

PENYEDIAAN DAN PENCIRIAN MEMBRAN PERTUKARAN ANION BAGI PROSES ELEKTRODIALISIS

MAHADEVAN M.¹, SIM W. K.², LING L. P.³, ZAINAL ABIDIN M. Y.⁴ & MOHAMAD ROJI S.^{5,*}

Abstrak. Elektrodialisis merupakan suatu proses yang menggunakan perbezaan keupayaan elektrik sebagai daya penggerak (*driving force*) yang menyebabkan pergerakan ion-ion dalam sesuatu elektrolit. Membran yang digunakan dalam proses ini akan membenarkan sama ada cas-cas positif atau negatif sahaja melaluinya bergantung kepada kumpulan berfungsi yang terikat pada membran. Objektif utama projek penyelidikan ini adalah untuk menghasilkan membran pertukaran anion yang digunakan dalam proses elektrodialisis. Membran-membran pertukaran anion yang dihasilkan terbahagi kepada enam jenis, dan diberi nama sebagai BERL-A30, A40, A50, A60, A70, dan A80. Keenam-enam jenis membran ini berbeza dari segi kandungan resin yang berfungsi sebagai vektor pertukaran cas anion. Di samping penyediaan membran, penyelidikan ini juga meliputi aspek pencirian membran tersebut serta perbandingannya dengan membran komersial. Kriteria yang dikaji adalah ketebalan membran, sifat kebolehtelapan, sifat pembengkakan membran dalam air, kapasiti pertukaran ion, kapasiti kepekatan ion kumpulan berfungsi dan morfologi membran. Secara keseluruhannya didapati peratus kandungan resin yang tinggi boleh meningkatkan kapasiti pertukaran ion, peratus kebolehtelapan membran serta kapasiti kepekatan ion kumpulan berfungsi. Di antara membran yang dihasil, membran pertukaran anion jenis BERL-A70 merupakan membran yang berpotensi dalam penggunaan proses elektrodialisis.

Kata kunci: Membran pertukaran anion, Polisulfon, Resin pertukaran ion, Ciri-ciri membran, Elektrodialisis

Abstract. The objective of work was to fabricate a locally produced anion exchange membrane, which can be used in electro dialysis process. The anion exchange membranes were fabricated using polysulfone as binder and anion exchange resin powder as polyelectrolyte by the solution casting method. The synthesised anion exchange membranes were different from the conventional anion exchange membranes because its functional group is not derived from chlorosulfonic acid but from absorption of anion exchange resin. The content of resin in each set of the synthesised anion exchange membrane was varied to test the optimum resin content to be used in the synthesised membrane. In addition, the performance and behavior of the synthesised membrane were evaluated and compared with the commercial anion exchange membranes. The analysed criteria were the membrane thickness, permselectivity, and concentration of ion exchange group, ion exchange capacity, chemical stability, water content and scanning electron microscope (SEM). It was found that the increase in quantity of resin (%) would increase the capacity of ion exchange, percentage of permselectivity and capacity concentration of ion exchange group. The experimental results showed that anion exchange membrane having a good selectivity and permeability was successfully synthesised in the lab.

^{1,2,3,5} Jabatan Kejuruteraan Bioproses, Fakulti Kejuruteraan Kimia dan Kejuruteraan Sumber Asli, Universiti Teknologi Malaysia, 81310 UTM Skudai, Johor, Malaysia.

⁴ Pusat Bioproses Kimia dan Bioteknologi Industri SIRIM Berhad, 1, Persiaran Dato' Menteri, P.O. Box 7035, Section 2, 40911 Shah Alam, Selangor, Malaysia.

Penulis yang dihubungi. Fax: (607) - 556 9706. E-mail: mroji@cepp.utm.my

Keywords: Anion exchange membrane, Electrodialysis, Polysulfone, ion exchange resin, Membrane characterisation

1.0 PENGENALAN

Sains dan teknologi membran semakin berkembang dan menonjol dalam aktiviti industri pemprosesan. Kejayaan dan keberkesanan membran dalam proses penyahgaraman dan mikropenyaringan nyata membuktikan kepentingan teknologi membran. Tidak ada sebarang proses individu yang lain memberikan potensi dan versaliti seperti membran. Dalam teknologi membran salah satu penemuan baru adalah pengenalan kepada membran pertukaran ion. Proses yang melibatkan penggunaan membran ini dikatakan sebagai proses elektrodialisis.

Elektrodialisis merupakan suatu proses yang menggunakan perbezaan keupayaan elektrik sebagai daya penggerak yang menyebabkan pergerakan ion-ion dalam sesuatu elektrolit [1]. Membran yang digunakan dalam proses elektrodialisis ini merupakan membran yang terdiri daripada cas-cas tertentu. Membran jenis ini akan membenarkan sama ada cas-cas positif atau negatif sahaja melaluinya bergantung kepada kumpulan berfungsi yang terikat pada membran. Secara amnya terdapat beberapa kemudahan dan kebaikan dalam penggunaan membran pertukaran ion dalam proses kimia. Di antaranya adalah membran jenis ini akan mengurangkan langkah proses, memperbaiki ketulenan produk serta mengganti pulih dan mengguna semula reagen. Antara kegunaan membran ini adalah dalam proses penurunan nitrat dan klorida dalam air minuman, rawatan air tercemar, penyahgaraman air payau serta dalam industri makanan di mana penggunaannya dalam penyahmineralan pada air dadih [1].

Objektif utama projek penyelidikan ini adalah untuk menghasilkan satu siri membran pertukaran anion yang digunakan dalam proses elektrodialisis. Kaedah dan bahan-bahan yang digunakan dalam penghasilan membran pertukaran anion ini, nyata berbeza daripada membran-membran yang terdapat dalam pasaran. Di mana siri membran ini tidak lagi menggunakan klorometil eter sebagai pembawa kumpulan berfungsi anion manakala ianya diganti resin [6]. Ini kerana bahan asas dalam membran komersial, iaitu klorometil eter merupakan suatu bahan toksik yang dapat mengakibatkan penyakit barah. Di samping itu harganya juga mahal berbanding dengan resin. Penggunaan bahan baru ini akan menjadikan membran pertukaran anion lebih murah dan mesra alam berbanding dengan komersial [4-8]. Membran-membran anion yang dihasilkan terbahagi kepada enam jenis yang diberi nama BERL-A30, A40, A50, A60, A70, dan A80. Keenam-enam jenis membran ini berbeza dari segi kandungan resin yang berfungsi sebagai vektor pertukaran anion. Keberkesanan kaedah serta bahan-bahan yang digunakan ini ditentukan dengan menguji faktor-faktor fizikal dan kimia bagi membran pertukaran anion seperti ketebalan membran, sifat kebolehtelapan, peratus pembengkakan membran dalam air, kapasiti pertukaran ion, kapasiti kepekatan ion kumpulan berfungsi serta morfologi struktur membran dengan bantuan mikroskop imbasan elektron. Keputusan ujikaji yang didapati membuktikan

sama ada kaedah dan penggunaan bahan-bahan baru yang dibangunkan mampu menghasilkan membran pertukaran anion yang dapat digunakan dalam proses elektrodialisis.

2.0 EKSPERIMEN

2.1 Bahan-bahan

Bahan-bahan berikut digunakan dalam proses penyediaan membran pertukaran anion:

- a) Polisulfon (Amoco Corp., Udel 1700), sebagai larutan pengeras (*binder*).
- b) 1,2-Tetrakloroetana (Fluka) sebagai pelarut dengan indeks biasan 1.494 pada suhu 25°C.
- c) Resin pertukaran anion Amberlite IRA-410 Cl (Fluka), dengan kapasiti pertukaran ion sebanyak 1.4 meq/ml (3.8 meq/g-resin kering) dan saiz zarah di antara 16 hingga 50 mesh.
- d) Fabrik *non-woven* (Asahi Kasei Corp., Japan).

2.2 Metodologi

Resin pertukaran anion dikeringkan dalam inkubator pada suhu 65°C selama 24 jam. Resin tersebut kemudiannya dikisar kepada zarah-zarah kecil bersaiz di antara 80 hingga 100 mesh. Selepas itu serbuk resin pertukaran anion dicampurkan dengan larutan polisulfon yang mengandungi 1, 2 - Tetrakloroetana [6]. Campuran larutan ini kemudian dituang pada bahan penyokong iaitu fabrik *non-woven*.

Kain penyokong ini diletakkan di atas kepingan kaca dan larutan polimer dituang pada permukaannya. Sebaran larutan yang dibuat itu hanya sehalu sahaja supaya permukaan yang terhasil mengandungi kandungan resin yang sekata. Selepas itu, membran tersebut dibiarkan kering pada suhu bilik dan dimasukkan dalam kebuk wasap selama 8 jam. Prosedur ini bertujuan untuk mengewapkan 1, 2 dikloroetana yang berada dalam larutan tuangan tersebut ke persekitaran. Selepas lima jam, membran tersebut dikeluarkan dan dimasukkan di dalam air suling. Langkah ini dapat menyenangkan proses pengupasan membran daripada kepingan kaca. Langkah yang sama diulangi untuk membran pertukaran anion yang mempunyai kandungan resin yang berbeza.

2.3 Kaedah Pencirian Membran Pertukaran Ion Bercas Anion

Setelah membran pertukaran anion dihasilkan, pencirian dibuat dengan menentukan faktor fizikal dan kimia seperti ketebalan membran, sifat kebolehtelapan, sifat tahap pembengkakan membran dalam air, kapasiti pertukaran ion, kapasiti kepekatan ion kumpulan berfungsi dan morfologi membran.

Keputusan yang diperolehi dibandingkan dengan ciri-ciri membran komersial yang ada di pasaran seperti Neosepta AHA, AM3, AM1 (Tokuyama Soda, Japan), dan AMI-701 (International Membrane Inc., USA).

2.3.1 Ketebalan Membran

Ketebalan membran merupakan salah satu parameter utama dalam penyelidikan membran. Ini kerana ia secara langsung mempunyai kaitan ketahanan mekanikal, rintangan elektrik dan sifat ketelapan membran. Ketebalan membran pertukaran ion dalam penyelidikan ini diukur dengan meter pengukuran ketebalan mudah-alih. Ketepatan pengukuran ketebalan alat ini adalah 0.01 mm.

2.3.2 Sifat Kebolehtelapan

Kebolehtelapan sesuatu membran pertukaran anion boleh ditakrifkan sebagai perbezaan di antara pergerakan cas-cas elektrik oleh ion spesifik berlawanan terhadap jumlah pergerakan cas-cas elektrik dalam sesuatu membran [1]. Sebanyak 200 ml 0.1M larutan KCl dan 200 ml 0.5 M larutan KCl disediakan dan ditempatkan dalam unit elektrodialisis yang mempunyai membran pertukaran anion yang berfungsi mengasingkan dua jenis larutan tersebut. Sebelum eksperimen dimulakan elektrod kalomel direndamkan di dalam air suling selama sejam untuk memperolehi beza keupayaan yang lebih munasabah. Ini kerana kalomel elektrod yang kering tidak dapat menunjukkan beza keupayaan di antara dua jenis larutan. Kemudian kalomel elektrod tersebut akan disambungkan dengan voltmeter. Rajah 1 menunjukkan gambaran susunan radas untuk menentukan sifat ketelapan membran.

Rajah 1 Susunan radas untuk menentukan sifat kebolehtelapan membran

Sebaik sahaja voltmeter dibuka, masa dimulakan. Beza keupayaan, ΔE_{act} maksimum yang pertama dicatat dahulu. Kemudian beza keupayaan, ΔE_{act} dicatat bagi setiap 2 minit sehingga kepekatan larutan dalam kedua-dua bahagian tersebut menjadi seimbang. Dengan itu, sifat kebolehtelapan membran dikira dengan menggunakan persamaan (1) [1-2]:

$$\alpha = \frac{\Delta V_{\text{ukur}}}{\Delta V_{\text{kira}}} \times 100[\%] \quad (1)$$

di mana ΔV_{ukur} dan ΔV_{kira} merupakan perbezaan keupayaan di antara dua kalomel elektrod yang dikira untuk 100% ketelapan membran. Nilai piawai untuk ΔV_{kira} adalah 36.94 mV.

2.3.3 Kapasiti Pertukaran Ion

Membran pertukaran anion berukuran 4×4 cm dipotong dan direndamkan ke dalam air suling selama 24 jam. Kemudian membran ini direndam semula secara berasingan dalam larutan 100 ml 0.01 M NaOH selama 48 jam. Selepas itu membran itu dibersihkan dengan air suling dan direndamkan dalam air suling selama 4 jam. Semasa proses ini berlaku kerap kali air dalam bikar itu ditukarkan. Kemudian membran tadi direndamkan dalam 100 ml 0.01 M HCl selama 24 jam bagi mengimbangkan kealkalian membran. Selepas itu membran tadi dikeluarkan daripada larutan itu dan larutan rendaman itu diasingkan. Larutan rendaman membran itu dicampurkan dengan beberapa titik fenolftalein dan dititratkan dengan larutan, 100 ml 0,01 M NaOH. Membran yang diasingkan itu diambil berat basahnya dan dimasukkan ke dalam oven pada suhu 70°C selama 1 jam. Kemudian berat kering dicatatkan. Isi padu enam jenis larutan NaOH yang dititrat diambil bagi tujuan pengiraan. Persamaan (2) digunakan untuk mengira kapasiti pertukaran ion pada membran [2].

$$\text{Kapasiti pertukaran ion} = \frac{\text{Isi padu HCl (ml)} \times \text{Kemolaran HCl}}{\text{Berat kering membran}} \left[\frac{\text{meq}}{\text{g}} \right] \quad (2)$$

2.3.4 Pembengkakan Membran

Membran pertukaran anion yang dihasilkan telah dipotong sebanyak dua keping dengan berukuran 2×2 cm² setiap satunya. Membran-membran tersebut direndamkan di dalam air suling selama 24 jam. Setelah 24 jam, membran anion tersebut dikeluarkan dan ditimbang berat basahnya. Selepas itu membran-membran tersebut dimasukkan dalam ketuhar dengan suhunya ditetapkan pada 70°C . Ini kerana suhu tersebut merupakan suhu optimum yang membolehkan membran daripada tidak rosak. Setiap 30 minit bacaan berat kering dicatat sehingga suatu bacaan malar diperolehi.

Persamaannya (3) digunakan untuk mengira peratus pembengkakan membran dalam air [2 - 4].

$$\text{Pembengkakan membran } W_s = \left(\frac{W_{\text{basah}} - W_{\text{kering}}}{W_{\text{kering}}} \right) \times 100 [\%] \quad (3)$$

2.3.5 Kepekatan Ion Kumpulan Berfungsi

Kapasiti kepekatan ion kumpulan berfungsi dapat dikira dengan nilai-nilai yang diperolehi daripada keputusan eksperimen sifat tahap pembengkakan membran dalam air dan kapasiti pertukaran ion. Pembahagian nilai kapasiti pertukaran ion dengan tahap kandungan air membran dapat menentukan kapasiti kepekatan ion kumpulan berfungsi seperti yang ditunjukkan dalam persamaan (4) [5].

$$\text{Kepekatan ion kumpulan berfungsi } A_w = \frac{\text{Kapasiti kepekatan ion, IEC}}{\text{Kandungan air, } W} \left[\frac{\text{meq}}{\text{g.H}_2\text{O}} \right] \quad (4)$$

Dari sini, satu lagi formula (5) harus diperkenalkan untuk mencari peratus kandungan air dalam membran [3].

$$\text{Kandungan air membran } W_c = \left(\frac{W_{\text{basah}} - W_{\text{kering}}}{W_{\text{basah}}} \right) \times 100 \% \quad (5)$$

2.3.6 Morfologi Membran

Morfologi membran pertukaran anion telah dikaji dengan menggunakan mikroskop imbasan elektron. Sampel membran dengan saiz 1 cm × 1 cm dilekatkan pada puntung aluminium. Kemudian sampel itu disadurkan dengan emas bagi penelitian struktur keratan rentas membran. Akhirnya membran tersebut dimasukkan dalam mikroskop elektron untuk meninjau struktur permukaan serta keratan rentas membran.

3.0 KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN

Rajah 2 menunjukkan ciri-ciri fizikal membran pertukaran anion yang dihasilkan dengan menggunakan polisulfon dan resin yang peratus kuantitinya berbeza.

Keputusan menunjukkan bahawa membran yang mempunyai peratus resin lebih daripada 80% mudah rapuh dan tidak sesuai digunakan dalam proses elektrodialisis. Ini menunjukkan ketahanan fizikal membran akan berkurang jika peratus resin

Rajah 2 Ciri-ciri fizikal membran pertukaran anion

meningkat. Secara keseluruhannya disimpulkan bahawa nisbah penambahan resin kepada polisulfon serta penghomegenan larutan tersebut merupakan kriteria penting dalam penghasilan membran pertukaran anion yang lebih tahan secara fizikalnya. Tahap penambahan maksimum resin dalam penghasilan membran adalah sebanyak 70% [4] dan ini mewujudkan satu tahap optimum, di mana membran dapat berfungsi dengan baik dan berkesan dalam proses elektrodialisis.

Kapasiti pertukaran ion merupakan satu kriteria penting dalam industri membran pertukaran ion. Ia mewakili bilangan kumpulan ionik yang dapat membenarkan ion-ionnya bergerak melalui membran. Faktor ini juga mempengaruhi sifat hidrofilik serta sifat pembengkakan sesuatu membran. Rajah 3 menunjukkan hubungan antara kapasiti pertukaran ion dengan peratus pembengkakan membran pertukaran anion dengan peratus resin yang berbeza. Daripada keputusan yang diperolehi didapati penambahan

Rajah 3 Graf hubungan antara kapasiti pertukaran ion dengan peratus pembengkakan membran bagi membran pertukaran anion

kandungan resin akan meningkatkan kapasitas pertukaran ion serta peratus pembengkakan membran sesuatu membran. Keputusan menunjukkan membran yang dihasilkan mempunyai kapasitas pertukaran ion dalam dalam lingkungan 0.69 – 1.7 meq/g-resin kering. Tetapi bagi membran komersial kapasitas pertukaran ionnya berada di antara 1.00 hingga 1.50 meq/g-resin kering.

Di samping itu, keputusan yang diperolehi juga menjelaskan bahawa kandungan air dalam membran meningkat secara beransur-ansur dengan peningkatan kapasitas pertukaran ion. Peratus pembengkakan membran dalam air merupakan satu kriteria penting dalam membran pertukaran ion yang secara langsung membawa kesan terhadap sifat elektro kimia membran. Keadaan sedemikian berlaku disebabkan hadirnya kumpulan berfungsi dalam membran. Berdasarkan data yang diperolehi daripada membran komersial bercas anion julat pembengkakan membran adalah di antara 29 hingga 44 gH₂O/g. Oleh yang demikian, boleh dinyatakan bahawa pertambahan peratus resin akan meningkatkan sifat pembengkakan membran dan kapasitas pertukaran ion secara beransur-ansur dalam membran.

Daripada Rajah 4 didapati kapasitas kepekatan ion kumpulan berfungsi turut meningkat dengan peningkatan peratus kandungan resin. Semakin tinggi kepekatan resin pertukaran anion, maka keberkesanan kumpulan berfungsi pada membran juga akan turut menunjukkan prestasi yang memuaskan dalam hal pertukaran ion dalam proses elektrodialisis.

Kebolehtelapan membran didefinisikan sebagai pemindahan ion merentasi membran [1]. Keputusan kebolehtelapan membran pertukaran anion BERL, adalah dalam julat 83% hingga 91%. Nilai kebolehtelapan yang rendah berbanding dengan membran

Rajah 4 Graf hubungan antara kapasitas kepekatan ion kumpulan berfungsi dengan peratus kandungan resin yang berbeza

Rajah 5 Graf hubungan antara sifat kebolehtelapan membran dengan peratus kandungan resin yang berbeza

komersial, menunjukkan membran-membran BERL mempunyai rintangan yang tinggi. Maka satu kaedah alternatif perlu dikaji untuk mengurangkan rintangan membran. Ini dapat dilakukan dengan meningkatkan kepekatan kumpulan berfungsi kuaternari ammonium dalam membran pertukaran anion buatan. Di samping itu, kadar pengangkutan ion melalui membran ini berkadar songsang dengan ketebalannya. Maka, membran yang dihasilkan sepatutnya senipis yang boleh supaya meninggikan kadar pengangkutan ion.

Jadual 1 menunjukkan ciri-ciri membran pertukaran anion yang disediakan dalam makmal dan membran komersial. Didapati membran yang dihasilkan dalam kajian

Jadual 1 Perbandingan ciri-ciri membran buatan di makmal dengan membran komersial

Jenis-jenis membran pertukaran anion	Ketebalan membran (mm)	Kebolehtelapan membran (%)	Kapasiti pertukaran ion (meq/g)	Pembengkakan membran (g.H ₂ O/g)	Kapasiti kepekatan ion kumpulan berfungsi (meq/g.H ₂ O)
BERL-30a	0.33	83.0	0.69	29.20	2.36
BERL-40a	0.33	85.0	0.92	29.70	3.09
BERL-50a	0.34	86.8	1.38	33.60	3.78
BERL-60a	0.34	89.5	1.47	38.87	3.83
BERL-70a	0.37	90.2	1.70	42.02	4.05
AMI-701b	0.43	95.0	1.10	23.75	4.62
AHAc	0.19	95.0	1.37	28.09	4.91
AM1c	0.13	99.1	1.95	38.60	5.07
AM 3c	0.12	99.5	1.98	31.53	6.31

^a BERL-30, BERL-40, BERL-50, BERL-60, BERL-70 dari Universiti Teknologi Malaysia;

^b AMI-701 dari Membranes Internasional Inc., USA;

^c AHA, AM3 AM1 dari Tokuyama Soda, Japan;

ini setanding dengan ciri-ciri membran komersial [7]. Walaupun klorometil eter diganti dengan resin dalam proses penyediaan membran pertukaran ion, namun sifat-sifatnya memuaskan dan menepati ciri-ciri membran komersial yang digunakan dalam proses elektrodialisis. Rajah 6 menunjukkan keratan rentas serta permukaan membran pertukaran anion yang disediakan dalam makmal. Hasil daripada penatapan di bawah mikroskop imbasan elektron didapati permukaan membran yang terbentuk licin dan sekata. Ciri ini dapat mengurangkan sifat *fouling* pada membran [5]. Manakala keratan rentas pula mempunyai struktur asimetrik dan terbahagi kepada empat lapisan. Lapisan pertama dan keempat terdiri daripada larutan polisulfon, manakala lapisan kedua terdiri daripada zarah-zarah resin dan ketiga pula daripada fabrik *non-woven*. Struktur sedemikian dapat menghasilkan fluks yang sangat tinggi dan sesuai digunakan dalam proses elektrodialisis [1].

(a) Permukaan

(b) Keratan rentas

Rajah 5 Gambar SEM permukaan dan keratan rentas bagi membran pertukaran anion

4.0 KESIMPULAN

Secara kesimpulannya didapati membran pertukaran anion yang disediakan dalam makmal dapat digunakan dalam proses elektrodialisis sepertimana membran komersial [7]. Di antara membran-membran pertukaran ion, membran yang disediakan daripada resin dengan polisulfon tidak memerlukan banyak langkah penyediaan. Di samping itu ia juga tidak menggunakan bahan-bahan toksik seperti klorometil eter serta mesra alam dan kos penyediaannya pun murah [4].

Hasil daripada penyelidikan ini, didapati penambahan peratus resin secara tidak langsung akan mempengaruhi sifat kimia mahupun fizikal membran pertukaran anion. Antara membran yang dihasilkan, membran pertukaran anion jenis BERL-70 merupakan membran yang berkesan dalam penggunaan proses elektrodialisis.

TATANAMA

W_{basah}	Berat basah resin, g
W_{kering}	Berat kering resin, g
W_s	Pembengkakan membran, g-H ₂ O/g-resin kering
W_c	Kandungan air membran, g-H ₂ O/g-resin kering
A_w	Kapasiti kepekatan ion kumpulan berfungsi
α	Kebolehtelapan

PENGHARGAAN

Projek ini dilaksanakan dengan sumbangan kewangan daripada geran IRPA dengan vot 72101 di bawah tajaan Kementerian Sains dan Teknologi, Malaysia turut amat dihargai.

RUJUKAN

- [1] Strathmann, H. 1992. Electrodialysis. Dalam: Winston Ho, W. S. dan Sirkar, K. K. (Eds.), *Membrane Handbook*. New Year: Van Nostrand Reinhold; 218-262.
- [2] Krol, J. J. 1997. *Monopolar dan Bipolar Ion Exchange Membranes: Mass Transport Limitations*. Tesis Ph.D. University of Twente.
- [3] Hao, J. H., C. X. Chen, L. Li, L. X. Yu, dan W. J. Jiang. 2000. Preparation of Solvent Resistant Anion Exchange Membranes. *Desalination*. 129: 15-22.
- [4] Vyas, P. V., B. G. Shah, G. S. Trivedi, P. Ray, S. K. Adhikary, dan R. Rangarajan. 2001. Characterization of Heterogeneous Anion Exchange Membrane. *Journal of Membrane Science*. 187: 39-46.
- [5] Tanaka, Y. 1999. Regularity in Ion-Exchange Membrane Characteristics and Concentration of Sea Water. *Journal of Membrane Science*. 163: 277-287.
- [6] Mahadevan, M. 2001. *Penyediaan Membran Pertukaran Anion bagi Proses Elektrodialisis*. Tesis Sarjana Muda. FKKKSA, Universiti Teknologi Malaysia.
- [7] Tokuyama Corporation. 1997. Neosepta ion exchange membranes. *SEC system department*. Tokyo, Japan.
- [8] Nasef, M. M. 1999. "Proton Exchange Membranes by Radiation - Induced Graft Copolymerisation of Styrene onto Fluorinated Polymers." Universiti Teknologi Malaysia: Ph.D thesis.