KOPOLIMERISASI PENCANGKOKAN ASAM AKRILAT PADA FILM PP DENGAN TEKNIK IRADIASI AWAL

Yohan, Rifaid M. Nur, Lilik Hendrajaya, E. S. Siradj

Departemen Teknik Metalurgi dan Material,

Fakultas Teknik Universitas Indonesia

Kampus Baru UI, Depok 16424

E-mail: ytiara@ristek.go.id, yohantiara@yahoo.com

Naskah diterima 12 Agustus 2005, dinilai 15 Agustus 2005, dan disetujui 26 Desember 2006

Abstrak

Telah dilakukan proses pencangkakan dengan teknik iradiasi awal monomer asam akrilat pada film polipropilena (PP) untuk bahan membran hidrofil yang dapat berperan sebagai membran penukar kation. Film PP diiradiasi dengan sinar- γ dan selanjutnya dicangkakan menggunakan monomer asam akrilat dalam pelarut air. Beberapa kondisi preparasi ditentukan untuk mendapatkan persen pencangkakan yang optimum, seperti laju dan dosis total radiasi, konsentrasi monomer, waktu dan suhu pencangkakan. Karakterisasi dari beberapa sifat bahan membran tercangkakan juga dipelajari dan dilakukan pengujian kemungkinan penggunaannya dalam fuel cell dan dalam pengolahan limbah yang mengandung logam berat beracun, seperti As, Cd, Co, Cu, Fe, dan Pb. Dari hasil penelitian diperoleh kondisi relatif baik untuk pencangkakan yaitu dosis total 45 kGy, laju dosis 7 kGy/jam, asam akrilat 40% volume, waktu pencangkakan 90 menit, dan suhu pencangkakan 70°C memberikan persen pencangkakan PP-g-AA = 350-450% berat. Ion-ion logam yang mudah membentuk senyawa kelat relatif lebih mudah dielusi dari membran yang direndam dalam larutan HCl 0,1 N selama 2 jam pada suhu kamar. Tingkat penyerapan membran tercangkakan (PP-g-AA) terhadap ion-ion logam adalah $Fe > Co > Cu > As > Cd > Pb$. Akhirnya, suatu campuran yang terdiri atas tiga ion logam dalam larutan umpan digunakan untuk menentukan selektivitas membran terhadap ion-ion logam. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa membran tercangkakan mempunyai kemungkinan untuk digunakan dalam pengolahan logam-logam berat dalam air limbah.

Kata Kunci: Pencangkakan Iradiasi Awal, Membran Penukar Kation, Sel Bahan Bakar, Pengolahan Limbah

Abstract

Grafting pre-irradiation process of acrylic acid monomer on polypropylene (PP) film for hydrophilic membrane as cationic exchanger membrane have been done. PP film is irradiated by γ -ray and is then grafted by acrylic acid monomer in water. The preparation conditions such as rate and total dose of irradiation, monomer concentration, time and temperature of grafting have been studied in order to get the optimum grafting process. Some properties of the prepared grafted membranes were characterized and accordingly the possibility of its applications in fuel cell and in waste water treatment for toxic heavy metals removals, such as As, Cd, Co, Cu, Fe and Pb was investigated. The optimum grafting condition was as follows: total dose was 45 kGy, dose rate was 7 kGy/hour, acrylic acid was 40% volume, grafting time was 90 minutes, and grafting temperature was 70°C which gave a percent of grafting PP-g-AA of 350-450% weight. The chelated metal ions were easily desorbed by treating the membrane with 0.1 N HCl for 2 hours at room temperature. The sorption level of grafted membrane (PP-g-AA) to metallic ions are $Fe > Co > Cu > As > Cd > Pb$. Finally, a mixture of three metals in the same feed solution was used to determine the selectivity of the membrane toward different metals. The results obtained for the prepared membranes showed a promise for their applicability in the removal of heavy metals from wastewater.

Keywords: Grafted Pre-irradiation, Cationic Exchanger Membrane, Fuel Cell, Waste Treatment

1. Pendahuluan

Dua masalah penting yang perlu mendapatkan perhatian banyak pihak saat ini adalah masalah krisis energi akibat makin langkanya bahan bakar minyak dan masalah lingkungan. Masalah krisis energi dapat diatasi salah satunya dengan pencarian sumber energi alternatif semacam *fuel cell* yang ramah lingkungan. Alat ini bekerja secara elektrokimia dengan produk samping bahan-bahan yang tidak membahayakan lingkungan. Sementara salah satu masalah lingkungan yang cukup menarik adalah upaya pemisahan dan pengambilan kembali (*recovery*) logam-logam dari air limbah industri. Ada sejumlah logam-logam berat yang terkandung dalam air limbah yang jika dibuang akan membahayakan lingkungan.

Terkait dengan dua masalah tersebut pada makalah ini akan didiskusikan preparasi dan karakterisasi membran penukar kation. Bahan membran diproses dengan teknik pencangkakan secara radiasi awal menggunakan film polipropilena (PP) dan monomer asam akrilat.

Membran yang dihasilkan dari proses pencangkakan secara radiasi diharapkan dapat digunakan untuk aplikasi sel bahan bakar dan pengolahan air limbah industri. Penelitian semacam ini telah banyak dilakukan, seperti penggunaan polimer tertentu untuk sel bahan bakar (Rikukawa and Sanui, 2000, Kerres, 2001) dan untuk memisahkan ion-ion logam berat (Hegazy *et al.*, 1999, Gupta *et al.*, 2002) dan masih terus dilanjutkan mengingat efisiensi dan unjuk kerja yang masih perlu ditingkatkan.

2. Fundamental

Sel bahan bakar (*fuel cell*) merupakan suatu sel elektrokimia yang bekerja dengan cara mengubah energi kimia menjadi energi listrik. Persamaan reaksi yang terjadi dapat dituliskan sebagai berikut:

Berdasarkan jenis elektrolit yang digunakan saat ini telah dikenal jenis *Proton Exchange Membrane Fuel Cell* (PEMFC). PEMFC menggunakan polimer sebagai membran elektrolit (William, 2000). Bahan polimer yang banyak digunakan terbuat dari politetrafluoroetilen (PTFE) termodifikasi dengan nama dagang *Nafion* (DuPontTM, 2002). Kemampuan *Nafion* untuk memisahkan reaktan dan penghantar proton sudah terbukti sangat baik. Namun, untuk mengembangkan PEMFC lebih lanjut, penggunaan bahan ini secara tekno-ekonomi

menjadi kendala karena sangat mahal dan secara teknis bahan ini masih kurang efisien dalam hal menahan gas dan belum dapat mencegah *fuel cross-over* secara baik. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian untuk mendapatkan membran alternatif yang di satu sisi mempunyai efisiensi pemisahan yang tinggi dan di sisi lain sangat ekonomis.

Pencangkakan secara radiasi adalah salah satu metode untuk memodifikasi bahan-bahan polimer. Pada teknik ini radiasi diperlukan sebagai suatu penginisiasi terjadinya proses polimerisasi. Radiasi bisa bersumber dari sinar- dan proses pencangkakan dilakukan setelah polimer diiradiasi (pencangkakan iradiasi awal) (Charlesby, 1960). Teknik ini sangat baik digunakan untuk polimer semikristalin semacam PP yang mempunyai bagian kristalin sebesar 50-60% (Anonim, 2005), karena radikal bebas yang dihasilkan dari proses iradiasi mempunyai umur yang relatif panjang dan homopolimer yang terbentuk dapat dicegah seminimal mungkin, sehingga dapat disiapkan kopolimer tercangkak yang relatif murni (Chapiro, 1962). Agar terjadi reaksi kimia antara bagian aktif polimer dan monomer maka pencangkakan metoda iradiasi dilakukan dalam suasana vakum (Subianto *et al.*, 1987) atau jenuh gas nitrogen (Walsby *et al.*, 2001).

Mekanisme reaksi rantai pembentukan polimer dalam proses kopolimerisasi meliputi tahap-tahap inisiasi, propagasi, dan terminasi (Nasef *et al.*, 2004). Kekhasan reaksi polimerisasi adalah pada tahap inisiasi. Pada pencangkakan secara radiasi, inisiasinya adalah radikal yang dihasilkan dari proses iradiasi polimer. Radikal polimer yang terbentuk pada tahap propagasi akan bereaksi dengan suatu matriks melalui tiga cara, yaitu: a) perpindahan radikal ke suatu monomer. Pada cara ini rantai polimer yang masih aktif akan memindahkan radikal bebasnya ke monomer dan kemudian polimer ini tidak aktif lagi. Selanjutnya monomer yang aktif akan melakukan reaksi homopolimerisasi; b) perpindahan radikal ke spesies lain. Peristiwa ini memberi efek tidak langsung pada reaksi; c) perpindahan radikal ke pelarut. Peristiwa ini akan sangat menentukan hasil reaksi. Pemilihan pelarut yang baik akan memberikan hasil pencangkakan yang baik pula. Selanjutnya pada tahap terminasi aktivitas pertumbuhan polimer akan terhenti melalui dua mekanisme terminasi, yaitu adisi dua polimer yang tumbuh menjadi satu polimer dan disproporsionasi suatu atom dari salah satu radikal ke radikal lain, kemudian membentuk satu molekul jenuh dan satu molekul tidak jenuh.

3. Metodologi

Bahan yang dipakai adalah film PP dengan ketebalan 100 m buatan PT. Tripolyta Indonesia. Asam akrilat dan etanol, masing-masing buatan Merck, dan gas N₂ dengan kemurnian tinggi.

Cuplikan film-film LLDPE, HDPE, dan PP berukuran 3x4 cm diekstraksi dengan etanol lalu dikeringkan dalam oven hingga diperoleh berat konstan. Cuplikan divakumkan kemudian dialiri dengan gas nitrogen. Selanjutnya cuplikan diiradiasi dengan laju dosis 7 kGy/jam dan dosis total dari 15 sampai 60 kGy. Setelah itu cuplikan yang telah diiradiasi divakumkan kembali dan ditambahkan larutan asam akrilat yang telah dialiri gas nitrogen kemudian dicangkok pada suhu 70°C selama 90 menit. Hasil optimasi dari percobaan variasi dosis total digunakan untuk mengulangi percobaan dengan variasi laju dosis, variasi konsentrasi asam akrilat, kemudian variasi suhu dan waktu pencangkokan.

Cuplikan tercangkok asam akrilat dicuci dengan air panas dan selanjutnya dikeringkan hingga diperoleh berat konstan. Jumlah monomer yang tercangkok dalam polimer dinyatakan dengan Persen pencangkokan (pp) dan dihitung dengan menggunakan Persamaan (1).

$$pp = \frac{m_c - m_a}{m_a} \times 100\% \quad (1)$$

Di mana m_a adalah massa film mula-mula dan m_c adalah massa film tercangkok.

Film PP-g-AA yang diketahui berat keringnya direndam dalam air distilat selama satu malam, kemudian dikeringkan dengan cara menghisap film yang basah menggunakan kertas saring/isap. Banyaknya air yang tersorpsi pada film PP-g-AA dinyatakan sebagai persen pengikatan air (PA) dan dihitung dengan Persamaan (2).

$$PA = \frac{m_b - m_c}{m_c} \times 100\% \quad (2)$$

Di mana m_b dan m_c masing-masing adalah massa film tercangkok basah dan kering.

Untuk menguji daya hantar proton, membran dicelupkan ke dalam larutan KCl-HCl 0,1 N dan dibiarkan selama semalam hingga mencapai keseimbangan. Keesokan harinya, sisa larutan KCl-HCl yang tidak terserap dititrasi dengan larutan standar NaOH 0,1 N. Sedangkan untuk menguji daya serap terhadap ion-ion logam, Membran dicelupkan ke dalam larutan umpam standar As, Cd, Co, Cu, Fe, dan Pb 1.000 ppm. Ion logam yang tersisa dalam larutan umpam diukur dengan Spektrometer Serapan Atom (GBC 902) menggunakan metode kalibrasi standar.

4. Hasil Dan Pembahasan

Proses kopolimerisasi pencangkokan monomer merupakan salah satu cara untuk memodifikasi permukaan polimer sehingga diperoleh sifat-sifat permukaan yang sesuai untuk diaplikasikan seperti misalnya keberadaan gugus fungsi, hidrofilitas yang tinggi, *impermeable* terhadap reaktan pada PEMFC, *wettability* yang dibutuhkan untuk penukar ion, maupun sebagai adsorben. Beberapa faktor yang mempengaruhi proses kopolimerisasi pencangkokan akan didiskusikan pada bagian ini.

Proses kopolimerisasi pencangkokan yang diinisiasi dengan radiasi sinar- γ (⁶⁰Co) mengikuti mekanisme radikal bebas. Oleh karena itu, persen pencangkokan sangat bergantung pada banyaknya radikal bebas yang terbentuk baik pada polimer maupun monomer. Pengaruh laju dan dosis total radiasi terhadap persen pencangkokan film PP ditunjukkan pada Gambar 1. Terlihat bahwa persen pencangkokan meningkat seiring dengan meningkatnya dosis total radiasi. Hal ini dimungkinkan mengingat dengan meningkatnya dosis radiasi maka jumlah radikal bebas yang dihasilkan juga meningkat. Akibatnya reaksi kopolimerisasi dengan monomer menjadi semakin tinggi. Bila dosis total radiasi dinaikkan diperkirakan persen pencangkokannya juga akan terus meningkat.

Gambar 1. Pengaruh Dosis Total Radiasi Terhadap Persen Pencangkokan (Kondisi percobaan: laju dosis radiasi 7 kGy/jam, konsentrasi asam akrilat 30%, waktu pencangkokan 90 menit dan suhu pencangkokan 70°C)

Namun demikian, pada suatu dosis total tertentu akan menyebabkan persen pencangkakan mencapai harga yang maksimum karena adanya rekombinasi antara radikal-radikal bebasnya (Hegazy *et al.*, 1981). Terlebih untuk polimer semikristalin semacam PP, dosis total radiasi yang tinggi akan menyebabkan peningkatan kristalinitas. Peningkatan kristalinitas ini berakibat pada penurunan kecepatan difusi monomer pada polimer induk (*backbone*). Berarti, dosis yang terlalu tinggi akan menurunkan efisiensi radikal pada reaksi pencangkakan.

Biasanya pada laju dosis radiasi yang semakin kecil maka akan menghasilkan persen pencangkakan yang semakin besar. Hal ini disebabkan pada laju dosis yang lebih kecil akan lebih banyak waktu yang digunakan sinarg- γ untuk membuka rantai ikatan, akibatnya jumlah radikal bebas yang terbentuk akan lebih banyak (Chapiro, 1962). Namun, sebagaimana terlihat pada Gambar 1 di mana ketiga kurva tampak menyerupai maka pada percobaan ini laju dosis 7 kGy/jam dan laju dosis yang lebih rendah tidak menunjukkan perbedaan persen pencangkakan yang berarti. Oleh karena itu, dengan memperhitungkan aspek ekonomi, waktu dan kemungkinan buruk yang dapat terjadi bila dosis total terlalu tinggi maka untuk keperluan sintesis bahan pada percobaan selanjutnya digunakan laju dosis radiasi 7 kGy/jam dan dosis total radiasi pada 45 kGy.

Salah satu aspek kinetika dan fenomena transfer yang paling berperan dalam metode pencangkakan dengan inisiasi radiasi adalah konsentrasi monomer. Secara keseluruhan, konsentrasi monomer sangat menentukan kinetika proses pencangkakan, sebagaimana terlihat pada Gambar 2.

Konsentrasi monomer memberi pengaruh terhadap persen pencangkakan karena berkaitan dengan difusibilitas monomer atau kemampuan monomer berdifusi ke dalam matriks film polimer induk. Difusibilitas monomer akan meningkat dengan meningkatnya konsentrasi monomer. Pada Gambar 3 terlihat bahwa persen pencangkakan terus naik hingga mencapai puncaknya pada konsentrasi monomer asam akrilat 40%. Pada konsentrasi 50% terjadi penurunan persen pencangkakan karena faktor viskositas dan laju homopolimerisasi.

Homopolimerisasi adalah peristiwa polimerisasi monomer dengan monomer sejenisnya. Tingginya kadar homopolimer sangat berpengaruh terhadap kemampuan monomer untuk menembus matriks film polimer yang akan dicangkok. Viskositas tinggi dan homopolimerisasi menyebabkan penurunan mobilitas pertumbuhan rantai kopolimer.

Perbedaan konsentrasi monomer yang bermakna akan memberikan perbedaan hasil pencangkakan yang jelas. Konsentrasi monomer terbaik untuk sistem pencangkakan dengan sistem yang lain tidak selalu sama. Hal itu sangat bergantung pada berbagai faktor seperti jenis pelarut, bahan polimer induk, serta laju dan dosis total radiasi yang digunakan.

Gambar 2. Pengaruh Konsentrasi Asam Akrilat Terhadap Persen Pencangkakan (Kondisi percobaan: laju dosis 7 kGy/jam, dosis total radiasi 45 kGy/jam, suhu pencangkakan 70°C, waktu pencangkakan 90 menit)

Waktu pencangkakan mempengaruhi persen pencangkakan karena berkaitan dengan keleluasaan radikal bebas untuk bereaksi dengan monomer dan difusi monomer ke matriks film polimer induk, seperti ditampilkan Gambar 3. Persen pencangkakan yang rendah dihasilkan pada waktu pencangkakan yang kurang memberikan keleluasaan radikal-radikal bebas bereaksi dengan monomer. Tetapi waktu pencangkakan yang terlalu lama memberikan kurva menjadi datar sebagai akibat telah tercapainya tahap terminasi.

Aspek lain yang berkaitan erat dengan kinetika proses pencangkakan adalah suhu pencangkakan. Pada penelitian ini dipelajari variasi suhu pencangkakan pada 30°C sampai 90°C. Sebagaimana terlihat pada Gambar 3 persen pencangkakan meningkat dari suhu 30°C hingga 70°C namun menurun drastis pada suhu 90°C. Kenaikan persen pencangkakan dari 30°C ke 70°C disebabkan pada suhu yang tinggi (akibat pemanasan), radikal bebas polimer akan bergerak lebih cepat sehingga reaksi rekombinasi antara radikal akan lebih cepat pula. Di samping itu, antara radikal polimer dan monomer terjadi reaksi aditif yang membentuk kopolimer cangkok yang cepat pula (Utama, 1986). Di antara peristiwa itu

akan terjadi kompetisi. Penurunan persen pencangkakan pada suhu 90°C dimungkinkan mengingat pada suhu 90°C terjadi rantai-rantai cabang polimer secara cepat pada tahap propagasi, tetapi kemudian cabang-cabang itu terjebak dalam medium viskos yang mengakibatkan monomer sulit untuk menuju pusat aktif karena proses terminasi yang terlalu cepat juga. Bila terjadi difusi udara pada suhu 90°C maka terjadi gugus-gugus hidropersil yang dapat meningkatkan homopolimerisasi dan pada suhu ini bagian-bagian polimer yang bersifat kristalin meleleh dalam medium reaksi.

Gambar 3. Pengaruh Waktu Pencangkakan Terhadap Persen Pencangkakan (Kondisi percobaan: laju dosis 7 kGy/jam, dosis total radiasi 45 kGy/jam, Konsentrasi asam akrilat 40% Volume)

Suhu pencangkakan memberikan pengaruh secara bersamaan terhadap kelarutan dan daya difusi, kecepatan atau laju propagasi, dan kecepatan terminasi rantai yang merupakan kontrol pada proses difusi monomer. Hal itu menunjukkan bahwa laju pencangkakan dapat meningkat atau menurun tergantung pada dua parameter pertama. Sementara parameter ketiga menjadi tahap pengontrol laju atau kecepatan pencangkakan. Dengan demikian, semakin tinggi suhu, kecepatan terminasi rantai juga semakin meningkat (Chapiro, 1962).

Untuk menjelaskan kemungkinan penggunaan membran tercangkok pada aplikasi *fuel cell* dan pengolahan air limbah, beberapa sifat akan didiskusikan pada bagian ini, seperti serapan sinar inframerah, daya pengembangan, dan sifat-sifat mekanik.

Spektrum serapan inframerah film PP sebelum dan sesudah proses pencangkakan diperlihatkan pada Gambar 4. Sebelum pencangkakan, spektrum film PP yang terlihat pada Gambar 4 (a) memiliki sedikit serapan dengan puncak yang kuat. Hal ini mencerminkan struktur dasar polimer PP yang nonpolar dan sederhana. Pita serapan yang kuat nampak pada daerah 2900 cm^{-1} yang merupakan vibrasi ulur gugus metil ($-\text{CH}_3$) sedangkan pada bilangan gelombang 1460 cm^{-1} merupakan vibrasi tekuk gugus metilen ($-\text{CH}_2-$). Selain itu terlihat pula pita serapan vibrasi goyang gugus metil pada bilangan gelombang 1370 cm^{-1} dan vibrasi ayun gugus metilen pada bilangan gelombang 720 cm^{-1} . Pita serapan lain, terlihat pada bilangan- gelombang 850, 980, dan 1250 cm^{-1} .

Gambar 4. Spektrum Serapan Infra Merah Film PP (a) Sebelum dan (b) Sesudah Pencangkakan

Bila spektrum tersebut dibandingkan dengan film hasil pencangkakan (Gambar 4 (b)), maka terlihat adanya perbedaan yang mencolok pada spektrum serapannya. Perbedaan ini mengarahkan bahwa film PP telah mengalami pencangkakan asam akrilat. Pada spektrum film hasil pencangkakan muncul vibrasi ulur O-H pada bilangan gelombang 2660 cm^{-1} , vibrasi ulur C=O di sekitar bilangan gelombang 1700 cm^{-1} , vibrasi tekuk O-H pada bilangan gelombang 1470 cm^{-1} , dan vibrasi ulur C-O pada bilangan gelombang 1370 cm^{-1} .

Pada membran elektrolit polimer, konduktivitas sangat berkaitan dengan sifat-sifat membran seperti kapasitas penukar ion dan kemampuan mengikat air. Air diperlukan untuk melarutkan proton dari gugus-gugus asam. Sebelum pencangkakan, polimer film induk bersifat hidrofobik dan mempunyai berat jenis lebih kecil daripada air, yaitu 0,850-0,946 g/cm^3 . Setelah pencangkakan, polimer film menjadi

bersifat hidrofilik dan membentuk kanal-kanal yang dapat mentransfer proton. Hal inilah yang disebut konduktivitas proton. Kemampuan mengikat air ini ditunjukkan dengan daya pengembangan membran dalam air, yang sangat dipengaruhi oleh sifat kristalinitas, matriks membran polimer, dan jumlah gugus hidrofilik yang terbentuk, namun tidak terlalu dipengaruhi oleh dosis total pada saat iradiasi awal. Gambar 5 menunjukkan kemampuan bahan membran film PP-g-AA dalam mengikat air. Studi mengenai kemampuan mengikat air atau daya pengembangan bahan membran dalam air akan sangat berguna dalam aplikasinya pada PEMFC.

Gambar 5. Pengaruh Persen Pencangkakan terhadap Daya Pengembangan Bahan Membran dalam Air

Salah satu sifat membran yang sangat penting adalah sifat mekanik yang baik dan sesuai dengan penggunaan aplikasinya. Gambar 6 memperlihatkan pengaruh persen pencangkakan terhadap kekuatan tarik dan persen perpanjangan membran tercangkok. Ternyata kekuatan tarik membran tercangkok bertambah dengan semakin besarnya persen pencangkakan, namun sebaliknya persen perpanjangannya semakin menurun.

Penurunan persen perpanjangan membran tercangkok dimungkinkan mengingat proses iradiasi telah menyebabkan terbentuknya struktur jaringan berikatan silang yang pada proses pencangkakan dilanjutkan dengan terbentuknya ikatan hidrogen pada gugus karboksilat dari monomer (Chapiro, 1962). Pembentukan struktur jaringan berikatan silang demikian yang menyebabkan kekuatan tariknya yang semakin bertambah.

Daya ikat membran tercangkok terhadap ion proton (H_3O^+) dapat memberikan gambaran mengenai daya difusi proton ke dalam membran. Percobaan sederhana yang telah dilakukan adalah

(a)

(b)

Gambar 6. Perubahan Sifat-sifat Mekanik terhadap Film-film Hasil Pencangkakan. (a) Kekuatan Tarik, (b) Persen Perpanjangan

dengan cara merendam membran dalam larutan KCl-HCl 0,1 N dan kemudian sisa HCl yang tidak terserap oleh membran dititrasi dengan larutan NaOH 0,1 N. Namun hasil percobaan belum memperlihatkan adanya difusi proton dalam membran. Hal ini diperkirakan karena gugus karboksilat pada membran tercangkok merupakan asam lemah yang dapat bekerja dengan baik pada pH tinggi sehingga walaupun ada proses pertukaran maka proton yang berdifusi terlalu sedikit yang hanya bisa diamati secara elektrokimia dengan *scanning electrochemical microscopy* (Nachad and Schubert, 1956).

Dalam penelitian ini membran tercangkok digunakan untuk memurnikan air dari logam-logam berat. Logam yang terserap dinyatakan dalam mmol/g, yaitu mmol ion logam terserap tiap satuan massa gugus fungsi membran tercangkok. Pengaruh waktu penyerapan terhadap logam

terserap pada membran tercangkok dinyatakan dalam Gambar 7. Terlihat bahwa persen penyerapan logam cenderung naik sampai nilai maksimum pada kira-kira 2 jam waktu penyerapan untuk logam-logam yang dipelajari, As, Cd, Co, Cu, Fe, dan Pb. Waktu penyerapan yang lebih lama dari dua jam cenderung tidak memberikan penambahan persen penyerapan logam, bahkan setelah 24 jam. Pada bahan membran yang dipakai diperoleh perbedaan persen penyerapan tiap logam, yaitu $Fe > Co > Cu > As > Cd > Pb$. Hal ini dimungkinkan mengingat massa atom relatif yang kecil akan mempunyai jari-jari atom/ion dan mobilitas yang lebih besar serta afinitas elektron yang lebih kecil.

Gambar 7. Pengaruh Waktu Penyerapan terhadap Logam Terserap

Bila membran tercangkok diserapkan ke dalam larutan ion logam, baik secara sendiri-sendiri (nonkompetitif) maupun secara bersama-sama (kompetitif) maka penyerapan maksimum membran tercangkok terhadap ion logam dapat dilihat pada Gambar 8. Kedua perlakuan memperlihatkan bahwa membran PP-g-AA

Gambar 8. Penyerapan Maksimum Membran Tercangkok terhadap Ion Logam

cenderung menyerap ion Fe lebih besar daripada ion Cu dan Co. Hal ini menunjukkan adanya selektivitas membran terhadap ion logam tertentu.

Di samping faktor migrasi dan afinitas elektron, selektivitas ion logam tertentu dipengaruhi kemudahan ion logam tersebut membentuk struktur kelat. Struktur kelat dengan valensi dan bilangan koordinasi besar relatif lebih mudah terabsorpsi dan desorpsi dibanding struktur yang lebih kecil.

5. Kesimpulan

Membran hidrofilik yang berfungsi sebagai penukar kation (proton dan ion-logam) dapat disiapkan dengan proses pencangkakan monomer asam akrilat pada film polimer PP.

Persen pencangkakan dipengaruhi oleh dosis total radiasi, konsentrasi monomer, suhu dan waktu pencangkakan, dan tidak terlalu dipengaruhi oleh laju dosis. Diperoleh kondisi relatif baik untuk pencangkakan, yaitu dosis total 45 kGy, laju dosis 7 kGy/jam, konsentrasi asam akrilat 40% volume, suhu pencangkakan 70°C, waktu pencangkakan 90 menit, dan memberikan persen pencangkakan PP-g-AA = 350-450% berat.

Selektivitas membran terhadap ion-ion logam bergantung pada kemudahan ion tersebut membentuk struktur khelat. Tingkat penyerapan membran tercangkok PP-g-AA terhadap ion-ion logam adalah $Fe > Co > Cu > As > Cd > Pb$.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kementerian Negara Riset dan Teknologi untuk beasiswa S-3 dan kepada BATAN atas fasilitas iradiasinya sehingga penelitian ini bisa berjalan dengan baik.

Daftar Pustaka

- [1] Anonim, Polypropylene. <http://www.pslc.ws/mactest/level2.html>. Diakses April 2005
- [2] Chapiro, A., (1962), "Radiation Chemistry of Polymer", Interscience Publishers. London. 712 pp
- [3] Charlesby, A., (1960), "Atomic Radiation and Polymers", Pergamon Press. London, 556 pp
- [4] DuPont™, (2002), "Product Information: Nafion® PFSA Membranes N-112, NE-1135, N-115, N-117, NE-1110, 2002
- [5] Gupta, B., N. Anjum, K. Sen., (2002), "Development of Membranes by Radiation Grafting of Acrylamide into Polyethylene

- Films: Properties and Metal Ion Separation", *Journal of Applied Polymer Science*, 85, 282-291
- [6] Hegazy, A., N.H. Taher, A. Rabie, M.A. Dessauki, J. Okamoto, (1981), "Study on Radiation Grafting on Fluorine-Containing Polymer II, Properties of Membrane Obtained by Preirradiation Grafting onto Poly(tetrafluoroethylene)", *Journal of Applied Polymer Science*, Vol. 26. John Wiley&Sons.Inc. 3872-3883
 - [7] Hegazy, E. A., H.A. Abd El-Rehim, H.A. Shawky. (1999), "Investigation and Characterization of Radiation Copolymers for Possible Practical Use in Waste Water Treatment", *Radiation Physics and Chemistry*, 57, 85-95
 - [8] Kerres, J.A., (2001), "Development of Ionomer Membranes for Fuel Cells", *Journal of Membrane Science*, 85, 3-27
 - [9] Nachad, F. C., J. Schubert., (1956), "Ion Exchange Technology", Academic Press Inc. Publ., New York
 - [10] Nasef, M.M., E. A. Hegazy, (2004), "Preparation and Applications of Ion Exchange Membranes by Radiation - Induced Graft Copolymerization of Polar Monomers onto Nonpolar Films", *Progress in Polymers Science*, 29, 499-561
 - [11] Rikukawa, M., K. Sanui., (2000), "Proton-Conducting Polymer Electrolyte Membranes based on Hydrocarbon Polymers", 25 1463-1502
 - [12] Subianto, Y.S., K. Makuuchi, I. Ishigaki., (1987), "Die Angewandte Makromolkulare Chemie", 152, 159-168
 - [13] Utama, M., (1986), "Penempelan Campuran Monomer Akrilonitril Stirena pada Rayon Iradiasi", *Majalah BATAN Vo. XVII*, No.2. 1-16
 - [14] Walsby, N., F. Sundholm, T. Kallio, G. Sundholm, (2001), "Radiation-Grafted Ion Exchange Membranes: Influences of the Initial Matrix on The Synthesis and Structure", *J. Polymer Science part A: Polym Chem*, 39, 3008
 - [15] William, M. C., (2000), "Fuel cell Handbook", Fifth Edition. US Department of Energy. Morgantown, West Virginia. 352 pp