

SINTESIS BUSA POLIURETAN DARI MINYAK JARAK SEBAGAI BAHAN ISOLATOR PANAS

Eli Rohaeti dan Suyanta

**Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Yogyakarta
Jl. Colombo No. 1 Yogyakarta 55281**

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mensintesis busa poliuretan dengan memanfaatkan monomer berbasis minyak jarak. Minyak jarak direaksikan dengan senyawa isosianat dan dengan penambahan air pada komposisi bervariasi. Karakterisasi poliuretan meliputi penentuan gugus fungsi, massa jenis, konduktivitas termal, ikatan silang melalui uji pengembangan, dan pengamatan permukaan menggunakan *Scanning Electron Microscopy*. Poliuretan berhasil disintesis dari minyak jarak dan TDI dengan penambahan air dan aditif (PEG400, PEG1000, etilendiamin, 1,4-butanadiol, dan asam oleat) ditunjukkan oleh karakteristik gugus fungsi khas. Poliuretan memiliki ikatan silang ditunjukkan oleh derajat pengembangan bernilai positif. Penambahan air dalam sintesis dapat menurunkan massa jenis busa poliuretan. Penambahan aditif berupa PEG400, PEG1000, 1,4-butanadiol, dan asam oleat dalam sintesis poliuretan menyebabkan struktur sel busa yang dihasilkan memiliki permukaan dengan ukuran gelembung lebih besar. Penurunan konduktivitas termal busa poliuretan dengan adanya penambahan air disebabkan oleh penurunan massa jenis busa poliuretan dengan penambahan air dalam sintesis busa.

Kata kunci: busa poliuretan, konduktivitas termal, minyak jarak, poliuretan.

Abstract

This research aimed to synthesize polyurethane foam by using castor oil based monomer. Castor oil is reacted with isocyanate and adding water at variety composition. Characterizations of polyurethane were functional groups, density, thermal conductivity, crosslinking by swelling degree, and surface observing by using Scanning Electron Microscopy. The polyurethanes can be synthesized from castor oil and TDI with adding water and aditive (PEG400, PEG1000, etilenediamine, 1,4-butanediol, and oleic acid) successfully, is showed by characteristic of functional group. The polyurethanes had cross link, is showed by positive swelling degree. The adding of water in synthesis can decreased density of palyurethane foam. The adding of aditive i.e. PEG400, PEG1000, 1,4-butanediol, and oleic acid in synthesis of polyurethane increased bubble size of surface structure of polyurethane foam. The decreasing of thermal conductivity in polyurethane foam because of the decreasing of density in polyurethane foam with adding water in synthesis of polyurethane.

Key words: polyurethane foam, thermal conductivity, castor oil, polyurethane.

PENDAHULUAN

Berbagai jenis isolator telah dikembangkan industri untuk memenuhi mutu yang diinginkan. Kriteria mutu isolator panas yang diinginkan antara lain: konduktivitas panas rendah, *density bulk* rendah, dan ketahanan mekanik tinggi. Bentuk dari isolator panas juga menentukan manfaat penggunaan bahan isolator yang bersangkutan. Isolator panas dalam bentuk batangan dan atau selimut sering kali memerlukan bahan dan biaya pemasangan lebih besar dari semestinya. Pemotongan, pelengkungan atau pekerjaan lain sering diperlukan dalam pemasangan bentuk batangan atau selimut. Biaya dan kehilangan bahan yang relatif tinggi pada pemasangan isolator bentuk batangan dan atau selimut dapat dikurangi dengan menggunakan isolator tipe busa yang dapat disemprotkan. Busa padat poliuretan merupakan salah-satu jenis isolator panas yang sangat baik dari tipe yang dapat disemprotkan (Robert Manurung dkk, 1985).

Berdasarkan studi literatur bahwa jenis monomer yang sangat beragam dan kondisi polimerisasi bervariasi memungkinkan banyak kombinasi proses yang akan menentukan mutu dari produk polimer yang dihasilkan (Phillips and Parker, 1964). Dengan hasil penelitian ini maka dapat diketahui proses pembuatan busa poliuretan sebagai bahan isolator panas dengan melaku-

kan optimasi variabel polimerisasi yang diduga besar pengaruhnya terhadap reaksi. Dalam proses pembuatan busa poliuretan dapat diketahui kelakuan atau sifat busa padat poliuretan selama reaksi polimerisasi berlangsung. Keunggulan yang dimiliki poliuretan sebagai bahan isolator panas (dapat disemprotkan) hampir dua kali daya isolasi busa polistirena dan kemudahan pemasangannya mendasari pemilihan proses sintesis busa poliuretan untuk bahan isolator panas sebagai objek penelitian.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mempelajari proses sintesis busa poliuretan dari minyak jarak dan TDI dan konduktivitas termal busa poliuretan sehingga busa poliuretan yang dihasilkan dapat diaplikasikan sebagai bahan isolator panas. Urgensi (ketertarikan) dari penelitian yang dilakukan adalah penelitian sintesis busa poliuretan berbasis minyak jarak ini memberikan kontribusi terhadap pembaharuan dan pengembangan ipteks, yaitu antara lain dapat memberikan informasi tentang cara pembuatan poliuretan ramah lingkungan khususnya bentuk busa sebagai bahan isolator panas berbasis monomer dari minyak jarak. Penelitian sintesis busa poliuretan sebagai bahan isolator panas dengan menggunakan monomer berasal dari bahan alam masih jarang dilakukan.

Pemakaian busa poliuretan sebagai bahan isolator sudah lama digunakan dunia industri. Di Indonesia beberapa perusahaan telah memakai busa poliuretan yang kaku sebagai isolator panas. Walaupun demikian prosedur pembuatan busa kaku poliuretan untuk isolator panas belum banyak dipublikasikan. Dengan kelangkaan informasi tersebut, bentuk produk yang dihasilkan seringkali tidak sesuai dengan yang diharapkan. Menurut informasi yang diperoleh, kerugian ekonomi akibat proses pembuatan busa padat poliuretan cukup besar (Robert Manurung dkk, 1985). Hal tersebut disebabkan kurangnya pengetahuan mengenai sifat busa kaku poliuretan selama reaksi pembentukannya.

METODE PENELITIAN

1. Alat dan Bahan Penelitian

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah FTIR 8300 *Shimadzu*, SEM merk Jeol T330A, alat uji densitas (*Digital Weighing Balance & Vernier Caliper*), *Heat Conduction Apparatu*, timbangan elektronik, thermometer, *stop-watch*, piknometer, dan cetakan Nilon. Adapun bahan-bahan yang digunakan adalah minyak jarak (*Castor Oil*) dari PT Bratachem, TDI teknis, polioksietilen glikol 400 kualitas *pure analysis* (p.a), polioksietilen glikol 1000 kualitas *pure*

analysis (p.a), 1,4-butanadiol, etilendiamin, etilenglikol, natrium hidroksida, klorium hidroksida, kalium bromida, dan akuades

2. Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian yang dilakukan yaitu: karakterisasi minyak jarak meliputi massa jenis, bilangan hidroksil, dan analisis gugus fungsi dengan spektrofotometer FTIR. Selanjutnya dilakukan polimerisasi poliuretan. Minyak jarak direaksikan dengan TDI yang masing-masing disimpan pada Erlenmeyer berbeda dan keduanya dikondisikan pada suhu 25°C dengan cara dimasukkan ke dalam *water bath* yang dilengkapi termometer dan sirkulasi air. Pada saat temperatur konstan tercapai yaitu pada 25 °C, kedua bahan kimia tersebut dimasukkan ke dalam gelas kimia 25 mL. Selanjutnya, dilakukan pengadukan terhadap campuran reaksi secara cepat karena sifat TDI yang sangat mudah bereaksi dan mengeras sehingga diperoleh poliuretan *preure*. Kemudian poliuretan *preure* dituang di atas cetakan dan dibiarkan mengeras. Begitu pula untuk reaksi polimerisasi dengan penambahan air sebagai *foaming agent*, air ditambahkan ke dalam minyak jarak kemudian diaduk sampai homogen. Setelah itu ditambahkan TDI ke dalam campuran homogen, selanjutnya dilakukan pengadukan dengan kecepatan tinggi. Cairan poliuretan kemudian dituang ke dalam cetakan berukuran 3x3x2 cm³ dan

dibiarkan mengeras. Padatan poliuretan yang diperoleh siap untuk dikarakterisasi. Selain itu, dilakukan pula penambahan air, PEG400, PEG1000, etilendiamin, 1,4-butanadiol, dan etilenglikol dalam sintesis poliuretan.

Karakterisasi poliuretan hasil sintesis meliputi pengukuran konduktivitas termal dengan alat hantaran panas, massa jenis, derajat pengembangan, analisis gugus fungsi, dan pengamatan permukaan dengan SEM (*Scanning Electron Microscopy*),

Pengukuran konduktivitas termal dilakukan di laboratorium PAU Teknik UGM Yogyakarta. Hal ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh insulasi termal dari busa poliuretan hasil sintesis berbasis minyak jarak pada hantaran panas di antara 2 logam. Ketebalan sampel busa poliuretan diukur dengan mikrometer sebelum dimasukkan ke dalam *holder*. Selanjutnya *holder* yang sudah berisi sampel dimasukkan ke dalam alat konduksi panas dengan cara menjepitnya di antara *heater* dan *cooler*. Input daya yang digunakan sebesar 10 watt. Selanjutnya mencatat temperatur (T) pada 6 titik sensor dan input daya dibaca pada wattmeter (Q) sebelum mengulangi keseluruhan prosedur. Profil temperatur pada pemanas dan pendingin diinterpolasi pada antarmuka untuk menentukan kemiringan temperatur dari isolator. ΔT yang diperoleh digunakan untuk menentukan konduktivitas termal dari

busa poliuretan hasil sintesis. Konduktivitas termal dihitung menggunakan persamaan (1) berikut: (Vishu Shah, 2007)

$$k = \frac{Q}{A} \left[\frac{t}{\Delta T} \right] \quad (1)$$

k = konduktivitas termal

Q = laju transfer panas per satuan waktu (daya)

A = luas penampang sampel

t = ketebalan sampel berbentuk silinder

ΔT = perbedaan temperatur

Untuk sampel busa poliuretan berbentuk beraturan diuji massa jenisnya dengan alat *Digital Weighing Balance* tipe DS-425 dan *Vernier Caliper*. Uji rapat massa dilakukan dengan cara menghitung volume sampel yaitu panjang x lebar x tebal, seerta mengukur berat dengan penimbangan (Vishu Shah, 2007). Masing-masing disiapkan sampel sebanyak 3 spesimen berukuran sekitar 0,5 cm x 0,5 cm x 0,5 cm untuk sampel berbentuk kubus, sedangkan untuk sampel busa poliuretan berbentuk silinder disiapkan sebanyak 3 spesimen dengan diameter 2,9 cm dan tebal 1,09 cm.

Morfologi permukaan busa poliuretan diamati dengan menggunakan alat SEM (*Scanning Electron Microscope*) merk JEOL T330A di laboratorium Uji Polimer Pusat penelitian Fisika LIPI Bandung. Metode ujinya berupa *Secondary Electron Image* (SEI) dan preparasi sampel dilakukan dengan

teknik *coating* permukaan sampel dengan Emas (Au). Kondisi operasi yaitu tegangan 15 kV, arus 0,5 mA, dan perbesaran 2000x.

Ikatan silang diuji melalui derajat pengembangan dengan cara sampel poliuretan ditimbang dengan massa tertentu kemudian direndam dalam pelarut air selama 1 hari 1 malam. Setelah 1 hari 1 malam, sampel diangkat dari pelarut dan dibiarkan mengering pada temperatur kamar. Sampel kemudian ditimbang kembali sehingga diperoleh selisih antara massa sampel sebelum dan sesudah direndam dalam pelarut. Penentuan ikatan silang dilakukan dengan uji pengembangan yang dihitung menggunakan persamaan (2).

$$S = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \times 100\% \quad (2)$$

$S = swelling$ = derajat pengembangan (%)

m_2 = massa polimer setelah direndam dalam pelarut (gram)

m_1 = massa polimer sebelum direndam dalam pelarut (gram)

Semakin tinggi derajat pengembangan (*swelling degree*), maka semakin rendah jumlah ikatan silang poliuretan. Sebaliknya, semakin rendah derajat pengembangan, maka semakin banyak jumlah ikatan silang poliuretan. Apabila derajat pengembangan

bernilai negatif, berarti poliuretan yang terbentuk memiliki struktur rantai linier atau bercabang, sedangkan apabila derajat pengembangan bernilai positif berarti poliuretan memiliki struktur ikatan silang. (Stevens, 2001)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Minyak jarak yang digunakan dalam penelitian ini merupakan minyak jarak yang dijual secara komersil berupa cairan kental, jernih, dan berwarna kuning pucat. Karakterisasi awal terhadap minyak jarak meliputi gugus fungsi dengan FTIR, massa jenis, dan bilangan hidroksil. Hasil analisis gugus fungsi minyak jarak dengan spektrofotometer FTIR ditunjukkan pada Tabel 1.

Hasil penelitian menunjukkan besarnya massa jenis minyak jarak adalah 1,024 g/mL dan bilangan hidroksil sebesar 173,0673 mg/g. Berdasarkan data bilangan hidroksil minyak jarak, maka minyak jarak memiliki gugus -OH reaktif yang diperkuat dengan intensitas gugus fungsi -OH pada 3371 cm^{-1} sehingga minyak jarak dapat dijadikan sebagai sumber monomer dalam sintesis poliuretan.

Tabel 1. Beberapa gugus fungsi karakteristik minyak jarak

No.	Bilangan Gelombang (cm ⁻¹)	Gugus Fungsi
1.	3371	Ulur OH
2.	2929	Ulur C-H
3.	1747	C=O ester
4.	1600-1652	C=C
5.	1172	Uluran - C- O
6.	1456	CH ₂

Poliuretan disintesis dari minyak jarak dan toluena diisosianat (TDI) dengan perbandingan komposisi minyak jarak : TDI yaitu 1 : 4, 2 : 3, 3 : 2, dan 4 : 1. Dari keempat perbandingan komposisi tersebut, perbandingan 2 : 3 yang dapat menghasilkan padatan busa poliuretan cukup baik yaitu mengembang dan massa jenis paling rendah. Selain itu juga dilakukan variasi komposisi dengan penambahan PEG-400, 1,4-butanadiol, dan etilendiamin. Sintesis poliuretan dan proses *curing* dilakukan pada temperatur kamar (25°C). Sifat poliuretan hasil sintesis ditunjukkan pada Tabel 2.

Poliuretan yang disintesis dari minyak jarak dan TDI dengan konsentrasi 1 : 4 menghasilkan rerata *yield* untuk 3 kali sintesis sebesar 70,46% produk polimer, sedangkan poliuretan hasil sintesis dari minyak jarak, PEG400, dan TDI dengan konsentrasi 1 : 1 : 4; 1 : 2 : 4; dan 1 : 3 : 4 masing-masing menghasilkan rerata *yield* sebesar 65,18%, 66,16%, dan 74,98%.

Pengamatan kualitatif selama polimerisasi menunjukkan bahwa dengan semakin meningkatnya konsentrasi PEG-400,

PEG1000, asam oleat, etilendiamin, dan 1,4-butanadiol yang digunakan dalam polimerisasi, maka waktu yang diperlukan untuk terbentuknya padatan poliuretan juga semakin lama. Penambahan PEG-400, PEG1000, asam oleat, etilendiamin, dan 1,4-butanadiol mempengaruhi karakteristik poliuretan hasil sintesis.

Dengan penambahan PEG400, intensitas gugus fungsi -NCO dalam poliuretan mengalami penurunan, dengan kata lain polimerisasi lebih sempurna. Adanya tambahan gugus fungsi -OH dari PEG400 (PEG1000, asam oleat, dan 1,4-butanadiol) menyebabkan semakin banyak gugus fungsi -NCO sisa atau gugus ujung yang bereaksi membentuk gugus uretan. Poliuretan tersusun atas bagian keras dan bagian lunak (Castonguay, 2010). Penambahan aditif berupa PEG400, PEG1000, asam oleat, dan 1,4-butanadiol dalam sintesis poliuretan dapat meningkatkan bagian keras berupa gugus uretan dan cincin aromatik dan bagian lunaknya berupa unit ulang oksietilen dan rantai karbon.

Tabel 2. Sifat poliuretan hasil sintesis berbasis minyak jarak

Komposisi minyak jarak : PEG400 : Poliuretan yang terbentuk			
TDI			
1	0	4	Coklat tua, keras, kuat, tidak mengembang
1	1	4	Coklat kekuningan, sedikit keras, sedikit berpori
1	2	4	Coklat kekuningan, keras, sedikit berpori
1	3	4	Coklat, keras, berpori
Komposisi minyak jarak : etilendiamin : TDI			
1	1	4	Kuning keemasan, keras, kuat
1	0,15	4	Kuning putih, keras, kuat
1	0,3	4	Putih kekuningan, keras, rapuh
1	2	4	Putih kekuningan, sedikit lunak, rapuh
1	3	4	Putih, lunak, rapuh
Komposisi minyak jarak : 1,4-butanadiol : TDI			
1	1	4	Kuning muda, keras, bergelembung kecil, sangat mengembang
1	2	4	Kuning keemasan, keras, rapuh, sedikit mengembang
1	3	4	Coklat muda, tidak keras, sangat rapuh, bergelembung sedang, tidak mengembang

Semua poliuretan yang dihasilkan berbentuk busa, namun ada busa yang sangat ringan, sedang, dan berat. Kemudian struktur sel busa poliuretan ada yang terbuka dan ada yang tertutup. Poliuretan hasil sintesis dari minyak jarak dan TDI berbentuk busa padat dengan struktur sel tertutup, tidak mengembang, massa jenis lebih tinggi dibandingkan dengan poliuretan lainnya.

Untuk menurunkan massa jenis busa poliuretan maka perlu ditambahkan air sebagai bahan pembusa (Frisch and Kordomenos, 1985; Phillips and Parker, 1964; Woods, 1987) atau bahan aditif lainnya seperti PEG400, PEG1000, 1,4-butanadiol.

Massa jenis poliuretan hasil sintesis yang rendah diharapkan dapat berperan sebagai isolator panas dengan konduktivitas termal cukup rendah (Robert Manurung dkk, 2005). Hasil Karakterisasi Poliuretan Berbasis Minyak Jarak

Karakterisasi poliuretan hasil sintesis dilakukan melalui penentuan massa jenis, gugus fungsi poliuretan menggunakan spektrofotometer FTIR, penentuan ikatan silang melalui uji penggembungan, foto permukaan dengan SEM, serta konduktivitas termal. Hasil pengukuran massa jenis selengkapnya ditunjukkan oleh Tabel 3.

Tabel 3. Massa jenis poliuretan hasil sintesis berbasis minyak jarak

Komposisi minyak jarak : PEG-400 : TDI	Massa jenis (g/mL)
1 : 0 : 4	0,9400
2 : 0 : 3	0,3348
3 : 0 : 2	1,2470
1 : 1 : 4	0,3100
1 : 2 : 4	0,2900
1 : 3 : 4	0,7170
Komposisi minyak jarak : air : TDI	
2 : 0,5 : 3	0,1322
2 : 1 : 3	0,1628
2 : 1,5 : 3	0,1936
3 : 0,5 : 2	0,1678
3 : 1 : 2	0,1921
3 : 1,5 : 2	0,1804
1 : 1 : 4	0,6510
1 : 2 : 4	0,8140
Komposisi minyak jarak : etilendiamin : TDI	
1 : 1 : 4	1,0900
1 : 0,15 : 4	0,9800
1 : 0,3 : 4	1,0900
1 : 2 : 4	0,9800
1 : 3 : 4	0,8900
Komposisi minyak jarak : 1,4-butanadiol : TDI	
1 : 1 : 4	0,4400
1 : 2 : 4	0,6513
1 : 3 : 4	0,8140
Komposisi minyak jarak : PEG 1000 : TDI	
1 : 1 : 4	0,1200
1 : 2 : 4	0,4067
1 : 3 : 4	1,9520
Komposisi minyak jarak : etilenglikol : TDI	
1 : 1 : 4	0,4070
1 : 2 : 4	0,6970
1 : 3 : 4	1,0856
Komposisi minyak jarak : asam oleat : TDI	
1 : 1 : 4	0,2900
1 : 2 : 4	0,6100
1 : 3 : 4	0,7000

Poliuretan hasil sintesis dari minyak jarak, PEG1000, dan TDI (1 : 3 : 4) memiliki massa jenis paling tinggi (lebih dari 1) pada penelitian ini, diikuti oleh poliuretan dari

minyak jarak dan TDI (3 : 2), poliuretan dari minyak jarak, etilendiamin, dan TDI (1 : 1 : 4) dan (1 : 0,3 : 4), serta poliuretan dari

minyak jarak, etilenglikol, dan TDI (1 : 3 : 4).

Penambahan air sebagai *foaming agent* dapat menurunkan massa jenis poliuretan dari minyak jarak dan TDI. Hal ini dapat disebabkan oleh reaksi yang terjadi antara air dengan gugus isosianat menghasilkan gas karbondioksida (Woods, 1987). Gelembung gas yang terbentuk menyebabkan peningkat-

an volume polimer sehingga massa jenis busa padat poliuretan mengalami penurunan.

Spektrum FTIR poliuretan hasil sintesis dari minyak jarak (CO): TDI dengan variasi komposisi 1 : 4 dan dari minyak jarak : PEG400 : TDI dengan komposisi 1 : 1 : 4 dapat dilihat pada Gambar 1. Hasil spektrum IR tersebut diinterpretasikan gugus fungsinya menggunakan interpretasi IR standar seperti terlihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Interpretasi gugus fungsi poliuretan

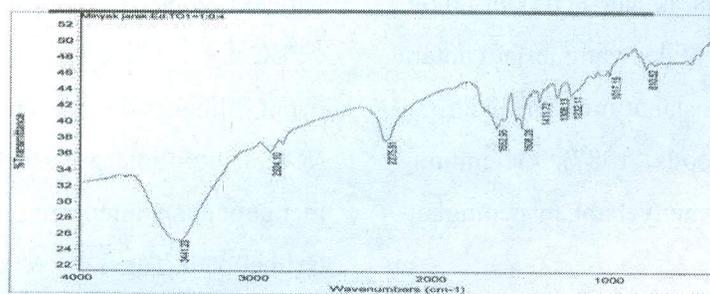
Gugus Fungsi	Bilangan Gelombang (cm^{-1})			
	Komposisi Poliuretan			
	CO : TDI (1 : 4)	CO : PEG 400 : TDI (1 : 1 : 4)	CO : 1,4- butanadiol : TDI (1 : 1 : 4)	CO : etilendiamin : TDI (1 : 3 : 4)
Bengkokan C-H Alkena	810,52	671,41	810,52	590,91 – 822,66
C-O	1017,15 - 1232,11	1100	1017,15	1157,40
C=O allofanat	1308,13	1300	1411,72	1330,55
Cincin aromatik	1411,72 - 1508,28	1540,99	1508,28	1572,10
C=O uretan	1652,95	1649,60	1652,95	1639,08
C=C	1600	1649,60	1508,28	1600
Isosianat -NCO	2275,81	2297	2275,81	~ 2268,42
-CH alkana	2924,10	2900-	2924,10	2900
-NH amina sekunder	3441,23	3450,10	3441,23	3418,00

Hasil karakterisasi terhadap poliuretan hasil sintesis dengan teknik spektroskopi FTIR menunjukkan pita serapan pada daerah yang karakteristik untuk poliuretan. Spektrum FTIR yang diperoleh menunjukkan adanya serapan khas pada $\sim 1649,60 \text{ cm}^{-1}$ dan

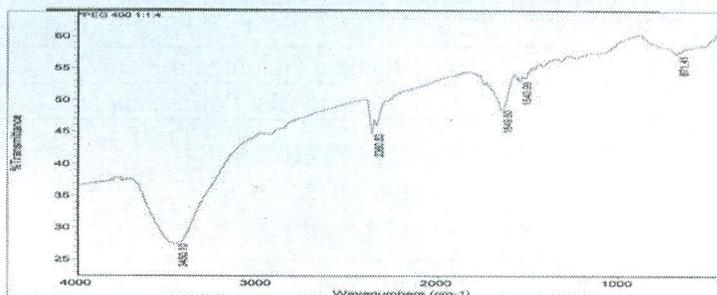
$\sim 1652,95 \text{ cm}^{-1}$ merupakan serapan gugus C=O uretan. Serapan pada $\sim 2297 \text{ cm}^{-1}$ dan $\sim 2275,81 \text{ cm}^{-1}$ merupakan serapan gugus -NCO. Serapan pada $\sim 3441,23 \text{ cm}^{-1}$ dan $\sim 3450,10 \text{ cm}^{-1}$ merupakan serapan gugus -NH dan didukung oleh serapan gugus cincin

aromatik pada $1411,72\text{ cm}^{-1}$ dan $1540,99\text{ cm}^{-1}$. Serapan pada $1308,13\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya ikatan silang C=O allofanat. Serapan gugus allofanat ini menandakan adanya ikat-

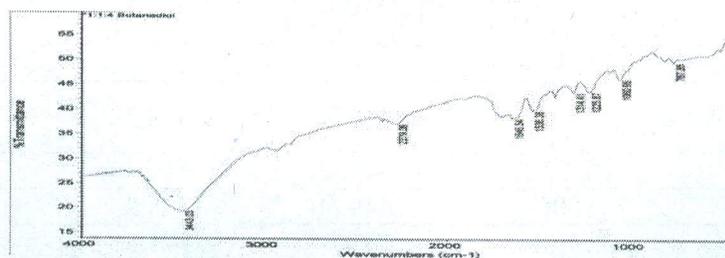
an silang (Phillips and Parker, 1964; Woods, 1987) yang diperkuat oleh hasil derajat pengembangan cukup rendah yang menunjukkan jumlah ikatan silang cukup banyak.



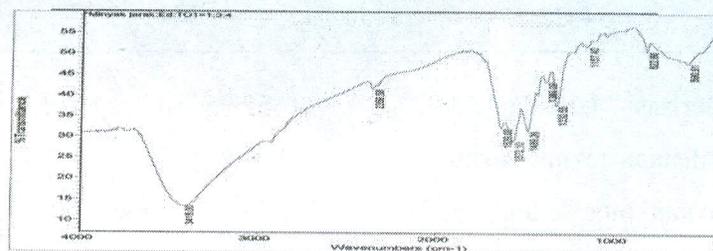
(I)



(II)



(III)



(IV)

Gambar 2. Spektrum FTIR poliuretan dari (I) minyak jarak : TDI (1 : 4), (II) minyak jarak : PEG-400 : TDI (1 : 1 : 4), (III) minyak jarak : 1,4-butanadiol : TDI (1 : 1 : 4), dan (IV) minyak jarak : etilendiamin : TDI (1 : 3 : 4)

Berdasarkan spektrum FTIR poliuretan menunjukkan masih terdapatnya serapan pada bilangan gelombang $\sim 2297 \text{ cm}^{-1}$ dan $\sim 2275,81 \text{ cm}^{-1}$, ini berarti masih terdapat gugus isosianat ($-\text{NCO}$) setelah polimerisasi. Namun, berdasarkan spektrum FTIR poliuretan dengan penambahan PEG400, etilendiamin, dan 1,4-butanadiol menyebabkan gugus isosianat ($-\text{NCO}$) dari TDI bereaksi lebih banyak selama polimerisasi sehingga hanya sedikit gugus isosianat ($-\text{NCO}$) dari TDI yang masih tersisa. Adanya penambahan PEG400, etilendiamin, dan 1,4-butanadiol akan menyempurnakan polimerisasi. Reaksi antara isosianat dengan hidroksil polieter menghasilkan gugus uretan, sedangkan reaksi antara isosianat dengan air menghasilkan poliurea dan karbondioksida. Pita serapan isosianat terjadi pada $2300 - 2270 \text{ cm}^{-1}$. Penurunan intensitas dari serapan isosianat dapat digunakan untuk memonitor konversi gugus fungsi isosianat selama reaksi berlangsung, sedangkan pembentukan uretan, urea yang dapat larut, dan spesi urea berikatan hidrogen selama polimerisasi dapat diikuti dengan memonitor daerah karbonil (Elwell et al, 1997; Woods, 1987).

Poliuretan hasil sintesis berbasis minyak jarak ditentukan ikatan silangnya melalui uji derajat pengembangan. Hasil karakterisasi absorpsi air dan derajat pengem-

bungan dari poliuretan dilihat pada Tabel 5. Berdasarkan Tabel 5 diketahui bahwa derajat pengembangan semua poliuretan hasil sintesis bernilai positif untuk semua variasi komposisi. Derajat pengembangan yang bernilai positif tersebut, maka dalam strukturnya mengandung ikatan silang. Poliuretan dapat mengembang karena molekul-molekul air yang digunakan sebagai pelarut dapat menembus jaringan pada poliuretan hasil sintesis.

Semakin besar derajat pengembangan menunjukkan bahwa poliuretan hasil sintesis mengandung ikatan silang dalam jumlah sedikit yang berarti poliuretan tersebut mudah ditembus oleh pelarut (Stevens, 2001). Pada poliuretan hasil sintesis (minyak jarak-PEG 400-TDI) 1:1:4 mempunyai jumlah ikatan silang paling sedikit. Adanya penambahan PEG-400 dalam sintesis meningkatkan derajat pengembangan atau jumlah ikatan silangnya semakin sedikit. Hal ini dapat disebabkan oleh sumber hidroksil yang digunakan dalam sintesis semakin banyak sedangkan sumber $-\text{NCO}$ dari TDI dalam jumlah tetap. Adanya penambahan PEG-400 tersebut dapat menyempurnakan proses polimerisasi sehingga gugus $-\text{NCO}$ dari TDI dapat bereaksi lebih banyak menghasilkan poliuretan dengan struktur linier atau bercabang.

Tabel 5. Derajat pengembangan poliuretan berbasis minyak jarak

No	Sampel poliuretan	Derajat pengembangan (%)
1	Minyak jarak-TDI (1:4)	5,26
2	Minyak jarak-PEG 400-TDI (1:1:4)	33,33
3	Minyak jarak-PEG 400-TDI (1:2:4)	18,75
4	Minyak jarak-PEG 400-TDI (1:3:4)	17,65
5	Minyak jarak-1,4-butanadiol-TDI (1:1:4)	5,00
6	Minyak jarak-1,4-butanadiol-TDI (1:2:4)	5,00
7	Minyak jarak-1,4-butanadiol-TDI (1:3:4)	5,00
8	Minyak jarak-etilendiamin-TDI (1:1:4)	0,00
9	Minyak jarak-etilendiamin-TDI (1:0,15:4)	5,53
10	Minyak jarak-etilendiamin-TDI (1:0,3:4)	24,45
11	Minyak jarak-etilendiamin-TDI (1:2:4)	22,22
12	Minyak jarak-etilendiamin-TDI (1:3:4)	30,00

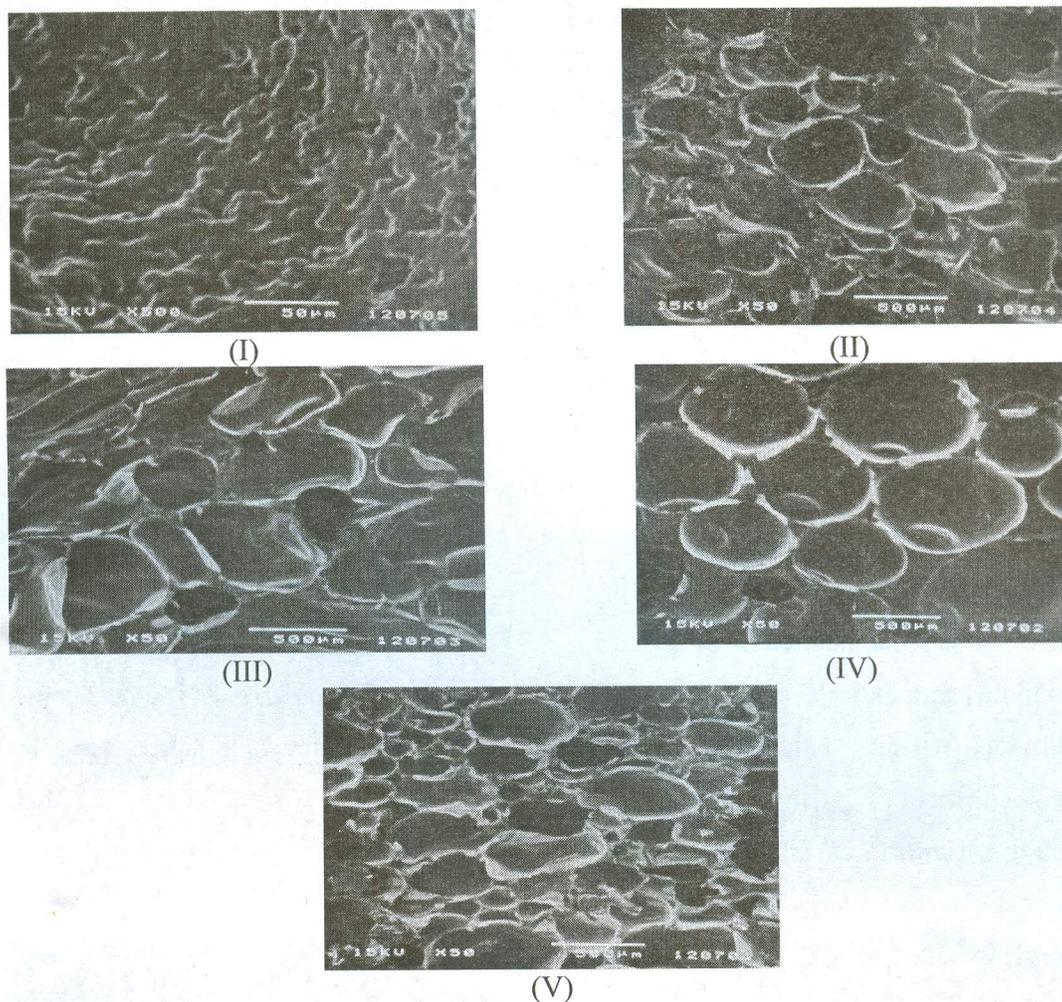
Poliuretan hasil sintesis dari minyak jarak dan TDI (1 : 4), poliuretan dari minyak jarak, 1,4-butanadiol, dan TDI berbagai komposisi, poliuretan dari minyak jarak, etilendiamin, dan TDI pada komposisi (1 : 1 : 4) dan (1 : 0,15 : 4) memiliki nilai derajat pengembangan sekitar 5%. Hal ini berarti poliuretan-poliuretan tersebut memiliki ikatan silang cukup banyak. Poliuretan lainnya memiliki derajat pengembangan lebih tinggi atau ikatan silang lebih rendah.

Pengamatan permukaan dengan SEM terhadap poliuretan hasil sintesis dari minyak jarak, TDI tanpa dan dengan penambahan PEG400, PEG1000, 1,4-butanadiol, dan asam oleat ditunjukkan oleh Gambar 2.

Berdasarkan Gambar 2 menunjukkan bahwa penambahan aditif dalam sintesis poliuretan dari minyak jarak dan TDI seperti PEG400, PEG1000, 1,4-butanadiol, dan

asam oleat akan menyebabkan struktur sel busa poliuretan yang dihasilkan memiliki permukaan dengan ukuran pori atau gelembung lebih besar dan lebih teratur. Penambahan 1,4-butanadiol dalam sintesis poliuretan dari minyak jarak dan TDI menghasilkan sel busa dengan struktur lebih seragam. Dengan menggunakan *confocal microscope* sel busa poliuretan merupakan sel multidimensional tersusun atas jaringan polihedron yang saling berhubungan (Hamza et al., 1997).

Berdasarkan pengukuran perbedaan temperatur antarmuka yang panas dengan yang dingin (Vishu Shah, 2007) maka dapat dihitung konduktivitas termal poliuretan hasil sintesis seperti ditunjukkan pada Tabel 6. Pengukuran perbedaan temperatur dilakukan 3 kali pengulangan untuk setiap komposisi.



Gambar 2. Foto SEM poliuretan hasil sintesis dari (I) minyak jarak-TDI (1 : 4), (II) minyak jarak-PEG400-TDI (1 : 1 : 4), (III) minyak jarak-PEG1000-TDI (1 : 1 : 4), (IV) minyak jarak-1,4-butanadiol-TDI (1 : 1 : 4), dan (V) minyak jarak-asam oleat-TDI (1 : 1 : 4)

Tabel 6. Konduktivitas termal poliuretan hasil sintesis

No	Sampel poliuretan hasil sintesis dari	Konduktivitas termal rata-rata (watt cm ⁻¹ K ⁻¹)
1	Minyak jarak:air:TDI (2 : 0 : 3)	2,24 x 10 ⁻²
2	Minyak jarak:air:TDI (2 : 0,5 : 3)	2,25 x 10 ⁻²
3	Minyak jarak:air:TDI (2 : 1 : 3)	2,30 x 10 ⁻²
4	Minyak jarak:air:TDI (2 : 1,5 : 3)	2,23 x 10 ⁻²
5	Minyak jarak:air:TDI (3 : 0 : 2)	2,24 x 10 ⁻²
6	Minyak jarak:air:TDI (3 : 0,5 : 2)	2,24 x 10 ⁻²

Sintesis busa poliuretan dari minyak jarak dan TDI dengan perbandingan konsentrasi 2 : 3 (g/g) ternyata penambahan

0,5 gram dan 1 gram air menyebabkan peningkatan konduktivitas busa poliuretan hasil sintesis. Penambahan air sebanyak 1,5

gram menyebabkan penurunan konduktivitas termal poliuretan. Penurunan konduktivitas termal busa padat poliuretan dengan adanya penambahan air, hal tersebut dapat disebabkan oleh penurunan massa jenis busa poliuretan (Tabel 3) dengan penambahan air dalam sintesis busa. Air akan bereaksi dengan -NCO menghasilkan gelembung gas CO₂ (Nicholson, 1997; Woods, 1987). Penambahan air akan menghasilkan gelembung gas lebih banyak sehingga volume molekul polimer meningkat dan akibatnya massa jenis mengalami penurunan. Konduktivitas termal busa bergantung pada konduktivitas termal bahan pembentuk, jumlah gelembung, dan keseragaman gelembung (Hamza et al., 1997). Jika perpindahan termal terjadi dalam arah gradien temperatur, maka permukaan yang efektif memindahkan panas hanya dua per tiga bagian saja (Phillips and Parker, 1964) yaitu mengikuti persamaan berikut:

$$k_{\text{busa}} = 2/3 \cdot \alpha \cdot k_{\text{solid}} + \sum \gamma_i \cdot k_i \text{ gas}$$

(k = konduktivitas termal, α = konsentrasi padat dalam busa, γ = konsentrasi gas dalam busa). Konduktivitas termal busa merupakan fungsi konsentrasi gas. Kenaikan konsentrasi gas pengisi gelembung akan menurunkan konduktivitas termal busa secara keseluruhan, karena konduktivitas gas biasanya jauh lebih rendah dibandingkan

dengan konduktivitas padatan (Robert Manurung, 1985; Zhang et al., 1997).

Sintesis busa poliuretan dari minyak jarak dan TDI dengan penambahan air dapat pula menyebabkan peningkatan konduktivitas termal busa poliuretan. Hal tersebut dapat disebabkan penambahan air kurang efektif dalam menambah jumlah gelembung gas atau dapat disebabkan oleh gelembung gas yang dapat menerobos dinding permukaan atas campuran reaksi, sehingga ada sejumlah gas karbondioksida yang lolos dan tentunya tidak berfungsi lagi sebagai gas pengisi gelembung dalam busa poliuretan (Phillips and Parker, 1964; Robert Manurung dkk, 1985).

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan dapat ditarik kesimpulan bahwa poliuretan berhasil disintesis dari minyak jarak dan TDI tanpa dan dengan penambahan air dan aditif lainnya (PEG400, PEG1000, etilendiamin, 1,4-butanadiol, dan asam oleat) yang ditunjukkan oleh karakteristik gugus fungsi khas poliuretan. Penambahan air dalam sintesis busa poliuretan berbasis minyak jarak dan TDI dapat menurunkan massa jenis busa poliuretan. Poliuretan berbasis minyak jarak memiliki ikatan silang ditunjukkan oleh derajat pengembangan bernilai positif. Poliuretan hasil sintesis dari

minyak jarak dan TDI (1 : 4), poliuretan dari minyak jarak, 1,4-butanadiol, dan TDI berbagai komposisi, poliuretan dari minyak jarak, etilendiamin, dan TDI pada komposisi (1 : 1 : 4) dan (1 : 0,15 : 4) memiliki nilai derajat pengembangan sekitar 5%. Dengan demikian poliuretan-poliuretan tersebut memiliki ikatan silang cukup banyak. Penambahan aditif dalam sintesis poliuretan dari minyak jarak dan TDI seperti PEG400, PEG1000, 1,4-butanadiol, dan asam oleat menyebabkan struktur sel busa poliuretan yang dihasilkan memiliki permukaan dengan ukuran pori atau gelembung lebih besar dan lebih teratur. Penambahan 1,4-butanadiol dalam sintesis poliuretan dari minyak jarak dan TDI menghasilkan sel busa dengan struktur lebih seragam. Penurunan konduktivitas termal busa padat poliuretan dengan adanya penambahan air disebabkan oleh penurunan massa jenis busa poliuretan dengan penambahan air dalam sintesis busa.

DAFTAR PUSTAKA

- Castonguay, M., Koberstein, J. T., Zhang, Z., Laroche, nG. Synthesis, Physicochemical and Surface Characteristics of Polyurethanes dalam *Biomedical Applications of polyurethanes*. <http://www.google.com>, 1 – 18, diakses tanggal 1 Januari 2010, jam 15.00 WIB.
- Elwell, M. J., Ryan, A. J. Grunbauer, H. J. M., Van Lieshout, H. C. 1997. Polymer Structure Development During Reactive Processing: In Situ Studies of a Cellular, Multiphase Block Copolymer dalam *Polymeric Foam Science and Technology* (143 – 164). Washington DC : American Chemical Society.
- Frisch, K. C., Kordomenos, P. 1985. Urethane Coatings, dalam *Applied Polymer Chemistry*, 2nd ed (985 – 1021). Washington DC : ACS Symposium Series 285.
- Hamza R, Zhang, X. D., Macosko, C. W. Stevens, R., Mark Listemann. (1997). "Imaging Open Cell Polyurethane Foam via Confocal Microscopy" dalam *Polymeric Foam Science and Technology*. Washington DC : American Chemical Society, 165 – 177.
- Hatakeyama, H., Hirose, S., Hatakeyama, T., Nakamura, K., Kobashigawa, K., Morohoshi, N. 1995. Biodegradable Polyurethanes from Plant Component, *J. Pure Applied Chemistry*, A32(4), 743 – 750.
- Nicholson, J. W. 1997. Polyurethanes, dalam *The Chemistry of Polymers*, 2nd ed.(19, 71). Cambridge : The Royal Society of Chemistry.
- Nicholson, J. W. 1997. Polymers and the Environment dalam *The Chemistry of Polymers* (173). 2nd ed. Cambridge : The Royal Society of Chemistry.
- Owen, S., Masaoka, M., Kawamura, R., Sakota, N. 1995. Biodegradation of Poly-D,L-Lactic Acid Polyurethanes, dalam *Degradable Polymers, Recycling, and Plastics Waste Management*, editor : Ann-Christine Albertsson and Samuel J. Huang. New York : Marcel Dekker Inc., 81-85.
- Phillips, L. N., Parker, D. B. V. 1964. *Polyurethanes*. London: Illiffe Book Ltd.,

Robert Manurung, Saswinadi Sasmojo, Lienda Aliwarga. 1985. Penelitian Proses Pembuatan dan Pengujian Poliuretan sebagai Bahan Isolator Panas, *Laporan Penelitian*, Dikti, Jakarta.

Stevens, Malcolm P. 2001. Terjemahan Iis Sopyan, *Kimia Polimer*. Jakarta : PT. Pertja.

Vishu Shah. 2007. *Handbook of Plastics Testing and Failure Analysis*. USA : Wiley Interscience John Wiley & Sons, Inc.

Woods, George. 1987. Making polyurethanes, dalam *The ICI Polyurethanes Book (7-16)*. New York : John Wiley and Sons.

Zhang, X. D., Macosko, C. W., Davis, H.T. 1997. Effect of Silicone Surfactant on Air Flow of Flexible Polyurethanes Foams, dalam *Polymeric Foam Science and Technology (130-142)*. Washington DC : American Chemical Society.