

Pemanfaatan Limbah *Styrofoam* Sebagai Flokulan: Sulfonasi Polistirena

Arie Listyarini¹, Emil Budianto²

¹Balai Besar Kimia dan Kemasan, Pekayon -Pasar Rebo, Jakarta Timur 13069

²Departemen Kimia FMIPA-UI, Kampus UI Depok 16424

arie-lies@dprin.go.id

emilb@ui.edu

Abstrak

Berbagai limbah *styrofoam* kemasan (PS) pada penelitian ini digunakan untuk membuat natrium polistirena sulfonat (NaPSS). PS disulfonasi dengan asam sulfat pekat 98% menggunakan sulfonasi heterogen dan homogen dengan pelarut dikloroetana (DCE) dengan berbagai variasi suhu (60, 80 dan 100 °C) dan variasi waktu reaksi (3, 4, 5, dan 6 jam). Produk sulfonasi diidentifikasi dengan spektroskopi FTIR. Adanya puncak pada bilangan gelombang 1140 dan 1040 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 cair-cair adalah 81,91% pada kondisi suhu 100 °C dan waktu reaksi 4 jam. Berat molekul rata-rata limbah *styrofoam* yang digunakan pada penelitian berkisar antara 90.000 – 92.800 g/mol dan menghasilkan NaPSS dengan berat molekul antara 125.000 – 136.000 g/mol. 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 (PS) were used in the synthesis of sodium poly(styrene sulfonate) (NaPSS). PS was sulfonated by using sulfonic acid under heterogeneous and liquid-liquid sulfonation reactions with dichloroethane (DCE) as solvent. The reactions were conducted at three different temperatures i.e. 60, 80 and 100 °C and at four different reactions time (3, 4, 5 and 6 hours). The product was characterized by FTIR spectrophotometer. The absorption at 1140 and 1040 cm^{-1} in the infrared spectrum was characteristic for sulfonic groups. The maximum percentage sulfonation was found 74.9% for heterogeneous sulfonation at 100 °C and 6 hours reactions time and the maximum percentage sulfonation for liquid-liquid sulfonation was found 81.91% at 100 °C and 4 hours reactions time. An aqueous solution of NaPSS was used as a flocculant in lakes water treatment, compared with aquaklir, a commercial flocculant. The results showed that NaPSS can decrease turbidity of water from 24.58 ntu to about 1 ntu, which was less than aquaklir.

Keywords: polystyrene, styrofoam, sulfonation, sodium poly (styrene sulfonate), flocculant

1. PENDAHULUAN

Expanded polystyrene (EPS) sebagai suatu modifikasi plastik polistirena, umumnya dikenal di 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 tahun 2003, kebutuhan EPS di dunia telah mencapai 3,4 juta ton per tahun, dengan tingkat pertumbuhan rata-rata 6%. Ditinjau dari konsumsi pemakaian EPS, kebutuhan terbesar adalah untuk sektor industri dan insulasi panas khususnya pada gudang-gudang pendinginan (*cold storage*)

sebesar 70%, disusul oleh penggunaan EPS untuk kemasan makanan dan industri lain seperti elektronik yang mencapai 25%, sisanya untuk penggunaan lain-lain [1]. 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 [2]. EPS sendiri merupakan senyawa yang non *biodegradable* atau tidak mudah terurai oleh mikroorganisme di dalam tanah.

De Assuncao, R *et al* telah melakukan penelitian aplikasi Natrium Polistirena Sulfonat dihasilkan dari limbah cup polistirena yang digunakan sebagai campuran semen. Natrium Polistirena Sulfonat (NaPSS) yang dihasilkan dapat menaikkan nilai *compressive strength* campuran semen [3]. Inagaki, Y

et al melakukan penelitian sulfonasi limbah polistirena dengan menggunakan asam sulfat berasap (60 % wt SO₃) dengan pelarut sikloheksana dan meneliti efek flokulannya terhadap suspensi kaolin. Hasilnya NaPSS dapat meningkatkan laju sedimentasi dari suspensi kaolin [4]. Fahrurrozi, melakukan penelitian 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 [5].

Pada penelitian ini, limbah *styrofoam* disulfonasi dengan menggunakan asam sulfat pekat 98% sebagai *sulfonating agent*nya dan dipelajari pengaruh ukuran serbuk *styrofoam* yang digunakan, pengaruh suhu dan pengaruh waktu reaksi sulfonasi terhadap derajat sulfonasi polistirena sulfonat yang dihasilkan. Selanjutnya natrium polistirena sulfonat diuji kemampuannya sebagai flokulan pada pengolahan sampel air danau.

2. METODE PENELITIAN

Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah limbah *styrofoam* berbagai kemasan, asam sulfat pekat (98%), dikloroetana, barium klorida, natrium hidroksida, indikator fenolftalein, poli alumunium klorida, aquaklir, natrium klorida, toluena, kalium bromida dan aquades.

Peralatan

Peralatan yang digunakan selama penelitian adalah oven (Blue M USA), neraca elektronik (Sartorius), pH meter Metrohm 744, viscometer Ostwald, spektrofotometer FTIR (Shimadzu 866), turbidimeter (HACH 2100N), jar test, peralatan gelas dan unit reaktor yang terdiri dari: kondensor, Erlenmeyer, *magnetic stirrer*, *hot plate*, penangas air, termometer, pompa sirkulasi dan ember.

Sulfonasi heterogen (padat – cair)

Prosedur yang digunakan adalah prosedur yang dikembangkan oleh Akovali, G et al [6]. Limbah *styrofoam* kemasan elektronik yang telah diparut hingga menjadi serbuk dengan variasi ukuran 14, 20 dan 24 mesh ditimbang sebanyak 1,0000 g; kemudian dicampurkan dengan 10 mL H₂SO₄ 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 aquades hingga terbentuk endapan yang berwarna merah muda. Pembilasan endapan dilakukan beberapa kali hingga tidak ada sisa sulfat yang ditandai dengan tidak terbentuknya endapan putih pada air bilasan bila diteteskan dengan larutan BaCl₂

0,1N. Kemudian endapan merah muda yang telah dibilas tersebut didispersikan dalam 25,0 mL aquades, selanjutnya dipipet sebanyak 5,0 mL dan dipisahkan untuk penentuan derajat sulfonasinya dengan metode titrasi asam-basa. Kemudian sisa larutan ditambahkan dengan NaOH 50% sampai pH = 10, diaduk konstan selama 4 jam pada suhu 60°C. Kemudian larutan dikeringkan dan serbuk putih yang dihasilkan dianalisis spektroskopi FTIRnya.

Sulfonasi cair – cair

Prosedur penelitian menggunakan prosedur yang dikembangkan oleh de Assuncao, RMN et al [3]. Limbah *styrofoam* kemasan elektronik yang telah dipotong kecil-kecil sebanyak 1,0000 g dilarutkan dengan 10 mL pelarut dikloro etana (DCE), kemudian ditambahkan H₂SO₄ 98% berlebih sebanyak 5 mL. Campuran kemudian dipanaskan pada temperatur 60, 80 dan 100°C selama 3 hingga 6 jam dengan pengadukan konstan. Larutan yang terbentuk diteteskan perlahan-lahan ke dalam aquades hingga terbentuk endapan yang berwarna merah muda. Pembilasan endapan dilakukan beberapa kali hingga tidak ada sisa sulfat yang ditandai dengan tidak terbentuknya endapan putih pada air bilasan bila diteteskan dengan larutan BaCl₂ 0,1N. Kemudian endapan merah muda yang telah dibilas tersebut didispersikan dalam 25,0 mL aquades, selanjutnya dipipet sebanyak 5,0 mL dan dipisahkan untuk penentuan derajat sulfonasinya dengan metode titrasi asam-basa. Kemudian sisa larutan ditambahkan dengan NaOH 50% sampai pH = 10, diaduk konstan selama 4 jam pada suhu 60°C. Kemudian larutan dikeringkan dan serbuk putih yang dihasilkan dianalisis spektroskopi FTIRnya. Kondisi optimum yang didapatkan digunakan untuk mensulfonasi *styrofoam* yang berasal dari kemasan pangan, kemasan mie instan, dan campuran kemasan pangan, mie instan, elektronik dengan perbandingan 1:1:1. Berat molekul rata-rata *styrofoam* dan NaPSS ditentukan dengan metode Ostwald menggunakan pelarut toluena untuk *styrofoam* (PS) dan NaCl 0,5 M untuk NaPSS pada suhu 25 °C. Perhitungan menggunakan persamaan Mark-Houwink [6]:

$$[\eta] = 3,80 \times 10^{-5} \times M_v^{0,630} \quad (\text{untuk PS})$$

$$[\eta] = 3,12 \times 10^{-4} \times M_v^{1,0} \quad (\text{untuk NaPSS})$$

Penentuan dosis NaPSS sebagai flokulan

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 berbagai variasi konsentrasi 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

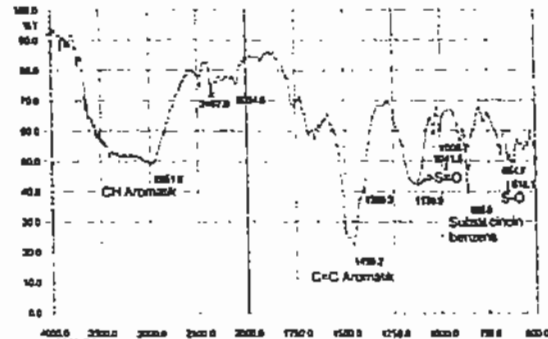
yang sama dilakukan pula untuk aquaklir sebagai flokulan pembandingnya.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Proses sulfonasi heterogen padat-cair

Proses sulfonasi heterogen ini dilakukan tanpa pelarut, dengan penambahan asam sulfat pekat 98% sebagai *sulphonating agent* ke dalam serbuk *styrofoam* dengan berbagai variasi ukuran mesh serbuk, suhu dan waktu sulfonasi dengan tujuan untuk mempelajari kecenderungan yang terjadi pada proses pembentukan NaPSS. Limbah *styrofoam* yang digunakan pada sulfonasi ini adalah limbah *styrofoam* yang berasal dari kemasan elektronik karena limbah kemasan elektronik ini lebih banyak dijumpai dan bervolume besar pada satu pengemasan. Pada kondisi awal, terlihat bahwa *styrofoam* tidak larut di 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) tersebut diisolasi dari asam sulfat yang tidak bereaksi dengan meneteskannya pada aquades dingin. Selain itu aquades ini berfungsi juga untuk memberhentikan reaksi sulfonasi sehingga membentuk endapan lengket yang berwarna merah muda. Endapan merah muda tersebut dibilas dengan air sampai menjadi netral ditandai dengan air bilasan yang bila ditetesi dengan larutan BaCl_2 tidak terbentuk endapan putih BaSO_4 . Dalam kondisi asam, PSS akan berwarna coklat dan dalam kondisi netral akan berwarna putih. PSS ini akan larut dalam air dengan pengadukan yang kuat, berbeda dengan polistirena yang tidak larut dalam air. PSS kemudian ditambahkan dengan NaOH 50%, disertai pengadukan konstan selama 4 jam pada suhu 60°C , hingga terbentuk natrium polistirena sulfonat (NaPSS) yang berwarna putih. Larutan putih tersebut kemudian dikeringkan dan hasilnya berupa padatan berwarna putih.

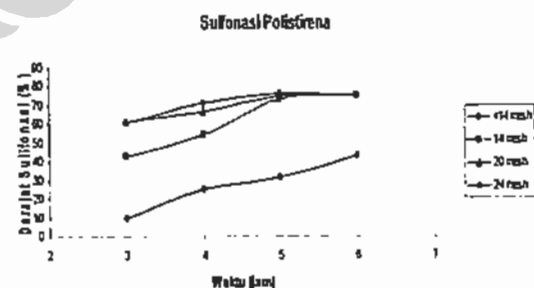
Terjadinya reaksi sulfonasi dan terikatnya gugus sulfonat ke dalam cincin aromatik polistirena dapat diamati dengan menggunakan FTIR. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan metode KBr pellet. Spektrum FTIR diambil pada bilangan gelombang $400 - 4000\text{ cm}^{-1}$. Sebelum melakukan pengujian, produk akhir NaPSS yang telah dikeringkan, kemudian dihaluskan. Serbuk NaPSS berbentuk powder berwarna putih agak kecoklatan. Pengujian dilakukan berdasarkan standar uji ASTM E 1252-98. Preparasi sampel dilakukan dengan KBr pellet yaitu sampel digerus bersama KBr dan dibentuk pellet lalu diuji. Hasil spektrum NaPSS yang diperoleh dari sulfonasi heterogen tanpa pelarut dapat dilihat pada Gambar 1.



Gbr 1. Spektrum FTIR NaPSS hasil sulfonasi heterogen tanpa pelarut

Berdasarkan spektrum FTIR Gambar 1, terlihat bahwa proses sulfonasi berlangsung sesuai yang diharapkan dimana anion sulfonat yang menempel pada gugus aromatik ditunjukkan oleh puncak lebar pada $1139,9\text{ cm}^{-1}$ yang merupakan vibrasi asimetrik gugus S=O dan pada bilangan gelombang $1041,5\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan vibrasi simetrik S=O serta vibrasi gugus S-O pada $618,1\text{ cm}^{-1}$ [7-9]. Puncak pada 3000 cm^{-1} 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 [7].

Ukuran serbuk *styrofoam* yang digunakan dalam penelitian ini adalah 14, 20 dan 24 mesh. Untuk mendapatkan serbuk *styrofoam* ini dilakukan pemadatan kemudian pengayakan dengan menggunakan ayakan berukuran yang sesuai. Semakin besar ukuran mesh, serbuk akan makin halus. Ukuran lebih besar dari 24 mesh serbuk *styrofoam* tidak dapat diayak karena beratnya yang ringan sehingga bila lebih besar dari 24 mesh tidak ada yang terayak, semuanya menempel pada ayakan. Selanjutnya pada serbuk *styrofoam* dengan ukuran yang bervariasi tersebut dilakukan proses sulfonasi pada suhu 100°C dan waktu reaksi 3 sampai 6 jam. Pengaruh ukuran serbuk *styrofoam* terhadap derajat sulfonasi PSS yang dihasilkan dapat dilihat pada Gambar 2.

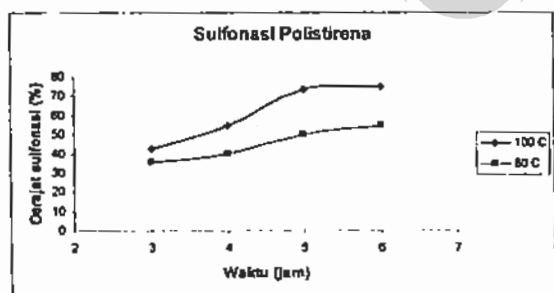


Gbr 2. Pengaruh ukuran serbuk *styrofoam* terhadap derajat sulfonasi

Berdasarkan gambar tersebut dapat dilihat terjadi kenaikan derajat sulfonasi seiring bertambahnya ukuran mesh *styrofoam* dan waktu reaksi. Untuk ukuran >14 mesh dengan waktu reaksi 3 jam hanya menghasilkan derajat sulfonasi sekitar 10% , untuk ukuran 14 mesh sekitar 43% sedangkan untuk ukuran 20 dan 24 mesh tidak berbeda jauh yaitu sekitar 60-62%. Hasil ini didapat karena semakin bertambah ukuran mesh, ukuran serbuk makin halus atau makin kecil sehingga akan semakin luas permukaan dari serbuk yang bereaksi dengan asam sulfat sehingga pembentukan PSS pun akan semakin cepat. Pada waktu sulfonasi selama 5 jam untuk ukuran 14, 20 dan 24 mesh telah dihasilkan derajat sulfonasi yang hampir sama yang berarti bahwa pada waktu 5 jam ini dapat dikatakan bahwa *styrofoam* telah tersulfonasi optimum, dibuktikan pada waktu 6 jam hasil yang didapatkan tidak berbeda jauh. Sedangkan untuk ukuran >14 mesh pada jam ke 6 pun belum didapatkan hasil yang optimum dan perlu waktu reaksi yang lebih lama untuk mendapat hasil optimum.

Variasi suhu yang digunakan adalah suhu 60, 80 dan 100 °C. Serbuk *styrofoam* yang digunakan berukuran 14 mesh karena berdasarkan hasil penentuan derajat sulfonasi pada variasi ukuran mesh *styrofoam*, pada suhu 100 °C dan waktu reaksi 5 jam serbuk *styrofoam* ukuran 14 mesh ke atas telah mencapai hasil yang sama dan juga serbuk berukuran 14 mesh relatif lebih mudah didapatkan dibandingkan ukuran-ukuran lainnya yang lebih dari 14 mesh. Karena reaktor yang digunakan menggunakan penangas air maka suhu reaksi sulfonasi tidak lebih dari 100 °C. Pada suhu 60 °C dan waktu reaksi selama 6 jam, serbuk *styrofoam* tidak larut atau belum bereaksi dengan asam sulfat pekat. Hasil yang didapatkan pada suhu ini masih berupa butiran-butiran serbuk *styrofoam* yang berwarna putih sehingga untuk pengamatan hanya dilakukan pada 2 suhu yaitu suhu 80 dan 100 °C yang hasilnya dapat dilihat pada Gambar 3.

Dari Gambar 3 tersebut terlihat dengan jelas bahwa derajat sulfonasi 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.

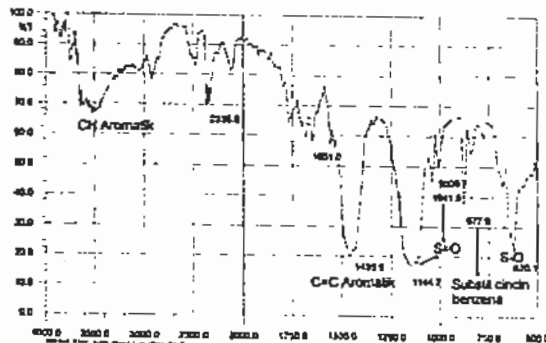


Gbr 3. Pengaruh suhu terhadap derajat sulfonasi

Berdasarkan Gambar 3 dapat diasumsikan bahwa derajat sulfonasi akan meningkat dengan meningkatnya suhu dan waktu reaksi. Hasil ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Akovali, *et al* [6] yang menggunakan PS murni dan melakukan variasi reaksi sulfonasi pada suhu 80, 100 dan 125 °C dan Fahrurrozi [5] yang melakukan variasi suhu 30 – 90 °C. Hasil sulfonasi yang didapat Fahrurrozi lebih besar yaitu sebesar 92,5 % pada suhu reaksi 80 °C dan waktu reaksi 4 jam, sedangkan penelitian ini hanya mencapai derajat sulfonasi yang optimum sebesar 74,9 %. Perbedaan ini disebabkan karena penggunaan *styrofoam* yang berbeda. Fahrurrozi menggunakan tipe *styrofoam* yang homogen yaitu *styrofor MP 303* sehingga berat molekul dari *styrofoam*nya seragam sedangkan penelitian ini menggunakan limbah *styrofoam* dari berbagai kemasan elektronik yang diasumsikan mempunyai distribusi berat molekul yang berbeda-beda karena berasal dari berbagai *styrofoam* kemasan elektronik.

Proses sulfonasi cair-cair

Proses sulfonasi homogen cair-cair dilakukan dengan melarutkan 1 g *styrofoam* kemasan elektronik yang telah diparut dengan pelarut yang dalam penelitian ini digunakan dikloroetana. Pelarut dikloroetana ini tidak larut dalam air dan diketahui tidak reaktif terhadap asam sulfat [5,10]. Setelah *styrofoam* terlarut sempurna kemudian ditambahkan asam sulfat pekat 98% sebanyak 5 mL. 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, larutan akan berwarna kuning keruh kemudian terbentuk gel lengket berwarna coklat di bawah dan cairan bening yang merupakan pelarut karena pelarut tidak bereaksi dengan asam sulfat ataupun *styrofoam*. Reaksi sulfonasi dihentikan dengan mendinginkan labu reaksi ke dalam air es dan dipisahkan gel yang terbentuk dengan pelarut. Gel coklat tersebut dimasukkan ke dalam aquades dingin untuk mengisolasi dari kelebihan asam sulfat dan pelarut. Gel coklat tersebut berubah warna menjadi merah muda. Pembilasan dilakukan beberapa kali dengan aquades dingin hingga pH larutan netral yang dibuktikan dengan tidak adanya endapan putih bila ditetaskan larutan BaCl_2 0,1 N pada air bilasan seperti halnya pada sulfonasi heterogen. Kemudian endapan didispersikan dalam campuran 25 mL aquades. Ke dalam larutan PSS ditambahkan larutan NaOH 50 % sampai pH sama dengan 10 disertai pengadukan yang konstan selama 6 jam pada suhu 60 °C hingga terbentuk natrium polistirena sulfonat (NaPSS) yang berwarna putih. Sampel kemudian dikeringkan dan hasilnya berupa padatan berwarna putih. Padatan yang berwarna putih ini dibuktikan sebagai NaPSS dengan melakukan pengujian spektroskopi infra merah seperti halnya pada hasil reaksi sulfonasi heterogen. Spektrum hasil uji dapat dilihat pada Gambar 4.

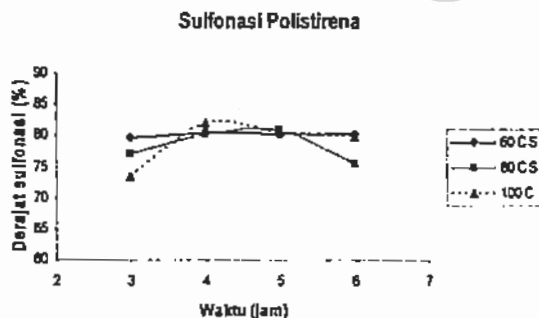


Gbr 4. Spektrum FTIR NaPSS hasil sulfonasi cair-cair menggunakan pelarut

Seperti halnya dengan spektrum NaPSS hasil dari sulfonasi heterogen, 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 $620,1 \text{ cm}^{-1}$ [7-9]. Puncak pada 3000 cm^{-1} 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 [7].

Variasi suhu

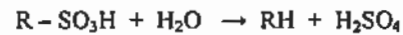
Seperti halnya proses sulfonasi tanpa pelarut, sulfonasi dengan pelarut ini menggunakan suhu 60, 80 dan $100 \text{ }^\circ\text{C}$ dan rentang waktu reaksi sulfonasi 3 – 6 jam. Pada setiap waktu dan suhu, PSS yang dihasilkan diukur derajat sulfonasinya. Pengaruh waktu sulfonasi terhadap derajat sulfonasi pada variasi suhu 60, 80 dan $100 \text{ }^\circ\text{C}$ dapat dilihat pada Gambar 5. Berdasarkan Gambar 5 tersebut terlihat bahwa bertambahnya waktu sulfonasi tidak mempengaruhi derajat sulfonasi pada suhu $60 \text{ }^\circ\text{C}$. Pada suhu 80 dan $100 \text{ }^\circ\text{C}$ terlihat bahwa derajat sulfonasi meningkat seiring bertambahnya waktu sulfonasi dan terjadi kenaikan lebih lanjut pada waktu 4 jam dan 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.



Gbr 5. Pengaruh suhu terhadap derajat sulfonasi

pada sulfonasi homogen

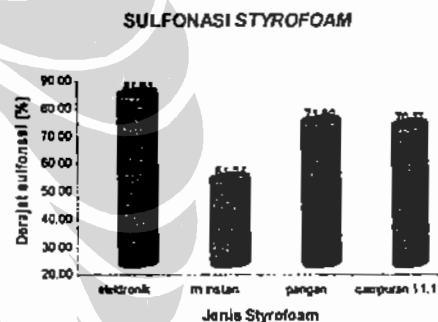
Proses ini disebut proses desulfonasi yang disebabkan oleh reaksi dengan air (hidrolisis) [7].



Pengaruh jenis Styrofoam

Kondisi optimum yang didapatkan pada sulfonasi cair-cair di atas yaitu pada suhu $100 \text{ }^\circ\text{C}$ dan waktu reaksi 4 jam, dicobakan pada tiga jenis styrofoam dengan kegunaan yang berbeda. Yang pertama adalah jenis styrofoam yang digunakan untuk kemasan elektronik, kedua adalah jenis styrofoam untuk kemasan mie instan dan ketiga adalah jenis styrofoam yang digunakan untuk kemasan pangan serta pada campuran ketiga styrofoam tersebut dengan perbandingan 1:1:1. Hasil yang diperoleh dapat dilihat pada Gambar 6.

Derajat sulfonasi terbesar didapat pada styrofoam untuk kemasan elektronik yaitu sebesar 81,91 % dan yang terendah adalah styrofoam kemasan mie instan sebesar 51,24 %. Sulfonasi yang dicobakan juga pada campuran 1:1:1 dari ketiga styrofoam didapatkan hasil derajat sulfonasi sebesar 70,37 %. Perbedaan derajat sulfonasi ini dapat disebabkan karena perbedaan pembuatan dari ketiga jenis styrofoam.



Gbr 6. Derajat sulfonasi berbagai jenis Styrofoam

Derajat sulfonasi pada styrofoam untuk cup kemasan mie instan lebih rendah daripada styrofoam lainnya. Cup kemasan mie instan pada proses pembuatannya densitas dibuat lebih tinggi daripada styrofoam-styrofoam lainnya agar lebih tahan panas [11]. Densitas yang tinggi membuat molekul-molekul polistirenanya menjadi lebih rapat dan lebih sulit disulfonasi sehingga dihasilkan derajat sulfonasi yang lebih rendah daripada styrofoam kemasan elektronik dan pangan. Selain pengujian spektrum FTIRnya, ketiga jenis styrofoam tersebut ditentukan pula berat molekulnya dan berat molekul NaPSS yang dihasilkan dari sulfonasi homogen pada waktu reaksi 4 jam dan suhu $100 \text{ }^\circ\text{C}$. Berat molekul awal limbah EPS diperoleh dengan metode viskosimetri menggunakan viskosimeter Ostwald dengan pelarut toluena sedangkan produk NaPSS dengan pelarut

NaCl 0,5 M. Adapun hasil pengukuran berat molekul tersebut dapat dilihat pada Tabel 1. Berdasarkan Tabel 1 tersebut, ketiga jenis *styrofoam* mempunyai berat molekul rata-rata yang berbeda dan berat molekul hasil NaPSSnya pun berbeda. Berat molekul NaPSS lebih besar dibanding dengan limbah *styrofoam*nya, yang memang diharapkan karena adanya modifikasi dengan masuknya gugus sulfonat. Hal ini dapat dijelaskan karena berat unit monomer PS adalah 104 g/mol sedangkan NaPSS sebesar 184 g/mol. Rasio antara berat unit monomer antara PS dan NaPSS kurang lebih 1,76. Pada kasus ini hasil yang diharapkan dari 100% sulfonasi PS sekitar 162.276 g/mol untuk *styrofoam* 1, 163.286 g/mol untuk *styrofoam* 2 dan 159.757 g/mol untuk *styrofoam* 3. Tetapi pada penelitian ini didapatkan nilai berat molekul rata-rata sebesar 132.778, 125.746, dan 136.532 g/mol untuk masing-masing *styrofoam* 1,2 dan 3 yang menunjukkan bahwa *styrofoam* tidak tersulfonasi 100% atau derajat sulfonasi PS <100%. Perkiraan berat molekul rata-rata dari ketiga jenis *styrofoam* 1,2 dan 3 bila dihitung dari hasil derajat sulfonasi pada Gambar 6 adalah sekitar 143.288, 129.328 dan 144.632 g/mol. Hasil ini memberikan asumsi bahwa PS mungkin terdegradasi selama proses modifikasi kimia karena hasil yang diperoleh kurang dari nilai perkiraan. Degradasi yang terjadi sekitar 2 – 7% bila dihitung dari perbedaan berat molekul rata-rata teoritis yang dihitung berdasarkan derajat sulfonasinya dengan berat molekul rata-rata yang dihasilkan dari penelitian. Penelitian Akevali, G *et al* [6] dan de Assuncao, RMN, *et al* [3] juga menunjukkan adanya degradasi selama proses reaksi akibat suhu panas dan waktu reaksi yang lama tanpa katalis.

Jar Test

Sebagaimana dijelaskan di awal, produk NaPSS diharapkan dapat diaplikasikan sebagai bahan kimia

flokulan pengolahan air. Untuk menguji efektifitas NaPSS sebagai flokulan, dilakukan jar test dengan menggunakan air danau. Koagulan yang digunakan adalah poli aluminium klorida (PAC) dengan dosis 25 ppm PAC tanpa pengaturan pH. Sampel air danau yang akan dijernihkan memiliki nilai pH sebesar 7,09, nilai DHLnya 57 µmhos dan turbiditas sebesar 24,58 ntu. Untuk penentuan dosis flokulan NaPSS yang digunakan adalah produk sulfonasi cair-cair dengan pelarut pada suhu 100 °C dan waktu 4 jam. Sebelum dipergunakan NaPSS dilarutkan terlebih dahulu di dalam air dengan konsentrasi 5 % untuk memudahkan pelaksanaan jar test.

Sebagai referensi, NaPSS dibandingkan dengan produk flokulan aquaklir yang telah beredar di pasaran. Hasil jar test terhadap NaPSS dan perbandingannya dengan aquaklir dapat dilihat pada Tabel 2. Dari data di atas terlihat bahwa NaPSS terbukti 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, terlihat bahwa kemampuan flokulasi NaPSS masih belum optimum. Aquaklir dapat menurunkan turbiditas air danau menjadi <1 ntu atau sekitar 98% penurunan dan ukuran flok yang dihasilkannya pun lebih besar dibanding flok menggunakan NaPSS. Hal ini dapat disebabkan adanya perbedaan berat molekul yang besar antara NaPSS hasil penelitian dan aquaklir. Aquaklir pada spesifikasinya tidak mencantumkan secara pasti nilai berat molekulnya tetapi hanya ditulis sangat tinggi, hal ini dibuktikan dengan viskositasnya yang sangat besar bila dibandingkan dengan NaPSS. Berat molekul rata-rata NaPSS hasil penelitian berkisar 125.000 – 136.000 g/mol.

Tabel 1. Berat molekul rata-rata *Styrofoam*

| No | Sampel | Berat Molekul (g/mol) | Berat Molekul NaPSS yang dihasilkan (g/mol) |
|----|---|-----------------------|---|
| 1 | Sampel <i>styrofoam</i> kemasan makanan ritel | 92.202 | 132.778 |
| 2 | Sampel <i>styrofoam</i> kemasan mie instan | 92.776 | 125.746 |
| 3 | Sampel <i>styrofoam</i> kemasan elektronik | 90.771 | 136.532 |

Tabel 2. Hasil Jar Test

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

Namun perbedaan berat molekul ini belum secara pasti diketahui apakah mempengaruhi kinerja flokulan karena struktur molekul aquaklir tidak diketahui. Bila struktur molekul sama maka perbedaan berat molekul mempengaruhi jumlah muatan negatif polielektrolit. Semakin besar berat molekulnya, jumlah muatan negatif akan semakin banyak dan semakin menarik flok-flok hasil koagulasi yang bermuatan positif membentuk flok yang lebih besar lagi.

4. KESIMPULAN

Sulfonasi styrofoam dengan asam sulfat pekat menghasilkan polimer yang larut dalam air dan dapat digunakan sebagai flokulan penjernihan air. 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 cair-cair adalah 81,91% pada kondisi suhu 100 °C dan waktu reaksi 4 jam. Berat molekul rata-rata limbah styrofoam yang digunakan pada penelitian berkisar antara 90.000 – 92.800 g/mol dan menghasilkan NaPSS dengan berat molekul antara 125.000 – 136.000 g/mol. Aplikasi NaPSS sebagai flokulan pada penjernihan air danau dapat menurunkan nilai kekeruhan air dari 24,58 ntu menjadi sekitar 1 ntu walaupun flok yang dihasilkan tidak sebesar bila menggunakan aquaklir, salah satu flokulan yang beredar di pasaran.

DAFTAR ACUAN

- [1] Polystyrene Packaging Council. 2004. *Polystyrene Food Service Packaging – Benefits, Performance, and the Environment*.
- [2] EPS Packaging Group. 2002. *EPS and the Environment*. Buyer's Guide.
- [3] De Assuncao, Rosana. et al. 2005. "Synthesis, Characterization, and Application of the Sodium Poly (styrene sulfonate) Produced from Waste Polystyrene Cups as an Admixture in Concrete". *J. Appl. Polym. Sci*, Vol 96. 1534 – 1538.
- [4] Inagaki, Yasuhito et al. 1999. "Reclamation of Waste Polystyrene by Sulfonation". *Langmuir*, 15, 4171 – 4175.
- [5] Fahrurrozi. 2004. *Sulfonasi Expanded Polystyrene untuk menghasilkan Anionic Flocculant*. Tesis Program Studi Ilmu Material. FMIPA UI.
- [6] Akovali, G et al. 1986. "Notes on modification of polystyrene by sulphonation: Some properties of poly (styrene sulphonic acid)", *Polymer*, Vol. 27, 1277-1280.
- [7] Kucera, F. 1998. "Homogeneous and Heterogeneous Sulfonation of Polymers: A Review". *Polym. Eng. Sci*. Vol. 38. No.5, 783 – 792.
- [8] Williams, DH et al. 1980. *Spectroscopic methods in organic chemistry*. Third edition. McGraw-Hill Book Company. UK
- [9] Hua, Ming-Li et al. 2001. "Synthesis and physical properties of sulfonated syndiotactic polystyrene ionomers". *Polym. Int.*, 50, 421 -428.
- [10] Martins, CR et al. 2003. "Synthesis in pilot scale and physical properties of sulfonated polystyrene", *J. Braz. Chem. Soc*, No.5, vol 14.
- [11] www.polystyrene-machinery.com/Expanded-Polystyrene-Foam-EPP.html. 19 Juli 2006.