis produk dengan FT-IR.

Berdasarkan Gambar 6 terlihat bahwa puncak yang terdapat pada PSSNa 1 (waktu reaksi 20 jam) juga terdapat pada PSSNa 5 (waktu reaksi 90 menit). Hal ini juga mengidentifikasi kalau polistiren sulfonat juga terbentuk dengan memperpendek waktu proses. Akan tetapi pada PSSNa 5 teridentifikasi gugus O-H yang merupakan bagian dari gugus sulfonat.

Pengaruh Rasio Polistiren dan H₂SO₄ Terhadap Sodium Polistiren Sulfonat

Sebagai kelanjutan dari variasi waktu proses, maka dilakukan variasi penambahan H₂SO₄ untuk mengetahui pengaruhnya terhadap produk PSSNa yang dihasilkan. Identifikasi produk dengan variasi penambahan H₂SO₄ dengan menggunakan FT-IR dapat dilihat pada Gambar 7.

Puncak FT-IR yang dihasilkan dengan variasi H₂SO₄ dari 20 mL hingga 80 mL memperlihatkan pola yang sama, di mana adanya gugus O-H, S=O, dan C-S-. Dengan bervariasi jumlah H₂SO₄ maka proses sulfonasi polistiren menjadi polistiren sulfonat berlangsung. Akan tetapi PSSNa 5-7 merupakan polimer yang tidak larut sempurna di dalam pelarut.



Gambar 7. Identifikasi produk dengan variasi penambahan H₂SO₄ dengan menggunakan FT-IR.

Hal ini diperkirakan terjadinya *cross linking*, dimana gugus SO₂OH yang memungkinkan polimer larut dalam air berikatan dengan monomer PSSNa yang lain. Oleh karena itu PSSNa 5 - 7 tidak memungkinkan untuk analisis NMR. Uji kelarutan dari polimer-polimer tersebut terhadap berbagai jenis pelarut dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Uji kelarutan PSSNa pada berbagai pelarut polar dan nonpolar.

No	Pelarut	Kelarutan PSSNa				
		5	6	7	8	9
1	Air	-	-	-	+	+
2	Metanol	-	-	-	-	-
3	DMSO (Dimetil)	-	-	-	sedikit	sedikit
4	Kloroform	-	-	-	sedikit	-
5	Aseton	-	-	-	-	-
6	Etanol	-	-	-	sedikit	-
7	Toluen	-	-	-	-	-
8	Cyclohexanon	-	-	-	+	sedikit
9	1,2- dichloroetan	-	-	-	-	-
10	Acetonitrile	-	-	-	-	-
11	Acetonitrile+Air	-	-	-	+	+
12	Hexane	-	-	-	-	-
13	Xylene	-	-	-	-	-

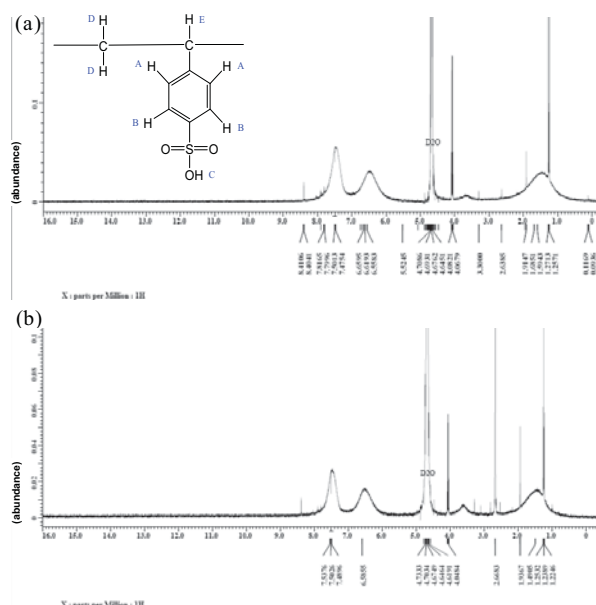
Keterangan: (+) larut sempurna; (-) tidak larut

Tabel 6. Perbandingan pergeseran kimia 1H NMR antara ChemDraw dan analisis.

Kode*	Pergeseran kimia di ChemDraw (ppm)	Pergeseran kimia Analisa (ppm)	
		PSSNa 8 (a)	PSSNa 9 (b)
A	7,58	6,56	6,59
B	7,78	7,50	7,50
C	2,0	1,91	1,94
D	1,52	1,59	1,49
E	2,55	2,63	2,67

*Kode = kode hidrogen yang terdapat pada struktur kimia senyawa PSSNa pada Gambar 8.

Berdasarkan Tabel 5 terlihat bahwa dengan melakukan variasi penambahan H₂SO₄, ada dua jenis PSSNa yang larut di air yaitu PSSNa 8 dan PSSNa 9. Oleh karena itu, kedua polimer ini dapat dianalisis dengan NMR seperti yang terlihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Spektrum analisis $^1\text{H NMR}$ dari PSSNa variasi penambahan H_2SO_4 , (a) PSSNa 8 dan (b) PSSNa 9.

Peak $^1\text{H NMR}$ yang tertera pada Gambar 8(a) dan Gambar 8(b) dibandingkan dengan prediksi pergeseran kimia PSSNa dengan menggunakan perkiraan $^1\text{H NMR}$ di program *ChemDraw* untuk identifikasi senyawa. Perbandingannya dapat dilihat pada Tabel 6.

KESIMPULAN

Proses pembuatan sodium polistiren sulfonat dari polistiren yang disulfonasi telah dilakukan dengan melakukan variasi pelarut, waktu proses dan jumlah H_2SO_4 yang kemudian direaksikan dengan NaOH . Produk PSSNa yang dihasilkan tidak dipengaruhi oleh jumlah pelarut yang ditambahkan. Namun dengan mempersingkat waktu proses sulfonasi menjadi 13 kali dan meningkatkan jumlah asam sulfat 3,5 kali hingga 4 kali, produk PSSNa telah dapat disintesis dengan gugus sulfonat berada pada posisi para. Hal ini membuktikan bahwa proses polimerisasi yang dilakukan dapat menghasilkan produk PSSNa.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penelitian ini didukung oleh Kegiatan Kompetitif Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia tahun 2014 untuk Sub Kegiatan Material Maju (*Advanced Materials*) dan Nanoteknologi.

DAFTAR ACUAN

[1]. S. Mulijani, K. Dahlan and A. Wulanawati. "Sulfonated polystyrene copolymer: synthesis, characterization and its application of membrane for direct methanol fuel cell (DMFC)". International

Journal of Materials, Mechanics and Manufacturing, vol. 2, No. 1, pp. 36-40, February 2014

[2]. E. Yousif and R. Haddad. "Photodegradation and photostabilization of polymers, especially polystyrene: review". Springer Plus, 2: 398, 2013

[3]. A. N. Siyal, S. Q. Memon, S. Parveen, A. Soomro, M. I. Khaskheli and M. Y. Khuhawar. "Chemical Recycling of Expanded Polystyrene Waste: Synthesis of Novel Functional Polystyrene-Hydrazone Surface for Phenol Removal". Journal of Chemistry, pp. 1-9, 2013

[4]. A. Mwash, A. A.-Richardson and W. Wilson. "Management of Polystyrene Wastes Using a Supercritical Solvent - Propanone". The Journal of the Association of Professional Engineers of Trinidad and Tobago, vol. 41, No.1, pp. 23-28, April/May 2013

[5]. R. M. N. de Assunção, B. Royer, J. S. Oliveira, G. R. Filho and L. A. de C. Motta. "Synthesis, characterization, and application of the sodium poly(styrenesulfonate) produced from waste polystyrene cups as an admixture in concrete". Journal of Applied Polymer Science, vol. 96, Issue 5, pp. 1534-1538, 5 June 2005

[6]. Y. Chen, Y. Su, F. Jiao and G. Chen. "A simple and efficient synthesis protocol for sulfonation of nitrobenzene under solvent-free conditions via a microreactor", The Royal Society of Chemistry, 2012

[7]. N. C. Zhou, W. R. Burghardt, K. I. Winey. "Phase Behaviour Of Sulfonated Polystyrene Systems". U.S. Army Research Office, 2006

[8]. L. Dwi, A. Ambarini. "Pengaruh Waktu Sulfonasi terhadap Karakteristik Polistirena dan Polyblendnya dengan Kitosan". Bandung: ITB, 2008

[9]. N. Su, H. B. Li, H. M. Zheng, S. P. Yi, X. H. Liu. "Synthesis and characterization of poly(sodium-p-styrenesulfonate)/modified SiO_2 spherical brushes". eXPRESS Polymer Letters, vol.6, No.8, pp 680-686, 2012

[10]. C. M. Fernyhough, A. J. Ryan, T. A. Waigh, A. Papagiannopoulos. "Synthesis and characterization of biomimetic polystyrene sulfonate combs". Polymer Preprints, vol. 46, No.2, pp. 1018, 2005

[11]. C. R. Martins, F. Hallwass, Y. M. B. De Almeida, M.-A. De Paoli. Solid-State $^{13}\text{C NMR}$ Analysis of Sulfonated Polystyrene". Ann. Magn. Reson., vol. 6, Issues 1/2, pp.46-55, 2007

[12]. http://www.bangslabs.com/sites/default/files/bangs/docs/pdf/Solvent_Listing.pdf. "Common Solvents and Non-solvents of Polystyrene". Adapted from: J. Brandarup, E. H. Immergut. Polymer Handbook, 2nd ed., New York: John Wiley & Sons, Inc., 1975. Download 9 Mei 2014

- [13]. R. M. Silverstein, F. X. Webster, D. J. Kiemle. "Spectrometric Identification of organic compounds". 7th ed., United States of America: John Wiley & Sons, Inc., 2005
- [14]. C. P. L. Rubinger, C. R. Martins, M.-A. De Paoli, R. M. Rubinger. "Sulfonated polystyrene polymer humidity sensor: Synthesis and characterization", *Sensor and Actuators B*, vol. 123, issue 1, pp. 42-49, 2007
- [15]. I. Zalakain, N. Politakos, J. A. Ramos, A. Saralegi, H. Etxeberria, I. Mondragon, M.A. Corcuera, A. Eceiza. "Chemical and morphological characterization of sulfonated polystyrene brushes in different environments". *European. Polymer Journal*, vol. 49, pp. 2120-2127, 2013
- [16]. R. J. Fessenden and J. S. Fessenden. *Kimia Organik, Edisi Ketiga, Jilid I*, Erlangga, Jakarta, 1986