

PEMBUATAN POLIOLIOL BERBASIS KOMPONEN MINYAK SAWIT SEBAGAI BAHAN BAKU BUSA POLIURETAN

E. Triwulandari¹, N. Astrini² dan A. Haryono^{1,2}

¹Pusat Penelitian Kimia (P2K)-LIPI,
Kawasan PUSPIPTEK, Serpong, 15314

²Pusat Penelitian Kimia (P2K)-LIPI
Jl. Cicitu Sangkuriang, Bandung 40135
e-mail: evi.triwulandari69@gmail.com

Diterima: 03 Juli 2014

Diperbaiki: 26 Agustus 2014

Disetujui: 19 September 2014

ABSTRAK

PEMBUATAN POLIOLIOL BERBASIS KOMPONEN MINYAK SAWIT SEBAGAI BAHAN BAKU BUSA POLIURETAN. Poliuretana merupakan polimer sintetik yang diperoleh dari hasil reaksi antara polioliol dan isosianat. Saat ini, polioliol yang digunakan untuk pembuatan poliuretana merupakan hasil dari turunan minyak bumi yang makin terbatas persediannya. Penelitian ini merupakan salah satu alternatif untuk mendapatkan bahan polioliol untuk pembuatan poliuretana yang berasal dari turunan komponen minyak sawit yang terbarukan. Pada penelitian ini telah dilakukan pembuatan polioliol dari turunan komponen minyak sawit berbasis asam oleat dan *Refined Bleached Deodorized Palm Oil (RBDPO)*. Produk polioliol berbasis turunan asam oleat yang telah dihasilkan diantaranya yaitu 9,10-dihidroksi asam stearat (*DHAS*), 9-hidroksi-10-metoksi-gliserolmonostearat (*HMGMS*) dan 9-hidroksi-10-metoksi-butanemonostearat (*HMBMS*). Sedangkan polioliol berbasis *RBDPO* yang dihasilkan yaitu polioliol propane-1,2,3-triyl tris(9-hidroksi-10-metoksioktadekanat) (*PTHMO*). Polioliol yang diperoleh kemudian direaksikan dengan isosianat untuk menghasilkan busa poliuretana. Dari beberapa polioliol yang digunakan untuk pembuatan busa poliuretana, polioliol *HMGMS* memberikan hasil yang baik.

Kata kunci: Polioliol, Poliuretana, Asam oleat, RBDPO, Gliserolmonooleat, 1,4-butandiolmonooleat

ABSTRACT

PRODUCTION OF POLYOL BASED ON PALM OIL COMPONENT AS POLYURETHANE FOAM MATERIAL. Polyurethane is synthetic polymer which is formed by a reaction between polyol and isocyanate. Currently polyol for making polyurethane is derived from petrochemical which its reserve is limited. This research is an alternative to obtain renewable polyol from derivative of palm oil. In this research synthesis of polyol from chemical component of palm oil based on derivative of oleic acid and triglyceride olein was studied. Polyol product based on oleic acid obtained in this work were 9,10 -dihydroxy stearic acid (*DHAS*), 9-hydroxy-10-methoxy-butanemonostearate (*HMBMS*) and 9-hydroxy-10-methoxy-glycerolmono stearate (*HMGMS*). While, polyol product based on Refined Bleached Deodorized Palm Oil *RBDPO* was propane-1,2,3-triyl tris(9-hydroxy-10-methoxyoktadecanoate)(*PTHMO*). The obtained product of polyol furthermore was reacted with isocyanate to produce polyurethane. According to the several kind of polyol which used to produce polyurethane, *HMGMS* polyol gave the best result.

Keywords : polyol, polyurethane, oleic acid, RBDPO, glycerolmonooleate, 1,4-butanediolmonooleate.

PENDAHULUAN

Sejak ditemukannya poliuretana oleh Profesor Otto Bayer di tahun 1937, kini pemanfaatan poliuretana dapat dijumpai dimana-mana. Polimer tersebut memiliki banyak aplikasi mulai dari isolasi panas hingga untuk *medical implant*. Poliuretana merupakan polimer sintetik

yang diperoleh dari hasil reaksi antara poliisocianat dengan polioliol atau reaktan lain yang mengandung dua atau lebih gugus aktif terhadap isosianat, tetapi yang paling banyak digunakan adalah polioliol. Sedangkan polioliol sendiri merupakan suatu senyawa alkohol yang memiliki

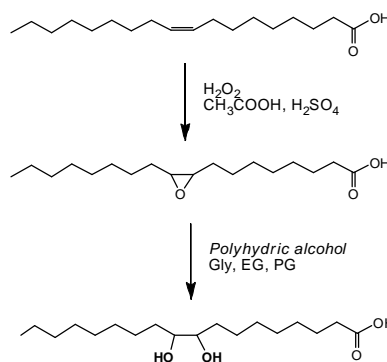
lebih dari satu gugus hidroksil aktif tiap molekulnya [1,2]. Saat ini produksi poliuretan telah menduduki peringkat ke lima diantara produksi plastik lainnya yang dihasilkan dalam jumlah besar, seperti misalnya polietilen (PE), polivinil klorida (PVC), polipropilen (PP) dan polistiren (PS). Di dunia, konsumsi terhadap poliuretan telah mengalami kenaikan setiap tahunnya [3,4].

Pada umumnya polioliol yang digunakan dalam pembuatan poliuretan selama ini berasal dari turunan petrokimia. Seiring dengan meningkatnya kebutuhan akan petrokimia tetapi persediaan yang justru semakin berkurang, maka alternatif pencarian sumber daya alam terbarukan yang dapat menggantikan petrokimia perlu untuk dilakukan, dalam hal ini khususnya sumber daya alam yang dapat digunakan untuk menghasilkan polioliol.

Penelitian tentang pengembangan polioliol dari bahan alam yang dapat terbarukan telah mendapat cukup perhatian dari beberapa kalangan peneliti baik dari luar maupun dalam negeri. Salah satu fokus perhatian saat ini yang dapat menggantikan posisi petrokimia yaitu minyak nabati. Dari beberapa hasil penelitian disebutkan bahwa jenis minyak nabati yang dapat digunakan diantaranya yaitu minyak kedelai, minyak kanola, minyak midoleat, bunga matahari, minyak zaitun, minyak wijen, minyak kedelai, minyak biji rami, minyak bunga matahari, minyak jagung dan minyak sawit [4-13].

Di Indonesia, minyak nabati yang memiliki peluang untuk dapat dikembangkan menjadi polioliol yaitu minyak sawit. Hal ini dikarenakan sejak tahun 2006 Indonesia telah menjadi produsen minyak sawit terbesar di dunia. Bersama dengan Malaysia, Indonesia menguasai hampir 90% produksi minyak sawit dunia [14]. Minyak sawit dapat digunakan sebagai sumber bahan baku pembuatan polioliol karena dalam komposisi kimianya (Tabel 1) mengandung sejumlah asam lemak atau trigliserida tak jenuh (ikatan rangkap) yang memungkinkan untuk dapat dikonversi menjadi gugus hidroksil (Gambar 1).

Struktur, berat molekul dan gugus fungsi suatu polioliol memiliki peranan penting dalam menentukan sifat poliuretan yang dihasilkan [10]. Selama ini polioliol yang telah dikembangkan dari minyak nabati yaitu dalam bentuk struktur trigliseridanya dan masih sedikit literatur yang melaporkan tentang pembuatan polioliol dari struktur



Gambar 1. Proses konversi komponen kimia minyak sawit menjadi polioliol.

asam lemaknya [3,4,13]. Hal ini dikarenakan asam lemak memiliki rantai yang lebih pendek sehingga akan menghasilkan poliuretan yang lebih getas. Sebagai upaya untuk meningkatkan kemampuan asam lemak tersebut sebagai bahan baku polioliol untuk pembuatan poliuretan maka pada penelitian ini telah dipelajari pembuatan poliuretan dari polioliol turunan asam lemak yang diperoleh dari hasil reaksi esterifikasi antara asam oleat dengan gliserol dan 1,4-butandiol. Sebagai pembandingan telah disintesis pula polioliol dari asam oleat tanpa diesterifikasi dan polioliol dari *Refined Bleached Deodorized Palm Oil (RBDPO)*. Keempat polioliol tersebut memiliki struktur yang berbeda, sehingga perlu untuk dipelajari tentang pengaruhnya terhadap busa poliuretan yang dihasilkan. Selain itu pada penelitian ini dipelajari pula tentang pengaruh komposisi isosianat yang ditambahkan dalam pembuatan poliuretan berbasis polioliol turunan minyak sawit.

METODE PERCOBAAN

Bahan dan Alat

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari bahan kimia *pro analysis* untuk keperluan proses dan analisis. Bahan kimia untuk keperluan proses terdiri dari asam oleat, gliserol monooleat, 1,4-butanediol monooleate, *Refined Bleached Deodorized Palm Oil (RBDPO)*, asam asetat glasial, asam sulfat 50%, hidrogen peroksida 35%, metanol, etil asetat, aquades, heksan, metilen klorida, silikon glikol, stannous octoate, triethylene amine, etilen glikol, metilen difenil diisosianat. Sedangkan bahan kimia untuk keperluan analisis meliputi tetraklorometan, larutan wijes, larutan potassium iodide 10%, larutan sodium bikarbonat 0,1 N, indikator amilum, asetat anhidrat, reagen pengasetilasi (campuran asetat anhidrat 127 mL + piridin 100 mL). Larutan asam klorida 0,1 N, larutan sodium hidroksida 0,5 N, etanol 95%, larutan potassium hidroksida-etanol 0,1 N.

Peralatan yang digunakan yaitu *Fourier Transform-Infra Red (FT-IR)* (IRPrestige-21 SHIMADZU) untuk menentukan gugus fungsi, $^1\text{H Nuclear Magnetic$

Tabel 1. Kandungan Komposisi Kimia Pada Minyak Sawit [15].

Tipe Asam Lemak	Komposisi Kimia Minyak Sawit	
	Jumlah Karbon	Persentase
Miristat	C14	9,19 %
Pentadekanoat	C15	0,91 %
Palmitat	C16	33,84 %
Stearat	C18	3,68 %
Arachidat	C20	0,32 %
Palmitoleat	C16:1	0,17 %
Oleat	C18:1	39,65 %
Linoleat	C18:2	0,73 %
Eikosamonoenat	C20:1	0,18

Resonance ($^1\text{H NMR}$) (JEOL 500 spectrometer) untuk analisis pergeseran kimia proton. Rockwell Type Hardness, LABSCO (Laboratory Supply Company Ollman & Co K6), Harte Proferr, DIN 530 untuk analisis kekerasan (hardness), Scanning Electron Microscope (SEM), JEOL JSEM 650 LA untuk mengetahui morfologi busa poliuretan.

Cara Kerja

Pembuatan polioli dari komponen kimia minyak sawit dilakukan dengan menggunakan bahan dasar turunan asam oleat dan RBDPO. Proses konversi ikatan rangkap pada komponen kimia minyak sawit dilakukan dengan menggunakan metode reaksi epoksidasi dan hidroksilasi secara berkelanjutan. Adapun prosedur kerja yang dilakukan meliputi konversi asam oleat menjadi polioli 9,10-Dihidroksi Asam Stearat (DHAS), Gliserol Mono Oleat (GMO) menjadi polioli 9-Hidroksi-10-Metoksi-Gliserol Mono Stearat (HMGMS), 1,4-Butandiol Mono Oleat (BMO) menjadi polioli 9-Hidroksi-10-Metoksi-Butandiol Mono Stearat (HMBMS), RBDPO menjadi polioli propane-1,2,3-Triyltris(9-Hidroksi-10-Metoksi Oktadekanoat) (PTHMO).

Proses Epoksidasi dan Hidroksilasi

Dalam reaktor yang berbeda masing-masing bahan dasar yaitu GMO, BMO dan RBDPO dicampur dengan heksana (pengaduk dijalankan). Kemudian ditambahkan asam asetat glasial (1 mol dari mol asam oleat) dan H_2SO_4 50 % (5 % dari kombinasi berat asam asetat dan H_2O_2) ke dalam reaktor sambil dipanaskan perlahan-lahan sampai suhunya mencapai 50 °C (kondensor dijalankan). Sebelum suhunya mencapai 50 °C ditambahkan terlebih dahulu methanol secara bertetes-tetes. Kemudian setelah suhu mencapai 50 °C ditambahkan secara perlahan-lahan H_2O_2 35 %. Setelah penambahan selesai, suhu dipertahankan pada suhu 65 °C, reaksi dilakukan selama 2 jam. Senyawa polioli yang dihasilkan selanjutnya dikarakterisasi menggunakan analisis bilangan iod (berdasarkan SNI 01-3201-1992) dan FT-IR untuk mengetahui perubahan gugus fungsi. Metode yang sama diulang untuk bahan dasar asam oleat tetapi tidak dilakukan penambahan metanol.

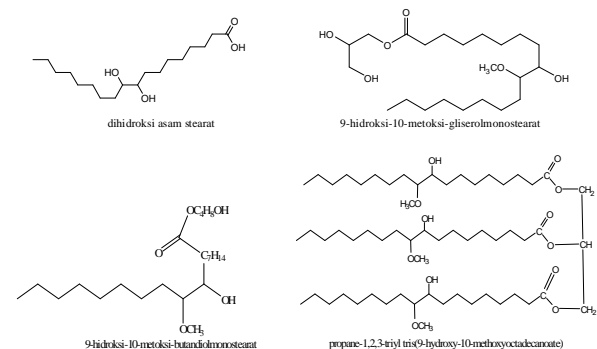
Pembuatan Busa Poliuretan

Proses pembuatan busa poliuretan dilakukan dengan menggunakan metode *One-shot process* (digunakan untuk pembuatan busa yang fleksibel dan rigid). Pada proses ini, isosianat sebagai komponen A dicampur ditambahkan dengan komponen B yang terdiri dari campuran polioli, *blowing agent*, katalis, surfaktan. Busa poliuretan yang diperoleh kemudian

dikarakterisasi dengan melakukan uji daya serap air dan analisis densitas bulk.

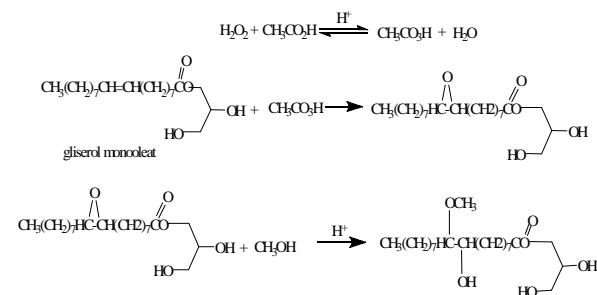
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini telah dilakukan pembuatan polioli dari beberapa bahan dasar yang merupakan turunan komponen kimia minyak sawit, diantaranya yaitu asam oleat, gliserol monooleat (hasil reaksi esterifikasi antara asam oleat dan gliserol), butanediol monooleat (hasil reaksi esterifikasi antara asam oleat dan 1,4-butanediol) dan Refined Bleached Deodorized Palm Oil (RBDPO). Studi pembuatan polioli dari beberapa bahan dasar turunan minyak sawit ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh struktur polioli yang digunakan terhadap produk busa poliuretan yang dihasilkan. Bahan dasar dari turunan minyak sawit yang digunakan untuk pembuatan polioli tersebut memiliki syarat mengandung ikatan tidak jenuh C=C sehingga dapat dikonversi menjadi gugus hidroksil melalui reaksi epoksidasi dan hidroksilasi. Adapun struktur molekul polioli yang diharapkan dari keempat bahan dasar turunan minyak sawit tersebut diperlihatkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Struktur Molekul Polioli Turunan Minyak Sawit.

Proses epoksidasi dan hidroksilasi secara berkelanjutan terhadap komponen kimia minyak sawit dilakukan dengan cara mereaksikan asam asetat glasial dan hidrogen peroksida dengan adanya katalis H_2SO_4 untuk menghasilkan asam peroksiasetat. Adanya gugus hidroksil pada asam peroksiasetat tersebut akan bertindak sebagai elektrofil dan menyerang ikatan rangkap dua pada asam oleat, GMO, BMO dan RBDPO



Gambar 4. Persamaan reaksi epoksidasi dan hidroksilasi terhadap GMO.

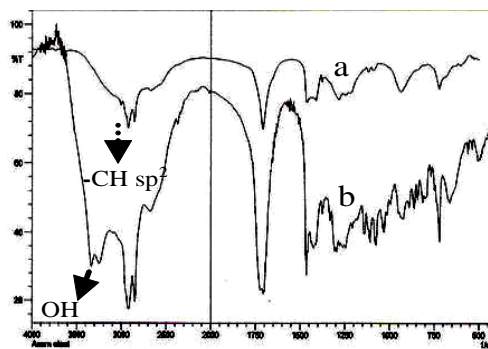
untuk menghasilkan epoksida. Karena adanya asam kuat H_2SO_4 pada proses epoksidasi di muka, maka epoksida yang terbentuk akan terprotonasi dan terjadi pemisahan cincin eter tiga setelah diserang oleh nukleofilik. Nukleofilik yang dimaksud yaitu molekul H_2O untuk reaksi terhadap asam oleat dan CH_3OH untuk reaksi terhadap *GMO*, *BMO* dan *RBDPO*. Secara keseluruhan persamaan reaksi epoksidasi dan hidroksilasi terhadap asam oleat, *GMO*, *BMO* dan *RBDPO* ditunjukkan oleh persamaan reaksi terhadap *GMO* seperti Gambar 4.

Untuk membuktikan bahwa poliol yang diharapkan telah terbentuk, maka dalam hal ini dilakukan analisis *FT-IR* untuk mengetahui dan membandingkan gugus fungsi bahan dasar yang digunakan dengan masing-masing poliol yang dihasilkan (Gambar 5). Pada spektrum *FT-IR* dari bahan dasar asam oleat, *GMO*, *BMO* dan *RBDPO* terdapat pita serapan dari ikatan C-H sp^2 pada daerah 3032 cm^{-1} hingga 3003 cm^{-1} yang menandakan adanya ikatan rangkap. Serapan karakteristik dari asam karboksilat ditunjukkan oleh serapan pada daerah 1701 cm^{-1} , 1726 cm^{-1} , 1737 cm^{-1} , 1745 cm^{-1} yang menandakan adanya gugus karbonil C=O dari asam oleat, *GMO*, *BMO* dan *RBDPO*. Serapan di daerah 1300 cm^{-1} hingga 1100 cm^{-1} menunjukkan adanya ikatan C-O. Perbedaan yang signifikan antara spektrum *FT-IR* bahan dasar dan poliol yang dihasilkan yaitu ditunjukkan oleh munculnya pita lebar yang lebih tajam di daerah serapan dari gugus -OH pada produk poliol yang dihasilkan. Data ini memiliki kesesuaian dengan yang telah dilaporkan oleh peneliti sebelumnya [11]. Adanya gugus O-H pada produk diduga bahwa proses hidroksilasi telah terjadi. Lebih lanjut, informasi lain yang menunjukkan bahwa hidroksilasi telah berlangsung yaitu telah hilangnya serapan pada daerah 3032 cm^{-1} hingga 3003 cm^{-1} , hal ini menunjukkan bahwa ikatan rangkap pada asam oleat, *GMO*, *BMO* dan *RBDPO* telah terkonversi menjadi gugus hidroksil (dari ikatan tidak jenuh menjadi ikatan jenuh).

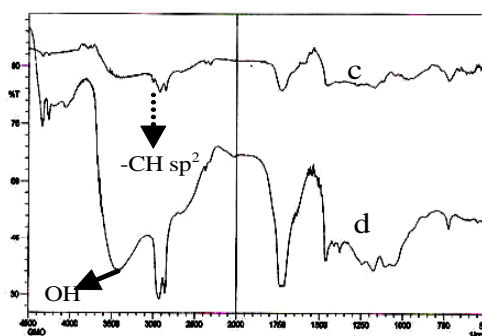
Analisis kuantitatif yang mendukung data bahwa ikatan rangkap pada asam oleat, *GMO*, *BMO* dan *RBDPO* telah terkonversi menjadi ikatan jenuh dengan dilakukan analisis bilangan iod. Bilangan iod merupakan jumlah mg iod yang dibutuhkan untuk mengadisi ikatan rangkap pada 100 g asam lemak atau minyak. Sehingga bila semakin kecil kandungan ikatan rangkap pada asam lemak atau minyak, maka bilangan iodnya semakin kecil dan % konversinya semakin besar. Data penentuan bilangan iod dari poliol berbahan

Tabel 3. Data Bilangan Iod Dari Poliol Turunan Minyak Sawit.

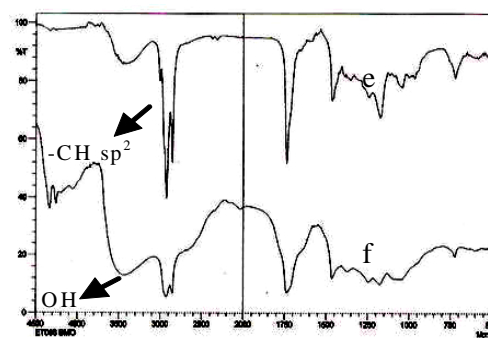
Poliol	Bil. Iod Awal (mg I ₂ /100 g)	Bil. Iod akhir (mg I ₂ /100 g)	% konversi
DHAS	124,50	20,03	84%
HMGMS	128,59	9,41	93%
HMBMS	82,57	18,96	77%
PTHMO	38,09	2,68	93%



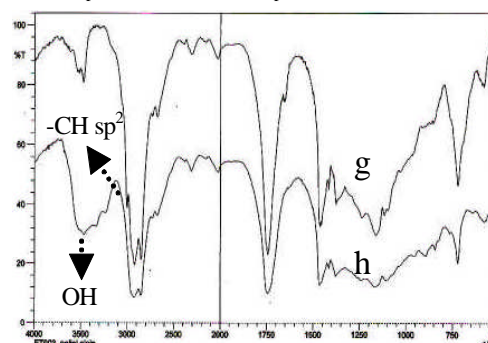
a. Spektrum *FT-IR* asam oleat, b. Spektrum *FT-IR* DHAS



c. Spektrum *FT-IR* *GMO*, d. Spektrum *FT-IR* *DHASS*



e. Spektrum *FT-IR* *BMO*, f. Spektrum *FT-IR* *HMBMS*



g. Spektrum *FT-IR* *RBDPO*, h. Spektrum *FT-IR* *HMGMS*

Gambar 5. Spektrum *FT-IR* asam oleat, *BMO*, *GMO*, *RBDPO* dan masing masing poliol yang dihasilkan

dasar asam oleat, *GMO*, *BMO* dan *RBDPO* ditunjukkan pada Tabel 3.

Data % konversi bilangan iod dari keempat poliol turunan minyak sawit tersebut memiliki kemiripan data dengan % konversi bilangan iod dari poliol minyak kanola (83,7%), minyak midoleat (82,7%), minyak kedelai (79,4%), minyak biji rami (82,7%), minyak bunga matahari (75,5)

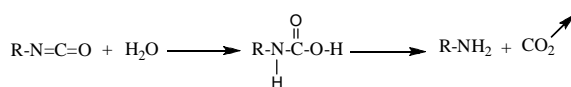
dan minyak jagung (80%) [10]. Hal ini menandakan bahwa proses konversi ikatan rangkap pada komponen minyak sawit tersebut menjadi gugus hidroksil (poliol) telah berhasil dilakukan.

Keempat polioli yang telah dihasilkan yaitu 9,10-dihidroksi asam stearat, 9-hidroksi-10-metoksi-gliserolmonostearat, 9-hidroksi-10-metoksi-butandiolmonostearat dan polioli propane-1,2,3-triyl tris (9-hidroksi-10-metoksioktadekanoat) kemudian direaksikan dengan isosianat untuk menghasilkan busa poliuretan dengan ditambah beberapa bahan aditif seperti metilen klorida, silikon glikol, *stannous octoate*, trietilen diamin, air dan etilen glikol. Karakterisasi terhadap busa poliuretan yang dihasilkan dilakukan dengan mengukur densitas *bulk* dan daya serap air. Data yang diperoleh dari penelitian ini ditampilkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Busa Poliuretan dengan Variasi Polioli Turunan Minyak Sawit

Polioli	Bentuk Busa	Densitas Bulk (Kg/m ³)	Daya Serap Air (mL air/gr sampel)
- HMGMS	Rigid, tidak rapuh, tidak getas	75	0,8455
- Polioli RBDPO	Rigid, Rapuh, keras	147,4	0,3233
- HMBMS	Rigid, rapuh, getas	49,6	0,5881
- DHAS	Rigid, rapuh, getas	41,7	0,4944

Berdasarkan data tersebut dapat diketahui bahwa dari hasil pengamatan secara visual busa poliuretan dari *HMGMS* memberikan hasil yang baik bila dibandingkan dari jenis polioli lainnya. Selain memberikan hasil busa poliuretan yang *rigid* (tidak getas dan tidak rapuh) busa poliuretan tersebut juga memberikan kemampuan daya serap air yang paling besar bila dibandingkan polioli lainnya. Hal ini menandakan bahwa busa poliuretan yang dibuat dari polioli *HMGMS* memiliki peluang untuk dapat diaplikasikan sebagai *floral foam* pada tanaman hias. Busa poliuretan yang dihasilkan dari polioli *DHAS*, *HMBMS* dan polioli *RBDPO* memiliki karakteristik yang kurang bagus bila dibandingkan busa poliuretan dari polioli *HMGMS*, hal ini disebabkan bila dilihat dari struktur kimia polioli masing-masing maka dapat diketahui bahwa untuk struktur polioli *DHAS* dan polioli *RBDPO* memiliki gugus hidroksil yang saling berdekatan sehingga mengakibatkan besarnya halangan sterik yang terjadi sehingga mengurangi peluang isosianat untuk berikatan dengan gugus hidroksil pada polioli, selain itu dengan semakin dekatnya ikatan uretan yang terbentuk (tidak terjadi pemanjangan rantai) maka mengakibatkan poliuretan menjadi rapuh. Lebih lanjut busa poliuretan terbaik dari turunan minyak sawit yang dihasilkan dari polioli *HMGMS* ditentukan kondisinya dengan memvariasi perbandingan mol *HMGMS* dengan isosianat



Gambar 6. Reaksi isosianat dengan air.

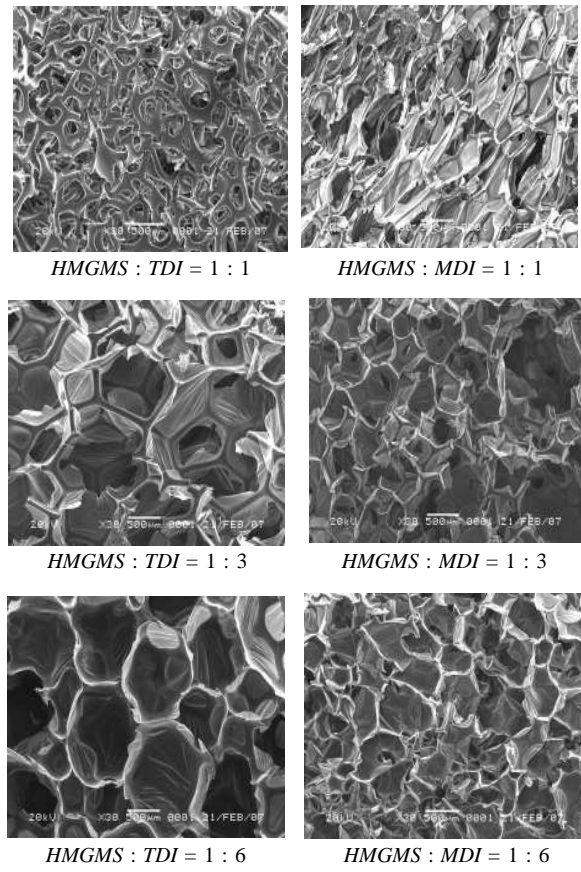
dan memvariasi jenis isosianat yang digunakan, seperti yang ditampilkan pada Tabel 5.

Dari data tersebut diketahui bahwa semakin besar perbandingan mol antara polioli dan isosianat maka

Tabel 5. Perbandingan mol Polioli *HMGMS* dengan Isosianat.

Perbandingan mol	Bentuk Busa	Densitas Bulk (kg/m ³)	Daya Serap Air (mL air/g sample)	Hardness
HMGMS : TDI				
- 1 : 1	Fleksibel, rapuh	12,3	0,4781	2,98
- 1 : 3	Rigid	57,9	0,3195	2,88
- 1 : 6	Rigid	75	0,8455	6,67
HMGMS : MDI				
- 1 : 1	Fleksibel	33,6	1,2561	4
- 1 : 3	Rigid, rapuh	48,9	0,8612	3
- 1 : 6	Rigid, getas, rapuh	77,4	1,0841	2,9

densitas *bulk* semakin besar. Morfologi busa poliuretan yang dihasilkan dianalisis dengan menggunakan *Scanning Electron Microscope (SEM)* yang ditunjukkan Gambar 7. Dari data tersebut dapat diketahui bahwa semakin besar perbandingan mol antara polioli dan isosianat maka diameter selnya semakin besar. Hal ini disebabkan oleh semakin banyak isosianat maka gas karbondioksida (CO₂) hasil reaksi antara air dan isosianat semakin besar pula (Gambar 6). Gas CO₂ berperan sebagai



Gambar 7. Hasil analisis SEM busa Poliuretan dari polioli *HMGMS*.

blowing agent (agent pengembang) sehingga menyebabkan diameter sel menjadi semakin besar.

KESIMPULAN

Turunan komponen kimia minyak sawit khususnya yang memiliki ikatan rangkap yaitu asam oleat, Gliserol Mono Oleat (GMO), 1,4-Butandiol Mono Oleat (BMO) dan *Refined Bleached Deodorized Palm Oil (RBDPO)* dapat dikonversi menjadi polioliol melalui reaksi epoksidasi dan hidrosilasi secara berkelanjutan. Produk poliuretan yang dihasilkan dari polioliol turunan minyak sawit dipengaruhi oleh struktur kimia polioliol turunan minyak sawit yang digunakan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Program Kompetitif LIPI 2014 atas dukungan finansial yang telah diberikan. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada saudari Yulianti Sampora yang telah membantu dalam pelaksanaan penelitian.

DAFTAR ACUAN

- [1] M. Ionescu, *Chemistry and technology of polyols for polyurethanes*. iSmithers Rapra Publishing, 2005.
- [2] T. Wang, L. Zhang, D. Li, J. Yin, S. Wu, and Z. Mao, "Mechanical properties of polyurethane foams prepared from liquefied corn stover with PAPI". *Bioresour. Technol.*, vol. 99, no. 7, pp. 2265-2268, 2008.
- [3] J. M. Cangemi, A. M. dos Santos, S. C. Neto, and G. O. Chierice, "Biodegradation of polyurethane derived from castor oil". *Polímeros*, vol. 18. scielo, pp. 201-206, 2008.
- [4] S. Dworakowska, D. Bogda, F. Zaccheria, and N. Ravasio, "The role of catalysis in the synthesis of polyurethane foams based on renewable raw materials". *Catal. Today*, vol. 223, pp. 148-156, 2014.
- [5] L. Ugarte, A. Saralegi, R. Fernández, L. Martín, M. A. Corcuera, and A. Eceiza, "Flexible polyurethane foams based on 100% renewably sourced polyols". *Ind. Crops Prod.* [doi:10.1016/j.indcrop.2014.09.028]
- [6] H. Fan, A. Tekeei, G. J. Suppes, and F.-H. Hsieh, "Properties of Biobased Rigid Polyurethane Foams Reinforced with Fillers: Microspheres and Nanoclay". *Int. J. Polym. Sci.*, vol. 2012, 2012.
- [7] U. Stirna, I. Sevastyanova, M. Misane, U. Cabulis, and I. Beverte, "Structure and properties of polyurethane foams obtained from rapeseed oil polyols." in *Proceedings-Estonian Academy of Sciences Chemistry*, vol. 55, no. 2, 2006, p. 101.
- [8] M. Zhang, H. Pan, L. Zhang, L. Hu, and Y. Zhou, "Study of the mechanical, thermal properties and flame retardancy of rigid polyurethane foams prepared from modified castor-oil-based polyols". *Ind. Crops Prod.*, vol. 59, no. 0, pp. 135-143, Aug. 2014.
- [9] G. Lligadas, J. C. Ronda, M. Galia, U. Biermann, and J. O. Metzger, "Synthesis and characterization of polyurethanes from epoxidized methyl oleate based polyether polyols as renewable resources". *J. Polym. Sci. Part A Polym. Chem.*, vol. 44, no. 1, pp. 634-645, 2006.
- [10] A. Zlataniã, C. Lava, W. Zhang, and Z. S. Petroviã, "Effect of structure on properties of polyols and polyurethanes based on different vegetable oils". *J. Polym. Sci. Part B Polym. Phys.*, vol. 42, no. 5, pp. 809-819, 2004.
- [11] S. Chuayjuljit, A. Maungchareon, and O. Saravari, "Preparation and Properties of Palm Oil-Based Rigid Polyurethane Nanocomposite Foams". *J. Reinf. Plast. Compos.*, vol. 29, no. 2, pp. 218-225, Jan. 2010.
- [12] A. A. Beltrán and L. A. Boyacá, "Production of rigid polyurethane foams from soy-based polyols". *Lat. Am. Appl. Res.*, vol. 41, no. 1, p. 75, 2011.
- [13] S. Tan, T. Abraham, D. Ference, and C. W. Macosko, "Rigid polyurethane foams from a soybean oil-based Polyol". *Polymer (Guildf.)*, vol. 52, no. 13, pp. 2840-2846, 2011.
- [14] E. Arianto, "Pertumbuhan Produksi Minyak Sawit Indonesia 1964-2007," *WordPress.com*, 2008. [Online]. Available: <http://strategika.wordpress.com/2008/12/05/pertumbuhan-sawit-indonesia/>. [Accessed: June 2014].
- [15] A. Azlan, K. N. Prasad, H. E. Khoo, N. Abdul-Aziz, A. Mohamad, A. Ismail, and Z. Amom, "Comparison of fatty acids, vitamin E and physicochemical properties of *Canarium odontophyllum* Miq. (dabai), olive and palm oils". *J. Food Compos. Anal.*, vol. 23, no. 8, pp. 772-776, Dec. 2010.