

**PENGARUH KONSENTRASI ADITIF TERHADAP STRUKTUR  
RIGID FOAM POLIURETHAN DARI POLIOL BERBASIS  
MINYAK SAWIT**

**Agus Haryono dan Evi Triwulandari**

*Polymer Chemistry Group, Research Center for Chemistry, Indonesian  
Institute of Sciences- Pusat Penelitian Kimia LIPI*

*Kawasan PUSPIPTEK Serpong, Tangerang, 15314*

*e-mail: [haryonolipi@yahoo.com](mailto:haryonolipi@yahoo.com), [agus.haryono@lipi.go.id](mailto:agus.haryono@lipi.go.id)*

**ABSTRACT**

Rigid Polyurethane foams were synthesized from palm oil-based polyol. The hydroxy-methoxy polyol which was prepared by epoxidation and hydroxylation process was used as polyol. Synthesis process of polyurethane foam was conducted by reaction between polyol and MDI (methylene diphenyldiisocyanate) via one-shoot process. The effects of additive concentration i.e. silicon glycol as the surfactant and triethylene diamine, as the chain extender to the structure properties of rigid polyurethane foam were studied. Characterization of the rigid polyurethane foam was conducted by determination of bulk density, FTIR, and SEM analysis. Analysis result, showed that when the silicon glycol concentration was increased, bulk density was increased and the peak of urethane linkage from FTIR spectrum become stronger. While triethylene diamine concentration was increased, bulk density was increased and the peak of urethane linkage from FTIR spectrum become stronger.

**Key words:** polyurethane, rigid foam, polyol, palm oil, additive.

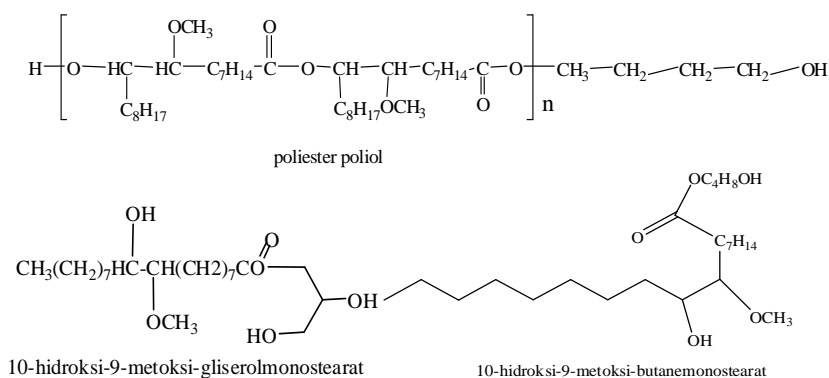
**PENDAHULUAN**

Poliurethan adalah suatu polimer sintetik hasil reaksi antara polioliol dengan poliisosiyanat. Poliurethan merupakan suatu jenis polimer yang murah dan mudah dibentuk. Oleh karena itu poliurethan memiliki potensi besar untuk dapat diaplikasikan dalam kehidupan sehari-hari, diantaranya yaitu untuk mebel, karpet, pengemasan, tekstil, transportasi, bahan isolasi, lem dan elastomer.<sup>1</sup>

Selama ini, polioliol yang digunakan dalam pembuatan poliurethan tersebut sebagian besar berasal dari turunan petrokimia. Seiring dengan meningkatnya kebutuhan akan petrokimia tetapi persediaan yang justru semakin berkurang, maka perlu adanya suatu alternatif pencarian sumber daya alam terbarukan yang dapat digunakan untuk menghasilkan polioliol.<sup>2,4</sup>

Polioliol dari minyak sawit telah dikembangkan menjadi rigid *foam* poliurethan. Laju reaksi pembuatan polioliol dimonitor dengan melakukan analisis bilangan hidroksil dan analisis spektroskopi FTIR. Pada penelitian mereka dihasilkan polioliol dengan bilangan hidroksil 300 mg KOH/g. Selanjutnya polioliol direaksikan dengan poliisosiyanat dan tambahan aditif berupa katalis dan surfaktan untuk membentuk *foam* poliurethan.<sup>7</sup>

Reaksi polimerisasi poliurethan terjadi karena proses kondensasi senyawa dihidroksi ke senyawa diisosiyanat, atau senyawa polioliol ke senyawa poliisosiyanat. Polioliol adalah suatu polimer atau monomer dengan dua gugus fungsi hidroksil atau lebih. Proses pembuatan polioliol sebagai bahan baku *foam* poliuretan dari turunan minyak sawit dilakukan melalui dua tahap reaksi berkelanjutan yaitu epoksidasi dan hidroksilasi. Beberapa jenis polioliol yang telah berhasil disintesa dari turunan minyak sawit diantaranya yaitu 10-hidroksi-9-metoksi-gliserolmonostearat (HMGMS), 10-hidroksi-9-metoksi-butanamonostearat (HMBMS), dan poliester polioliol dari monomer 10-hidroksi-9-metoksi asam stearat.



Gambar 1. Struktur beberapa polioliol turunan minyak sawit yang telah berhasil disintesa.<sup>9</sup>

Hasil polimerisasi antara poliisosiyanat dengan polioliol turunan minyak sawit tersebut cenderung berbentuk rigid foam poliurethan.

Diantara polioliol turunan minyak sawit yang telah dibuat, 10-hidroksi-9-metoksi-gliserolmonostearat (HMGMS) menunjukkan hasil polimerisasi yang terbaik.

Metode yang paling umum dalam pembuatan foam poliurethan adalah mencampur polioliol dengan penambahan aditif diantaranya surfaktan, katalis, bahan pengembang (*blowing agent*) dan pemanjang rantai (*chain extender*). Formulasi aditif juga mempengaruhi struktur dari foam poliurethan, sehingga pada penelitian ini dilakukan variasi penambahan aditif untuk melihat pengaruhnya terhadap foam poliurethan yang dihasilkan. Bahan pengembang (*blowing agent*) yang banyak digunakan adalah *hydrochlorofluorocarbon* (HCFC), *clorofluorocarbon* (CFC) dan senyawa organik yang mudah menguap seperti metilen klorida.<sup>5,6,8</sup>

Dalam penelitian ini, pembuatan poliurethan dengan menggunakan isosianat dari jenis metilen difenil diisosianat (MDI) dan dengan variasi konsentrasi aditif (silikon glikol dan trietilen glikol). MDI merupakan senyawa isosianat yang memiliki dua gugus aromatik, sehingga dengan menggunakan MDI diharapkan dapat meningkatkan sifat rigiditas foam poliurethan yang dihasilkan. Sedangkan aditif merupakan senyawa yang ditambahkan untuk mengontrol dan memodifikasi proses reaksi serta performa karakteristik dari polimer, sehingga dengan variasi konsentrasi aditif diharapkan dapat meningkatkan performa dari poliurethan yang dihasilkan.<sup>10</sup>

## METODOLOGI

**Bahan dan Alat.** Bahan yang digunakan adalah gliserol monooleat (GMO) hasil reaksi esterifikasi antara gliserol dan asam oleat, hidrogen peroksida ( $H_2O_2$ ), metilen difenil diisosianat (MDI), asam sulfat ( $H_2SO_4$ ), asam asetat glasial ( $CH_3COOH$ ), heksan, metanol, piridin, NaOH,  $CCl_4$ , *Stannous Octoate* (SO), trietilen diamin (TEDA), silikon glikol (SG), aquades dan indikator phenolphthalein. Karakterisasi hasil polimerisasi dilakukan dengan menggunakan FT-IR merk IRPrestige-21 Shimadzu, Hardness (Alat Rockwell type hardness LABSCO (Laboratory Supply Company Ollman & Co K6) dan SEM (*Scanning Electron Microscope*) merk Hitachi TM-1000.

**Sintesis polioli turunan minyak sawit.** Gliserol monooleat dicampur dengan heksana selanjutnya ditambahkan asam asetat glasial (1 mol dari gliserol monooleat) dan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  50 % (5 % dari berat asam asetat glasial dan  $\text{H}_2\text{O}_2$ ) ke dalam reaktor sambil dipanaskan perlahan-lahan sampai suhunya mencapai  $35^\circ\text{C}$ . Setelah mencapai suhu  $40^\circ\text{C}$  ditambahkan perlahan-lahan  $\text{H}_2\text{O}_2$  50 % (5 : 1 mol asam asetat glasial) selama 30 menit. Setelah penambahan selesai, temperatur dipertahankan pada  $40^\circ\text{C}$  dan reaksi dilakukan selama 6 jam. Senyawa polioli yang dihasilkan dicuci dengan aquades sampai netral, kemudian dikarakterisasi dengan bilangan hidroksil dan analisa FTIR untuk mengetahui perubahan gugus fungsi.

**Sintesis foam poliurethan.** Proses pembuatan foam poliurethan dilakukan dengan menggunakan metode *One-shot process* (digunakan untuk pembuatan *foam* yang fleksibel dan rigid). Pada proses ini, metilen difenil diisosianat (MDI) dicampur dengan polioli, *blowing agent* (metilen klorida), katalis (trietilen diamin), dan surfaktan (silikon glikol). Pada penelitian ini, reaksi polimerisasi dilakukan dengan sistem tertutup, yaitu memasukkan semua bahan baku dalam sistem yang tertutup untuk menghasilkan struktur poliurethan yang terkontrol. Penambahan silikon glikol sebagai surfaktan dilakukan dengan variasi konsentrasi, yaitu 2,04 pphp, 6,12 pphp dan 12,24 pphp. Selanjutnya pengaruh konsentrasi trietilen diamin sebagai katalis diamati dengan variasi konsentrasi, yaitu 0,2 pphp, 0,6 pphp dan 1,2 pphp.

**Karakterisasi.** Karakterisasi terhadap foam poliurethan dilakukan dengan melakukan analisa FTIR (IRPrestige-21 SHIMADZU) untuk menentukan gugus fungsi, kekerasan (*hardness*) menggunakan alat *Rockwell Type Hardness*, LABSCO (*Laboratory Supply Company Ollman & Co K6*), Harte Pruferr, DIN 5305, ISO R 868, *Germany*, Scanning Electron Microcope (SEM) untuk mengetahui morfologi foam poliurethan, dan analisa *bulk density*.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Proses pembuatan polioliol dari turunan minyak sawit dan pembuatan foam poliuretan dari polioliol yang telah dihasilkan. Bahan dasar dari turunan minyak sawit tersebut mengandung ikatan tidak jenuh C=C. Proses sintesa polioliol dari turunan minyak sawit tersebut dilakukan melalui dua tahap reaksi yang berkelanjutan yaitu epoksidasi dan hidroksilasi.

Dari spektrum FTIR polioliol terlihat bahwa lenyapnya serapan ikatan rangkap C=C pada daerah 3003-3096  $\text{cm}^{-1}$ , digantikan dengan tampaknya gugus serapan -OH pada daerah 3215  $\text{cm}^{-1}$ , 3290  $\text{cm}^{-1}$  dan 3444  $\text{cm}^{-1}$ . Hal ini diduga bahwa ikatan rangkap C=C telah terkonversi menjadi gugus hidroksil (pembentukan polioliol) melalui proses hidroksilasi, sehingga dengan bertambahnya gugus hidroksil pada polioliol akan memperbesar serapan hidroksil. Berkurangnya serapan dari C-H  $\text{sp}^2$  pada daerah 3005  $\text{cm}^{-1}$  juga dapat menjadi pendukung bahwa ikatan tidak jenuh C=C telah terkonversi menjadi ikatan jenuh C-C. Adanya gugus metoksi -OCH<sub>3</sub> pada polioliol ditunjukkan oleh munculnya serapan pada daerah 1029-1244

$\text{cm}^{-1}$  yang merupakan serapan dari ikatan  $\begin{array}{c} \text{O} \\ || \\ -\text{C}-\text{C} \end{array}$

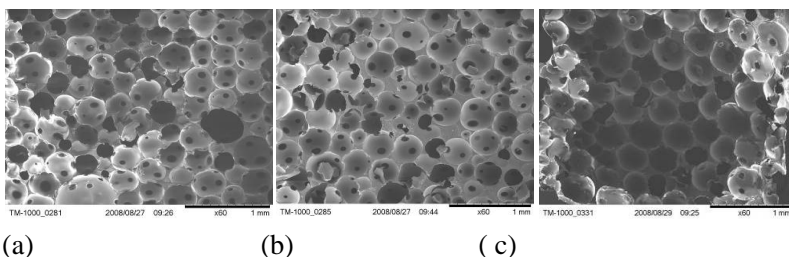
*Foam* poliuretan dibuat dengan mereaksikan polioliol dengan isosianat. Pada penelitian ini dilakukan pembuatan *foam* poliuretan dengan menggunakan polioliol direaksikan dengan metilen difenil diisosianat (MDI). Isosianat sangat reaktif terhadap suatu nukleofil, hal ini disebabkan oleh posisi atom C pada isosianat berada di antara dua elemen elektronegatif, yaitu oksigen dan nitrogen. Pada kondisi ini, atom karbon menjadi kekurangan elektron sehingga ketika bertemu dengan atom yang kaya elektron (nukleofil), dengan cepat akan membentuk suatu ikatan. Dengan kata lain, atom C adalah elektron *acceptor* dan sebagai elektron donor adalah atom oksigen dari polioliol, ikatan kedua atom tersebut kemudian menghasilkan poliuretan.

Terbentuknya poliuretan dari reaksi antara polioliol dengan metilen difenil diisosianat (MDI) dapat diamati dengan analisa FTIR. Pada analisa FTIR dengan sampel *foam* poliuretan, puncak serapan hampir sama dengan FTIR pada sampel polioliol. Perbedaannya pada *foam* poliuretan, pita serapan OH pada panjang gelombang 3215  $\text{cm}^{-1}$ , 3290

$\text{cm}^{-1}$ , dan  $3444 \text{ cm}^{-1}$  telah mengalami pergeseran menjadi  $3250 \text{ cm}^{-1}$ . Terjadinya pergeseran ini diduga telah terjadi reaksi polimerisasi antara polioliol dengan MDI sehingga terbentuk ikatan uretan ( $-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}\text{NH}-$ ) dan serapan  $3250 \text{ cm}^{-1}$  tersebut berasal dari serapan N-H dan  $1110\text{-}1125 \text{ cm}^{-1}$  adalah ikatan  $-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{C}$ . Pita serapan pada daerah  $2276 \text{ cm}^{-1}$  merupakan serapan dari  $\text{N}=\text{C}=\text{O}$  yang diduga berasal dari sisa MDI yang tidak bereaksi dengan polioliol.

#### A. Variasi konsentrasi silikon glikol

Silikon glikol yang digunakan dalam pembuatan rigid foam poliurethan berperan sebagai surfaktan yang berpengaruh terhadap keseragaman dan struktur sel tertutup (*close cell*) poliurethan yang rigid<sup>10</sup>. Surfaktan digunakan untuk memodifikasi karakteristik dari foam yang dihasilkan. Di dalam pembuatan foam, surfaktan digunakan sebagai pengemulsi komponen cairan. Dalam penelitian ini telah digunakan silikon glikol sebagai surfaktan dengan berbagai variasi konsentrasi, yaitu 2,04; 6,12 dan 12,24 pphp. Untuk mengetahui pengaruh variasi konsentrasi silikon glikol terhadap karakteristik rigid foam poliurethan yang dihasilkan maka dilakukan analisa SEM dan perhitungan *bulk density* yang ditunjukkan oleh gambar 2 dan tabel 1.



Gambar 2. Hasil analisa SEM pengaruh variasi konsentrasi silikon glikol, a). 2,04, b) 6,12 dan c) 12,24 pphp

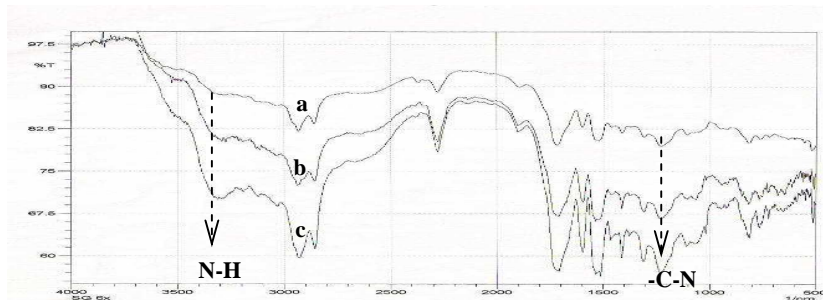
Dari gambar 2, dapat dilihat bahwa struktur morfologi rongga sel pada konsentrasi silikon glikol 12,24 pphp memiliki jumlah pembentukan struktur sel tertutup (*close cell*) yang lebih banyak dengan ukuran yang lebih seragam dibandingkan dengan struktur morfologi pada *foam* poliurethan dengan konsentrasi 2,04 dan 6,12 pphp.

Tabel 1. *Foam* poliurethan dengan variasi konsentrasi silikon glikol

Variasi konsentrasi silikon glikol (pphp)	Densitas sel ( $\text{sel}/\mu\text{m}^3$ )	Densitas bulk ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )	Hardness
2,04	$4,267 \times 10^{-4}$	0,1965	2,2
6,12	$4,279 \times 10^{-4}$	0,1986	5,8
12,24	$4,681 \times 10^{-4}$	0,2328	10,8

Berdasarkan hasil pengamatan (tabel 1) yang diperoleh, semakin besar konsentrasi silikon glikol yang ditambahkan, maka struktur rongga sel *foam* yang terbentuk tidak mudah pecah sehingga rongga sel cenderung membentuk sel tertutup (*close cell*) dengan ukuran sel yang seragam. Makin banyak rongga sel yang stabil (tidak pecah), maka *foam* poliuretan memiliki densitas *foam* yang semakin besar karena kerapatan selnya semakin besar akibatnya kekerasan pun semakin besar. Menurut Chul B. Park dkk, struktur sel yang baik adalah yang memiliki ukuran kecil dan distribusi yang lebih seragam, dan struktur tersebut dimiliki oleh *foam* dengan densitas tinggi. Semakin tinggi densitas *foam* yang dimiliki, semakin besar kemampuannya dalam menahan beban yang diberikan, sehingga kekuatan mekaniknya menjadi lebih besar.

Dari gambar 2, dapat dilihat bahwa semakin besar konsentrasi silikon glikol maka densitas bulk semakin besar. Hal ini dikarenakan bahwa dengan meningkatnya konsentrasi silikon glikol maka kerapatan selnya menjadi meningkat, yaitu  $4,681 \times 10^{-4} \text{ sel}/\mu\text{m}^3$  paling besar dibandingkan dengan konsentrasi silikon glikol yang lain (ukuran sel mengecil) sehingga massa foam menjadi berat dan densitas bulk menjadi semakin besar. Hal ini dapat menurunkan tegangan permukaan sehingga efektifitas silikon glikol sebagai surfaktan semakin meningkat.



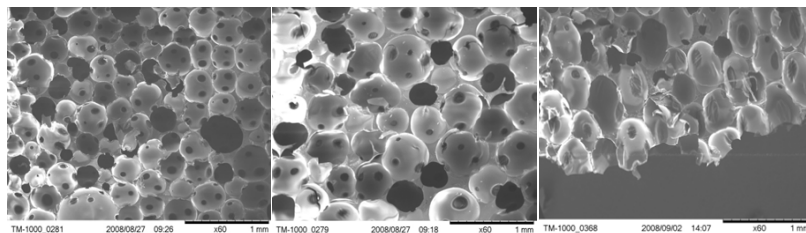
Gambar 3. Spektrum FTIR pengaruh konsentrasi silikon glikol pada foam poliurethan: a) 2,04, b) 6,12 dan c) 12,24 pphp

Disamping reaksi antara polioliol dengan isosianat, silikon glikol (surfaktan) juga mempunyai peranan penting dalam *foam* poliuretan. Penambahan surfaktan berpengaruh pada mekanik dan pemisahan mikrofasa *foam* poliuretan. Pengaruh konsentrasi silikon glikol pada struktur *foam* poliuretan dapat di analisa melalui spektrum FTIR. Spektrum FTIR *foam* poliuretan dengan variasi konsentrasi silikon glikol ditunjukkan pada Gambar 3. Pada spektrum FTIR, ikatan uretan ditunjukkan pada pita serapan  $3329-3290\text{ cm}^{-1}$  (N-H) dan  $1109-1107\text{ cm}^{-1}$

menunjukkan gugus  $\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{---C---C} \end{array}$ . Sedangkan pada peak spektrum  $1710-1716\text{ cm}^{-1}$  dan  $1232-1226\text{ cm}^{-1}$ , masing-masing menunjukkan pita serapan gugus C=O dan gugus C-N. Pengaruh konsentrasi silikon glikol menunjukkan adanya peningkatan ketajaman serapan pada  $3329-3290\text{ cm}^{-1}$  dari ikatan N-H dan  $1232-1226\text{ cm}^{-1}$  dari ikatan C-N. Dari data ini dapat dikatakan bahwa ketika konsentrasi silikon glikol meningkat maka ikatan uretan yang terbentuk juga meningkat.

### B. Variasi konsentrasi trietilen diamin

Trietilen diamin berfungsi sebagai katalis basa. Katalis basa mengandung gugus amin yang berfungsi untuk mempercepat reaksi isosianat, baik terhadap polioliol maupun air. Variasi konsentrasi Trietilen diamin yang digunakan yaitu 0,2; 0,6 dan 1,2 pphp. Untuk mengetahui pengaruh variasi konsentrasi Trietilen diamin terhadap karakteristik rigid foam poliurethan yang dihasilkan maka dilakukan analisa SEM dan perhitungan *bulk density* yang ditunjukkan oleh gambar 4 dan tabel 2.



(a)(b)(c)

Gambar 4. Hasil analisa SEM pengaruh variasi konsentrasi Trietilen diamin, a). 0,2 b) 0,6 dan c) 1,2 pphp



Dari gambar 4, dapat ditunjukkan hasil yang diperoleh dari gambar SEM, bahwa struktur morfologi rongga sel pada variasi trietilen diamin baik pada konsentrasi 0,2; 0,6 dan 1,2 pphp semuanya berbentuk sel tertutup (*close cell*).

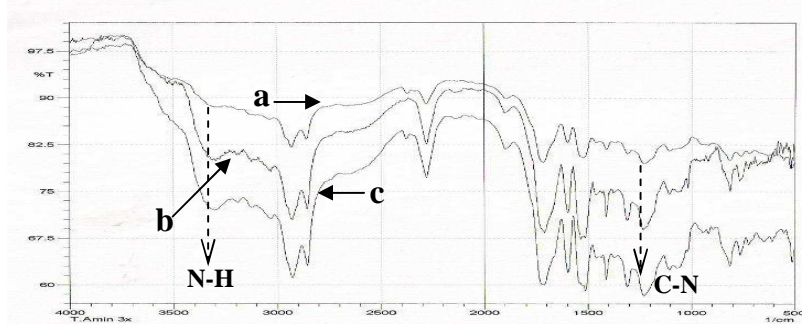
Dari hasil perhitungan densitas sel dengan menggunakan program *ImageJ*, dapat dilihat pada tabel 2, hasil yang diperoleh kekerasan *foam* poliuretan semakin bertambah dengan meningkatnya konsentrasi trietilen diamin. Hal ini disebabkan karena semakin besar konsentrasi trietilen diamin yang berfungsi sebagai katalis maka reaksi pembentukan ikatan uretan pun akan semakin cepat sehingga segmen keras yang terbentuk akan lebih banyak dibandingkan dengan *foam* poliuretan dengan konsentrasi yang lebih kecil. Oleh karena itu *foam* poliuretan pada konsentrasi 1,2 pphp densitas *foam* dan kekerasannya lebih besar dibandingkan dengan *foam* poliuretan dengan konsentrasi 0,2 dan 0,6 pphp. Hal ini disebabkan karena trietilen diamin yang bereaksi dengan isosianat akan memberikan atom hidrogen untuk membentuk ikatan uretan. Ikatan uretan ini akan membentuk segmen keras karena adanya ikatan hidrogen yang terbentuk antar uretan, selain itu adanya gugus aromatik yang bersifat kaku yang berasal dari metilen difenil diisosianat (MDI) akan mempengaruhi sifat mekanik *foam* poliuretan yang dihasilkan. Dengan demikian, penambahan trietilen diamin sebagai katalis akan meningkatkan kandungan segmen keras dalam polimer dan memperkuat ikatan hidrogen antar segmen keras uretan. Daerah yang kaya akan ikatan uretan ini akan memperkuat dinding sel dan memperbaiki properti sifat mekanis *foam*.

Tabel 2. *Foam* poliurethan dengan variasi konsentrasi Trietilen diamin

Variasi konsentrasi silikon glikol (pphp)	Densitas sel ( $\text{sel}/\mu\text{m}^3$ )	Densitas bulk ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )	Hardness
0,2	$4,2674 \times 10^{-4}$	0,1965	2,2
0,6	$4,4350 \times 10^{-4}$	0,1980	5,6
1,2	$4,6808 \times 10^{-4}$	0,1996	8,4

Berdasarkan hasil perhitungan dari densitas *foam* yang diperoleh (tabel 2), maka nilai densitas *foam* poliurethan meningkat dengan meningkatnya konsentrasi trietilen diamin, hal ini dikarenakan semakin

besar konsentrasi trietilen diamin, maka pembentukan ikatan urethan akan semakin cepat sehingga massa *foam* semakin bertambah. Dengan massa *foam* yang semakin bertambah dan volume yang hampir sama, ini menyebabkan densitasnya semakin besar.



Gambar 5. Spektrum FTIR pengaruh konsentrasi trietilen diamin pada foam poliurethan: a) 0,2 pphp, b) 0,6 pphp dan c) 1,2 pphp

Berdasarkan hasil spektrum FTIR diketahui bahwa ikatan uretan ditunjukkan oleh puncak serapan pada daerah panjang gelombang 3329-3290  $\text{cm}^{-1}$  (N-H stretch) dan 1109-1107  $\text{cm}^{-1}$  (C-O stretch). Puncak serapan pada daerah 1716-1710  $\text{cm}^{-1}$  (C=O) dan 1232-1226  $\text{cm}^{-1}$  (C-N) mengindikasikan adanya ikatan uretan. Puncak serapan pada daerah panjang gelombang 2931-2926  $\text{cm}^{-1}$  (C-H stretch) dari gugus  $-\text{CH}_3$  dan puncak serapan pada 1413-1409  $\text{cm}^{-1}$  dari gugus  $-\text{CH}_2-$  menunjukkan adanya soft segment polioliol dalam rantai poliurethan. Data yang menunjukkan pengaruh konsentrasi trietilen diamin terhadap struktur molekul poliurethan yaitu ditunjukkan oleh meningkatnya puncak serapan di daerah 3329-3290  $\text{cm}^{-1}$  dari ikatan N-H, ikatan C-N juga naik

sehingga ikatan uretan ( $-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}\text{NH}-$ ) bertambah. Data tersebut menginformasikan bahwa ketika konsentrasi trietilen diamin meningkat akan meningkatkan pula puncak serapan dari ikatan uretan.

## KESIMPULAN

Semakin besar konsentrasi silikon glikol yang diberikan pada pembuatan maka pembentukan struktur rongga sel tertutup pada foam poliurethan semakin stabil dengan ukuran sel rongga yang seragam dan

densitas bulk semakin meningkat, hal ini dapat diketahui dengan struktur morfologi dari foam poliurethan dengan menggunakan SEM, selain itu dapat diketahui dengan densitas sel yang semakin besar, yaitu  $4,681.10^{-4}$  sel/ $\mu\text{m}^3$  untuk konsentrasi silikon glikol 12,24 pphp. Sedangkan pengaruh variasi konsentrasi trietilen diamin sebagai katalis terhadap karakterisasi foam poliurethan yaitu semakin besar konsentrasi trietilen diamin maka densitas bulk semakin besar dan pembentukan ikatan urethan pada foam poliurethan semakin cepat.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih banyak kepada Bapak Dr. Silvester Tursiloadi selaku Kepala Bidang Teknologi Proses dan Katalis, Pusat Penelitian Kimia-LIPI, atas segala dukungan dalam penelitian ini. Begitu juga kepada Hesti Prihastuti yang telah menyelesaikan penelitiannya di Pusat Penelitian Kimia-LIPI.

#### REFERENSI

- [1]. <http://en.wikipedia.org/wiki/Polyurethane>
- [2]. Z.S. Petrovic, I. Cvetkovic, D.Hong, X. Wan, W.Zhang, T. Abraham And J. Malsam, *J. Applied Polymer Science*, **108** (2008) 1184-1190
- [3]. Z.S. Petrovic, W.Zhang And I. Javni, *Biomacromolecules*, **6** (2005) 713-719
- [4]. R. Alfani, S. Iannace, And L.Nicolais, *J. Applied Polymer Science*, **68** (1998) 739-745
- [5]. X. Kong, J.Yue And S.S.Narine, *Biomacromolecules*, **8** (2007) 3584-3589.
- [6]. X. Kong, And S.S. Narine, *Biomacromolecules*, **8** (2007) 2203-2209
- [7]. Haryono, A., Triwulandari, E., Sondari, D., "Development Of Polyurethane Rigid Foam From Palm Oil Polyols", Proceeding Of Annual Meeting Of Spsj, Yokohama, Japan (2008)
- [8]. A. Prociak, *Cellular Polymer*, **26** (2007) 6
- [9]. U. Stirna, I. Sevastyanova, M. Misane, U.Cabulis, And I.Beverte, *Proc.Estonian Acad.Chem*, **55** (2006), 101-110
- [10] *Training Plastic Technology*, Michaeli/reif/Kaufmann/Vossebergürger,Hanser Publishers).