

# PERMEABILITAS MEMBRAN TRANSPOR CAMPURAN UNSUR TANAH JARANG (La, Nd, Gd, Lu) MENGGUNAKAN CARRIER (TBP : D2EHPA) MELALUI SUPPORTED LIQUID MEMBRANE

Djabal Nur Basir  
Jurusan Kimia, Fakultas MIPA, Universitas Hasanuddin  
email: djabal.uh@gmail.com

**Abstract:** *Methods that have been developed currently for the separation and purification of rare earth elements, REE's are solvent extraction by through immobilization of an extracting agent in a porous polymeric membrane. This methods beside could increase the transport selectivity, also the amount of carrier was very few. This technique is known as supported liquid membrane, SLM. Research toward transport and separation of REE's through SLM have been still relatively limited merely to single feed-binary mixture, and one type of carrier. The transport membrane permeability was obtained in a mixture of REE's (La, Nd, Gd, Lu) using the carrier TBP : D2EHPA by SLM. In this SLM technique, supporting membrane PTFE (polytetrafluoroethylene) was soaked in a mixture of TBP carrier (tributylfosfat) as a neutral ligand and D2EHPA (acid-2-etilheksilfosfat) as anionic ligand with a particular concentration ratio in the solvent kerosene as membrane phase. HCl as receiver phase and solution mixture of REE's as feed phase. Determination of the REE's total concentration was carried out by UV-Vis spectrophotometry with NAS (sodium alizarin sulfonate) as the colouring agent at pH 4,75 and the solution absorbance was determinated at 534 nm as maximum wavelength. Transport patterns of REE's on the variation of the concentration of total mixed carrier composition, pH, and concentration of the receiver phase were done for 300 minutes. The optimum conditions of transport mixture of REE's (La, Nd, Gd, Lu) were feed phase pH 3,0; carrier TBP: D2EHPA (0,3: 0,7) M; and receiver phase HCl 3,0 M. In this condition, the transport membrane permeability in mixture of REE's was 0,1077 cm.menit<sup>-1</sup> with the percent of transport was 95,24%.*

**Keywords:** *carrier, supported liquid membrane, sodium alizarin sulfonate, UV-Vis spectrophotometry*

## 1. PENDAHULUAN

Unsur tanah jarang (*Rare Earth Elements, REE's*), merupakan unsur-unsur yang sekarang ini banyak dimanfaatkan sebagai bahan penunjang pada pembuatan barang-barang inovatif berteknologi tinggi. Unsur-unsur ini dalam susunan berkala termasuk golongan III periode 6 dari nomor atom 57 (La) sampai nomor atom 71 (Lu) beserta skandium (Sc) dengan nomor atom 21 dan ytterium (Y) dengan nomor atom 39, yang semuanya menunjukkan sifat-sifat

fisik dan kimia yang hampir sama. Sifat istimewa yang disebabkan oleh konfigurasi elektronnya, yang mempengaruhi tidak saja tingkat valensinya dan menyebabkan pengerutan (*Lanthanide Contraction*), tetapi juga sifat paramagnetik, warna dan keaktifannya. Kelompok unsur ini sering disebut “Deret Lantanida (*Lanthanide series*)”. Unsur lantanida terdiri dari 15 unsur, yang terbagi menjadi 3 kelompok yaitu lantanida ringan (La, Ce, Pr, Nd), sedang (Pm, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy), dan berat (Ho, Er, Tm, Yb, Lu), (Henderson, 1984).

Pemisahan dan pemurnian unsur tanah jarang sampai saat ini masih sulit dilakukan. Hal ini disebabkan unsur-unsur tanah jarang mempunyai sifat-sifat kimia dan fisika yang mirip. Penelitian dan pengembangan teknik ekstraksi serta pemisahan unsur-unsur tanah jarang masih perlu dilakukan, karena sampai saat ini belum ada metode pemisahan yang efisien untuk unsur-unsur tersebut. Masalah ini perlu ditangani dengan serius karena kebutuhan terhadap unsur-unsur tanah jarang terus meningkat baik jumlah maupun kualitasnya. Di sisi lain Indonesia mempunyai potensi untuk menghasilkan bahan-bahan tersebut, mengingat mineral yang mengandung unsur tanah jarang ini banyak dijumpai di beberapa pulau antara lain Bangka, Belitung, dan Singkep (Sulaeman, 2002).

Menurut Rumhayati (2000), Metode yang memberikan prospek terbaik untuk pemisahan dan pemurnian unsur tanah jarang saat ini adalah metode yang dikembangkan dari metode ekstraksi pelarut, yaitu dengan cara mengamobilkan zat pengekstraksi (*carrier*) pada suatu membran polimer berpori. Dengan cara ini selain selektivitas transpor meningkat, juga jumlah pengekstraksi yang diperlukan menjadi sangat sedikit (kurang dari 1% dari yang diperlukan pada ekstraksi pelarut biasa). Teknik ini dikenal dengan teknik membran cair berpendukung (*Supported Liquid Membrane, SLM*).

Kinerja teknik SLM ditentukan oleh dua faktor, yaitu fluks transpor dan selektivitas. Besarnya fluks transpor erat kaitannya dengan waktu proses yang diperlukan, sedangkan selektivitas sangat menentukan pada pemisahan atau pemurnian produk. Sehingga *carrier* campuran TBP dan D2EHPA menunjukkan efek sinergis terhadap unsur tanah jarang melalui SLM, sedangkan selektivitas transpor dari *carrier* ada hubungannya dengan komposisi *carrier* tersebut dalam fasa membran (Buchari dan Sulaeman, 1998).

Selektivitas membran didasarkan pada perbandingan koefisien distribusi komponen antara fasa umpan dan fasa membran (Barsch, 1996). Adanya perbedaan konsentrasi menyebabkan zat terlarut (misalnya ion unsur tanah jarang) berdifusi dari larutan konsentrasi lebih tinggi ke yang lebih rendah. Jika komponen-komponen tersebut memiliki kelarutan dan difusitas yang tidak jauh

berbeda, maka selektivitas akan rendah dan sebaliknya. Selektivitas yang lebih tinggi dapat dicapai dengan penambahan carrier (yang memiliki afinitas lebih tinggi terhadap salah satu komponen di fasa umpan).

Pada penelitian ini transpor campuran unsur tanah jarang ( UTJ ) dilakukan melalui teknik membran cair berpendukung dengan menggunakan campuran Tributylfosfat (TBP) dan Asam di-2-etilheksilfosfat (D2EHPA) sebagai senyawa pembawa sedangkan membran pendukung berpori yang digunakan adalah politetrafluoroetilena (PTFE).

Penelitian ini bertujuan memperoleh kondisi optimum yang selektif untuk transpor campuran unsur tanah jarang dengan pembawa (TBP : D2EHPA), serta menentukan nilai permeabilitas transpor dan persen transpor campuran unsur tanah jarang (La, Nd, Gd, Lu) melalui teknik *Supported Liquid Membrane*, SLM.

## **2. METODE PENELITIAN**

### **Alat dan Bahan**

Penelitian ini menggunakan peralatan dasar laboratorium kimia yang terbuat dari gelas, dan juga peralatan lainnya, antara lain Neraca Analitis Ainsworth, pH meter Orion, Oven, Seperangkat alat SLM dengan pengaduk elektrik, Spektrofotometer UV-Vis HP 8452A.

Bahan-bahan yang digunakan semuanya berderajat pro analisis (p.a.), kecuali disebut lain. Bahan-bahan tersebut adalah  $\text{La}_2\text{O}_3$  Merck;  $\text{Ce}(\text{NO}_3)_6 \cdot \text{H}_2\text{O}$  Merck;  $\text{Nd}(\text{NO}_3)_3$  Merck;  $\text{Lu}_2\text{O}_3$  Merck;  $\text{Gd}_2\text{O}_3$  Merck;  $\text{HNO}_3$  Merck; HCl Merck; Asam asetat 96% dan ammonium asetat, Merck; NaOH Merck; Natrium alisarin sulfonat (NAS) Merck; Tributylfosfat (TBP) Sigma; Asam di-2-etilheksilfosfat (D2EHPA) Sigma; PTFE; Whatman; Indikator phenol merah Merck; Kerosen; dan Aqua DM.

### **Prosedur Kerja**

#### ***Pembuatan larutan standar UTJ***

Larutan disiapkan dengan cara menimbang sejumlah tertentu garam nitrat atau senyawa oksida dari unsur tanah jarang yang dipelajari, masing-masing dengan tingkat kemurnian pro analisis (p.a). Selanjutnya dilarutkan dengan larutan  $\text{HNO}_3$  pekat dalam gelas kimia, yang kemudian diimpitkan dengan aqua DM dalam labu takar 250 mL. Jumlah zat yang ditimbang dan volume akhir larutan disesuaikan sehingga diperoleh konsentrasi masing-masing unsur tanah jarang tersebut. Larutan tersebut selanjutnya disebut larutan induk standar UTJ.

### ***Pembuatan larutan campuran UTJ sebagai fasa umpan***

Larutan campuran unsur tanah jarang dibuat dengan cara memipet sejumlah volume tertentu larutan induk standar unsur tanah jarang tersebut, yang kemudian diimpitkan dengan aqua DM dalam labu takar 100 mL. Komposisi konsentrasi larutan simulasi campuran unsur tanah jarang adalah terdiri dari 120 ppm unsur La; 16 ppm unsur Nd; 2 ppm unsur Gd dan 0,4 ppm unsur Lu dalam labu takar 100 mL.

### ***Pembuatan larutan alizarin sulfonat 0,1%***

Larutan alizarin sulfonat dibuat dengan menimbang 0,1 gram sodium alizarin sulfonat yang dilarutkan dengan aqua DM dalam labu takar 100 mL sampai tanda batas. Larutan ini selanjutnya digunakan sebagai pembentuk warna pada penentuan konsentrasi unsur tanah jarang dengan alat spektrofotometer UV-Vis.

### ***Pembuatan larutan buffer asetat 2,0 M***

Larutan buffer asetat ini dibuat dengan cara mencampurkan larutan amonium asetat 2,0 M dan larutan asam asetat 2,0 M dalam gelas kimia. Larutan ini selanjutnya digunakan pada penentuan konsentrasi unsur tanah jarang dengan alat spektrofotometer UV-Vis.

### ***Pembuatan larutan kompleks UTJ dengan NAS***

Sebanyak 1,0 mL larutan UTJ dimasukkan ke dalam labu takar 10 mL, yang kemudian ditambahkan 1-2 tetes indikator fenol merah sehingga larutan menjadi merah. Setelah itu ditambahkan beberapa tetes larutan NaOH 0,1 M, dimana larutan tetap berwarna merah, kemudian dilakukan penambahan beberapa tetes larutan HCl 0,1 M hingga larutan menjadi kuning. Selanjutnya dilakukan penambahan larutan buffer asetat 2 M pada pH sekitar 4,75, dimana larutan tetap berwarna kuning. Larutan tersebut selanjutnya dikomplekskan dengan penambahan Na-alizarin sulfonat (NAS) sebanyak 1 mL. Larutan kompleks UTJ dengan alizarin sulfonat yang berwarna coklat teh yang ditambahkan aqua DM hingga tanda batas dalam labu takar 10 mL, selanjutnya siap diukur dengan spektro UV-Vis pada panjang gelombang maksimum (Mansuri, 2004).

### ***Optimasi kondisi SLM dengan variasi komposisi senyawa pembawa***

Senyawa pembawa yang digunakan adalah campuran (TBP:D2EHPA). Variasi senyawa pembawa ini dibuat dengan menimbang masing-masing senyawa TBP dan D2EHPA dalam labu takar 25 mL sehingga komposisi

(TBP:D2EHPA) adalah (0,1:0,9) M; (0,2:0,8) M; (0,25:0,75) M; (0,3:0,7) M; (0,4:0,6) M; (0,5:0,5) M; (0,6:0,4) M; (0,7:0,3) M; (0,8:0,2) M; dan (0,9:0,1) M dalam pelarut kerosen. Setelah itu dilakukan proses transpor SLM dengan kondisi sebagai berikut :

Membran yang digunakan PTFE : berdiameter 47 mm; ukuran pori 0,5  $\mu\text{m}$ ; dan luas permukaan efektif 9,1  $\text{cm}^2$ . Membran tersebut direndam dalam larutan senyawa *carrier* selama 1 jam (Mansuri, 2004). Fasa umpan yang digunakan dalam penelitian ini adalah larutan simulasi campuran UTJ dalam labu takar 100 mL. Pengadukan dilakukan pada kecepatan 700 rpm selama 300 menit, dengan pH fasa umpan 3,2 dan konsentrasi fasa penerima HCl 3,0 M. Pemantauan konsentrasi unsur tanah jarang dilakukan pada waktu 0; 60; 120; 180; 240 dan 300 menit dengan cara dipipet 1,0 mL larutan umpan ke dalam labu takar 10 mL, kemudian dikomplekskan dengan metode NAS hingga tanda batas yang selanjutnya diukur dengan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum 534 nm.

#### ***Optimasi kondisi SLM dengan variasi pH fasa umpan***

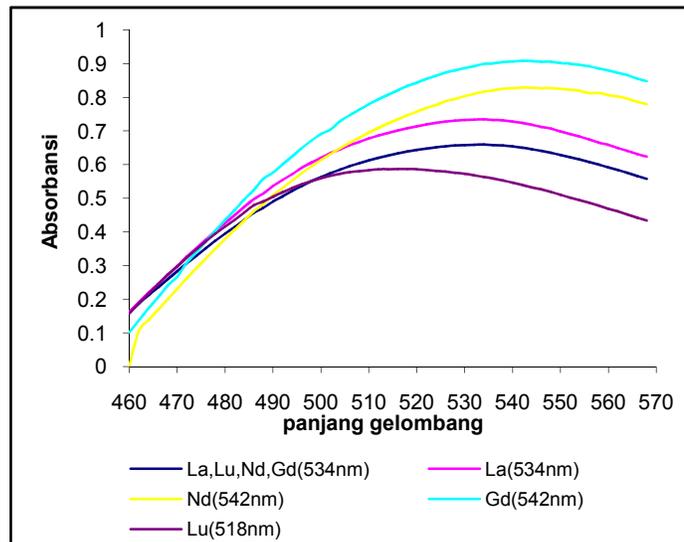
Fasa umpan yang digunakan dalam penelitian ini adalah larutan simulasi campuran UTJ dalam labu takar 100 mL. Variasi pH fasa umpan ini diatur sedemikian rupa dengan penambahan larutan NaOH dan HCl, sehingga diperoleh pH fasa umpan yang dipelajari yaitu 2,6; 2,8; 3,0; 3,2; dan 3,4. Setelah itu dilakukan proses transpor SLM dengan kondisi optimum carrier (TBP:D2EHPA) adalah (0,3:0,7) M. Pemantauan konsentrasi unsur tanah jarang dilakukan pada waktu 0; 60; 120; 180; 240 dan 300 menit dengan cara dipipet 1,0 mL larutan umpan ke dalam labu takar 10 mL, kemudian dikomplekskan dengan metode NAS hingga tanda batas yang selanjutnya diukur dengan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum 534 nm.

#### ***Optimasi kondisi SLM dengan variasi konsentrasi fasa penerima HCl***

Fasa penerima HCl, konsentrasinya dibuat bervariasi yaitu 0,5 M; 1,0 M; 2,0 M; dan 3,0 M, masing-masing dalam labu takar 100 mL. Setelah itu dilakukan proses transpor SLM dengan kondisi optimum pH fasa umpan 3,0. Pemantauan konsentrasi unsur tanah jarang dilakukan pada waktu 0; 60; 120; 180; 240 dan 300 menit dengan cara dipipet 1,0 mL larutan umpan ke dalam labu takar 10 mL, kemudian dikomplekskan dengan metode NAS hingga tanda batas yang selanjutnya diukur dengan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum 534 nm.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

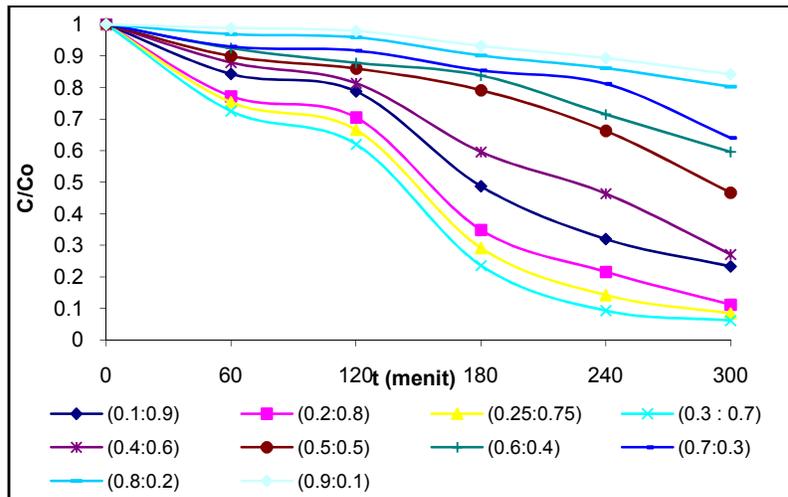
Spektra absorpsi kompleks unsur tanah jarang La, Nd, Gd, dan Lu dengan alizarin sulfonat ditunjukkan pada Gambar 1. Kompleks-kompleks tersebut memberikan panjang gelombang maksimum untuk unsur La 534 nm; Nd 542 nm; Gd 542 nm; Lu 518 nm. Untuk campuran simulasi ke-4 unsur tanah jarang tersebut diperoleh panjang gelombang maksimum 534 nm yang digunakan pada pengukuran konsentrasi unsur tanah jarang selanjutnya. Nilai koefisien ekstingsi molar masing-masing unsur adalah  $\epsilon_{La}$  6378 M<sup>-1</sup>cm<sup>-1</sup>;  $\epsilon_{Nd}$  7403 M<sup>-1</sup>cm<sup>-1</sup>;  $\epsilon_{Gd}$  8861 M<sup>-1</sup>cm<sup>-1</sup>; dan  $\epsilon_{Lu}$  6144 M<sup>-1</sup>cm<sup>-1</sup>.



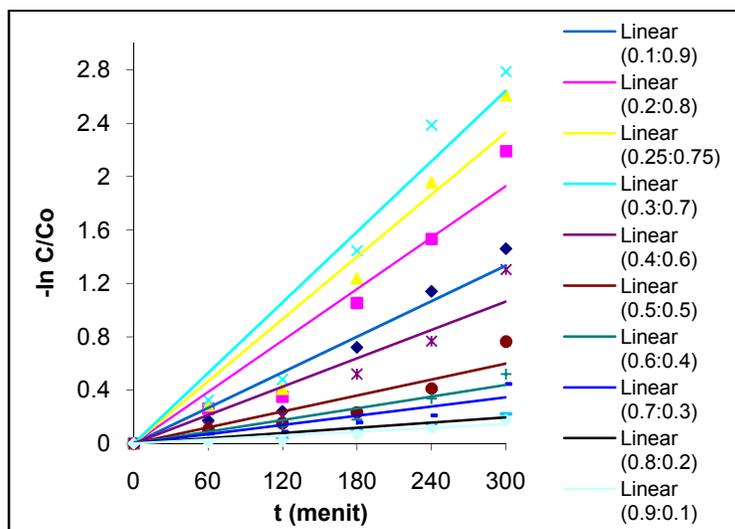
**Gambar 1.** Kurva  $\lambda_{maks}$  kompleks UTJ: La, Nd, Gd, Lu, dan campuran ke-4 UTJ dengan alizarin pada konsentrasi 16 ppm yang diukur dengan alat Diode Array Spectrophotometer HP 8452 A

#### Pola Transpor UTJ pada Variasi Pembawa

Pada penelitian ini digunakan senyawa pengemban atau pembawa campuran D2EHPA (asam di-2-etilheksilfosfat) sebagai ligan anionik dan TBP (tributilfosfat) sebagai ligan netral dalam pelarut kerosen. Hal ini berdasarkan penelitian sebelumnya (Sulaeman, 2002) bahwa pencampuran pengemban anionik dan netral dapat menimbulkan efek sinergis terhadap transpor unsur tanah jarang melalui SLM. Kinerja teknik SLM dipelajari melalui pengaruh komposisi konsentrasi campuran *carrier* D2EHPA dan TBP. Pengukuran konsentrasi unsur tanah jarang dalam tiap fraksi sebagai fungsi waktu dilakukan secara spektrometri dengan terlebih dahulu dibuat kompleks berwarna dengan alizarin sulfonat pada pH 4,75. Pola transpor unsur tanah jarang total tercampur pada variasi konsentrasi komposisi *carrier* (TBP:D2EHPA) selama 300 menit ditunjukkan pada Gambar 2.



**Gambar 2.** Pola transpor simulasi campuran UTJ (La, Nd, Gd, Lu) di fasa umpan dengan variasi komposisi konsentrasi *carrier* (TBP : D2EHPA) pada pH fasa umpan 3,2 dan konsentrasi fasa penerima HCl 3,0 M



**Gambar 3.** Kurva  $-\ln C/Co$  terhadap  $t$  (menit) di fasa umpan dengan variasi komposisi *carrier* (TBP : D2EHPA) pada pH fasa umpan 3,2 dan konsentrasi fasa penerima HCl 3,0 M

Berdasarkan Gambar 2 maka pola transpor unsur tanah jarang, secara umum terlihat bahwa konsentrasi unsur tanah jarang total di fasa umpan cenderung berkurang seiring dengan lamanya waktu ekstraksi pada pengadukan 700 rpm.

Secara eksperimental, permeabilitas melalui membran SLM diperoleh dengan persamaan :  $\ln(C/Co) = -A/V \cdot P \cdot t$  ..... ( 1 )  
 Dimana C adalah konsentrasi unsur pada waktu tertentu, Co adalah konsentrasi unsur awal, A adalah luas permukaan membran dan V adalah volume larutan umpan (Danesi, 1985). Nilai K atau gradien persamaan garis yang diperoleh dari Gambar 3 dan berdasarkan persamaan (1), jika diketahui luas permukaan membran efektif (A) adalah 9,1 cm<sup>2</sup> dan volume larutan fasa umpan (V) adalah 100 mL akan diperoleh nilai permeabilitas membran (P), dimana  $k = (A/V) \times P$ . Persen transpor unsur tanah jarang dan permeabilitas membran terhadap pengaruh komposisi konsentrasi *carrier* ditunjukkan pada Tabel 1.

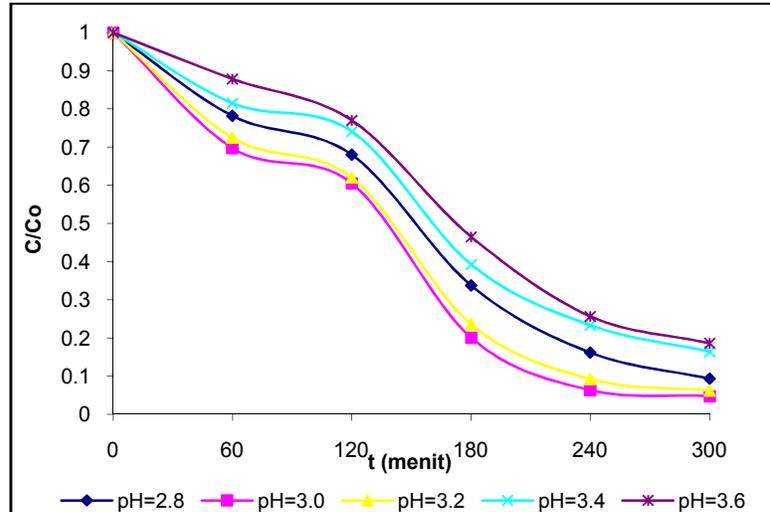
Berdasarkan Tabel 1 tersebut, maka terlihat bahwa permeabilitas membran dan persen transpor optimum dengan kinerja teknik SLM ini terjadi pada komposisi konsentrasi *carrier* (TBP:D2EHPA) adalah (0,3 : 0,7) M. Selanjutnya komposisi konsentrasi *carrier* TBP:D2EHPA (0,3 : 0,7) M ini digunakan untuk transpor unsur tanah jarang sebagai kondisi terbaik atau optimumnya.

**Tabel 1.** Permeabilitas membran dan persen transpor UTJ terhadap pengaruh komposisi konsentrasi *carrier*

<i>Carrier</i> (TBP : D2EHPA) M	K	P (cm.menit <sup>-1</sup> )	% transpor
0,1 : 0,9	0,0044	0,0484	76,74
0,2 : 0,8	0,0064	0,0703	88,82
0,25 : 0,75	0,0078	0,0857	92,63
0,3 : 0,7	0,0088	0,0967	93,84
0,4 : 0,6	0,0035	0,0385	72,88
0,5 : 0,5	0,0020	0,0220	53,3
0,6 : 0,4	0,0015	0,0165	40,45
0,7 : 0,3	0,0011	0,0121	36,0
0,8 : 0,2	0,0006	0,0066	19,75
0,9 : 0,1	0,0005	0,0055	15,85

### Pola transpor UTJ pada variasi pH fasa umpan

Pengaruh pH fasa umpan sangat signifikan terhadap transpor unsur-unsur tanah jarang melalui teknik SLM ini, dimana pada kondisi pH optimum akan meningkatkan permeabilitas membran dan persen transpor unsur tanah jarang tersebut.



**Gambar 4.** Pola transpor campuran UTJ ( La, Nd, Gd, Lu ) di fasa umpan dengan variasi pH fasa umpan, pada komposisi konsentrasi *carrier* TBP:D2EHPA (0,3 : 0,7) M dan konsentrasi fasa penerima HCl 3,0 M

Faktor pengaruh pH fasa umpan ini didasarkan bahwa transpor unsur tanah jarang melalui membran dengan campuran senyawa *carrier* (TBP:D2EHPA) merupakan transpor aktif dengan mekanisme transpor tanding (counter transpor), dimana terjadi reaksi pertukaran antara ion  $H^+$  dengan ion unsur yang ditranspor (Mulder, 1996).

**Tabel 2.** Permeabilitas membran dan persen transpor UTJ terhadap pengaruh pH fasa umpan

PH Fasa umpan	K	P (cm.menit <sup>-1</sup> )	% transpor
PH = 2,8	0,0064	0,0703	90,67
PH = 3,0	0,0098	0,1077	95,24
PH = 3,2	0,0088	0,0967	93,84
PH = 3,4	0,0056	0,0615	83,55
PH = 3,6	0,0051	0,0560	81,45

### Pola Transpor UTJ pada Variasi Konsentrasi Penerima HCl

Pengaruh konsentrasi fasa penerima, dalam hal ini digunakan larutan HCl pada beberapa variasi konsentrasi juga sangat signifikan seperti pada pengaruh pH di fasa umpan. Pada antar muka fasa umpan-membran terjadi reaksi pertukaran antara ion unsur tanah jarang dengan ion  $H^+$  yang terikat pada senyawa *carrier*. Pada antar muka fasa membran-penerima terjadi reaksi pertukaran antara ion  $H^+$  dari fasa penerima dengan ion unsur tanah jarang yang terikat pada senyawa *carrier*, akibatnya ion unsur tanah jarang dilepaskan ke dalam fasa penerima sedang senyawa *carrier* kembali ke bentuk asamnya dan bereaksi dengan ion unsur tanah jarang berikutnya. Gaya dorong yang terjadi dalam proses ini adalah perbedaan pH (gradien konsentrasi proton) atau perbedaan potensial kimia antara fasa umpan dengan fasa penerima (Mulder, 1996).

**Tabel 3.** Permeabilitas membran dan persen transpor UTJ terhadap pengaruh konsentrasi fasa penerima HCl

Konsentrasi Fasa penerima, HCl	K	P (cm.menit <sup>-1</sup> )	% transpor
HCl 0,5 M	0,0033	0,0363	67,27
HCl 1,0 M	0,0042	0,0462	74,94
HCl 2,0 M	0,0073	0,0802	90,83
HCl 3,0 M	0,0098	0,1077	95,24

Dari Tabel 2 dan Tabel 3, maka terlihat bahwa permeabilitas membran dan persen transpor optimum terjadi pada pH 3,0 dan konsentrasi fasa penerima HCl 3,0 M; dimana permeabilitas membran transpor (P) adalah 0,1077 cm.menit<sup>-1</sup> dengan persen transpor adalah 95,24%. Hasil ini memberikan asumsi bahwa dengan semakin besarnya konsentrasi asam dalam fasa penerima, maka gradien konsentrasi ion  $H^+$  antara fasa umpan dan fasa penerima semakin besar sehingga meningkatkan transpor campuran unsur tanah jarang tersebut melalui teknik SLM.

## 4. PENUTUP

### Kesimpulan

Pada transpor campuran unsur tanah jarang (La, Nd, Gd, Lu) dengan menggunakan *carrier* (TBP:D2EHPA) dan membran pendukung PTFE melalui teknik *Supported Liquid Membrane* (SLM) pada pengadukan 700 rpm dan suhu kamar, maka diperoleh kondisi optimum yang selektif adalah pH fasa umpan 3,0; campuran *carrier* TBP : D2EHPA (0,3:0,7) M; dan konsentrasi fasa penerima HCl 3,0 M. Pada kondisi ini diperoleh permeabilitas membran transpor (P) adalah 0,1077 cm.menit<sup>-1</sup> dengan persen transpor adalah 95,24 %.

## **Saran**

Perlunya dilakukan modifikasi terhadap teknik SLM ini, khususnya senyawa *carrier* di fasa membran agar dapat diperoleh pemisahan dan transpor yang lebih baik.

## **DAFTAR PUSTAKA**

- Henderson, P., 1984, *Development in Geochemistry*, Rare Earth Element Geochemistry, New York: Elseiver.
- Sulaeman, A., 2002, Pola Transpor Pada Ekstraksi dan Pemisahan Unsur Tanah Jarang Dengan Teknik Membran Cair Berpendukung Menggunakan Pengembang Campuran Asam Di-(2-etilheksil) Fosfat (D2EHFA) dan Tributyl Fosfat (TBP), *Disertasi*, Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Rumhayati, B., 2000, Transpor Lantanum melalui Membran Cair Berpendukung Ganda, *Tesis*, Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Buchari dan Sulaeman, A., 1998, Efek Sinergis Campuran D2EHFA-TBP dan D2EHFA-TOPO Sebagai Pengembang Pada Pemisahan Cerium (III) dan Yterbium (III) Secara membran Cair Berpendukung, *The Malaysian Journal of Analytical Sciences*, No.2, (4), 230-238.
- Barsch, R.A., Way, J.D., 1996, *Chemical Separations with Liquid Membranes*, American Chemical Society, America, 362-369.
- Mansuri, A., 2004, Pemisahan Logam Tanah Jarang dari Mineral Monasit dengan Teknik Membran Cair Berpendukung, *Skripsi*, Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Danesi, P.R., et.all, 1985, Separation of Actinides and Lanthanides from Acidic Nuclear Wastes by Supported Liquid membrane, *J. Solvent Extraction and Ion Exchange*, 3(1 & 2), 111-147.
- Mulder, M., 1996, *Basic Principles of Membrane Technology*, London: Kluwer Academic Publisher.