



## Sintesis membran Poliuretan dari Karagenan dan 2, 4 Toylulene diisositrat

**Marlina**

Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Syiah Kuala  
Jl. Syech Abdurrauf, Darussalam, Banda Aceh, 23111  
E-mail : marlina\_rachman@yahoo.com

### Abstract

This research studied the synthesis of Polyurethane (PU) Membrane from Carrageenan and 2,4 toylulene diisocyanate (TDI). The PU membrane made from the *Gracilaria sp* of red seaweed has rendement of 60.5% from the total weight of the dried sea grass. The produced Carrageenan has pure properties with containing many OH groups which can be used to synthesise membrane. The dope solution to produce good membrane was made at the temperature of 60 °C for the reaction of 5 minutes by varying concentration of carrageenan 5-35 % (b/v). PU membrane was constructed using petri dish with the thickness of about 0.1 mm. To control the thickness of the membrane, the volume of dope solution was used about 12 mL, and the membrane was produced with 10 cm in diameter. The membrane had been synthesized at the temperature of 60 °C with varied concentration of Carrageenan 15% (b/v) to the toylulene diisocyanate (TDI). The produced membrane has the optimal properties with the tensile strength of 340 kgf/mm<sup>2</sup>, the elongation percentage of 9%, the glass temperature transition of 243.6 °C and the melting point of 423.02 °C. The optimum PU membrane obtained was good in mechanical and physical properties, strong, elastic and transparent.

*Keywords:* carrageenan, flux, membrane, polyurethane, rejection factor, TDI

### 1. Pendahuluan

Indonesia merupakan negara kepulauan yang dikelilingi oleh lautan. Pantainya kaya akan berbagai jenis sumber daya alam hayati, salah satunya yaitu rumput laut. Rumput laut telah digunakan oleh masyarakat yang hidup di pinggir pantai sebagai makanan dan obat-obatan. Rumput laut juga mulai diolah menjadi berbagai produk komersial dan dijadikan sebagai bahan mentah di berbagai jenis industri. Seiring dengan kemajuan teknologi di bidang penelitian rumput laut, maka pemanfaatan rumput laut bagi manusia tidak terbatas pada aspek kesehatan dan makanan, tetapi sudah menjalar ke segala bidang.

Rumput laut menghasilkan senyawa yang penting bagi industri, yaitu *phycocolloid* yang tersimpan di dalam dinding sel. *Phycocolloid* didefinisikan sebagai polisakarida yang kompleks, yang membentuk sistem koloid ketika dilarutkan dalam air.

Golongan *Rhodophyceae*, termasuk di dalamnya rumput laut merah, menghasilkan polisakarida yaitu *agar* dan *karagenan*. Ke dua polisakarida ini banyak dimanfaatkan di berbagai bidang industri, tetapi belum dimanfaatkan sebagai membran poliuretan (PU) (Heinz, 1970, dan Atmadja, 1996).

*Karagenan* merupakan molekul besar galaktan yang terdiri dari 100 lebih unit-unit utamanya. Semua karagenan merupakan polisakarida

dengan berat molekul yang tinggi, tersusun dari pengulangan unit galaktosa dan 3,6 anhidrogalaktosa (3,6-A-G) kopolimer, baik dengan atau tanpa mengandung sulfat. Unit-unit ini terikat pada ikatan alfa 1,3 atau beta 1,4 glikosidik. Berdasarkan bahan penyusunnya di atas, maka karagenan mengandung gugus hidroksi (-OH) yang banyak dari galaktosa, sehingga diharapkan dapat disintesis menjadi membran PU.

Reaksi pembentukan PU terjadi antara gugus -OH dari senyawa yang mengandung diol atau polioliol dengan gugus -NCO dari isositrat. Semakin banyak gugus -OH dari suatu senyawa maka diharapkan membran yang dihasilkan semakin kuat, karena semakin banyak gugus -OH semakin banyak kesempatan berinteraksi dengan gugus -NCO, dan ikatan yang terbentuk semakin kuat, serta dapat menghasilkan membran yang semakin rapat (Marlina, dkk., 2004 dan Cheng, dkk., 2003). Namun hal ini juga dapat menyebabkan kekakuan, untuk itu akan dilakukan dehidroksilasi (Marlina, 2005) terhadap karagenan, sehingga membran yang dihasilkan lebih elastis.

Teknologi membran belum berkembang baik di Indonesia, hanya pada skala laboratorium, hal ini kemungkinan besar disebabkan oleh bahan dasar pembuatan membran masih diimport dengan harga yang mahal. Untuk itu dalam penelitian ini digunakan bahan dasar alami yaitu karagenan dari rumput laut. Diketahui

bahwa poliuretan yang terbuat dari bahan alami dapat terbiodegradasi di alam, oleh karenanya hasil penelitian ini tidak akan menghasilkan pencemaran lingkungan.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk memperoleh membran poliuretan dari karagenan, di mana membran yang dihasilkan diharapkan mempunyai sifat mekanik dan fisik yang baik, yaitu kuat dan elastic, sehingga pada penelitian lanjutan dapat diterapkan pada proses desalinasi air payau dalam waktu yang lama, serta dapat dicuci ulang (*backwash*).

## 2. Metodologi

### 2.1 Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan adalah cawan petri, pengaduk magnetik, peralatan gelas, *stop watch*, pipet volum, panci perebus, oven, timbangan, *hot plate*, bak koagulasi, *blender*, kain kasa halus, modul membran, spektrofotometer FT- IR merk *Buck-500*, dan mesin Instron (*Universan Testing Machine*) untuk uji tarik dengan standar pengukuran ASTM-D368 (ASTM, 1979).

Bahan-bahan yang digunakan adalah 2,4 tolulen diisosianat (TDI),  $\text{KMnO}_4$ , silika gel, diklorometan, KOH, aquades, metanol, NaOH 0,1 N,  $\text{Br}_2$ ,  $\text{I}_2$ , KI, amilum, etanol, PP, asam asetat glasial, piridin,  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ , asam sulfat, DMF, asam oksalat, benzen,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , alumunium foil, dan  $\text{CaCl}_2$  1%, serta reagen kimia lainnya dengan kualitas murni (pure). Rumput laut merah (*rodophyceae*) jenis *G. racilaria* sp diambil dari tempat budidaya rumput laut di Ujong Batee, Banda Aceh.

### 2.2 Isolasi Karagenan

Rumput laut merah dipotong-potong dan direndam dalam air tawar selama 24 jam, kemudian dibilas dan ditiriskan. Setelah bersih rumput laut direbus dalam air dengan perbandingan rumput laut dengan air sebesar 1 : 15 (b/v), suhu  $120^\circ\text{C}$  selama 15 menit dengan memakai panci perebus.

Rumput laut yang lunak dihancurkan dengan *blender* dan ditambahkan air panas ( $90^\circ\text{C}$ ) dengan perbandingan 1 : 30 (b/v). Hasilnya disaring dengan kain kasa halus.

Filtrat diendapkan dengan menambahkan metanol dengan perbandingan 2,5 : 1 (b/v) selama 24 jam. Endapan yang bercampur metanol disaring dengan kain kasa. Hasil

saringan masih berupa karagenan basah, kemudian dikeringkan selama 4 hari. Tepung karagenan dapat diperoleh setelah proses penggilingan, dan dikarakterisasi dengan alat spektrofotometer IR dan GC-MS.

### 2.3 Analisa Kualitatif

Tepung karagenan dilarutkan dalam 0,1 N NaOH dan ditambahkan 1 mL  $\text{CaCl}_2$  (terbentuk ikatan gelatin). Kalau terbentuk gel, menunjukkan positif adanya karagenan (Glicksman, 1983).

### 2.4 Dehidroksi

Sampel (karagenan) sebanyak 25 gram ditambahkan asam asetat glasial berlebih dan piridin sebanyak 0,5 mL, didinginkan pada  $20^\circ\text{C}$  dan diaduk selama 2 jam (Marlina, 2004). Hasil asetilasi di atas diekstraksi menggunakan pelarut kloroform dan dikeringkan dengan alat *rotary evaporator*. Karagenan hasil deproteksi dianalisis gugus fungsi dan kandungan molekulnya.

### 2.5 Pembuatan Membran PU

Membran PU disintesis dari karagenan sebagai sumber polioliol dan 2,4 toylulen diisosianat (TDI) sebagai sumber -NCO. Pada penelitian ini larutan dope (bahan dasar membran) dibuat dari tepung karagenan dengan variasi konsentrasi 5 - 35 % (b/v) terhadap TDI, dengan interval 2,5 gram. Membran dicetak pada kaca petri dan temperatur polimerisasi divariasikan dari  $60 - 90^\circ\text{C}$ .

## Hasil dan Pembahasan

### 3.1 Isolasi Karagenan dari Rumput Laut Merah

Rumput laut merah spesies *Gracilaria* sp mempunyai bau yang sangat amis, sehingga setelah dibersihkan dari kotoran harus direndam dalam air kapur selama 3 jam, dan selanjutnya dijemur dibawah sinar matahari (seperti terlihat pada Gambar 1.).

Rendemen (hasil) tepung karagenan kering yang diperoleh adalah 60,5 % dari total berat rumput laut kering. Secara teoritis rendemen karagenan yang terkandung dalam rumput laut merah adalah 73 %. Kekurangan hasil ini dapat disebabkan oleh asal rumpul laut tersebut, serta metode ekstraksi karagenan yang dilakukan kurang tepat, karena secara teori ekstraksi karagenan



**Gambar 1.** Rumput laut merah setelah dibersihkan.

dengan air menggunakan garam KCl akan menghasilkan rendeman yang lebih banyak dan gel yang dihasilkan kuat, tetapi tidak dapat mengeliminasi gugus sulfat dengan efektif. Proses pengeringan sangat menentukan sifat dan warna dari tepung karagenan yang dihasilkan. Tepung yang dihasilkan dengan pengeringan di bawah sinar matahari akan berwarna putih (lihat Gambar 2a.), sedangkan bila pemanasan dilakukan dengan oven akan menyebabkan tepung karagenan berwarna kuning kecoklatan (Gambar 2.b). Hal ini kemungkinan disebabkan tepung telah mengalami proses oksidasi.

Hasil analisis gugus fungsi dari tepung karagenan menggunakan alat spektrofotometer infra merah (IR) dapat dilihat pada Gambar 3. Dari gambar tersebut tampak bahwa adanya serapan yang lebar pada bilangan gelombang 3100 - 3600  $\text{cm}^{-1}$  untuk gugus hidroksil atau (-OH), yang membuktikan bahwa karagenan merupakan suatu polihidroksi dan dapat disintesis lebih lanjut menjadi PU. Gugus hidroksil dan sulfat dari karagenan menyebabkan karagenan bersifat hidrofili, sehingga sangat cocok digunakan sebagai membran untuk penyaringan dan pemurnian air.



**Gambar 2.** Tepung karagenan karagenan yang diperoleh dengan pengeringan. (a) di bawah sinar matahari dan (b) oven.

Gambar 4. merupakan kromatogram dari karagenan yang dianalisis menggunakan alat GC-MS. Dari Gambar 4. tampak bahwa tepung

karagenan yang dihasilkan merupakan produk murni, hal ini ditunjukkan oleh munculnya puncak tunggal dengan waktu retensi 3,87 menit.

Gambar 5. merupakan spektroskopi massa dari karagenan, di mana kelimpahan optimum didapatkan pada waktu retensi 4,38 menit, ditandai sebagai estra 1,3,5 (10)-trien-17-one dengan kelimpahan sebesar 25,88 %. Komponen lainnya adalah cycloheptasiloksan pada waktu retensi 5,35 menit dengan kelimpahan 23,5 %. Molekul-molekul ini mempunyai rumus molekul yang mirip dengan galaktosa dari karagenan.

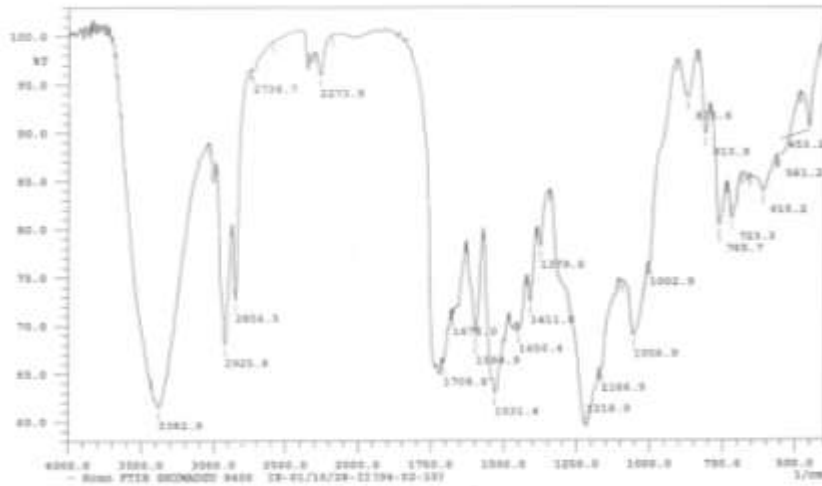
Analisis kualitatif karagenan menggunakan reagen  $\text{CaCl}_2$ , bila hasilnya positif adanya kandungan karagenan dalam rumput laut tersebut maka akan terbentuk gel. Pembentukan gel disebabkan karena terbentuknya struktur heliks rangkap yang tidak terjadi pada suhu tinggi, artinya gel hanya terbentuk pada temperatur rendah, dan akan kembali cair pada saat dipanaskan.

Kemampuan pembentukan gel pada karagenin terjadi pada saat larutan panas yang dibiarkan menjadi dingin karena mengandung gugus 3,6-anhidrogalaktosa.

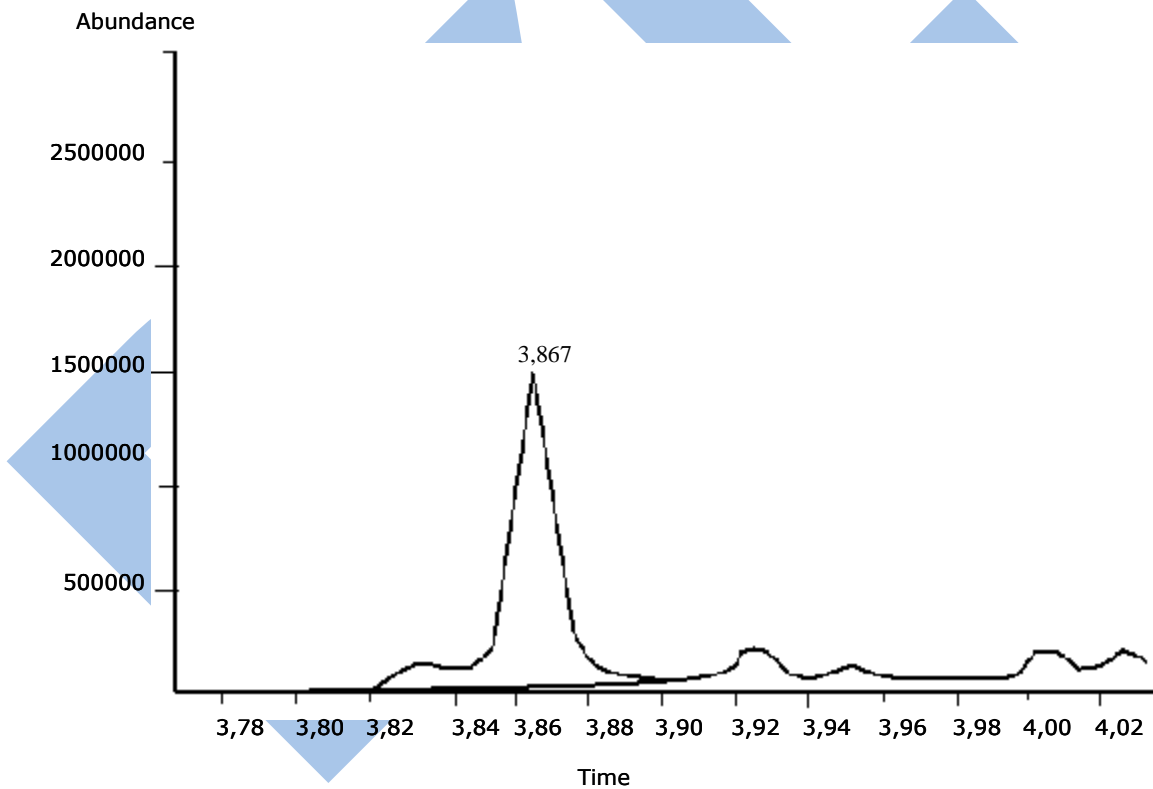
Perbedaan jumlah, tipe dan posisi gugus sulfat dalam karagenan akan mempengaruhi proses pembentukan gel. Kappa karagenin sensitif terhadap ion kalium dan membentuk gel kuat dengan adanya garam kalium, sedangkan iota karagenin akan membentuk gel yang kuat dan stabil bila ada ion  $\text{Ca}^{2+}$ , akan tetapi lambda karagenin tidak dapat membentuk gel (Glicksman, 1983).

### 3.2 Dehidroksilasi

Dehidroksilasi merupakan proses pelindungan terhadap gugus -OH yang ada dalam karagenan, dilakukan untuk mengurangi jumlah gugus -OH. Seperti diketahui bahwa jumlah gugus -OH dalam molekul karagenan sangat banyak (karena memiliki berat molekul yang sangat besar), dan didukung oleh serapan yang lebar untuk gugus -OH pada spektrum IR. Dengan berkurangnya gugus -OH maka diperkirakan membran yang dihasilkan menjadi lebih elastis. Proses dehidroksilasi yang dilakukan melalui asetilasi didapatkan bahwa proses tersebut tidak berlangsung dengan baik. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh jenis reagen yang dihasilkan tidak sesuai, yaitu asetat anhidrat diganti dengan asam asetat glasial.



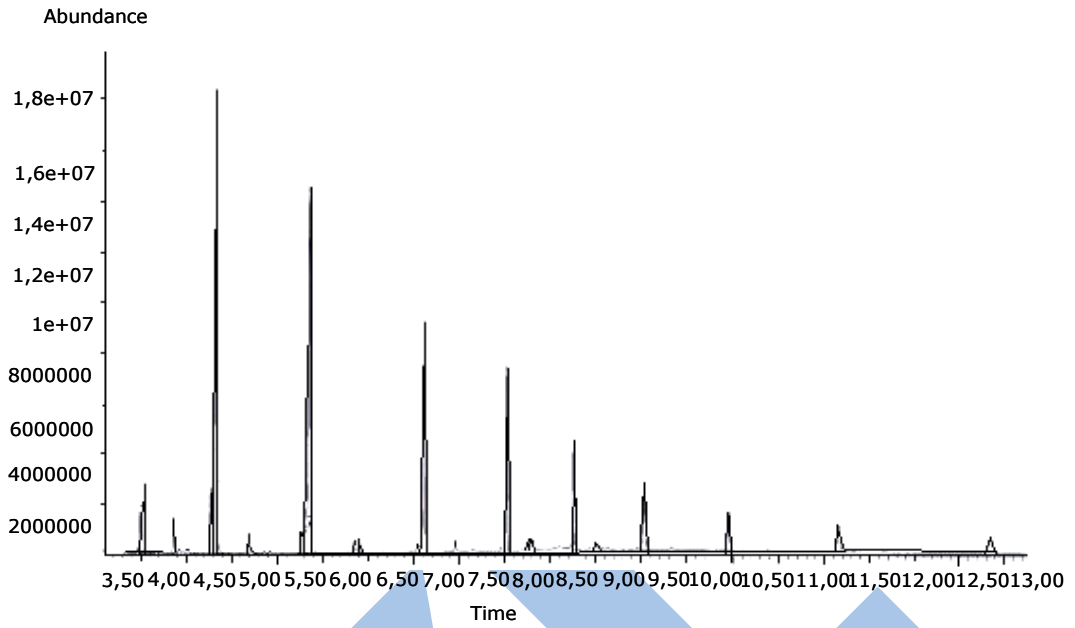
Gambar 3. Spektrum IR dari karagenan.



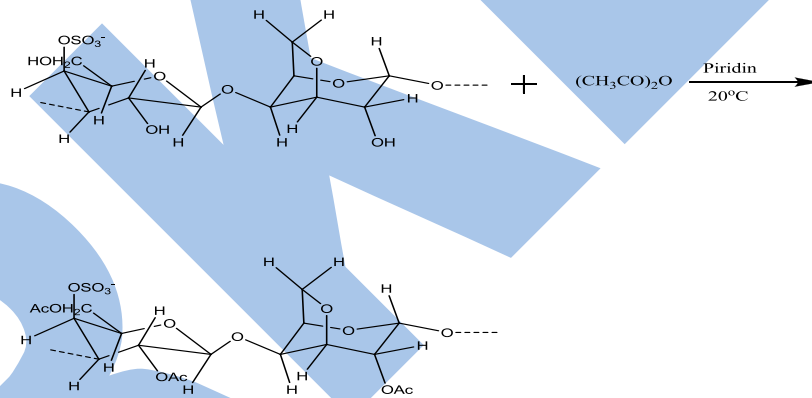
Gambar 4. Kromatogram dari karagenan.

Molekul air dalam pelarut asam asetat glasial mempengaruhi reaksi dehidroksilasi, sehingga jumlah gugus -OH dalam karagenan tidak banyak berubah. Indikasi yang menunjukkan bahwa proses dehidroksilasi ini tidak berlangsung dengan baik adalah dari penurunan bilangan hidroksi dari 213,7 mg/g menjadi 207,1 mg/g, atau hanya sekitar 6,6 %. Secara teoritis dan ekonomis nilai ini sangat kecil untuk menghasilkan produk yang banyak

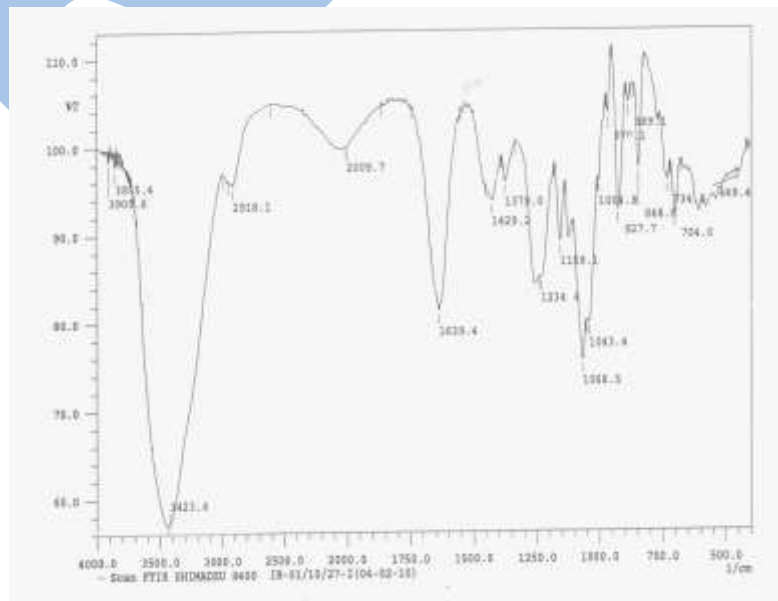
Kemungkinan lain adalah karena posisi gugus -OH dari molekul karagenan sulit untuk terproteksi, yang disebabkan oleh ikatan helik dan struktur tiga dimensi dari molekul karagenan yang besar. Berat molekul karagenan tersebut cukup tinggi yaitu berkisar 100 - 800 ribu (Heinz, 1979) sehingga halangan rintangnya menjadi besar. Mekanisme reaksi dehidroksilasi yang diharapkan adalah sebagai berikut:



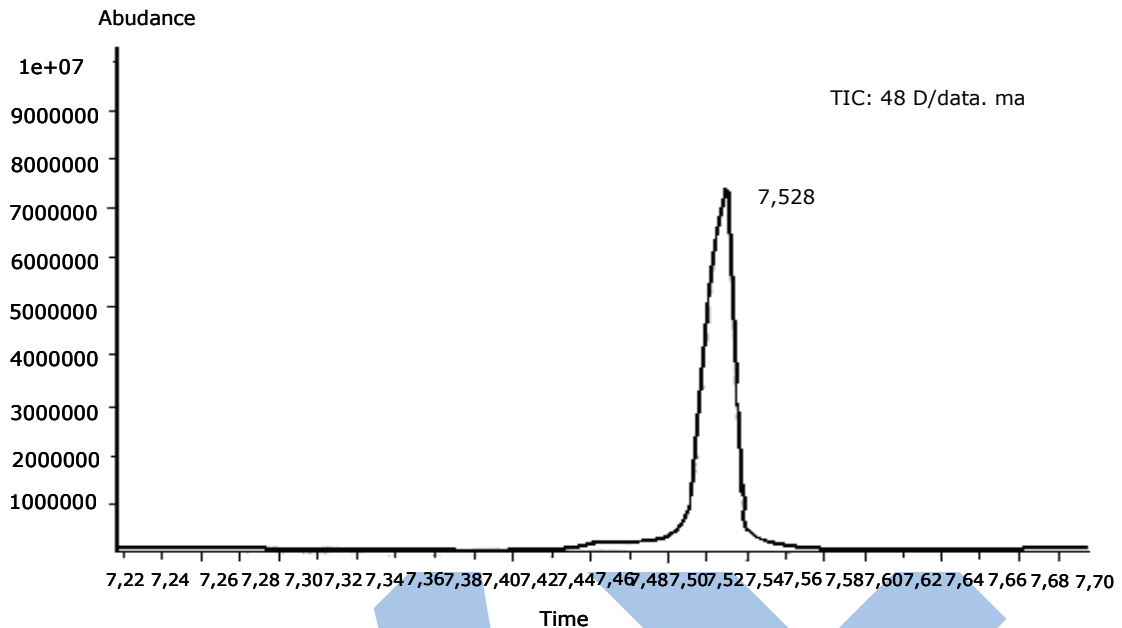
Gambar 5. Spektroskopi massa dari karagenan.



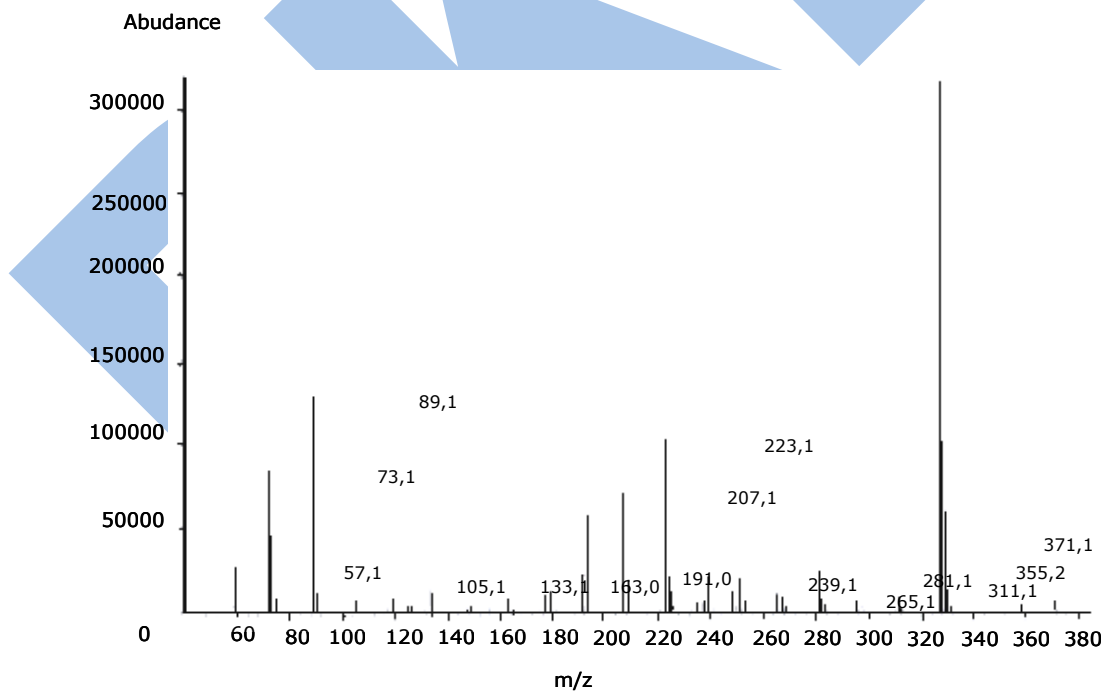
Gambar 6. Mekanisme reaksi dehidrosilasi karagenan secara asetilasi.



Gambar 7. Spektrum IR dari karagenan terdehidrosilasi.



**Gambar 8.** Kromatogram dari karagenan terdehidroksilasi.



**Gambar 9.** Spektroskopi massa dari karagenan terdehidroksilasi.

Analisis gugus fungsi karagenan terdehidroksilasi menggunakan spektrofotometer IR menunjukkan bahwa tidak ada perubahan yang signifikan dari keadaan awalnya (Gambar 7.). Dari gambar tersebut, tampak bahwa serapan gugus -OH dari karagenan terdehidroksilasi masih sangat lebar sehingga diperkirakan proses dehidroksilasi

tidak berlangsung dengan baik. Tetapi pada bilangan gelombang  $1600\text{ cm}^{-1}$  timbul puncak baru, yang diperkirakan sebagai gugus ester sebagai hasil reaksi antara gugus hidroksi dan asam asetat. Hasil yang sama ditunjukkan oleh analisis komponen karagenan menggunakan alat spektroskopi massa (Gambar 8) dan GC-MS (Gambar 10), di mana tidak ada komponen

yang berubah, tetapi terjadi pada waktu retensi yang berbeda.

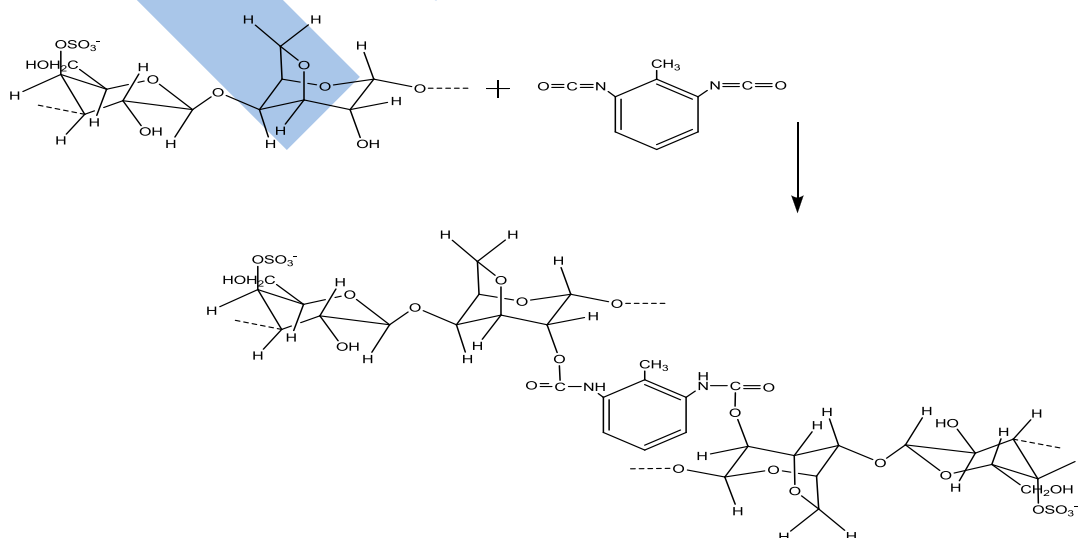
Dari hasil analisis di atas dapat disimpulkan bahwa proses dehidroksi yang dilakukan untuk mengurangi gugus hidroksi dari karagenan tidak efektif, dan selanjutnya hasil tersebut tidak digunakan sebagai bahan dasar pada pembuatan membran PU.

### 3.3 Pembuatan Membran PU

Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin banyak konsentrasi karagenan yang diberikan maka larutan dope yang dihasilkan semakin kental. Hal ini dapat dipahami bahwa semakin banyak karagenan maka kesempatan pembentukan gugus uretan dari gugus  $-OH$  (karagenan) dengan  $-NCO$  (TDI) akan semakin besar, dan molekul PU yang dihasilkan semakin besar.

Temperatur dapat meningkatkan kecepatan reaksi antara karagenan dan TDI, hal ini dapat dilihat pada temperatur di atas  $80^{\circ}C$ , pembentukan dope sangat cepat terjadi. Bila reaksi dibiarkan sampai 10 menit, maka larutan dope akan mengental dan berwarna hitam. Bila temperatur dinaikkan terus sampai  $90^{\circ}C$  maka tidak terbentuk larutan dope yang berbentuk gel, tetapi langsung terbentuk busa PU.

Kenaikan temperatur kemungkinan menyebabkan gugus  $-NCO$  menjadi lebih reaktif, sehingga sangat cepat membentuk ikatan silang dalam PU, yang menyebabkan udara terperangkap di dalamnya sehingga membentuk busa. Mekanisme reaksi pembentukan PU dari karagenan dan TDI dapat dilihat pada Gambar 10.



**Gambar 10.** Reaksi antara karagenan dengan TDI.

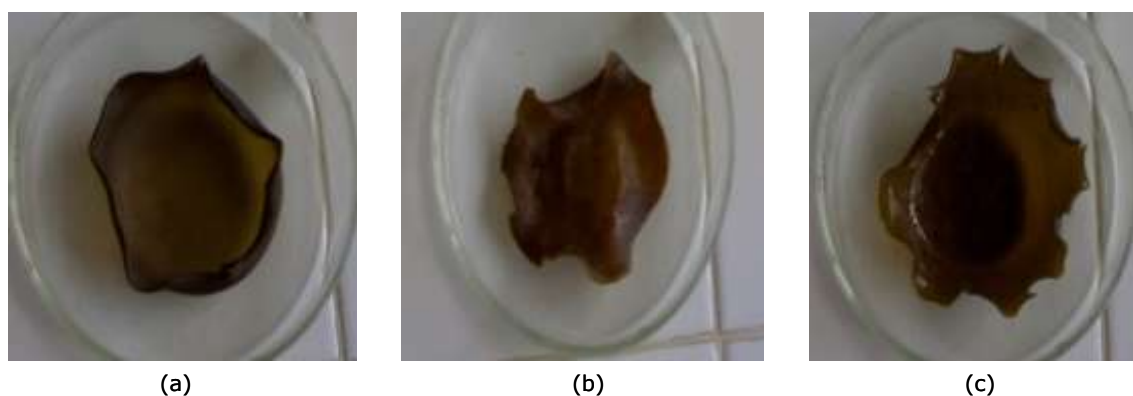
Pencetakan dilakukan di dalam cawan petri dengan ketebalan kira-kira  $0,1 \mu m$ . Untuk mengatur ketebalan membran tersebut maka jumlah larutan dope yang digunakan harus berkisar 12 mL, dan akan menghasilkan membran dengan ukuran diameter 10 cm. Beberapa bentuk membran PU yang dihasilkan pada temperatur  $\geq 70^{\circ}C$  dapat dilihat pada Gambar 11.

Dari gambar tersebut tampak bahwa semakin tinggi temperatur maka membran yang dihasilkan berwarna hitam dan semakin mengkerut (shrinked), sehingga tidak dapat digunakan untuk penyaringan.

Hal ini kemungkinan telah terjadi oksidasi terhadap larutan dope, oleh karenanya proses sintesis membran selanjutnya dilakukan pada temperatur  $60^{\circ}C$ , dan dilakukan variasi konsentrasi dari karagenan (lihat Gambar 12).

Konsentrasi karagenan yang rendah ( $\leq 10\%$ ) maka membran yang dihasilkan sangat tipis, rapuh dan tidak homogen, pada konsentrasi sedang ( $12,5 - 17,5\%$ ) membran yang dihasilkan homogen, elastis, kuat, sedangkan pada konsentrasi tinggi ( $\geq 20\%$ ) maka membran yang dihasilkan kaku dan sebagian tidak membentuk membran (lembaran) lagi tetapi berbentuk busa PU. Sifat membran dari berbagai konsentrasi karagenan disimpulkan pada Tabel 1.

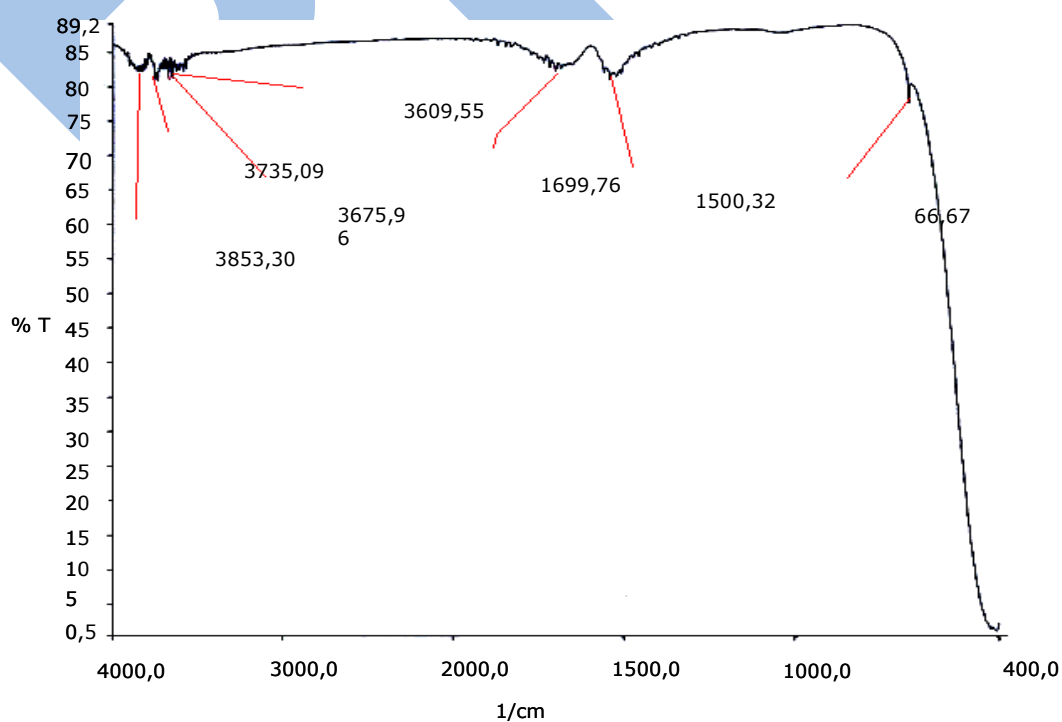
Dari tabel 1 tampak bahwa membran yang dihasilkan dari variasi konsentrasi  $12,5 - 20\%$  (b/v) merupakan membran yang mempunyai sifat yang homogen dan elastis, sehingga dapat diuji atau diaplikasikan pada proses desalinasi air payau.



**Gambar 11.** Membran PU dengan konsentrasi 7,5 (b/v) yang disintesis pada temperatur (a) 70, (b) 80, dan (c) 90°C

**Tabel 1.** Sifat membran PU yang dihasilkan pada t = 5 menit.

Temperatur (°C)	konsentrasi karagenan % ( b/v)	Membran yang dihasilkan
60	5	sangat rapuh
	7,5	rapuh
	10	Hampir homogen
	12,5	Homogen, lembut
	15	Homogen , elastis
	17,5	Homogen , elastis
	20	Homogen, elastis
	25	Sebagian Busa
	30	Busa, kaku
	35	Busa, kaku
70	7,5	Rusak, hitam
80	7,5	Rusak, hitam
90	7,5	Rusak, hitam



**Gambar 13.** Spektrum IR dari membran PU yang berasal dari karagenan dan TDI.



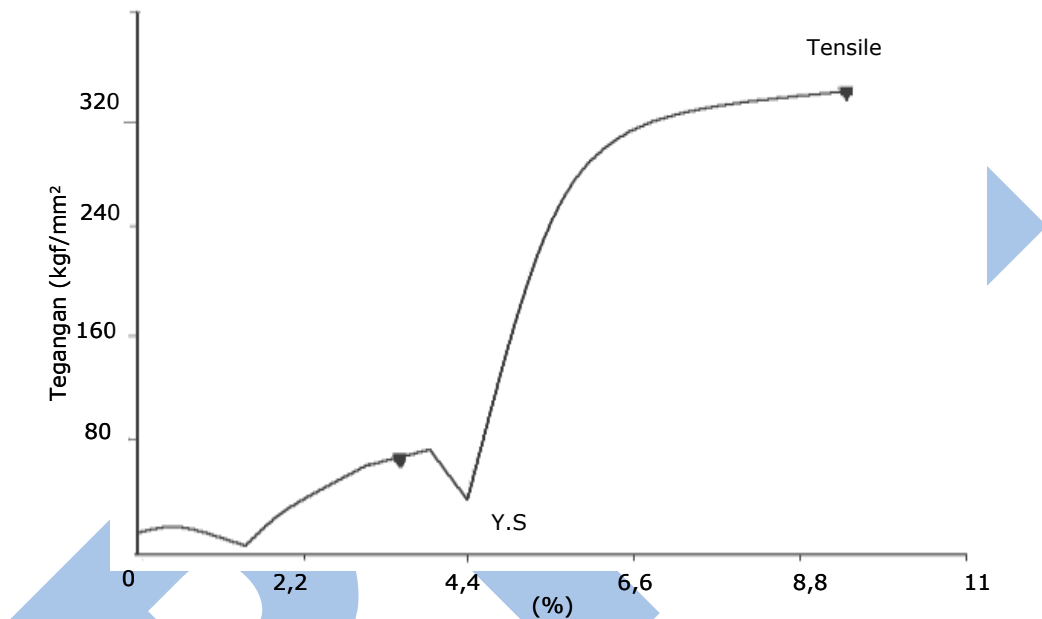
### 3.4 Karakterisasi

#### Analisis Gugus Fungsi

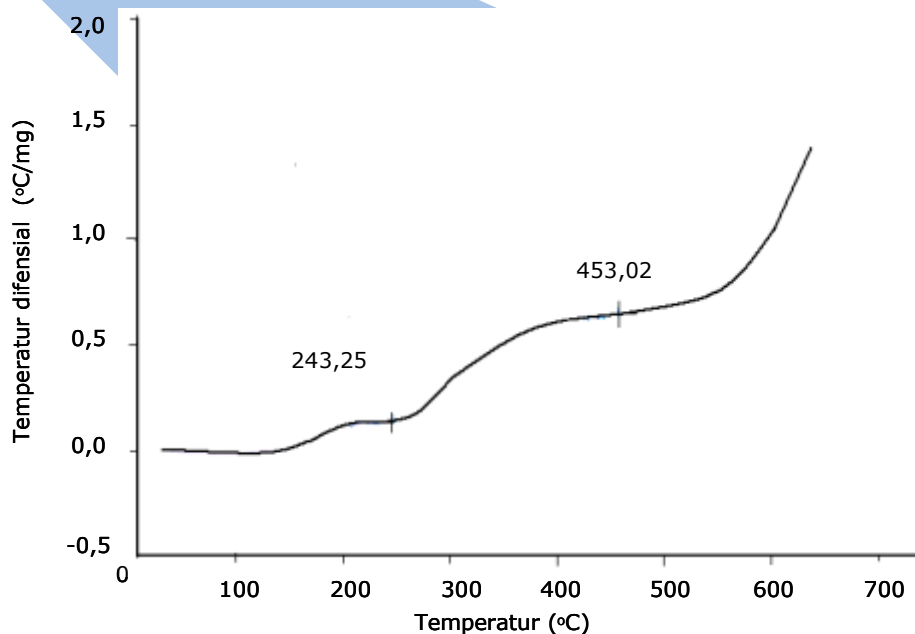
Karakterisasi gugus fungsi dari membran PU menggunakan alat IR (Gambar 13) menunjukkan bahwa serapan terhadap gugus -OH sudah tidak tampak pada bilangan gelombang 3100 - 3400  $\text{cm}^{-1}$ , dan timbul gugus fungsi baru yaitu uretan pada bilangan gelombang 3500 - 3700  $\text{cm}^{-1}$ . Hal ini menunjukkan bahwa reaksi polimerisasi pembentukan membran PU dari karagenan dan TDI telah berlangsung dengan sempurna.

#### Uji Kekuatan Tarik

Kekuatan tarik diuji untuk menentukan sifat mekanik dari bahan polimer pembentuk membran. Hasil analisis data pengujian terhadap membran PU optimum dari karagenan didapatkan bahwa sifat membran yang dihasilkan bersifat sedikit elastis, di mana persen elongasinya hanya 9%. Membran ini juga mempunyai kekuatan tarik yang besar, yaitu 340  $\text{kgf/mm}^2$ , dengan yield strength 69,17  $\text{kgf/mm}^2$ . Dari data tersebut dapat disimpulkan bahwa membran ini dapat diaplikasikan pada proses pemisahan menggu-



**Gambar 14.** Kurva kekuatan tarik vs persen elongasi dari membran PU.



**Gambar 15.** Kurva temperatur transisi gelas membran.

nakan tekanan yang lebih tinggi (hiperfiltrasi atau osmosis balik). Kurva kekuatan tarik terhadap % elongasi dapat dilihat pada Gambar 14.

#### Penentuan Temperatur Transisi Gelas

Temperatur transisi gelas ditentukan untuk melihat sifat termal dari membran PU yang dihasilkan. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa membran PU dari karagenan mempunyai temperatur transisi gelas sebesar 243,6°C dan titik leleh 423,02°C. Dari hasil analisis ini dapat disimpulkan bahwa polimer ini bersifat elastis karena memiliki temperatur transisi gelas, dan mempunyai kekuatan yang tinggi karena mempunyai titik leleh yang tinggi, sehingga membutuhkan energi yang besar untuk melepaskan ikatan-ikatan yang ada dalam polimer tersebut. Kurva temperatur transisi gelas membran PU dapat dilihat pada Gambar 15.

#### Kinerja Membran

Kinerja membran PU optimum di atas ditentukan dengan menerapkannya pada proses ultrafiltrasi dengan menggunakan larutan dekstran 1000 ppp sebagai standar. Fluks rata-rata yang didapatkan adalah 39.2 L/jam m<sup>2</sup>, sedangkan faktor rejeksinya adalah 45.9%. Hasil ini belum optimum, karena membran yang baik adalah yang mempunyai nilai fluks dan rejeksi yang besar.

#### 4. Kesimpulan

Rendemen karagenan yang diperoleh dari rumput laut merah spesies *Gracilaria* sp yang dihasilkan adalah 60,5% dari total berat rumput laut kering. Karagenan yang dihasilkan mempunyai sifat yang murni dengan kandungan gugus hidroksi yang banyak. Larutan dope untuk menghasilkan membran yang baik dibuat pada temperatur 60°C selama 5 menit. Membran PU dari karagenan yang optimum didapatkan dari konsentrasi karagenan terhadap TDI 15 % (b/v). Membran PU optimum mempunyai kekuatan tarik 340 kgf/mm<sup>2</sup>, persen elongasi 9%, temperatur transisi gelas 243,6°C dan titik lelehnya 423,02°C. Membran PU optimum mempunyai sifat mekanik dan fisik yang baik, kuat, elastis dan transparan, dengan nilai fluks 39.2 L/jam.m<sup>2</sup> dan faktor rejeksinya 45.9%.

Berdasarkan hasil penelitian diharapkan adanya pengembangan terhadap penelitian selanjutnya yaitu menggunakan rumput laut spesies lain yang digunakan untuk pembuatan

membran sehingga dapat diketahui perbedaan kekuatan mekanik membran yang dihasilkan.

#### Daftar Pustaka

- Atmadja, W. S. (1996) *Pengenalan Jenis-Jenis Rumput Laut Indonesia*, Puslitbang Oseonologi LIPI, Jakarta.
- Annual Book of ASTM Standards (1976) D961, Washington, D.C., USA.
- Cheng, L. P., Huang, Y. S., Young T. H. (2003) Effect of the temperature of polyurethane solution on the mechanism of wetting membrane formation, *European Polymer Journal*, 39, 601-607.
- Glicksman, M. (1983) *Food Hydrocolloids*, 1, CRC Press Boca Raton, Florida.
- Heinz, A.Hoppe, Levring, T., Tanaka, Y. (1979) *Marine Algae in Pharmaceutical Science*, Walter de Gruyter: Berlin.
- Huang, J. Zhang, L. (2002) Effect of NCO/OH ratio on structure and properties of graft – interpenetrating polymer networks from polyurethane and nitrolignin, *Polymer*, 43, 2287-2294.
- Huang, S. L., Lain, J. Y. (1997) Structure-tensile properties of polyurethane, *European Polymer Journal*, 33, 1563 – 1567.
- Lu, Y., Zhang, L. (2002) Morphology and mechanical properties of semi interpenetrating polymer networks from polyurethane and benzyl konjac glucomanan, *Polymer*, 43, 3979-3986.
- Marlina, N. M. S., Radiman, C. L., Achmad, S. A. (2003) Studi awal pembuatan film poliuretan dari minyak jarak (*castor oil*) dan 4,4'- difenilmetan diisosianat (MDI), *Prosiding Seminar Sehari 70 Tahun Noer Mandsjoeriah Surdia*, Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Marlina, N. M. S., Radiman, C. L., Achmad, S. A. (2004) Sintesis membran poliuretan dari asam lemak bebas teroksidasi dan tolulen diisosianat (TDI), *Prosiding Seminar MIPA IV*, Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Marlina, N. M. S., Radiman, C. L., Achmad S. A. (2005) Pengaruh perlakuan dan komposisi terhadap karakteristik membran poliuretan dari asam lemak bebas terhidrasi dan 2,4-tolulen diisosianat, *Proceeding of The 6 th ITB – UKM Joint Seminar on Chemistry*, Departemen Kimia - ITB dan Pusat Pengkajian Sains Teknologi dan Makanan, Universitas Kebangsaan Malaysia, Denpasar – Bali, Indonesia.
- Marlina, N. M. S., Radiman, C. L., Achmad, S. A. (2004) Pengaruh konsentrasi oksidator

- pada proses hidroksilasi minyak jarak (*castor oil*) dengan atau tanpa proteksi gugus hidroksi, *Proceedings ITB Sains & Teknologi*, 36, 33 - 43.
- Marlina, N. M. S., Radiman, C. L., Achmad, S. A. (2004) Pengaruh variasi konsentrasi asam sulfat pada proses hidroksilasi minyak jarak (*castor oil*), *Jurnal Matematika & Sains*, 9, 249 -253.
- Ramanathan, L. S., Sivaran, S., Munmaya, K. M. (1999) Polyurethanes, *Polymer Data Handbook*, Oxford University Press Inc., USA, 870 - 877.
- Tamami, B., Sohn, S., Wilkes, G. L. (2004) Incorporation of carbon dioxide in soybean oil and subsequent preparation and studies of nonisocyanate polyurethanes networks, *Journal of Applied Polymer Science*, 92, 883 - 888.
- Woods, G. (1987) *The ICI Polyurethanes Book*, ICI Polyurethanes & John Wiley & Son, Netherlands, 7-41, 249-284.
- Yang, J. M., Lin, H. T., Lai, W. C. (2002) Properties of modified hydroxyl-terminated polybutadiene based polyurethane membrane, *Journal of Membrane Science*, 208, 105-117.

RRKM