



## **PENYEDIAAN DAN PENCIRIAN MEMBRAN PERTUKARAN KATION DENGAN RESIN UNTUK PROSES ELEKTRODIALISIS**

MAHADEVAN. M<sup>1</sup>, LING LAY PEE<sup>2</sup>, ZAINAL ABIDIN M. Y<sup>3</sup> &  
MOHAMAD ROJI SARMIDI<sup>4</sup>

**Abstrak.** Elektrodialisis merupakan suatu proses yang menggunakan perbezaan keupayaan elektrik sebagai daya penggerak 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 projek penyelidikan ini adalah untuk menghasilkan membran pertukaran kation yang digunakan dalam proses elektrodialisis. Membran-membran pertukaran kation yang dihasilkan terbahagi kepada lima jenis, dan diberi nama sebagai BERL-30, 40, 50, 60, dan 70. Kelima-lima jenis membran ini berbeza dari segi kandungan resin yang berfungsi sebagai vektor pertukaran cas kation. Di samping penyediaan membran, penyelidikan ini juga meliputi aspek pencirian membran tersebut serta perbandingan dengan membran komersil. Kriteria yang dikaji adalah ketebalan membran, sifat kebolehtelapan membran, kapasiti pertukaran ion, kapasiti kepekatan ion kumpulan berfungsi, morfologi struktur membran, ujian kestabilan kimia dan kandungan air membran. Secara keseluruhannya, didapati peratus kandungan resin yang tinggi boleh meningkatkan kapasiti pertukaran ion, peratus kebolehtelapan membran serta kapasiti kepekatan ion kumpulan berfungsi. Antara membran yang dihasilkan, membran pertukaran kation jenis BERL-70 merupakan membran yang berpotensi dalam penggunaan proses elektrodialisis.

**Kata kunci:** Membran pertukaran kation, polisulfona, resin pertukaran ion, ciri-ciri membran, elektrodialisis

**Abstract.** The objective of this work is to prepare an anion exchange membrane from polysulfone binder-ion exchange resin, which can be used in electro dialysis process. The cation exchange membranes were prepared by the solution casting method. The prepared anion exchange membranes are different from the conventional cation exchange membranes because its functional group is not derived from chlorosulfonic acid but from the absorption of anion exchange resins. The content of resins in each set of the prepared cation exchange membrane varied and were named as BERL-30, 40, 50, 60, and 70. In addition, the performance and behaviour of the prepared anion exchange membrane were evaluated and compared with the commercial cation exchange membranes. The physico-chemical properties of anion exchange membrane were determined by measuring 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 the quantity of resin (%) would increase the capacity of ion exchange, percentage of permselectivity, and capacity concentration

<sup>1,2,4</sup> Jabatan Kejuruteraan Bioproses, Fakulti Kejuruteraan Kimia dan Kejuruteraan Sumber Asli, Universiti Teknologi Malaysia, 81310 UTM Skudai, Johor, Malaysia. Fax: (607) – 556 9706. E-mail: mroji@fkkksa.utm.my

<sup>3</sup> Pusat Bioproses Kimia dan Bioteknologi Industri SIRIM Berhad 1, Persiaran Dato' Menteri, P. O. Box 7035, Section 2, 40911 Shah Alam, Selangor, Malaysia.

of ion exchange group. The experimental results showed that cation exchange membrane has the potential to be used in electro dialysis process.

*Keywords:* Cation exchange membrane, electro dialysis, polysulfone, ion exchange resin, membrane characterisation

## 1.0 PENGENALAN

Teknologi membran semakin berkembang dan menonjol dalam aktiviti industri pemprosesan. Dalam kategori teknologi membran, salah satu penemuan baru adalah pengenalan kepada membran pertukaran ion. Proses yang melibatkan penggunaan membran ini dikatakan sebagai proses elektrodialisis. Membran elektrodialisis boleh dikelaskan berdasarkan morfologinya seperti keporosan, simetri, bercas atau neutral. Membran yang membawa cas yang tetap sama ada cas positif atau cas negatif dikenali sebagai membran pertukaran ion (*ion exchange membrane*) [1-2]. Membran pertukaran ion terdiri daripada matrik polimer dengan ikatan persilangan dalam tiga dimensi dan bercas tetap. Matrik asas polimer yang digunakan menentukan ciri-ciri mekanikal dan kimia membran. Pada kebiasaannya, bahan asas membran pertukaran ion ini terdiri daripada polimer hidrofobik seperti *polystyrene*, *polyethylene* atau *polysulfone*. Walaupun polimer ini tidak larut dalam air, ia berupaya melarut separa dalam air dengan kehadiran cas yang tetap padanya. Ini membolehkan pembentukan ikatan persilangan pada membran.

Tahap ikatan persilangan yang terbentuk mempengaruhi saiz serta kestabilan kimia dan suhu. Di samping itu, rintangan serta kebolehtelapan membran juga turut dipengaruhi oleh ikatan persilangan ini. Membran yang telah dikomersilkan terdiri daripada kumpulan asid sulfonik ( $\text{SO}_3^-$ ) sebagai cas tetap untuk membran pertukaran kation dan kumpulan kuantenari ammonia ( $\text{R}_3\text{N}^+$ ) untuk membran pertukaran anion. Ion bebas dalam membran pertukaran ion pula berubah mengikut keperluan pemisahan. Contoh ion bebas yang sering kali digunakan ialah ion klorida ( $\text{Cl}^-$ ) dan natrium ( $\text{Na}^+$ ). Membran pertukaran ion ini digunakan pada sistem elektrolisis di mana beza keupayaan elektrik bertindak sebagai daya pacu untuk pengangkutan bahan. Affiniti membran pertukaran ion ini adalah bergantung pada jenis ion dalam larutan [1-2].

Objektif utama projek penyelidikan ini adalah untuk menghasilkan membran pertukaran kation yang digunakan dalam proses elektrodialisis. Membran-membran kation yang dihasilkan terbahagi kepada lima jenis yang diberi nama BERL-30, 40, 50, 60 dan 70. Kelima-lima jenis membran ini berbeza dari segi kandungan resin yang berfungsi sebagai vektor pertukaran kation. Kaedah serta bahan-bahan yang digunakan dalam penghasilan membran pertukaran kation ini nyata berbeza daripada membran-membran yang terdapat di pasaran, di mana siri membran ini tidak lagi menggunakan asid klorosulfonik sebagai pembawa kumpulan berfungsi kation dan ianya diganti dengan resin Amberlite IRA-120 H (Fluka) [3-4]. Ini kerana bahan asas dalam membran komersial iaitu asid klorosulfonik merupakan suatu bahan yang mengakibatkan

penyakit barah. Walau bagaimanapun penggunaan bahan baru ini akan menjadikan membran pertukaran kation lebih murah dan mesra alam berbanding dengan membran komersial. Kajian ini merangkumi ujian untuk menentukan faktor-faktor fizikal dan kimia bagi membran pertukaran kation seperti ketebalan membran, sifat kebolehtelapan, kapasiti pertukaran ion, kapasiti kepekatan ion kumpulan berfungsi, kandungan air membran, ujian kestabilan kimia serta morfologi membran dengan bantuan mikroskop imbasan elektron (*SEM*). Keputusan ujikaji membuktikan kaedah dan penggunaan bahan-bahan baru yang dibangunkan mampu menghasilkan membran pertukaran kation yang dapat digunakan dalam proses elektrodialisis.

## 2.0 EKSPERIMEN

### 2.1 Bahan-Bahan

Bahan-bahan serta perkakas berikut digunakan dalam proses penyediaan membran pertukaran kation:

- (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-120 H (Fluka) dengan kapasiti pertukaran ion sebanyak 1.9 meq/ml (4.4 meq/g-resin kering) dan saiz zarah di antara 16 mesh hingga 50 mesh.
- (d) Fabrik *non-woven* (Asahi Kasei Corp., Japan) [3].

#### 2.1.1 Perkakas

- (a) Elektrod Kalomel (Schott, Germany)
- (b) Sel elektrodialisis (BERL, Universiti Teknologi Malaysia)
- (c) Penimbang analitik (Mettler AT 200)
- (d) YF-3120 voltmeter (Yu Fand, Taiwan)
- (e) Meter pengukuran ketebalan (Mitutoyo, Japan)

## 2.2 Metodologi

Resin pertukaran kation telah dikeringkan dalam inkubator pada suhu 65°C selama 24 jam. Kemudian resin tersebut dikisarkan kepada zarah-zarah yang kecil dengan saiz di antara 80 mesh hingga 100 mesh. Selepas itu, serbuk resin pertukaran kation dicampurkan dengan larutan polisulfon yang mengandungi 1, 2 - Tetrakloroetana [3-9]. Campuran larutan ini kemudian dituangkan pada bahan penyokong iaitu fabrik *non-woven*.

Kain penyokong ini diletakkan di atas kepingan kaca dan larutan tuangan disebarikan pada permukaannya. Sebaran larutan yang dibuat itu hanya sehalu sahaja supaya

permukaan yang terhasil mengandungi kandungan resin yang sama rata. 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 agar terbebas ke persekitaran. Selepas lima jam, membran tersebut dikeluarkan dan dimasukkan ke 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 pengembangan membran dalam air, kapasiti pertukaran ion, kapasiti kepekatan ion kumpulan berfungsi dan morfologi membran. Keputusan yang diperolehi dibandingkan dengan ciri-ciri membran komersial yang berada di pasaran seperti CMX.SB, C66-10F dan CM1 dari Tokuyama Soda, Japan yang mempunyai kumpulan berfungsi asid sulfonik ( $\text{SO}_3^-$ ). Membran-membran ini berbeza dari segi kapasiti pertukaran ion.

#### 2.3.1 Ketebalan Membran

Ketebalan membran merupakan salah satu parameter utama dalam penyelidikan membran. Ini kerana ia secara langsung relatif terhadap ketahanan mekanikal, rintangan elektrik dan sifat ketelapan membran. Ketebalan membran pertukaran ion dalam penyelidikan ini diukur dengan meter pengukuran ketebalan mudah-alih ataupun lebih dikenali dengan '*portable thickness meter*'. 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 tentu berlawanan (*counter-ion*) terhadap jumlah pergerakan cas-cas elektrik dalam sesuatu membran [1]. Sebanyak 200 ml 0.1 M larutan KCl dan 200 ml 0.5 M larutan KCl disediakan dan ditempatkan dalam dua buah bikar yang berasingan. Sebelum eksperimen dimulakan, elektrod kalomel direndamkan ke 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. Sebaik sahaja meter volt dibuka, masa dimulakan. Beza keupayaan,  $\Delta E_{\text{act}}$  maksimum yang pertama dicatat dahulu. Kemudian beza keupayaan  $\Delta E_{\text{act}}$  dicatat bagi setiap 2 minit sehingga kepekatan kedua-dua bahagian tersebut menjadi seimbang. Dengan itu, sifat kebolehtelapan

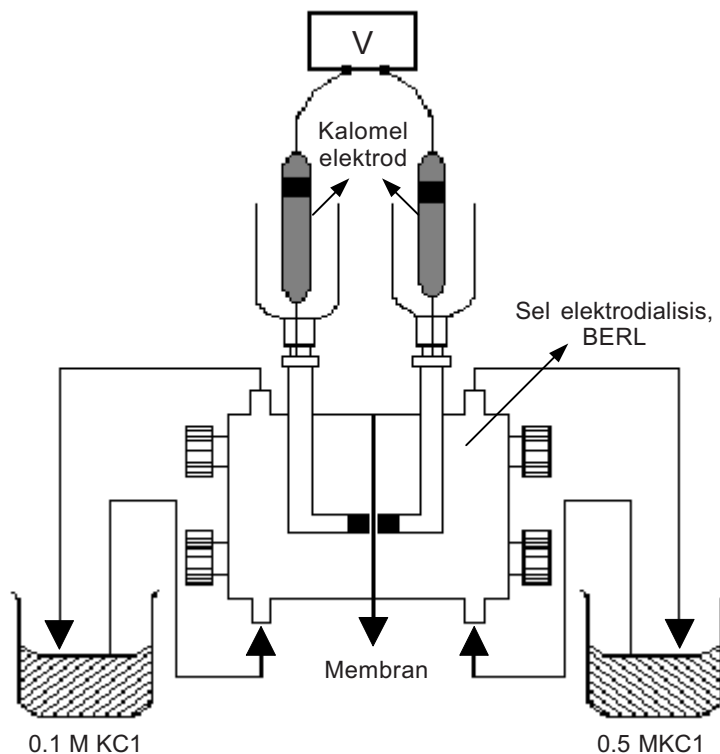
membran dikira dengan menggunakan persamaan (1) [1,2]:

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

di mana  $\Delta V_{ukur}$  dan  $\Delta V_{kira}$  merupakan beza keupayaan di antara dua kalomel elektrod yang dikira untuk 100% kelapan membran. Nilai piawai untuk  $\Delta V_{kira}$  adalah 36.94 mV. Susunan radas bagi eksperimen ini adalah seperti dalam rajah 1.

### 2.3.3 Kapasiti Pertukaran Ion

Tujuan ujian kapasiti ion ialah memberikan suatu kaedah kuantitatif untuk mengukur keupayaan sesuatu membran menahan ion tertentu. Ujikaji ini dijalankan dengan menyediakan satu kepingan membran berukuran  $2 \text{ cm} \times 2 \text{ cm}^2$  dan membran ini direndamkan ke dalam larutan HCl 0.01 M selama 24 jam. Setelah itu, membran tersebut dikeluarkan, dibilaskan dan direndam dengan air suling selama 1 jam. Ini bertujuan mengeluarkan lebihan HCl yang terdapat pada permukaan membran. Langkah seterusnya ialah memasukkan kepingan membran tersebut ke dalam larutan NaOH 0.01 M selama 24 jam. Selepas tempoh tersebut, membran tersebut dikeluarkan



**Rajah 1** Susunan radas untuk menentukan sifat kebolehtelapan membran

dan berat basahnya ditentukan. Membran tersebut kemudiannya dikeringkan dalam oven pada suhu 70°C selama 1 jam dan berat keringnya ditentukan. Larutan NaOH yang tinggal pula akan dititratkan dengan larutan acid HCl dan kapasiti pertukaran ion ditentukan dengan persamaan 2. Isipadu lima jenis larutan HCl yang dititrat diambil bagi tujuan pengiraan.

$$\text{Kapasiti pertukaran ion} = \frac{0.01V_1 - 0.01V_2}{W_1 - W_2} \left[ \frac{\text{meq}}{\text{g}} \right] \quad (2)$$

Di mana,  $V_1$  ialah isipadu larutan rendaman HCl,  $V_2$  ialah isipadu larutan titratan HCl yang digunakan untuk meneutralkan NaOH,  $W_1$  ialah berat basah dan  $W_2$  merupakan berat kering.

### 2.3.4 Kandungan Air Membran

Membran pertukaran kation yang dihasilkan telah dipotong sebanyak dua keping dengan berukuran  $2 \times 2 \text{ cm}^2$  setiap satu. Membran-membran tersebut direndam ke dalam air suling selama 24 jam. Selepas 24 jam berlalu, membran anion tersebut dikeluarkan dan ditimbang berat basahnya. Selepas itu, membran-membran tersebut dimasukkan dalam oven dengan suhunya ditetapkan pada 70°C. Ini kerana suhu tersebut merupakan suhu optimum yang menentukan membran daripada tidak rosak. Setiap 30 minit bacaan berat kering dicatat sehingga suatu bacaan malar diperolehi. Persamaannya (3) digunakan untuk mengira peratus kandungan air dalam membran [2].

$$\text{Kandungan air membran} = \frac{(W_{\text{basah}} - W_{\text{kering}})}{W_{\text{basah}}} \times 100 [\%] \quad (3)$$

### 2.3.5 Kepekatan Ion Kumpulan Berfungsi

Kapasiti kepekatan ion kumpulan berfungsi dapat dikira dengan nilai-nilai yang diperolehi daripada keputusan eksperimen sifat kandungan air membran dan kapasiti pertukaran ion. Pembahagian nilai kapasiti pertukaran ion dengan tahap pengembangan membran dalam air dapat menentukan kapasiti kepekatan ion kumpulan berfungsi seperti yang ditunjukkan dalam persamaan (4) [5,6].

$$\text{Kepekatan ion kumpulan berfungsi } A_w = \frac{\text{Kapasiti kepekatan ion, } IEC}{\text{Kandungan air, } W_c} \quad (4)$$

### 2.3.6 *Morfologi Membran*

Kaedah mikroskop imbasan electron (*SEM*) adalah satu kaedah untuk membuat pemerhatian terhadap morfologi dalaman membran. SEM adalah sejenis mikroskop berkuasa tinggi dengan faktor pembesaran sehingga 1000X [7]. Sampel membran untuk SEM perlu disediakan dengan teliti supaya imej yang baik boleh diperolehi. Kepingan kecil membran perlu disediakan dengan mencelup membran dalam cecair nitrogen dan mengoyakkan kepingan kecil membran di dalam celupan tersebut. Dua kepingan membran bersaiz  $1 \text{ cm} \times 0.5 \text{ cm}^2$  disediakan dan dilekatkan di atas puntung aluminium dengan satu keping secara mendatar dan satu lagi secara menegak. Ini adalah untuk membolehkan imej permukaan dan keratan rentas membran diperolehi. Sampel tersebut kemudiannya disalutkan dengan serbuk emas yang halus. Ini adalah bertujuan untuk memberikan permukaan yang sesuai untuk pancaran elektron. Setelah itu, sampel tersebut diletakkan pada perkakas menatap untuk meninjau permukaan serta keratan rentas membran.

### 2.3.7 *Ujian Kestabilan Kimia*

Ujian ini bertujuan untuk menguji ketahanan membran yang disediakan dalam larutan-larutan kimia yang tertentu. Ini adalah untuk menentukan had penggunaan membran. Ujian ini dijalankan dengan menggunakan kepingan membran bersaiz  $2 \text{ cm} \times 2 \text{ cm}^2$  dan membran tersebut direndam ke dalam larutan yang disediakan selama 24 jam [6]. Setelah itu, pemerhatian dilakukan ke atas membran tersebut. Larutan yang digunakan untuk menguji ketahanan membran adalah ditunjukkan dalam bahagian keputusan dan perbincangan.

## 3.0 KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN

Jadual 1 menunjukkan keputusan ujian kriteria-kriteria kimia fizikal membran pertukaran kation yang dihasilkan dengan menggunakan polisulfon dan resin yang mempunyai peratus kuantiti yang berbeza.

Keputusan ujian kebolehtelapan ion ini dapat menunjukkan kadar pemindahan ion merentasi membran. Daripada keputusan yang didapati, kesemua membran yang dihasilkan dapat memindahkan ion pada kadar yang didapati daripada teori iaitu 36.94 mV. Nilai teori didapati daripada Hukum Nerst dengan menggunakan nilai beza keupayaan daripada siri elektrokimia dengan elektrod rujukan hidrogen. Larutan KCl pula dipilih sebagai reagen ujikaji kerana pengionan garam ini menghasilkan ion  $\text{K}^+$  dan  $\text{Cl}^-$  yang masing-masing mempunyai nilai elektropositif dan elektronegatif yang tinggi. Ini membolehkan ion tersebut merentasi membran tanpa halangan.

Kesemua membran, kecuali BERL-30 mempunyai kebolehtelapan ion kurang 95% daripada nilai teori. Nilai kebolehtelapan yang rendah diperolehi pada membran BERL-30 kerana rintangan membran yang tinggi. Ini disebabkan oleh kandungan resin yang

**Jadual 1** Perbandingan ciri-ciri membran pertukaran kation buatan dengan komersil

| Jenis Membran Kation | Ketebalan Membran (mm) | Kebolehtelapan Membran (%) | Kapasiti Pertukaran Ion (meq/g) | Kandungan Air (g. H <sub>2</sub> O/g) | Kepekatan Ion Kumpulan Berfungsi (meq/g. H <sub>2</sub> O) |
|----------------------|------------------------|----------------------------|---------------------------------|---------------------------------------|--|
| BERL-70 <sup>a</sup> | 0.35                   | 98.03                      | 3.58                            | 32.21                                 | 11.14  |
| BERL-60 <sup>a</sup> | 0.40                   | 97.72                      | 2.92                            | 31.79                                 | 9.08   |
| BERL-50 <sup>a</sup> | 0.25                   | 97.37                      | 2.84                            | 29.03                                 | 8.84   |
| BERL-40 <sup>a</sup> | 0.23                   | 95.48                      | 2.78                            | 28.40                                 | 8.60   |
| BERL-30 <sup>a</sup> | 0.39                   | 75.20                      | 2.22                            | 27.99                                 | 6.90   |
| CMX.SB <sup>b</sup>  | 0.19                   | -                          | 1.93                            | 18.55                                 | 10.40  |
| C66-10 <sup>b</sup>  | 0.32                   | -                          | 1.37                            | 14.81                                 | 11.91  |
| CM1 <sup>b</sup>     | 0.16                   | -                          | 1.61                            | 14.55                                 | 11.06  |

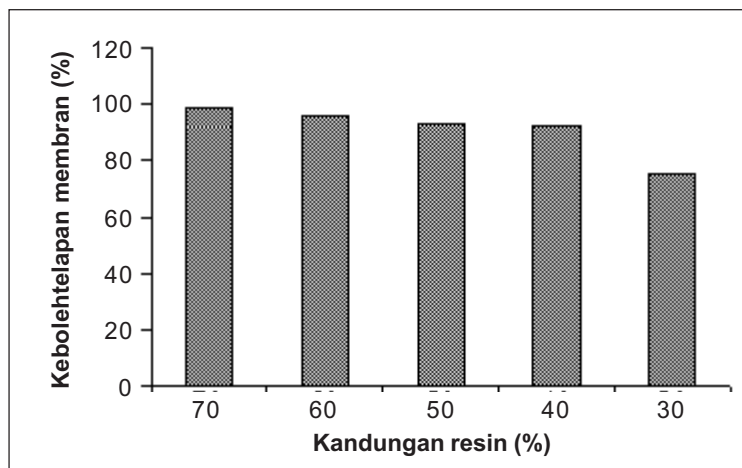
<sup>a</sup> BERL-30, BERL-40, BERL-50, BERL-60, BERL-70 dari Universiti Teknologi Malaysia;

<sup>b</sup> CMX.SB, C66-10F, CM1 dari Tokuyama Soda, Japan.

-, Tiada Maklumat

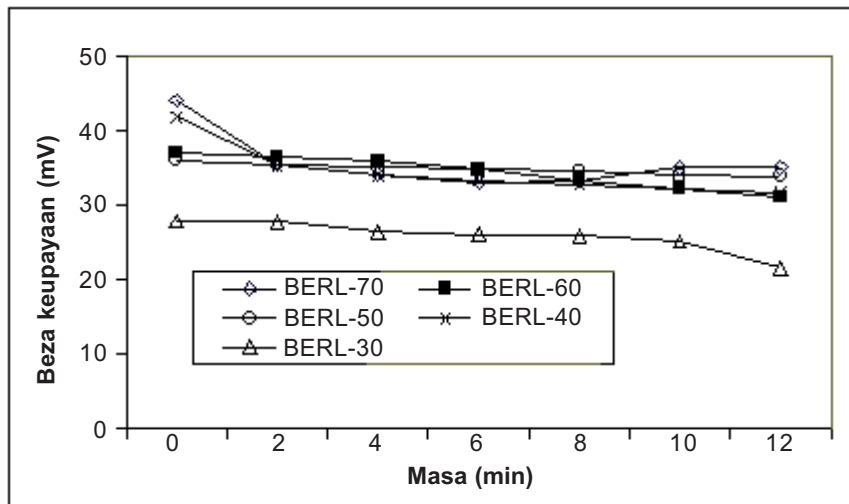
rendah serta peratus ketebalan lapisan polisulfona yang tinggi. Hubungan antara kepekatan resin dengan kebolehtelapan ion ditunjukkan dalam Rajah 2.

Berdasarkan Rajah 2, dapat disimpulkan bahawa membran dengan kepekatan resin 70% mempunyai sifat kebolehtelapan yang optimum bagi membran yang telah diuji. Kejatuhan voltan dalam ujikaji ini dipengaruhi oleh kadar pemindahan ion merentasi membran. Kadar kejatuhan voltan melambangkan kadar pemindahan ion. Voltan akan menjadi sifar apabila kepekatan larutan di kedua-dua bahagian sama. Rajah 3 menunjukkan kadar kejatuhan voltan bagi membran yang telah diuji.



**Rajah 2** Hubungan antara kandungan resin dan kebolehtelapan air membran

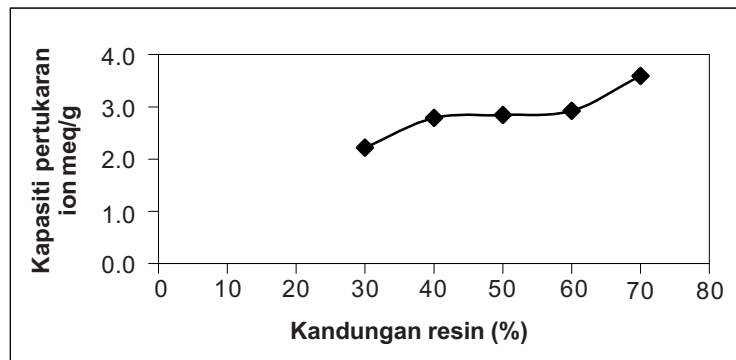




**Rajah 3** Kejatuhan voltan bagi membran pertukaran kation melawan masa

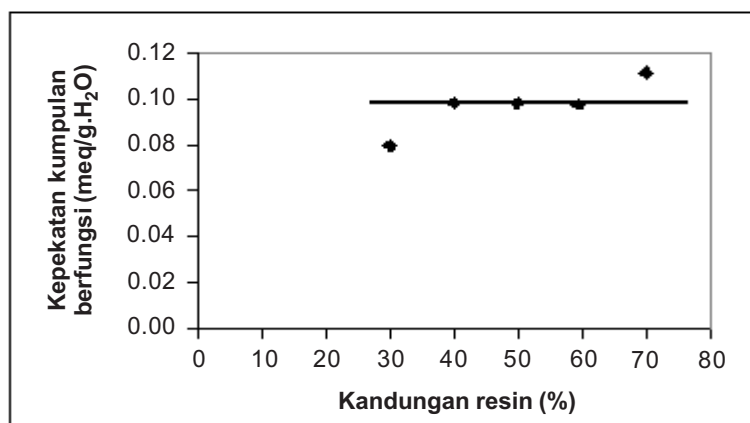
Daripada Rajah 3, dapat diperhatikan bahawa membran BERL-70 mempunyai kadar pemindahan ion yang paling stabil, di mana kadar pemindahan ion adalah malar untuk tempoh masa ujian dijalankan. Membran BERL-30 mempunyai kadar kejatuhan voltan yang tinggi pada permulaan, tetapi menjadi rendah selepas 5 minit ujikaji. Membran BERL-50 juga memberikan kadar kejatuhan voltan yang stabil.

Kapasiti pertukaran ion merupakan satu kriteria penting dalam industri membran pertukaran ion. Ia mewakili bilangan kumpulan ionik yang membenarkan ion-ionnya bergerak melalui membran. Faktor ini juga mempengaruhi sifat hidrofilik serta sifat pengembangan sesuatu membran. Rajah 4 menunjukkan hubungan antara kapasiti pertukaran ion dengan membran yang mempunyai peratus resin yang berbeza. Daripada keputusan yang diperolehi, didapati pertambahan kandungan resin akan meningkatkan kapasiti pertukaran ion serta peratus pengembangan membran sesuatu membran. Keputusan menunjukkan membran yang dihasilkan mempunyai kapasiti pertukaran ion dalam lingkungan 2.22–3.58 meq/g-resin kering. Bagi membran komersial, kapasiti pertukaran ionnya berada di antara 1.61 hingga 1.93 meq/g-resin kering. Daripada data yang diperolehi, Rajah 3 diplotkan untuk mendapatkan hubungan antara kandungan resin dalam membran dengan kapasiti pertukaran ion. Daripada graf dalam Rajah 4, dapat dilihat kapasiti pertukaran ion bertambah dengan pertambahan kandungan resin. Dapat disimpulkan bahawa kapasiti pertukaran ion bergantung kepada kandungan resin dalam membran. Daripada graf tersebut juga, dapat dilihat kapasiti pertukaran ion bertambah dengan mendadak pada kandungan resin di antara 60 peratus dan 70 peratus (%). Ini menunjukkan kapasiti pertukaran ion yang paling tinggi boleh diperolehi dalam julat tersebut. Berdasarkan data yang diperolehi dari jurnal teknologi [9], selepas dari tahap 70 %, keadaan fizikal membran-membran akan menjadi rapuh dan tidak dapat digunakan dalam proses elektrodialisis.



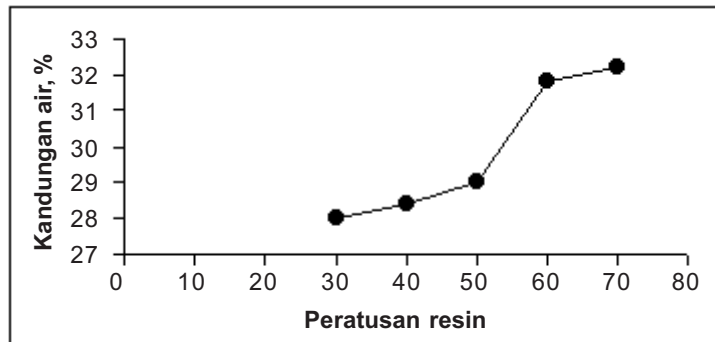
**Rajah 4** Hubungan antara kapasiti pertukaran ion membran dengan kandungan resin

Oleh kerana kepekatan kumpulan berfungsi membran dipengaruhi oleh kandungan resin, satu graf membran melawan peratus kandungan resin juga diplotkan seperti dalam Rajah 5.



**Rajah 5** Hubungan antara kepekatan kumpulan berfungsi dan kandungan resin

Dapat diperhatikan bahawa kepekatan kumpulan berfungsi berkadar terus dengan kandungan resin dalam membran. Ini adalah kerana kumpulan berfungsi untuk membran ini diperolehi daripada resin yang digunakan. Resin Amberlite IRA 120-H yang telah dikisarkan menjadi halus. Ion bebas yang dibekalkan ialah ion hidrogen ( $H^+$ ) dan ion tetap ialah ion sulfonik ( $SO_4^-$ ). Ion  $H^+$  ini akan menahan ion yang di bawahnya dalam siri elektronegatifan daripada melepasi membran dengan daya ionik. Kepekatan kumpulan berfungsi yang optimum dapat dilihat pada membran dengan kandungan resin sebanyak 70%. Kepekatan kumpulan berfungsi pada membran dengan kandungan resin sebanyak 60% lebih rendah daripada membran dengan kandungan resin 50%. Ini disebabkan oleh kandungan air yang tinggi pada membran tersebut



**Rajah 6** Graf hubungan antara peratus kandungan air membran dengan peratus kandungan resin yang berbeza

menyebabkan kepekatan kumpulan berfungsi menurun. Garis mendatar yang dilukis dapat memberikan gambaran sebenar hubungan antara kandungan resin membran dengan kepekatan kumpulan berfungsi.

Di samping itu juga, keputusan yang diperoleh juga menjelaskan bahawa kandungan air dalam membran meningkat secara beransur-ansur dengan peratus kandungan resin yang berbeza.

Peratus kandungan air membran 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 diperoleh pada membran komersial bercas kation, julat kandungan air dalam membran adalah di antara 27.9 g hingga 32.21 g H<sub>2</sub>O/g. Walaupun nilai ini menunjukkan perbezaan julat dengan membran komersial, namun ia juga berpotensi untuk digunakan dalam proses elektrodialisis. Oleh yang demikian, boleh dinyatakan bahawa penambahan peratus resin akan meningkatkan kandungan air membran dan kapasiti pertukaran ion secara beransur-ansur dalam membran.

Ujian kestabilan kimia telah dijalankan untuk menentukan ketahanan dan had penggunaan membran pertukaran kation dalam larutan-larutan bahan kimia. Data yang didapati daripada hasil keputusan ujian ini ditunjukkan dalam Jadual 2.

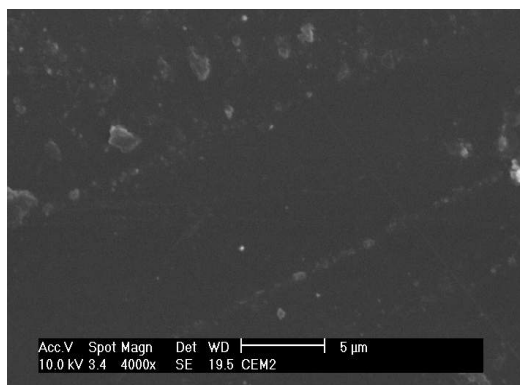
Secara keseluruhannya, ciri-ciri membran pertukaran kation jenis BERL-70 memadai kriteria-kriteria membran yang telah dikomersialkan. Selain itu, membran ini juga memenuhi piawai membran pertukaran ion, yang mana ciri-cirinya mematuhi piawai membran komersial. Rajah 7 menunjukkan keratan rentas serta permukaan membran pertukaran kation 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 [6,7]. Manakala keratan rentas pula mempunyai struktur asimetrik dan terbahagi kepada empat lapisan. Lapisan pertama dan keempat terdiri daripada larutan polisulfona, manakala lapisan

**Jadual 2** Kestabilan kimia membran pertukaran kation buatan BERL

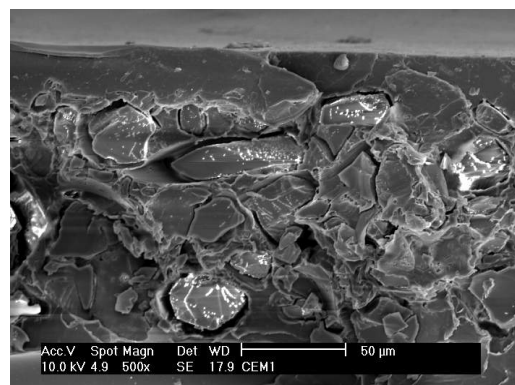
| Larutan piawai           | Membran Kation BERL |          |          |          |          |
|--------------------------|---------------------|----------|----------|----------|----------|
|                          | BERL 30%            | BERL 40% | BERL 50% | BERL 60% | BERL 70% |
| Sodium Klorida * 3%      | √                   | √        | √        | √        | √        |
| Sodium Klorida * 20%     | √                   | √        | √        | √        | √        |
| Asid Sulfurik * 10%      | √                   | √        | √        | √        | √        |
| Asid Sulfurik * 40%      | √                   | √        | √        | √        | √        |
| Hidroklorik * 10%        | √                   | √        | √        | √        | √        |
| Natrium Hidroksida * 5 % | ∅                   | ∅        | ∅        | ∅        | ∅        |
| Ethylene Glycol * 50%    | √                   | √        | √        | √        | √        |
| Acetone * 30%            | ∅                   | ∅        | ∅        | ∅        | ∅        |
| Dioxane * 30%            | √                   | √        | √        | √        | √        |
| Metanol * 50%            | √                   | √        | √        | √        | √        |
| Etanol * 50%             | √                   | √        | √        | √        | √        |
| Asid Asetik * 50%        | √                   | √        | √        | √        | √        |
| Asid Sitrik * 50%        | √                   | √        | √        | √        | √        |

√ : Tiada perubahan secara fizikal

∅ : Perubahan ketara secara fizikal



(a) Permukaan



(b) Keratan rentas

**Rajah 7** Gambar permukaan dan keratan rentas bagi membran pertukaran kation jenis BERL-70.

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 [8,9].

#### 4.0 KESIMPULAN

Secara kesimpulannya, didapati membran pertukaran kation yang disediakan dalam makmal berpotensi digunakan dalam proses elektrodialisis. Di antara membran-

membran pertukaran ion, membran yang disediakan daripada resin dengan polisulfona mudah disediakan. Di samping itu, ia juga tidak menggunakan bahan-bahan toksik serta mesra alam dan tidak membahayakan kesihatan manusia sejagat. Hasil daripada penyelidikan ini, didapati pertambahan peratus resin secara tidak langsung akan mempengaruhi sifat kimia mahupun fizikal membran pertukaran kation. Antara membran yang dihasilkan, membran pertukaran kation jenis BERL-70 merupakan membran yang berkesan dalam penggunaan proses elektrodialisis.

### TATANAMA

|                     |  |
|---------------------|--|
| $W_{\text{basah}}$  | Berat basah resin, g                             |
| $W_{\text{kering}}$ | Berat kering resin, g                            |
| $W_c$               | Kandungan air, g-H <sub>2</sub> O/g-resin kering |
| IEC                 | Kapasiti pertukaran ion, meq/g                   |
| $A_w$               | Kapasiti kepekatan ion kumpulan berfungsi        |
| $\alpha$            | Kebolehtelapan                                   |
| M                   | Molar  |

### PENGHARGAAN

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

### 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] Mahadevan, M. 2001. *Penyediaan Membran Pertukaran Anion bagi Proses Elektrodialisis*. Tesis Sarjana Muda. FKKKSA. Universiti Teknologi Malaysia.
- [4] Sim, W. K. 2001. *Penyediaan Membran Pertukaran Kation bagi Proses Elektrodialisis*. Tesis Sarjana Muda. FKKKSA. Universiti Teknologi Malaysia.
- [5] Tanaka, Y. 1999. Regularity in Ion-Exchange Membrane Characteristics dan Concentration of Sea Water. *Journal of Membrane Science*. 163: 277-287.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] Vyas P. S., B. G. Shah, G. S. Trivedi, P. Ray, S. K. Adhikary., dan R. Rangarajan. 2001. Studies on Heterogeneous Cation-Exchange Membrane. *Journal of Membrane Science*. 187: 39-46.
- [9] Mahadevan, M, L. P. Ling., dan S. Mohamad Roji. 2002. Penyediaan Membran Pertukaran Anion dengan Resin untuk Proses Elektrodialisis. *Jurnal Teknologi UTM*. 36(F): 45-56.