

# PEMANFAATAN LIMBAH *STYROFOAM* SEBAGAI FLOKULAN DALAM PROSES PENJERNIHAN AIR MELALUI PROSES SULFONASI

Arie Listyarini\*

## Abstrak

Berbagai limbah *styrofoam* kemasan (PS) pada penelitian ini digunakan untuk membuat natrium polistirena (NaPSS). PS disulfonasidengan asam sulfat pekat 98% mengguankan sulfonasi heterogen dan homogen dengan pelarut dikloroetana (DCE) dengan berbagai variasi suhu (60, 80 dan 100 °C) dan varaisi waktu reaksi (3, 4, 5, dan 6 jam). Produk sulfonasi diidentifikasi dengan spektroskopi FTIR. Adanya puncak pada bilangan gelombang 1140 dan 1040  $\text{cm}^{-1}$  dalam spektrum infra merah menunjukkan karakteristik gugus sulfonat. Persentase sulfonasi maksimum yang dihasilkan adalah 74,9% dengan menggunakan sulfonasi heterogen pada kondisi suhu 100 °C dan waktu reaksi 6 jam sedangkan persentase sulfonasi maksimum yang dihasilkan dengan menggunakan sulfonasi homogen adalah 81,91% pada kondisi 100 °C dan waktu reaksi 4 jam. Larutan NaPSS diaplikasikan sebagai flokulan pada proses pengolahan air danau dan dibandingkan dengan aquaklir, flokulan yang telah beredar di pasaran. Hasil menunjukkan bahwa NaPSS dapat menurunkan nilai turbiditas air danau dari 24,58 ntu menjadi sekitar 1 ntu, hal ini masih kurang optimum bila dibandingkan dengan aquaklir.

## Abstract

Several kinds of polystyrene packaging waste were used in the synthesis of sodium poly(styrenesulfonate) (NaPSS). Packaging waste was sulfonated by sulfonic acid under heterogeneous and homogeneous sulfonation reactions with dichloroetane (DCE) as solvent. The reactions were conducted at three different temperatures of 60, 80 and 100°C and at four different reactions time of 3, 4, 5 and 6 h. The product was characterized by FTIR spectroscopy analysis. The results showed that the presence of bands at 1140 and 1040  $\text{cm}^{-1}$  in the infra red spectra was the characteristic as sulfonic groups. The maximum sulfonation were 74.9% in heterogeneous sulfonation at 100°C and 6 h reactions. The maximum percentage sulfonation in homogeneous sulfonation were 81.91% at 100 °C and 4 h reactions. An aqueous solution of NaPSS was used as an flocculant in lake water treatment compared with aquaklir, a commercial flocculant. The results showed that NaPSS decreased turbidity of water from 24.58 to about 1 ntu, which was less than aquaklir.

**Keywords:** *polystyrene, styrofoam, sulfonation, sodium poly(styrenesulfonate), flocculant*

## 1. PENDAHULUAN

*Expanded polystyrene (EPS)* sebagai suatu modifikasi plastik polistirena, umumnya dikenal masyarakat sebagai plastik *foam* atau *styrofoam*. Produk ini terbuat dari bahan kimia berbasis minyak bumi. EPS memiliki ciri sangat ringan dan umum digunakan untuk pengepakan makanan, minuman, barang pecah belah dan barang elektronik.

Berdasarkan data *Polystyrene Packaging Council* pada tahun 2003, kebutuhan EPS di dunia telah mencapai 3,4 juta ton per tahun,

dengan tingkat pertumbuhan rata-rata 6%. Ditinjau dari konsumsi EPS, kebutuhan terbesar adalah untuk sektor industri dan insulasi panas khususnya pada gudang-gudang pendingin (*cold storage*) sebesar 70%, untuk kemasan makanan dan industri lain seperti elektronik mencapai 25%, sisanya untuk penggunaan lain-lain. Konsumsi EPS yang sangat besar ini memberikan sumbangan masalah limbah yang cukup besar yaitu sekitar 850.000 ton per tahun dari sektor bahan kemasan dan makanan (EPS Packaging groups, 2002). EPS merupakan senyawa non *biodegradable* atau tidak mudah terurai oleh mikroorganisme di dalam tanah.

---

\*Balai Besar Kimia dan Kemasan

Menurut de Assuncao *et al* (2005) natrium polistirena sulfonat (NaPSS) yang dihasilkan dari limbah *cup* polistirena dapat digunakan sebagai campuran semen. NaPSS yang dihasilkan dapat meningkatkan nilai *compressive strength* campuran semen. Inagaki, *et al* (1999) mereklamasi limbah polistirena dengan sulfonasi menggunakan asam sulfat berasap (60% wt SO<sub>3</sub>) dan pelarut sikloheksana serta melihat pengaruh flokulan terhadap suspensi kaolin. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa NaPSS dapat meningkatkan laju sedimentasi dari suspensi kaolin. Fahrurrozi (2004) melakukan sulfonasi EPS untuk menghasilkan flokulan anionik dengan menggunakan jenis EPS yang seragam untuk masing-masing sulfonasi yang dilakukannya. NaPSS yang dihasilkan dapat digunakan sebagai flokulan untuk pengolahan air danau.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mempelajari pengaruh ukuran serbuk *styrofoam*, pengaruh suhu dan pengaruh waktu reaksi sulfonasi terhadap derajat sulfonasi polistirena sulfonat yang dihasilkan. Proses sulfonasi limbah *styrofoam* menggunakan asam sulfat pekat 98% sebagai *sulfonating agent*nya. Selanjutnya NaPSS diuji kemampuannya sebagai flokulan pada pengolahan sampel air danau.

## 2. METODE PENELITIAN

### Sulfonasi heterogen (padat – cair)

*Styrofoam* yang digunakan adalah limbah *styrofoam* yang berasal dari kemasan elektronik. Prosedur sulfonasi yang digunakan mengikuti prosedur yang dikembangkan oleh Akovali, *et al* (1986). Limbah *styrofoam* kemasan elektronik diparut hingga menjadi serbuk dengan variasi ukuran 14, 20 dan 24 mesh. Serbuk kemudian ditimbang sebanyak 1,0 g; kemudian dicampurkan dengan 10 mL H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 98%. Campuran dipanaskan pada suhu 60, 80 dan 100°C selama 3 hingga 6 jam dengan pengadukan konstan. Larutan yang terbentuk diteteskan perlahan-lahan ke dalam akuades hingga terbentuk endapan yang berwarna merah muda. Pembilasan endapan dilakukan beberapa kali hingga tidak tersisa sulfat yang ditandai dengan tidak terbentuknya endapan putih pada air bilasan bila diteteskan dengan larutan BaCl<sub>2</sub> 0,1N. Endapan merah muda yang telah dibilas tersebut didispersikan dalam 25,0 mL akuades, selanjutnya dipipet sebanyak 5,0 mL dan dipisahkan untuk penentuan derajat sulfonasinya dengan metode titrasi asam-basa. Sisa larutan ditambahkan

dengan NaOH 50% sampai pH = 10, diaduk konstan selama 4 jam pada suhu 60°C. Larutan dikeringkan dan serbuk putih yang dihasilkan dianalisis spektroskopi FTIRnya.

### Sulfonasi homogen (cair – cair)

Tahapan ini menggunakan prosedur yang dikembangkan oleh de Assuncao, *et al* (2005). Limbah *styrofoam* kemasan elektronik sebanyak 1,0 g yang telah dipotong kecil-kecil dilarutkan dengan 10 mL pelarut dikloro etana (DCE), kemudian ditambahkan 5 mL H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 98%. Variasi kondisi dan perlakuan selanjutnya mengikuti prosedur sulfonasi heterogen. Kondisi optimum yang didapatkan digunakan untuk mensulfonasi *styrofoam* yang berasal dari kemasan pangan, kemasan mi instan, dan campuran kemasan pangan, mi instan, elektronik dengan perbandingan 1:1:1.

### Penentuan dosis NaPSS sebagai flokulan

Untuk menguji efektifitas NaPSS sebagai flokulan, dilakukan *jar test* dengan menggunakan air danau dari Politeknik Universitas Indonesia. Sampel air danau yang dijernihkan memiliki nilai pH sebesar 7,09; nilai daya hantar listrik (DHL) 57 µmhos dan turbiditas sebesar 24,58 ntu. Untuk penentuan dosis flokulan NaPSS digunakan produk sulfonasi homogen dengan pelarut pada suhu 100°C dan waktu 4 jam. Sebelum dipergunakan NaPSS dilarutkan terlebih dahulu dengan air hingga konsentrasi 5% untuk memudahkan pelaksanaan *jar test*.

Masing-masing gelas piala yang ada dalam perangkat *jar test* diisi dengan sampel air danau sebanyak 500 mL, kemudian air tersebut ditambahkan koagulan dan diaduk pada kecepatan 80 rpm selama 1 menit. Pengadukan dihentikan, lalu ditambahkan larutan NaPSS dengan variasi konsentrasi 1,0; 1,5; 2,0; 2,5 dan 5,0 ppm ke dalam sampel air tersebut dan dilakukan pengadukan pada kecepatan 20 rpm selama 15 menit. Campuran didiamkan selama 20 menit dan disaring. Air hasil penyaringan dianalisis dengan mengukur pH, nilai DHL dan turbiditasnya. Perlakuan yang sama dilakukan pula untuk *aquaklir* sebagai flokulan pembandingnya.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### Proses sulfonasi heterogen padat-cair

Pada kondisi awal proses sulfonasi heterogen padat-cair terlihat bahwa *styrofoam* tidak larut dalam asam sulfat pekat, namun dengan naiknya suhu dan waktu reaksi tertentu,

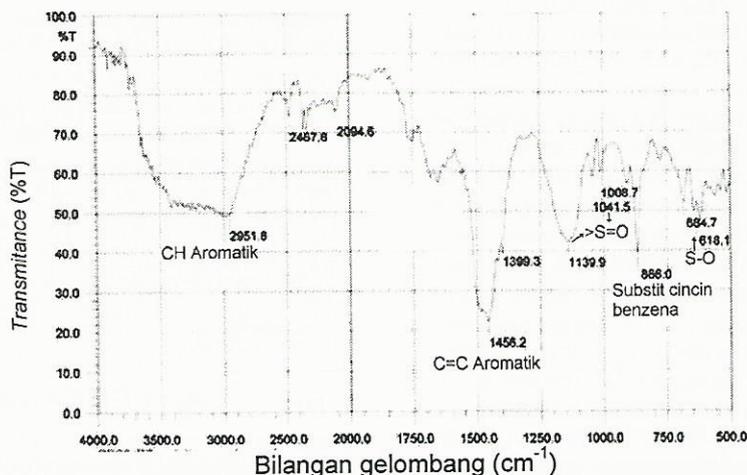
perlahan-lahan *styrofoam* larut dan mengakibatkan warna larutan asam sulfat yang semula jernih dan serbuk *styrofoam* berwarna putih menjadi larutan kental berwarna kuning kecoklatan yang diperkirakan adalah polistirena sulfonat (PSS). PSS diisolasi dari asam sulfat yang tidak bereaksi dengan meneteskannya pada akuades dingin. Akuades berfungsi untuk memberhentikan reaksi sulfonasi. PSS larut dalam air dengan pengadukan yang kuat, berbeda dengan polistirena yang tidak larut dalam air. PSS ditambahkan dengan NaOH 50% membentuk NaPSS yang berwarna putih.

Spektrum NaPSS yang diperoleh dari sulfonasi heterogen tanpa pelarut tertera pada Gambar 1 yang menunjukkan bahwa proses sulfonasi berlangsung sesuai yang diharapkan. Anion sulfonat yang menempel pada gugus aromatik ditunjukkan oleh puncak lebar pada  $1139,9\text{ cm}^{-1}$  yang merupakan vibrasi asimetrik gugus S=O. Bilangan gelombang  $1041,5\text{ cm}^{-1}$  menunjukkan vibrasi simetrik S=O serta vibrasi gugus S-O pada  $618,1\text{ cm}^{-1}$  (Williams *et al*, 1980; Kucera, 1998; Hua, 2001). Puncak pada 3000 dan  $1456,2\text{ cm}^{-1}$  menunjukkan gugus aromatik yang berasal dari cincin benzena. Puncak pada  $866,6\text{ cm}^{-1}$  menunjukkan substitusi benzena pada posisi 1,4 atau posisi para (Kucera, 1998). Pengaruh ukuran serbuk *styrofoam* terhadap derajat sulfonasi PSS yang dihasilkan dapat dilihat pada Gambar 2.

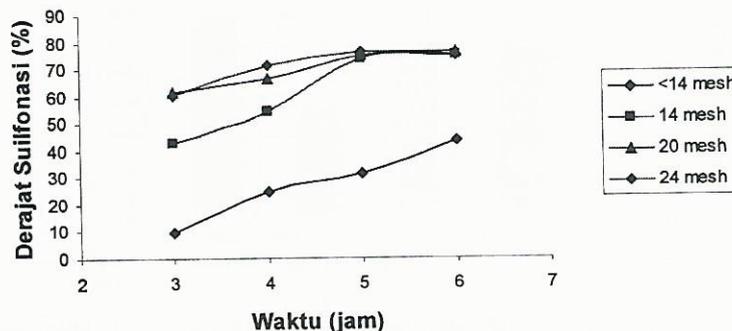
Derajat sulfonasi meningkat seiring bertambahnya ukuran mesh *styrofoam* dan waktu reaksi. Ukuran serbuk kurang dari 14 mesh dengan waktu reaksi 3 jam hanya

menghasilkan derajat sulfonasi sekitar 10%, ukuran 14 mesh menghasilkan sekitar 43% sedangkan ukuran 20 dan 24 mesh tidak berbeda jauh yaitu sekitar 60-62%. Hasil ini menunjukkan bahwa semakin besar ukuran mesh, ukuran serbuk makin halus atau makin kecil, semakin luas permukaan dari serbuk yang bereaksi dengan asam sulfat sehingga pembentukan PSS semakin cepat. Pada waktu sulfonasi selama 5 jam untuk ukuran 14, 20 dan 24 mesh menghasilkan derajat sulfonasi yang hampir sama yang berarti bahwa *styrofoam* telah tersulfonasi optimum, terbukti bahwa pada waktu 6 jam hasil yang didapatkan tidak berbeda jauh. Ukuran serbuk kurang dari 14 mesh pada jam ke 6 belum didapatkan hasil optimum dan perlu waktu reaksi yang lebih lama untuk mencapai hasil optimum.

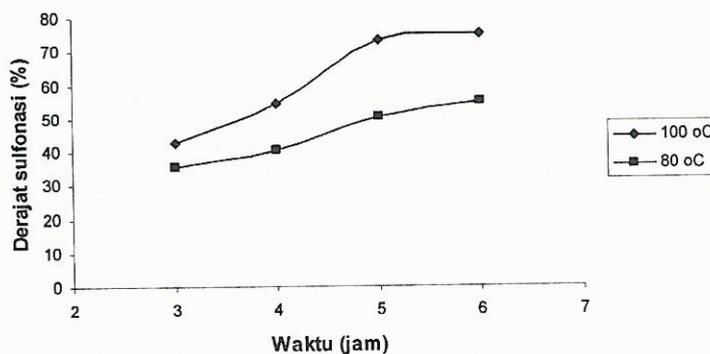
Serbuk *styrofoam* yang digunakan berukuran 14 mesh karena berdasarkan hasil penentuan derajat sulfonasi pada variasi ukuran mesh *styrofoam*, pada suhu  $100^{\circ}\text{C}$  dan waktu reaksi 5 jam serbuk *styrofoam* ukuran 14 mesh atau lebih telah mencapai hasil yang sama. Serbuk berukuran 14 mesh juga relatif lebih mudah didapatkan dibandingkan ukuran lebih dari 14 mesh. Karena reaktor yang digunakan menggunakan penangas air maka suhu reaksi sulfonasi tidak lebih dari  $100^{\circ}\text{C}$ . Pada suhu  $60^{\circ}\text{C}$  dan waktu reaksi selama 6 jam, serbuk *styrofoam* tidak larut atau belum bereaksi dengan asam sulfat pekat. Pada suhu ini masih berupa butiran-butiran serbuk *styrofoam* berwarna putih sehingga untuk pengamatan dilakukan hanya pada 80 dan  $100^{\circ}\text{C}$ , hasilnya tertera pada Gambar 3.



Gambar 1. Spektrum FTIR NaPSS hasil sulfonasi heterogen tanpa pelarut



Gambar 2. Pengaruh ukuran serbuk styrofoam terhadap derajat sulfonasi



Gambar 3. Pengaruh suhu terhadap derajat sulfonasi

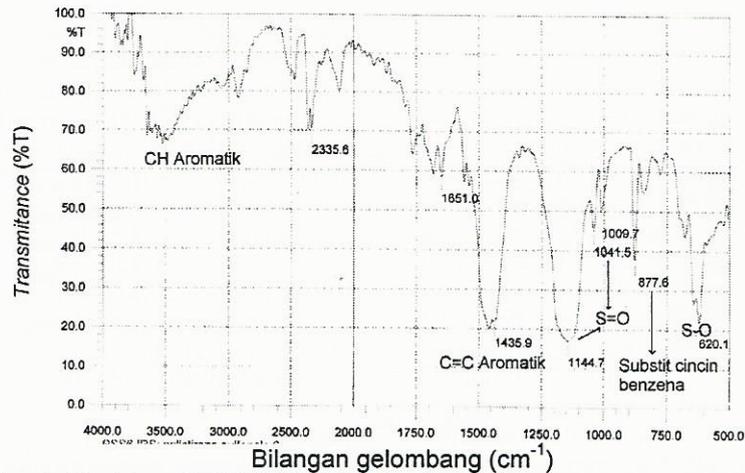
Gambar 3 menunjukkan bahwa derajat sulfonasi seperti halnya pada Gambar 2 meningkat seiring bertambahnya waktu reaksi untuk masing-masing suhu, tetapi derajat sulfonasi untuk suhu 100°C lebih besar dibanding suhu 80°C untuk setiap jam waktu reaksi. Berdasarkan Gambar 2 dan 3 dapat diasumsikan bahwa derajat sulfonasi meningkat dengan meningkatnya suhu dan waktu reaksi.

#### Proses sulfonasi homogen cair-cair

Dikloroetana digunakan dalam proses sulfonasi homogen cair-cair karena pelarut ini tidak larut dalam air dan tidak reaktif terhadap asam sulfat (Martins, 2003; Fahrurrozi, 2004). Pada kondisi awal terdapat dua lapisan yang terpisah, lapisan atas adalah asam sulfat pekat sedangkan lapisan bawah adalah campuran *styrofoam*-pelarut. Seiring dengan bertambahnya waktu sulfonasi, larutan berwarna kuning keruh kemudian terbentuk gel

lengket berwarna coklat di bawah dan cairan bening yang merupakan pelarut karena tidak bereaksi dengan asam sulfat ataupun *styrofoam*. Spektrum hasil uji NaPSS yang telah dikeringkan berupa padatan berwarna putih dapat dilihat pada Gambar 4.

Seperti halnya dengan spektrum NaPSS hasil dari sulfonasi homogen, pada spektrum NaPSS ini anion sulfonat yang menempel pada gugus aromatik ditunjukkan oleh puncak lebar pada 1144,7  $\text{cm}^{-1}$  yang merupakan vibrasi asimetrik gugus S=O, pada bilangan gelombang 1041,5  $\text{cm}^{-1}$  menunjukkan vibrasi simetrik S=O dan vibrasi gugus S-O pada 620,1  $\text{cm}^{-1}$  (Williams *et al*, 1980; Kucera, 1998; Hua, 2001). Puncak pada 3000 dan 1435,9  $\text{cm}^{-1}$  menunjukkan gugus aromatik. Puncak pada 877,6  $\text{cm}^{-1}$  menunjukkan substitusi benzena pada posisi 1,4 atau posisi para (Kucera, 1998).



Gambar 4. Spektrum FTIR NaPSS hasil sulfonasi homogen menggunakan pelarut

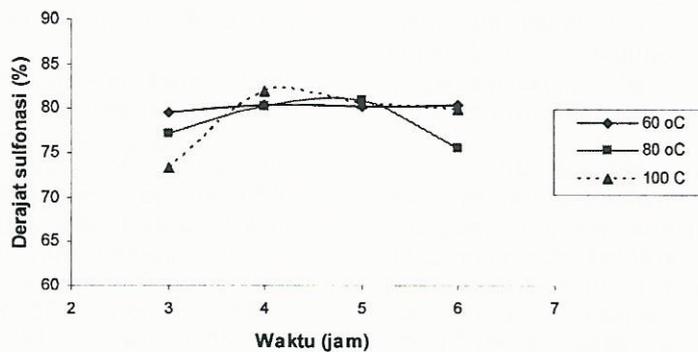
### Variasi suhu

Pengaruh waktu sulfonasi terhadap derajat sulfonasi pada variasi suhu 60, 80 dan 100°C dapat dilihat pada Gambar 5 yang menunjukkan bahwa bertambahnya waktu sulfonasi tidak mempengaruhi derajat sulfonasi pada suhu 60°C. Pada suhu 80 dan 100°C derajat sulfonasi meningkat seiring bertambahnya waktu dan terjadi kenaikan lebih lanjut pada waktu 4 jam kemudian cenderung turun setelah 6 jam. Hal ini diperkirakan terjadi karena gugus sulfonat yang semula terikat pada rantai polimer terurai kembali sebagian dengan adanya air pada reaksi. Proses ini disebut proses desulfonasi yang disebabkan oleh reaksi dengan air (hidrolisis:  $R - SO_3H + H_2O \rightarrow RH + H_2SO_4$ ) (Kucera, 1998).

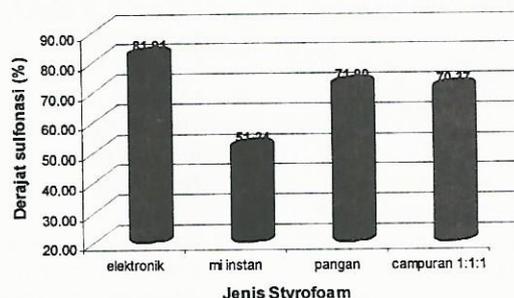
### Pengaruh jenis Styrofoam

Kondisi optimum yang didapatkan pada sulfonasi homogen di atas yaitu pada suhu 100°C dan waktu reaksi 4 jam, dicobakan pada

tiga jenis *styrofoam* dengan kegunaan yang berbeda. Derajat sulfonasi yang diperoleh tertera pada Gambar 6. Derajat sulfonasi terbesar didapat pada *styrofoam* untuk kemasan elektronik yaitu sebesar 81,91% dan yang terendah adalah *styrofoam* kemasan mi instan sebesar 51,24%. Sulfonasi yang dicobakan pada campuran 1:1:1 dari ketiga *styrofoam* menghasilkan derajat sulfonasi sebesar 70,37%. Perbedaan derajat sulfonasi ini dapat disebabkan oleh perbedaan pembuatan dari ketiga jenis *styrofoam*. Derajat sulfonasi pada *styrofoam* untuk *cup* kemasan mi instan lebih rendah dibandingkan *styrofoam* lainnya. Densitas pada *cup* kemasan mi instan dibuat lebih tinggi dibandingkan *styrofoam* lainnya agar lebih tahan panas. Densitas yang tinggi membuat molekul-molekul polistirena menjadi lebih rapat dan lebih sulit disulfonasi sehingga dihasilkan derajat sulfonasi yang lebih rendah dibandingkan *styrofoam* kemasan elektronik dan pangan.



Gambar 5. Pengaruh suhu terhadap derajat sulfonasi pada sulfonasi homogen



Gambar 6. Derajat sulfonasi berbagai jenis styrofoam

Tabel 1. Nilai pH, DHL, turbiditas dan % penurunan turbiditas pada flokulan NaPSS dan *aquaklir* hasil jar test

Flokulan	Dosis (ppm)	pH	DHL ( $\mu$ mhos)	Turbiditas (ntu)	Penurunan turbiditas (%)
NaPSS	1,0	6,70	40	3,33	87,35
	1,5	6,68	38	2,08	92,43
	2,0	6,78	42	2,42	91,05
	2,5	6,78	46	2,22	91,86
	5,0	6,99	62	1,21	95,97
Aquaklir	0,5	6,62	34	0,72	97,96
	1,0	6,62	33	0,75	97,84

#### Jar Test

Hasil jar test terhadap NaPSS dan perbandingannya dengan *aquaklir* dapat dilihat pada Tabel 1 yang menunjukkan bahwa NaPSS mampu bekerja sebagai flokulan dan menurunkan turbiditas air dari 24,58 ntu menjadi sekitar 1 ntu pada dosis NaPSS sebesar 5 ppm atau sekitar 96% penurunan turbiditas air. Namun jika dibandingkan dengan kinerja *aquaklir* yang telah beredar di pasaran, kemampuan flokulasi NaPSS masih belum optimum. *Aquaklir* dapat menurunkan turbiditas air danau menjadi kurang dari 1 ntu atau sekitar 98% penurunan dan ukuran flok yang dihasilkannya pun lebih besar dibanding flok menggunakan NaPSS.

#### 4. KESIMPULAN

Sulfonasi *styrofoam* dengan asam sulfat pekat menghasilkan polimer yang larut dalam air dan dapat digunakan sebagai flokulan penjernihan air. Persentase sulfonasi maksimum adalah 74,9% dengan menggunakan sulfonasi heterogen pada suhu 100°C dan waktu reaksi 6 jam sedangkan sulfonasi maksimum yang

dihasilkan dengan menggunakan sulfonasi homogen adalah 81,91% pada kondisi 100°C dan waktu reaksi 4 jam. Aplikasi NaPSS sebagai flokulan pada penjernihan air danau dapat menurunkan nilai kekeruhan air dari 24,58 menjadi sekitar 1 ntu walaupun flok yang dihasilkan tidak sebesar bila menggunakan *aquaklir*, salah satu flokulan yang beredar di pasaran.

#### DAFTAR PUSTAKA

1. Akovali, G; Ozkan, A. 1986. "Notes on modification of polystyrene by sulphonation: Some properties of poly(styrenesulphonic acid)", *Polymer.*, Vol. 27, 1277-1280.
2. De Assuncao, R; Royer, B; Oliveira, JS; Rodrigues Filho, G; Motta, LAC. 2005. "Synthesis, Characterization, and Application of the Sodium Poly(styrenesulfonate) Produced from Waste Polystyrene Cups as an Admixture in Concrete". *J. Appl. Polym. Sci.*, Vol 96. 1534 – 1538.

3. EPS Packaging Group. 2002. *EPS and the Environment*. Buyer's Guide.
4. Fahrurrozi. 2004. *Sulfonasi Expanded Polystyrene untuk menghasilkan Anionic Flocculant*. Tesis Program Studi Ilmu Material. FMIPA UI. Depok.
5. Hua, M-L; Liu, J-C; Zhu, F-M; Lin, S-A. 2001. "Synthesis and physical properties of sulfonated syndiotactic polystyrene ionomers". *Polym. Int.*, 50, 421 – 428.
6. Inagaki, Y; Kuromiya, M; Noguchi, T; Watanabe, H. 1999. "Reclamation of Waste Polystyrene by Sulfonation". *Langmuir*, 15, 4171 – 4175.
7. Kucera, F. 1998. "Homogeneous and Heterogeneous Sulfonation of Polymers: A Review". *Polym. Eng. Sci.* Vol. 38. No.5, 783 – 792.
8. Martins, CR; Ruggeri, G; de Paoli, MA. 2003. "Synthesis in pilot scale and physical properties of sulfonated polystyrene", *J. Braz. Chem. Soc.*, No.5, vol 14.
9. Polystyrene Packaging Council. 2004. *Polystyrene Food Service Packaging – Benefits, Performance, and the Environment*.
10. Williams, DH; Fleming, I. 1980. *Spectroscopic methods in organic chemistry*. Third edition. McGraww-Hill Book Company. UK