

**STUDI SINTESIS *FOAM* POLIURETAN DARI GLISEROL
MONOOLEAT**

HESTI PRIHASTUTI

0606040330



**DEPARTEMEN KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS INDONESIA
2008**

**STUDI SINTESIS *FOAM* POLIURETAN DARI GLISEROL
MONOOLEAT**

**Skripsi diajukan sebagai salah satu syarat
untuk memperoleh gelar Sarjana Sains**

Oleh:

HESI PRIHASTUTI

0606040330



DEPOK

2008

SKRIPSI : STUDI SINTESIS *FOAM* POLIURETAN DARI GLISEROL
MONOOLEAT

NAMA : HESTI PRIHASTUTI

NPM : 0606040330

SKRIPSI INI TELAH DIPERIKSA DAN DISETUJUI

DEPOK, November 2008

Dr. Emil Budianto
PEMBIMBING I

Dr. Eng. Agus Haryono
PEMBIMBING II

Tanggal lulus Ujian Sidang Sarjana :

Penguji I :

Penguji II :

Penguji III :

KATA PENGANTAR

Segala puji syukur bagi Allah SWT Rabb semesta alam. Atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulisan skripsi ini dapat dilaksanakan dengan baik. Shalawat dan salam tercurah kepada junjungan kita Nabi Muhammad SAW, kepada keluarga dan seluruh sahabatnya.

Skripsi penelitian ini berjudul : “Studi Sintesis *Foam* Poliuretan dari Gliserol Monooleat”, sebagai hasil dari penelitian di Laboratorium Kimia Polimer Bidang Teknologi Proses dan Katalis (BTPK), Pusat Penelitian Kimia LIPI Serpong.

Penelitian ini dibuat untuk melengkapi salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di Departemen Kimia FMIPA UI, Depok. Untuk itu Penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Dr. Emil Budiarto, selaku dosen pembimbing I. Terima kasih atas ilmu yang diberikan dalam membimbing penyusunan skripsi ini.
2. Bapak Dr. Eng. Agus Haryono, selaku pembimbing II di LIPI. Terima kasih atas kesempatan yang diberikan agar bisa melakukan penelitian di LIPI PUSPITEK, serta ilmu yang diberikan dalam membimbing penyusunan skripsi ini.
3. Orang tua, kakak dan adik yang telah banyak memberikan dorongan moril dan materiil.
4. Pak Edi Susilo, yang telah banyak membantu melaksanakan penelitian ini sehingga penelitian ini dapat selesai pada waktunya.

5. Teman-teman se-laboratorium polimer di LIPI PUSPITEK (mbak Yuli, mbak Evi, bu Dewi, mbak Mamik, mas Amal, mas Ghozali, Randi, pak Adi) yang telah banyak membantu melaksanakan penelitian ini.
6. Teman senasib dan sepejuangan penelitian, Ratih Andalusi dan Lukman, yang memberikan semangat dalam menghadapi penelitian.
7. Teman-teman di UI, Dila, Marni, Imel, Lia, Ina, Weri, Riza, Wulan, Puri, dan Cece, yang menghibur di kala menghadapi kesulitan penelitian.
8. Bapak Dr. Asep Saefumillah, S.Si. MSi. Selaku Koordinator Penelitian Departemen Kimia FMIPA UI, S-1 Ekstensi.
9. Seluruh dosen, staf dan karyawan Departemen Kimia FMIPA UI, Depok.

Serta semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu, yang telah membantu dan memberikan kesempatan, fasilitas, petunjuk dan bimbingan selama penyusunan skripsi penelitian ini.

Penulis menyadari bahwa penyusunan skripsi penelitian ini masih jauh dari sempurna sehingga kritik dan saran yang membangun sangat Penulis harapkan.

Akhir kata, Penulis berharap semoga skripsi ini bermanfaat bagi Penulis maupun bagi Pembaca.

Depok, November 2008

Penulis

ABSTRAK

Poliol yang digunakan tersebut merupakan jenis poliol hidroksi metoksi yang diperoleh melalui reaksi epoksidasi, hidroksilasi dan metoksilasi, yang dikenal sebagai poliol HMGMS. Proses pembuatan *foam* poliuretan dilakukan dengan mereaksikan poliol HMGMS dengan MDI (4,4'-metilen difenil diisosianat) melalui metode *one shoot process*. Hasil penelitian menunjukkan karakterisasi poliol HMGMS didapat bilangan iod 8,92 mg I₂/100 g dan bilangan hidroksi 122 mg KOH/ g sampel. Titik optimasi *foam* poliuretan perbandingan HMGMS dan MDI diperoleh pada perbandingan 1:3 dengan densitas *foam* sebesar 0,3026 g/ cm³. Pengaruh konsentrasi katalis (trietilen diamin) terhadap sifat struktur *foam* poliuretan menunjukkan dapat mempercepat pembentukan segmen keras lebih banyak, pengaruh konsentrasi surfaktan (silikon glikol) menunjukkan pembentukan rongga sel "close cell" yang makin stabil dengan ukuran sel yang seragam, dan pengaruh konsentrasi pemanjang rantai (*chain extender*) etilen glikol mempengaruhi pembentukan segmen lunak dengan memperpanjang rantai polimer. Didapatkan pula *foam* poliuretan yang semi rigid dari poliol HMGMS, sedangkan poliol PPG menghasilkan *foam* poliuretan yang fleksibel. Karakterisasi terhadap *foam* poliuretan dilakukan dengan menentukan densitas *foam*, kekerasan, analisa FTIR, dan SEM.

Kata Kunci : *foam* poliuretan, fleksibel, poliol, semi rigid.

xii + 89 hlm.;gbr.;lamp.;tab.

Bibliografi: 30 (1984-2008)

DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	i
ABSTRAK	iii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Tujuan Penelitian.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Polimer	6
2.2 Polioli.....	10
2.3 Isosianat	13
2.4 <i>Foam</i> Poliuretan	14
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	25
3.1 Alat dan Bahan.....	25

3.2	Cara Kerja	26
3.2.1	Sintesis Polioli HMGMS dari Gliserol	
	Monooleat (GMO)	26
	3.2.1.1 Analisa Bilangan Iod (AOAC, 1984).....	27
	3.2.1.2 Analisa Bilangan Hidroksil	
	(ASTM-D 4274-88).....	28
	3.2.1.3 Koreksi Keasaman atau Kebasaan	
	(ASTM- D 4274-88).....	29
3.2.2	Sintesis <i>Foam</i> Poliuretan	29
	3.2.2.1 Pengukuran Densitas	31
	3.2.2.2 Uji Kekerasan Polimer (<i>Hardness</i>).....	32
	3.2.2.3 Analisa FTIR	33
	3.2.2.4 Analisa SEM.....	33
BAB IV	HASIL DAN PEMBAHASAN.....	35
4.1	Sintesis Polioli HMGMS dari Gliserol	
	Monooleat (GMO)	35
	4.1.1 Analisa Bilangan Iod	39
	4.1.2 Analisa Bilangan Hidroksil	42
	4.1.3 Analisa FTIR.....	43
4.2	Sintesis <i>Foam</i> Poliuretan	46
	4.2.1 Sintesis <i>Foam</i> Poliuretan pada Variasi Berat	
	MDI.....	51
	4.2.2 Sintesis <i>Foam</i> Poliuretan pada Variasi	

	Konsentrasi Silikon Glikol	55
4.2.3	Sintesis <i>Foam</i> Poliuretan pada Variasi Konsentrasi Trietilen Diamin.....	58
4.2.4	Sintesis <i>Foam</i> Poliuretan pada Variasi Konsentrasi Etilen Glikol.....	62
4.2.5	Sintesis <i>Foam</i> Poliuretan pada Variasi Poliol.....	67
4.2.6	Analisa FTIR	70
BAB V	PENUTUP	74
5.1	Kesimpulan	74
5.2	Saran	75
DAFTAR PUSTAKA	76

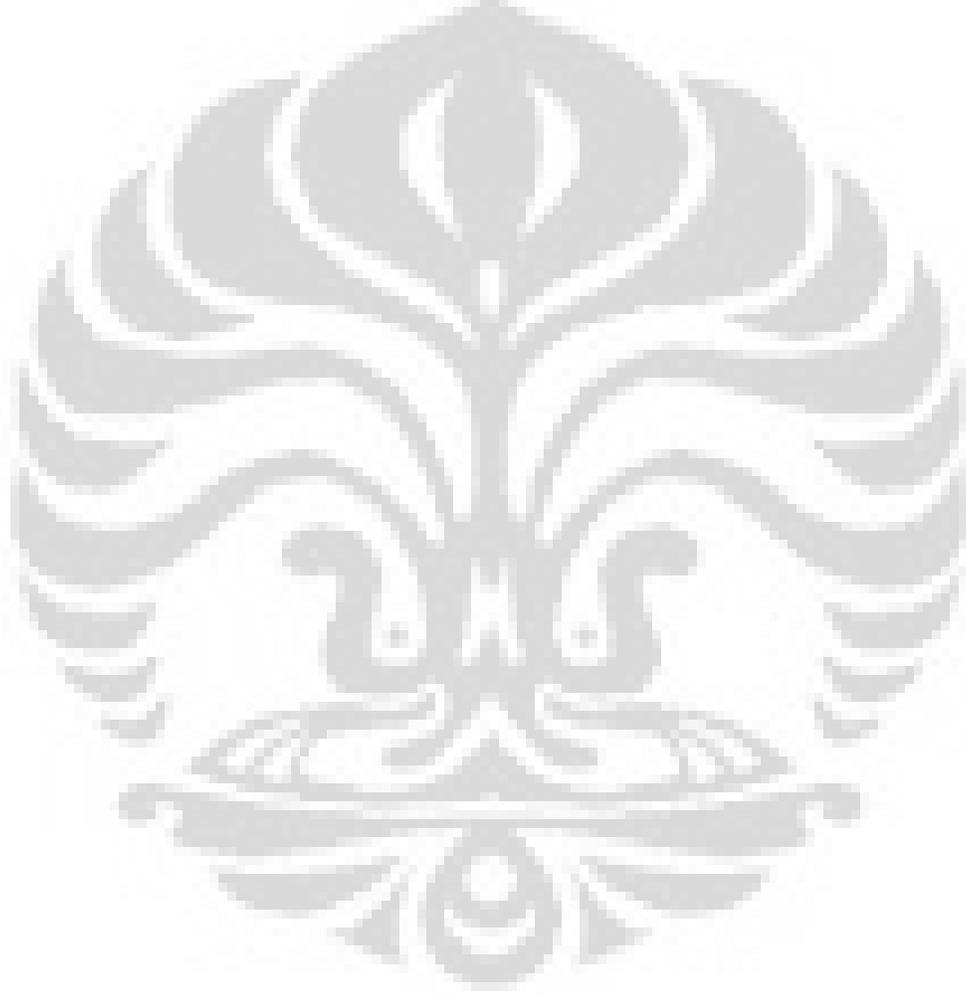
DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1	Struktur poliol 10
Gambar 2.2	Struktur polipropilen glikol 11
Gambar 2.3	Struktur 10-hidroksi-9-metoksi-gliseryl monostearat (HMGMS) 11
Gambar 2.4	Struktur toluena diisosianat (TDI) 13
Gambar 2.5	Struktur 4,4'-metilen difenil diisosianat (MDI) 13
Gambar 2.6	Reaksi sintesis poliuretan 15
Gambar 2.7	Reaksi sintesis poliuretan antara biskloroformat dengan diamin 16
Gambar 2.8	Reaksi sintesis poliuretan antara diisosianat dengan dihidroksi 17
Gambar 2.9	Struktur sel pada plastik berpori 18
Gambar 3.1	Alat <i>Rockwell type hardness</i> LABSCO (<i>Laboratory Supply Company Ollman & Co K6</i>) 32
Gambar 3.2	Alat <i>IR Prestige-21, Shimadzu (Fourier Transform Infrared Spectrophotometer)</i> 33
Gambar 3.3	Alat SEM (<i>Scanning Electron Microscope</i>) Hitachi TM-1000 34

Gambar 4.1	Reaksi pembentukan peroksiasetat.....	35
Gambar 4.2	Mekanisme pembentukan cincin epoksida	36
Gambar 4.3	Reaksi pembentukan cincin epoksida	36
Gambar 4.4	Mekanisme pembukaan cincin epoksida	37
Gambar 4.5	Reaksi hidrosilasi dan metoksilasi	37
Gambar 4.6	Epoksidasi dan hidrosilasi secara berkelanjutan terhadap gliserol monooleat	38
Gambar 4.7	Struktur 9,10-dihidroksi gliserol monostearat	39
Gambar 4.8	Kurva bilangan iod.....	41
Gambar 4.9	FTIR GMO	43
Gambar 4.10	FTIR polioliol HMGMS	45
Gambar 4.11	Mekanisme transfer elektron pada reaksi isosianat dan polioliol untuk membentuk poliuretan.....	46
Gambar 4.12	Reaksi pembentukan gas CO ₂ dan ikatan urea.....	49
Gambar 4.13	Pengaruh berat isosianat pada densitas <i>foam</i>	52
Gambar 4.14	Pengaruh berat MDI terhadap struktur morfologi sel <i>foam</i> poliuretan.....	53
Gambar 4.15	Pengaruh berat MDI terhadap kekerasan.....	54
Gambar 4.16	Reaksi antara polioliol HMGMS dengan MDI.....	54
Gambar 4.17	Pengaruh konsentrasi silikon glikol terhadap densitas <i>foam</i> poliuretan	56
Gambar 4.18	Pengaruh konsentrasi silikon glikol terhadap struktur morfologi sel <i>foam</i> poliuretan	57

Gambar 4.19	Pengaruh konsentrasi silikon glikol terhadap kekerasan <i>foam</i> poliuretan.....	58
Gambar 4.20	Pengaruh konsentrasi trietilen diamin terhadap densitas <i>foam</i> poliuretan	60
Gambar 4.21	Pengaruh konsentrasi trietilen diamin terhadap kekerasan <i>foam</i> poliuretan	60
Gambar 4.22	Pengaruh konsentrasi trietilen diamin terhadap struktur morfologi sel <i>foam</i> poliuretan	61
Gambar 4.23	Mekanisme katalis tertier diamin pada reaksi <i>foam</i> poliuretan.....	62
Gambar 4.24	Pengaruh konsentrasi trietilen diamin terhadap densitas <i>foam</i> poliuretan	64
Gambar 4.25	Pengaruh konsentrasi trietilen diamin terhadap kekerasan <i>foam</i> poliuretan	64
Gambar 4.26	Pengaruh konsentrasi etilen glikol terhadap struktur morfologi sel <i>foam</i> poliuretan	65
Gambar 4.27	Mekanisme pemanjangan rantai (<i>chain extender</i>) pada pembuatan <i>foam</i> poliuretan	65
Gambar 4.28	Reaksi antara polioli HMGMS dan MDI dengan etilen glikol.....	66
Gambar 4.29	Reaksi pembentukan <i>foam</i> poliuretan dari polioli PPG dengan MDI	67

Gambar 4.30	Struktur morfologi sel <i>foam</i> poliuretan yang berasal dari poliol HMGMS dan poliol PPG.	69
Gambar 4.31	FTIR <i>foam</i> poliuretan (HMGMS: MDI=1:1)	70
Gambar 4.32	Spektrum FTIR pengaruh konsentrasi etilena glikol pada <i>foam</i> poliuretan: a) 1 pphp, b) 3 pphp, c) 6 pphp.....	72



DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 3.1 Perbandingan polioliol HMGMS dengan berat 4,4'-metilen difenil isosianat (MDI).....	30
Tabel 3.2 Variasi konsentrasi silikon glikol	30
Tabel 3.3 Variasi konsentrasi trietilen diamin	31
Tabel 3.4 Variasi konsentrasi etilen glikol.....	31
Tabel 4.1 Data konversi bilangan iod proses produksi polioliol HMGMS	41
Tabel 4.2 Hasil frekuensi gugus fungsi pada FTIR GMO dan polioliol HMGMS	44
Tabel 4.3 Hasil <i>foam</i> poliuretan dengan perbandingan polioliol HMGMS dengan berat MDI	51
Tabel 4.4 Hasil <i>foam</i> poliuretan dengan variasi konsentrasi silikon glikol	55
Tabel 4.5 Hasil <i>foam</i> poliuretan dengan variasi konsentrasi trietilen diamin	58
Tabel 4.6 Foam poliuretan dengan variasi konsentrasi etilen glikol	62
Tabel 4.7 Perbandingan <i>foam</i> poliuretan dari polioliol HMGMS dan polioliol PPG	67
Tabel 4.8 Kisaran frekuensi gugus fungsi pada FTIR <i>foam</i> poliuretan	71

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1 Perhitungan Bahan.....	81
Lampiran 2 Gambar reaktor polioliol dan polioliol hasil sampling.....	83
Lampiran 3 <i>Foam</i> poliuretan perbandingan polioliol HMGMS dengan berat MDI.....	84
Lampiran 4 <i>Foam</i> poliuretan variasi surfaktan (silikon glikol).....	85
Lampiran 5 <i>Foam</i> poliuretan variasi (etilen glikol).....	86
Lampiran 6 <i>Foam</i> poliuretan variasi katalis (trietilen diamin).....	87
Lampiran 7 <i>Foam</i> poliuretan dari polioliol HMGMS dengan polioliol PPG	88
Lampiran 8 <i>Foam</i> poliuretan dalam cetakan botol tertutup	89

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Polimer merupakan makromolekul yang dibangun oleh unit - unit molekul sederhana yang tersusun secara berulang-ulang. Polimer pada dasarnya terdiri dari dua jenis yaitu polimer alam dan polimer buatan (sintetik). Contoh dari polimer alam adalah selulosa, pati, dan protein. Kini telah banyak dilakukan pembuatan polimer sintetik untuk mendapatkan polimer-polimer dengan sifat-sifat fisika dan kimia yang diinginkan. Tidak heran jika penggunaan polimer alam tersaingi oleh polimer sintetik. Salah satu jenis polimer sintetik yang banyak digunakan saat ini adalah *foam* poliuretan.

Poliuretan adalah polimer dengan gugus fungsional uretan (-NHCOO). Poliuretan ditemukan oleh Otto Bayer dan telah dihasilkan sejak perang dunia II yang dikenal sebagai polimer yang memiliki banyak aplikasi dalam kehidupan sehari-hari diantaranya yaitu untuk furnitur, karpet, pengemasan, tekstil, bahan isolasi panas pada pipa, peredam suara, sebagai bahan pelapis, *foam*, komponen otomotif dan lain-lain. Selama ini polioliol yang digunakan sebagai bahan baku untuk pembuatan poliuretan sebagian besar berasal dari polioliol petrokimia seperti polipropilen glikol (PPG), polietilen glikol dan lain-lain. Seiring dengan meningkatnya kebutuhan akan petrokimia namun persediaannya yang

semakin berkurang, maka perlu adanya suatu alternatif pencarian sumber daya alam terbarukan yang dapat menggantikan petrokimia, dalam hal ini khususnya sumber daya alam yang digunakan untuk menghasilkan polioliol. Sebagai alternatif, maka penelitian-penelitian dalam pengembangan sintesis polioliol pun dilakukan dengan menggunakan sumber minyak nabati atau oleokimia yang dapat menggantikan peran polioliol petrokimia.

Minyak nabati merupakan sumber yang dapat diperbaharui untuk industri kimia dan aplikasi polimer. Dari beberapa hasil penelitian tentang pengembangan poliuretan dari minyak nabati yang telah dilakukan dalam *US Patent 6,107,433* disebutkan bahwa jenis minyak nabati yang dapat digunakan untuk pembuatan polioliol diantaranya yaitu minyak kedelai (*soybean oil*), *safflower oil*, minyak bunga matahari (*sunflower oil*), minyak lobak (*rape seed oil*), minyak sawit, minyak wijen, minyak zaitun, minyak kanola, minyak jagung, dan lain-lain, dengan cara merubah ikatan rangkap pada molekul minyak nabati menjadi gugus hidroksil. Minyak nabati dapat digunakan sebagai sumber bahan baku pembuatan polioliol karena mengandung sejumlah asam lemak atau trigliserida tak jenuh (ikatan rangkap) yang memungkinkan untuk dapat dikonversi menjadi gugus lain yang lebih reaktif yaitu epoksi dan hidroksil. Minyak nabati umumnya tidak reaktif, sehingga harus direaksikan dengan suatu gugus fungsi untuk dapat membentuk suatu polimer. Proses pembuatan polioliol sebagai bahan baku *foam* poliuretan dari turunan minyak sawit dilakukan melalui dua tahap reaksi berkelanjutan yaitu epoksidasi, dan hidroksilasi atau alkoksilasi. Gugus hidroksil berikatan pada karbon C asam lemak yang

berikatan rangkap, kemudian melalui proses epoksidasi, hidroksilasi atau alkoksilasi membentuk polioliol yang dapat diaplikasikan dalam sintesis *foam* poliuretan (Zlatanik et al, 2004). Penelitian ini dilakukan untuk mendapatkan bahan polioliol alternatif untuk polimerisasi poliuretan dari turunan minyak sawit. Salah satu komponen minyak sawit adalah berupa olein yang dapat digunakan sebagai bahan mentah untuk penyediaan polioliol. Asam oleat atau trigliserida asam oleat yang dihasilkan inilah yang akan direaksikan dengan gliserol untuk membentuk gliserol monooleat yang kemudian dirubah menjadi polioliol melalui proses epoksidasi, hidroksilasi dan alkoksilasi.

Reaksi polimerisasi poliuretan terjadi karena proses kondensasi senyawa dihidroksi ke senyawa diisosianat, atau senyawa polioliol ke senyawa poliisosianat. Polioliol adalah suatu polimer atau monomer dengan dua gugus fungsi hidroksil atau lebih.

Beberapa Jenis polioliol yang telah berhasil disintesa pada penelitian sebelumnya diantaranya yaitu 9,10-dihidroksi asam stearat (DHAS), 10-hidroksi-9-metoksi-gliserol monostearat (HMGMS), 10-hidroksi-9-metoksi-butana monostearat (HMBMS), propana-1,2,3 triil tris (10-hidroksi-9-metoksi oktadekanoat), dan poliester polioliol dari monomer 10-hidroksi-9-metoksi asam stearat. Hasil polimerisasi antara isosianat dengan polioliol tersebut cenderung berbentuk rigid *foam* poliuretan, dengan hasil terbaik diberikan oleh hasil polimerisasi antara polioliol dengan isosianat dari 10-hidroksi-9-metoksi-gliserol monostearat (HMGMS).

Metode yang paling umum dalam pembuatan *foam* poliuretan adalah mencampur polioliol dengan penambahan aditif diantaranya surfaktan, katalis, bahan pengembang (*blowing agent*), pemanjangan rantai (*chain extender*), dan kemudian diikuti dengan pencampuran diisosiyanat (MDI atau TDI). Formulasi masing-masing aditif juga mempengaruhi hasil akhir dari *foam* poliuretan, sehingga dalam penelitian ini dilakukan variasi penambahan aditif untuk melihat pengaruhnya terhadap busa poliuretan yang dihasilkan. Pada umumnya bahan pengembang (*blowing agent*) yang banyak digunakan adalah *hydrochlorofluorocarbon (HCFC)*, *clorofluorocarbon (CFC)* dan senyawa organik yang mudah menguap seperti metilen klorida.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, dapat dirumuskan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana kondisi optimum pembuatan *foam* poliuretan dari polioliol HMGMS yang disintesis dari gliserol monooleat yang berasal dari oleokimia bila dibandingkan dengan *foam* poliuretan yang berasal dari petrokimia?
2. Dimana letak titik optimasi perbandingan polioliol HMGMS dengan MDI terhadap *foam* poliuretan?
3. Bagaimana pengaruh penambahan variasi aditif (surfaktan dan katalis) dan pemanjangan rantai (*chain extender*) terhadap *foam* poliuretan yang dihasilkan?

1.3 Tujuan Penelitian

Secara umum, tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui reaksi pembuatan polioliol dari gliserol monooleat dalam sintesis *foam* poliuretan.

Sedangkan secara spesifik tujuan dari penelitian ini adalah: 1) untuk mengetahui hasil karakterisasi sintesis polioliol HMGMS pada kondisi optimum dalam sintesis *foam* poliuretan, 2) untuk melihat titik optimasi perbandingan polioliol HMGMS dengan 4,4'-metilen difenil diisosianat (MDI) terhadap *foam* poliuretan, 3) untuk melihat pengaruh variasi penambahan aditif (surfaktan dan katalis) dan pemanjangan rantai (*chain extender*) terhadap *foam* poliuretan yang dihasilkan, dan 4) untuk membandingkan hasil sintesis *foam* poliuretan yang berasal dari polioliol HMGMS yang berasal dari minyak nabati dengan polioliol polipropilen glikol (PPG) yang berasal dari petrokimia.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Polimer

Polimer merupakan senyawa makromolekul yang tersusun dari molekul sederhana yang disebut monomer. Nama itu diturunkan dari bahasa Yunani *poly* yang berarti "banyak" dan *mer* yang berarti "bagian". Jika hanya ada beberapa unit monomer yang tergabung bersama, maka akan dihasilkan polimer dengan berat molekul rendah yang biasa disebut *oligomer*.

Pengulangan dari ikatan unit-unit monomer yang cukup panjang membuat polimer memiliki berat molekul yang sangat besar. Polimerisasi merupakan proses pembuatan polimer. Bila polimer dipreparasi dari monomer tunggal, produk yang dihasilkan berupa homopolimer dan prosesnya dinamakan homopolimerisasi. Bila polimer yang dihasilkan berasal lebih dari satu jenis monomer, maka produknya adalah kopolimer sedangkan proses pembentukannya dinamakan kopolimerisasi (Pratomo, 2007).

- Klasifikasi Polimer Berdasarkan Jenis Monomer Penyusunnya

- a. Homopolimer, yaitu polimer yang dipreparasi dari monomer tunggal.



- b. Kopolimer, yaitu polimer yang terbentuk dari lebih dari satu monomer.

Terdapat beberapa jenis kopolimer yaitu:

- kopolimer acak (random) yaitu susunan monomer yang acak dan tidak teratur

-A-A-A-B-A-B-B-A-B-A

- kopolimer alternasi yaitu dua unit struktur berselang seling dalam susunan linear

-A-B-A-B-A-B-A-B-A-

- kopolimer blok yaitu kombinasi monomer dalam bentuk blok yang muncul secara bersamaan

-A-A-A-A-B-B-B-B-A-A

- kopolimer cangkok (graft) yaitu kombinasi monomer dalam susunan blok tapi non linear

-A-A-A-A-A-A-A-A-A

|

B

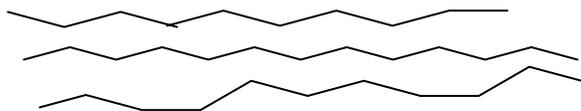
|

B-B-B-B-B-B-B-

Struktur dari polimer dibagi menjadi tiga kelompok yaitu :

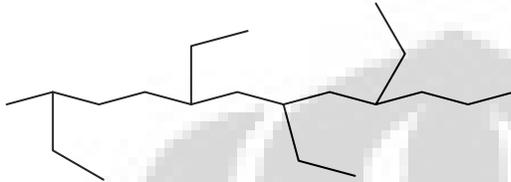
a. Polimer rantai lurus

Jenis polimer ini memiliki monomer-monomer yang terikat rantai panjang dan lurus tanpa adanya cabang pada utamanya. Umumnya sifat polimer rantai lurus elastis atau memiliki kelenturan yang tinggi.



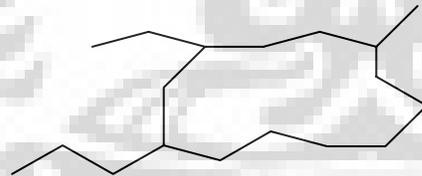
b. Polimer rantai cabang

Jenis polimer ini memiliki cabang pada rantai utamanya. Cabang juga merupakan pengulangan dari beberapa unit monomer. Sifatnya kurang elastis dibandingkan dengan polimer rantai lurus.



c. Polimer jaringan

Jenis polimer ini memiliki beberapa rantai utama yang saling berikatan satu sama lainnya. Polimer jaringan disebut polimer ikat silang. Karena adanya ikat silang, maka polimer ini bersifat rigid dan kaku, tidak elastis seperti 2 jenis struktur di atas.



Mekanisme reaksi polimerisasi ada dua jenis yaitu reaksi bertahap dan reaksi berantai. Reaksi bertahap sering disebut dengan reaksi kondensasi, sedangkan reaksi berantai disebut juga reaksi adisi.

a. Reaksi Kondensasi

Polimerisasi kondensasi berlangsung antara molekul polifungsional yaitu molekul yang mengandung dua atau lebih gugus fungsional yang reaktif. Polimer ini akan menghasilkan satu molekul besar (*condensing*). Hasil reaksi kondensasi masih mengandung gugus fungsi komplementer. Sehingga reaksi dapat terus berlanjut untuk menghasilkan polimer sampai salah satu pereaksi habis.

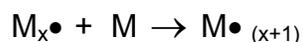
b. Reaksi Adisi

Reaksi ini disebut juga sebagai polimerisasi reaksi berantai karena dalam prosesnya terjadi serangkaian reaksi berurutan yang terus berulang sampai salah satu atau kedua pereaksi habis dipakai. Reaksi ini berlangsung dengan penambahan monomer satu persatu. Polimerisasi reaksi berantai ini awalnya terjadi karena adanya suatu radikal yang ditambahkan dalam sistem. Polimerisasi terjadi pada ujung reaktif dari suatu rantai tumbuh. Tahapan dari polimerisasi berantai ada tiga yaitu :

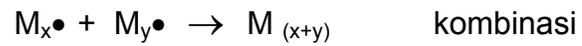
I. Inisiasi



II. Propagasi

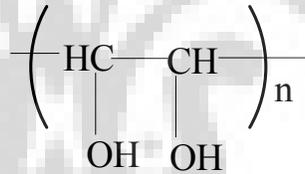


III. Terminasi



2.2 Poliol

Poliol atau polialkohol adalah suatu polimer atau monomer dengan dua gugus fungsi hidroksi atau lebih. Polimer poliol dapat berupa polieter seperti polietilen glikol, dan polipropilen glikol. Polimer dapat juga berupa poliester seperti HMGMS (Wikipedia *the free encyclopedia*, 2008).



Gambar 2.1 Struktur poliol

mengandung atom hidrogen aktif. Reaktan yang biasa digunakan yaitu alkohol polifungsional atau poliol yang direaksikan dengan isosianat menghasilkan ikatan karbamat atau uretan.

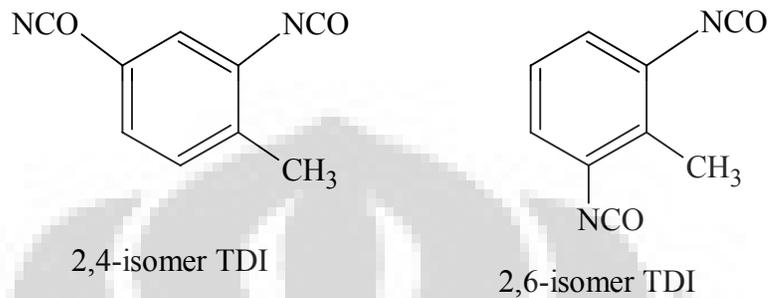
Poliol polieter dibuat dari reaksi epoksida (oksiran) dengan senyawa molekul yang mengandung gugus hidrogen aktif, atau poliol poliester yang dibuat dari polikondensasi senyawa multifungsional asam karboksilat dan hidroksil. Polioli tersebut diklasifikasikan sesuai dengan kegunaannya sebagai polioli untuk fleksibel atau rigid tergantung dari fungsional dan berat molekulnya. Polioli fleksibel mempunyai berat molekul 2000 -10.000 (bilangan hidroksi dari 18-56 mg KOH/g), sedangkan polioli yang rigid mempunyai berat molekul 250–700 (bilangan hidroksi dari 300-700 mg KOH/g). Polioli yang sedikit keras (semi rigid) mempunyai berat molekul 700-2000 (bilangan hidroksi 60-280 mg KOH/g) (Wikipedia *the free encyclopedia*, 2008).

Secara kimia, polieter polioli kurang sensitif untuk dihidrolisis daripada poliester. Harga polieter polioli juga lebih mahal untuk digunakan dalam sintesis poliuretan yang rigid. Tetapi poliester polioli kurang tahan terhadap serangan mikroba daripada polieter polioli (Klempner, 1991).

2.3 Isosianat

Senyawa isosianat merupakan salah satu bahan baku dalam reaksi kondensasi membentuk poliuretan, suatu termoplastik polimer. Jenis isosianat yang sering digunakan dalam sintesis poliuretan adalah toluene diisosianat (TDI), dan 4,4'-metilen difenil diisosianat (MDI) (Dieterich, 1994). Isosianat

akan bereaksi dengan hidrogen aktif, isosianat akan bereaksi dengan air menghasilkan urea dan gas CO₂ yang juga akan bereaksi dengan polietilamin membentuk poliurea (Wikipedia *the free encyclopedia*, 2008).



Gambar 2.4 Struktur toluena diisosianat (TDI)



Gambar 2.5 Struktur 4,4'-metilen difenil diisosianat (MDI)

Isosianat aromatik lebih reaktif dibanding isosianat alifatik. Struktur kedua jenis ini menentukan kekakuan (rigiditas) dari molekul poliuretan. Isosianat alifatik membuat poliuretan lebih fleksibel, sedangkan isosianat aromatik membuat poliuretan lebih rigid (Dieterich, 1994). Isosianat alifatik biasanya digunakan untuk produk akhir, misalnya untuk elastomer (Wikipedia *the free encyclopedia*, 2008).

TDI biasanya merupakan campuran 80% isomer 2,4 dan 20% isomer 2,6, TDI biasanya dipilih untuk busa fleksibel, sedangkan busa rigid biasanya dipakai 4,4'-metilen difenil diisosianat (MDI).

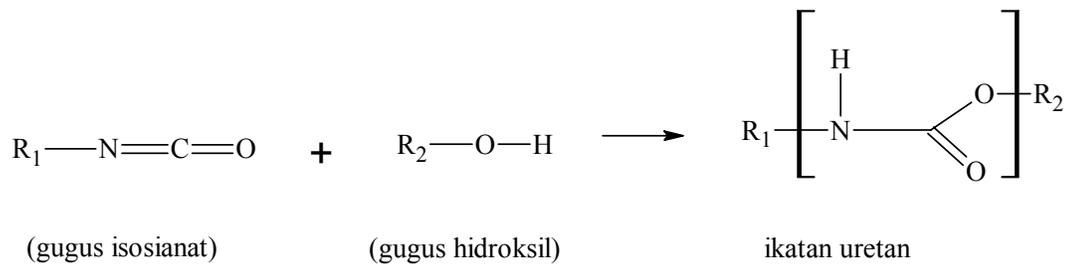
Rigid *foam* dengan menggunakan MDI memberikan stabilitas termal dan resisten terhadap pembakaran yang lebih baik dibandingkan dengan TDI (Wikipedia *the free encyclopedia*, 2008).

2.4 Foam Poliuretan

Polimer poliuretan dibentuk dari reaksi monomer yang mengandung sedikitnya dua gugus fungsional isosianat dengan monomer yang mengandung sedikitnya dua gugus alkohol dengan kehadiran katalis (Wikipedia *the free encyclopedia*, 2008).

Gugus isosianat (-NCO) merupakan gugus yang sangat reaktif dan dapat membentuk uretan dengan alkohol. Poliuretan dipakai dalam berbagai aplikasi, termasuk serat, bahan perekat, pelapis, elastomer, dan busa-busa yang fleksibel dan kuat (Coward, 1991).

Poliuretan dibuat dengan mereaksikan molekul yang memiliki gugus isosianat dengan molekul yang memiliki gugus hidroksil. Dengan demikian, jenis dan ukuran setiap molekul pembentuk akan memberikan sumbangan terhadap sifat poliuretan yang terbentuk. Hal inilah yang membuat poliuretan menjadi polimer yang sangat luas pemakaiannya baik dalam sifat mekanik maupun aplikasinya (Nazaruddin, 2001),



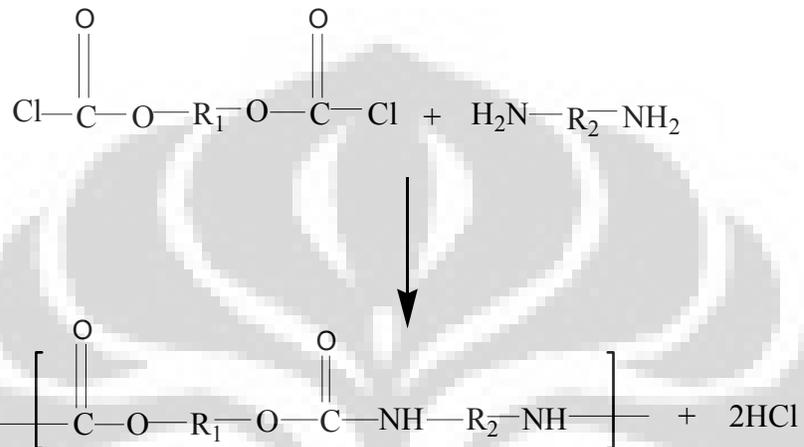
Gambar 2.6 Reaksi sintesis poliuretan

Menurut Nazaruddin (2001), nama poliuretan sebenarnya mengandung kerancuan. Seharusnya polimer adalah monomer yang bereaksi membentuk rantai, tetapi poliuretan bukan terdiri dari monomer uretan, melainkan suatu polimer yang terdiri dari pengulangan ikatan uretan.

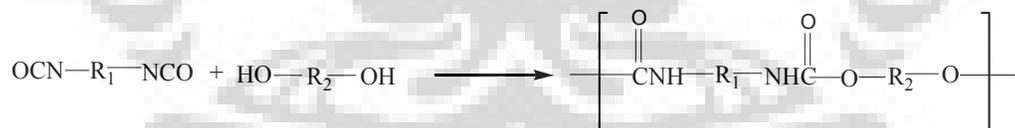
Poliuretan diproduksi dengan mereaksikan diisosianat baik aromatik maupun alifatik dengan polioliol, khususnya polietilen glikol atau poliester polioliol dengan menggunakan katalis atau bahan yang dapat mengontrol struktur sel pada busa atau *foam*. Poliuretan dapat dibuat dengan densitas dan kekerasan yang berbeda sesuai dengan tipe monomer yang digunakan dan penambahan bahan lain untuk memodifikasi sifat-sifatnya, khususnya densitas atau penampilannya. Bahan aditif juga dapat digunakan untuk memperbaiki sifatnya yang mudah terbakar, stabil dalam lingkungan kimia yang sukar atau sifat-sifat lain dari produk poliuretan (Wikipedia *the free encyclopedia*, 2008).

Ada dua metode pembuatan poliuretan : reaksi biskloroformat dengan diamin dan reaksi diisosianat dengan senyawa-senyawa dihidroksi. Poliuretan linier biasanya dipreparasi dalam larutan karena polimer ini cenderung

berdisosiasi menjadi alkohol dan isosianat atau terdekomposisi menjadi amin, dan karbondioksida pada suhu tinggi yang diperlukan untuk polimerisasi leburan. Polimerisasi leburan berlaku untuk poliuretan yang dipreparasi dengan diisosianat aromatik. (Steven, 2001).



Gambar 2.7 Reaksi sintesis poliuretan antara biskloroformat dengan diamin



Gambar 2.8 Reaksi sintesis poliuretan antara diisosianat dengan dihidroksi

Meskipun sifat-sifat poliuretan hanya terbatas pada penggunaan polioliol, diisosianat juga dapat sedikit berpengaruh. Kecepatan awetnya dipengaruhi oleh reaktifitas gugus fungsi dan jumlah gugus isosianat. Sifat – sifat mekanik dipengaruhi oleh fungsionalitas dan bentuk molekuler. Penggunaan diisosianat

hanya mempengaruhi stabilitas poliuretan terhadap cahaya. Poliuretan yang dibuat dengan diisocianat aromatik berwarna kuning karena kurang tahan terhadap cahaya, sedangkan jika dengan diisocianat alifatik akan lebih stabil (Wikipedia *the free encyclopedia*, 2008).

Banyak dari produksi poliuretan melibatkan pemakaian poliester-poliester berujung hidroksi dengan berat molekul rendah atau polieter-polieter sebagai monomer dihidroksi. Kopolimer yang fleksibel dari tipe ini tidak hanya bermanfaat sebagai serat tetapi bisa juga dikonversikan menjadi elastomer – elastomer yang terikat silang lewat reaksi lebih lanjut dengan diisocianat berlebih, suatu reaksi adisi yang melibatkan nitrogen dari ikatan uretan (Steven, 2001).

Foam Poliuretan diklasifikasikan ke dalam 3 tipe, yaitu *foam* (busa) fleksibel, *foam* rigid dan *foam* semi rigid. Perbedaan sifat fisik dari 3 tipe poliuretan *foam* tersebut berdasarkan kepada perbedaan berat molekul dengan berat dan fungsionalitas polioliol juga tipe dan fungsionalitas isocianat (Cheremisinoff, 1989).

Berdasarkan struktur selnya, *foam* dibedakan menjadi dua, yaitu tipe sel tertutup dan sel terbuka. Sel tertutup (*closed cell*) merupakan sel-sel yang terpisah sehingga fase gas pada satu sel tidak dapat berhubungan dengan fase gas pada sel lainnya. Apabila sel-sel tersebut saling berhubungan sehingga gas dapat lewat dari satu sel ke sel yang lainnya, maka dikatakan sebagai sel

terbuka (*opened cell*) . Struktur sel terbuka dan sel tertutup tampak seperti pada gambar dibawah ini:



(a)

(b)

Gambar 2.9 Struktur sel pada plastik berpori (a) sel terbuka ; (b) sel tertutup

(dikutip dari *Training Plastic Technology,*

Michaeli/reif/Kaufmann/Vossebergürger,Hanser Publishers).

Foam dengan struktur sel tertutup merupakan jenis *rigid foam* sedangkan *foam* dengan struktur terbuka adalah *foam* fleksibel.

Foam-foam dapat dibuat dengan menggunakan polioliol dengan berat dan fungsionalitas yang tepat, dan poliisosianat akan bereaksi dengan polioliol untuk membentuk poliuretan *foam*. Poliuretan yang lembut, elastis dan flexibel dihasilkan jika dua gugus fungsi polietilen glikol yang biasa disebut polieter polioliol digunakan untuk menghubungkan uretan. Strategi ini digunakan untuk membuat serat elastomer spandex dan bagian karet yang lembut seperti karet *foam*. Sedangkan produk poliuretan yang keras dihasilkan jika polifungsional polioliol digunakan (Wikipedia *the free encyclopedia*, 2008)

Menurut Steven (2001), busa-busa polimer dibuat dalam berbagai cara yang tergantung pada jenis polimer yang digunakan dan aplikasinya. Untuk polimer – polimer seperti polistirena, bahan pengembang (*blowing agent*)

dipakai untuk menghasilkan busa. Poliuretan yang berbeda sesuai produk sampingan karbondioksida merupakan bahan kunci dalam proses pembusaan. Pada salah satu metode, prapolimer yang berujung isosianat dengan berat molekul rendah dibusakan lewat penambahan air yang menimbulkan kenaikan berat molekul lewat pembentukan gugus – gugus urea dengan melepaskan karbondioksida secara simultan. Ketika gas yang berkembang tersebut menyebabkan polimer membusa, reaksi polimerisasinya menaikkan viskositas dan membentuk busa sebelum pecah.

Busa-busa yang fleksibel biasanya dipreparasi dari poliester atau polieter dihidroksi. Sedangkan busa yang kuat dari prapolimer polihidroksi. Busa yang kuat kadang-kadang dipreparasi tanpa air dengan mereaksikan prapolimer berujung hidroksil dengan diisosianat menggunakan bahan pengembang (*blowing agent*).

Foam atau busa didefinisikan sebagai substansi yang dibentuk dengan menjebak gelembung gas di dalam cairan atau padatan. Seringkali orang menyebutnya dengan poliuretan *foam*, *rubber foam*, *styrofoam* atau bentuk *foam* lainnya yang sering digunakan. Sejak 20 tahun yang lalu, jenis *foam* padatan mulai digunakan. Rendahnya densitas pada *foam* tersebut yang menjadikannya sebagai insulator dan alat flotasi yang baik. Bentuknya yang padat dan terang membuatnya ideal sebagai pack dan bahan pengisi. Beberapa *foam* cairan hanya dapat ditemukan pada pemadam api, khususnya api yang disebabkan oleh minyak (Tuduri, 2006)

Menurut Cowd (1991), busa poliuretan dapat dibentuk bila secara serentak dibuat polimer poliuretan dan suatu gas. Jika proses ini seimbang, gelembung gas terjebak dalam kisi-kisi polimer yang terbentuk, sehingga terbentuk busa. Busa yang kenyal dan busa yang kaku juga dapat dibentuk. Busa yang sedikit bersambung-silang bersifat kenyal, sedangkan busa yang banyak bersambung-silang bersifat kaku. Dalam pembentukan busa kenyal, dua reaksi terjadi serentak.

Diisosianat + polioliol \rightarrow poliuretan

Diisosianat + air \rightarrow karbondioksida

Reaksi kedua menghasilkan gas karbondioksida sebagai zat pengembang. Busa kenyal dapat berbahan dasar poliester atau polieter. Polioliol adalah poliester bermassa molekul nisbi rendah atau polieter yang mengandung gugus hidroksil pada ujungnya. Karbondioksida dapat juga digunakan untuk membuat busa kaku, tetapi biasanya digunakan alkana berhalogen yang bertitik didih rendah seperti CFC. Cairan ini tidak terlibat dalam reaksi kimia, tetapi mudah menguap oleh bahang polimerisasi, dan kemudian mengembangkan busa.

Poliuretan *foam* biasanya dibuat dengan menambahkan sedikit bahan-bahan volatil yang dinamakan sebagai bahan pengembang (*blowing agent*) untuk mereaksikan campuran. Aseton, metilen klorida dan beberapa kloroflourokarbon (CFC₃) sering digunakan sebagai bahan pengembang (*blowing agent*) pada pembuatan poliuretan (Klempner, 2001).

Terdapat dua sistem yang dapat digunakan untuk membentuk poliuretan yaitu :

- a. Sistem *one-step (one-shot process)* adalah semua bahan baku untuk menghasilkan polimer dicampur bersama-sama.
- b. Sistem *two-step (prepolymer process)*, komponen polioliol direaksikan dengan poliisosianat untuk membentuk prepolimer dengan gugus akhir isosianat, proses ini yang disebut prepolimer, dan masih terdapat isosianat yang berlebih. Campuran prepolimer direaksikan dengan diol atau diamine sebagai pemanjang rantai (*chain extender*).

Pemilihan sistem untuk pembentukan poliuretan, didasarkan kepada properti polimer yang diinginkan. Sistem *two-step* dapat menghasilkan struktur yang lebih beraturan daripada sistem *one-step*, karena pada sistem *two-step* terbentuk oligomer dimana gugus polioliol ditutup dengan diisosianat. Oligomer-oligomer yang terbentuk kemudian saling dihubungkan dengan menggunakan pemanjang rantai (*chain extender*). Dengan demikian rantai polimer akan memiliki susunan keras-lunak-keras (*hard-soft-hard*) yang lebih teratur dibandingkan dengan distribusi segmen keras (*hard segment*) yang acak pada sistem *one-step*. Sistem *one-step* umumnya digunakan dalam pembentukan *foam* poliuretan, sedangkan sistem *two-step* diaplikasikan pada produksi elastomer (Feng,1998).

Beberapa bahan tambahan lainnya yang dibutuhkan untuk membentuk *foam* poliuretan,diantaranya:

1. Bahan pengembang (*blowing agent*)

Menurut Steven (2001), bahan pengembang (*blowing agent*) terbagi menjadi dua. (1) *Blowing agent* fisika : gas-gas (udara, nitrogen atau karbondioksida) yang oleh tekanan larut dalam polimernya. (2) *Blowing agent* kimia yang terurai oleh pemanasan untuk melepaskan gas, contohnya cairan bertitik didih rendah seperti metilen klorida, aseton, dan CFC_3 .

2. Katalis

Katalis poliuretan diklasifikasikan menjadi dua katagori yaitu senyawa amina dan kompleks organologam.

- a. Tertier amina, fungsinya untuk mempercepat reaksi isosianat-air dan reaksi isosianat-poliol. Contoh trietilamin, trietilen diamine, dll
- b. Organologam, sebagai katalis yang kuat untuk reaksi isosianat-poliol. Contoh : *stannous oleate*, dan *stannous octoate*.

3. Surfaktan

Digunakan sebagai *foam stabilizer* untuk menstabilkan struktur gelembung-gelembung (*bubbles*) yang terbentuk dengan menjadikan sedikit viskos sampai kekakuan (*rigidity*) sel mengatur struktur *foam*.

Fungsi surfaktan, diantaranya:

- Untuk menurunkan tegangan permukaan antara liquid-liquid atau liquid-solid
- Mencampur komponen-komponen yang saling tak larut
- Memperbaiki penampilan struktur sel
- Untuk stabilisasi ekspansi *foam* saat mengembang

- Pengontrol ukuran sel
- Menghasilkan tipe struktur sel yang diinginkan seperti sel terbuka (*open cell*) atau sel tertutup (*closed cell*).

Jenis surfaktan yang biasa dipakai adalah tipe silikon glikol. Dengan variasi tipe dan banyaknya material yang digunakan, maka dapat mempengaruhi properti seperti densiti, kandungan dari sel terbuka atau sel tertutup.

4. Pemanjang rantai (*chain extender*)

Pemanjang rantai berperan penting dalam mengatur morfologi poliuretan fiber, integral skin mikroseluler *foam*. Contoh pemanjang rantai yang dipakai yaitu etilen glikol, 1,4-butanadiol, 1,6-heksanadiol, sikloheksan dimetanol. *Chain extender* adalah senyawa-senyawa yang memiliki dua gugus fungsi dengan berat molekul rendah, seperti glikol dan diamin. Sedangkan struktur molekul yang biasa digunakan sebagai *chain extender* adalah jenis aromatik dan alifatik. Secara umum, *chain extender* yang berupa diol atau diamin alifatik akan menghasilkan material yang lebih lembut daripada *chain extender* aromatik. *Chain extender* berfungsi untuk memperpanjang struktur rantai linier dari polimer melalui ikatan antar gugus isosianat (-NCO) dengan gugus hidroksil atau amin dari *chain extender* membentuk segmen keras (*hard segment*) atau segmen lunak (*soft segment*). Dengan memodifikasi rasio berat *chain extender* / polioliol, sifat poliuretan yang dihasilkan dapat bervariasi dari keras, getas, menyerupai karet, hingga lembut dan lunak (Wikipedia *the free encyclopedia*, 2008).

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Alat dan Bahan

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah *cooler*, *hot plate*, Erlenmeyer 100 mL dan 250 mL, labu alas bundar, pipet tetes, evaporator, gelas piala, *magnetic stirrer*, pipet volumetrik, buret, pipet tetes dan pipet volumetrik, gelas ukur, spatula, cetakan, IRPrestige-21 Shimadzu (*Fourier Transform Infrared Spectrophometer*) untuk analisa FTIR dan *Rockwell Type Hardness* (LABSCO, Harte Prufer, DIN 5305, ISO R 868) untuk uji kekerasan atau *hardness* dan SEM (*Scanning Electron Microscope*) Hitachi TM-1000 untuk melihat struktur mikroseluler *foam* poliuretan.

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah gliserol monooleat (GMO), asam asetat glasial, hidrogen peroksida (H_2O_2), asam sulfat (H_2SO_4), pelarut heksana, metanol, pereaksi asetilasi (12.7 mL asetat anhidrat + 100 mL piridin), aquades, indikator penolphthalein dalam piridin, NaOH yang telah distandardisasi oleh asam oksalat, piridin, CCl_4 , larutan iod, larutan Thio, larutan KI 10 % , indikator amilum, *stannous octoate* (SO), trietilen diamin (TEDA), etilen glikol (EG), silikon glikol (SG), dan polipropilen glikol (PPG, BM=2000 g/mol) .

GMO yang digunakan pada penelitian ini adalah produk dari PusLit Kimia LIPI Serpong dengan sifat-sifat sebagai berikut : cairan berwarna kuning kecoklatan, bilangan hidroksil 24,19 mg KOH/g sampel dan bilangan iod sebesar 88,01 mg I₂/g sampel.

3.2 Cara Kerja

3.2.1 Sintesis Poliol HMGMS dari Gliserol Monooleat (GMO)

Sebanyak 375 gram GMO (1,05 mol) dicampurkan dengan pelarut heksana sebanyak 200 gram dalam reaktor (pengaduk dijalankan 300 rpm) selama ± 15 menit. Kemudian diteteskan 63 gram asam asetat glasial (1,00 mol dari GMO) secara perlahan dan dilanjutkan dengan penetes H₂SO₄ sebanyak 42 gram (5 % dari berat asam asetat + H₂O₂). Kemudian ditambahkan metanol sebanyak 67 gram (2 mol dari GMO) sebagai agen metoksilasi. Lalu diteteskan H₂O₂ sebanyak 358 gram secara perlahan-lahan. Kemudian setelah H₂O₂ habis dilakukan sampling. Lalu suhu dinaikkan sampai 70 °C sampai stabil, kemudian setelah stabil dilakukan sampling. Reaksi dilanjutkan selama 6 jam dengan waktu sampling 20 menit sekali pada 1 jam pertama, 30 menit sekali pada 3 jam berikutnya, dan 60 menit sekali pada 2 jam berikutnya. Selanjutnya poliol yang telah disampling dilakukan pencucian dengan menggunakan air hingga pH netral dengan menggunakan corong pisah sambil dikocok, kemudian lapisan organik (fase atas) dipisahkan dengan fase bawah (air). Lapisan organik lalu dievaporasi. Poliol HMGMS yang dihasilkan

kemudian dikarakterisasi menggunakan analisa kuantitatif yaitu bilangan iod, bilangan hidroksil, koreksi keasaman dan analisa kualitatif yaitu FTIR.

3.2.1.1 Analisa Bilangan Iod (AOAC, 1984)

Ditimbang 0,13 gram poliol HMGMS lalu dimasukkan ke dalam Erlenmeyer 250 mL. Lalu ditambahkan 10 mL CCl₄ dan 10 mL larutan iod. Kemudian ditutup dan dikocok. Lalu disimpan di tempat gelap selama ± 1 jam. Selanjutnya ditambahkan larutan KI 10 % dan 50 mL aquades. Kemudian sampel tersebut dititrasi dengan larutan thio (Na₂O₃S₂.5H₂O) 0,1 N sampai berwarna kuning muda. Lalu ditambahkan indikator amilum kemudian dikocok dan dititrasi hingga warna biru hilang. Dilakukan penetapan blanko dengan cara yang sama. Bilangan iod ditentukan dengan formulasi :

$$\text{Bilangan iod} = \frac{12.69 \times N \text{ Thio} \times (v \text{ thio blanko} - v \text{ thio sampel})}{\text{Gram sampel}}$$

Dimana,

N = Normalitas larutan thio yang telah distandarisasi dengan KIO₃

V thio blanko = Volume titran (larutan thio) untuk mentitrasi blanko

V thio sample = Volume titran (larutan thio) untuk mentitrasi sampel

$$\% \text{ konversi} = \frac{Iv \text{ awal} - Iv \text{ selama reaksi}}{Iv \text{ awal}} \times 100\%$$

3.2.1.2 Analisa Bilangan Hidroksil (ASTM-D 4274-88)

Sebanyak 1 gram poliol HMGMS direaksikan dengan 5 mL pereaksi asetilasi (12,7 mL asetat anhidrat + 100 mL piridin) dalam erlenmeyer 100 mL, kemudian direfluks pada suhu $98 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ selama 1 jam di dalam *water bath*. Setelah 1 jam larutan tersebut diangkat dan didinginkan pada suhu ruang selama beberapa menit. Kemudian ditambahkan aquades sebanyak 20 mL. Lalu ditambahkan 20 tetes indikator *phenolphthalein* dalam piridin. Selanjutnya larutan tersebut dititrasi dengan NaOH 0,5 N yang telah distandardisasi dengan asam oksalat hingga larutan berwarna merah muda. Perlakuan yang sama dilakukan terhadap blanko.

Bilangan hidroksil ditentukan dari nilai hidroksil dikurangi nilai koreksi keasaman atau kebasaaan.

$$\text{Bilangan Hidroksil} = \frac{[(B - A) \times N \times 56.1]}{W}$$

$$\text{Koreksi keasaman} = \frac{[(A - B) \times N \times 56.1]}{W}$$

Bilangan Hidroksil = nilai hidroksil + koreksi keasamam

= nilai hidroksil – koreksi kebasaaan

dimana A = ml NaOH 0.5 N sampel

B = ml NaOH 0.5 N blanko

N = normalitas NaOH 0.5 N

W = berat sampel (gram)

3.2.1.3 Koreksi Keasaman atau Kebasaan (ASTM-D 4274-88)

Sebanyak 1 gram poliol HMGMS ditambahkan piridin sebanyak 5 mL, aquades sebanyak 25 mL dan 20 tetes indikator *phenolphthalein* dalam piridin. Jika larutan yang dihasilkan tidak berwarna maka dikoreksi keasamannya dengan dititrasi oleh NaOH 0,5 N sampai larutan berwarna merah muda. Dan jika larutan yang dihasilkan berwarna merah muda maka dikoreksi kebasaannya dengan dititrasi oleh HCl 0,1 N sampai warna merah muda hilang. Kemudian ditambahkan 1 mL HCl 0.1 N dan dilakukan titrasi ulang dengan NaOH 0,5 N sampai larutan berwarna merah muda. Perlakuan yang sama dilakukan terhadap blanko.

3.2.2 Sintesis *Foam* Poliuretan

Sintesis *foam* poliuretan dibuat dengan cara sebanyak 10 gram poliol HMGMS / PPG ditambahkan : 0,3 ppHp (*part per hundred polyol*) atau 0,02 mL *Stannous Octoate* (SO), 0,2 ppHp atau 0,02 mL trietilen diamin (TEDA), 2,67 ppHp atau 0,27 mL air, 1 ppHp atau 0,09 mL etilen glikol (EG), 2,04 ppHp atau 0,2 mL silikon glikol (SG) dan 10 ppHp atau 0,8 mL metilen klorida (MTC) dicampurkan ke dalam botol lalu diaduk. Setelah semua bahan tercampur, sebanyak 7,75 g MDI dimasukkan dan diaduk dengan cepat hingga tercapai

reaksi eksotermis, lalu botol ditutup rapat. Bahan dibiarkan mengembang hingga *foam* terbentuk dalam botol yang tertutup.

Adapun formulasi dalam *foam* poliuretan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu:

Tabel 3.1 Perbandingan polioliol HMGMS dengan berat 4,4'-metilen difenil diisosianat (MDI)

Variasi	Polioliol (g)	MDI (g)	SG (pphp)	SO (pphp)	TEDA (pphp)	Air (pphp)	EG (pphp)	MTC (pphp)
HMGMS:MDI								
1:1	10	7,75	2,04	0,3	0,2	2,67	1	10
1:3	10	23,25	2,04	0,3	0,2	2,67	1	10

Tabel 3.2 Variasi konsentrasi silikon glikol

Variasi	Polioliol (g)	MDI (g)	SG (pphp)	SO (pphp)	TEDA (pphp)	Air (pphp)	EG (pphp)	MTC (pphp)
HMGMS:SG								
1:1	10	7,75	2,04	0,3	0,2	2,67	1	10
1:3	10	7,75	6,12	0,3	0,2	2,67	1	10
1:6	10	7,75	12,24	0,3	0,2	2,67	1	10

Tabel 3.3 Variasi konsentrasi trietilen diamin

Variasi	Poliol (g)	MDI (g)	SG (pphp)	SO (pphp)	TEDA (pphp)	Air (pphp)	EG (pphp)	MTC (pphp)
HMGMS:TEDA								
1:1	10	7,75	2,04	0,3	0,2	2,67	1	10
1:3	10	7,75	2,04	0,3	0,6	2,67	1	10
1:6	10	7,75	2,04	0,3	1,2	2,67	1	10

Tabel 3.4 Variasi konsentrasi etilen glikol

Variasi	Poliol (g)	MDI (g)	SG (pphp)	SO (pphp)	TEDA (pphp)	Air (pphp)	EG (pphp)	MTC (pphp)
HMGMS:EG								
1:1	10	7,75	2,04	0,3	0,2	2,67	1	10
1:3	10	7,75	2,04	0,3	0,2	2,67	3	10
1:6	10	7,75	2,04	0,3	0,2	2,67	6	10

3.2.2.1 Pengukuran Densitas

Semua foam yang terbentuk diukur densitasnya. *Foam* ditimbang dan diukur volumenya. Kemudian densitasnya dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$\rho = \frac{\text{massa foam}}{\text{volume foam}}$$

3.2.2.2 Uji Kekerasan Polimer (*Hardness*)

Analisa lain yang dilakukan adalah melakukan uji tekan untuk mengetahui properti mekanik dari sampel yang dihasilkan. Kekerasan *foam* poliuretan diuji dengan menggunakan alat *Rockwell Type Hardness*, LABSCO (*Laboratory Supply Company Ollman & Co K6*), Harte Pruferr, DIN 5305, ISO R 868, *Germany*. Sampel *foam* poliuretan diletakkan di atas *plate* sehingga jarum tertusuk di atas sampel. Kemudian *handle* diturunkan atau ditekan sehingga jarum akan menunjukkan angka *hardness* sampel tersebut.

Menurut BAMR *Quality Control Instrumentation to ISO Standars* (2006), angka kekerasan polimer yang dihasilkan oleh alat ini tergantung pada seberapa besar kekuatan polimer tersebut terhadap tekanan atau beban yang diberikan.



Gambar 3.1 Alat *Rockwell type hardness* LABSCO (*Laboratory Supply Company Ollman & Co K6*)

3.2.2.3 Analisis FTIR

Analisa menggunakan *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR) untuk mengetahui keberadaan gugus molekul yang terdapat dalam sampel.

Analisis gugus fungsi polioliol dan *foam* poliuretan yang terbentuk dilakukan dengan alat *IR Prestige-21, shimadzu (Fourier Transform Infrared Spectrophotometer)*. Sampel *foam* poliuretan dicampurkan dengan KBr dalam mortar hingga tercampur. Sampel-sampel tersebut kemudian dianalisis dengan alat FTIR.



Gambar 3.2 Alat *IR Prestige-21, shimadzu (Fourier Transform Infrared Spectrophotometer)*.

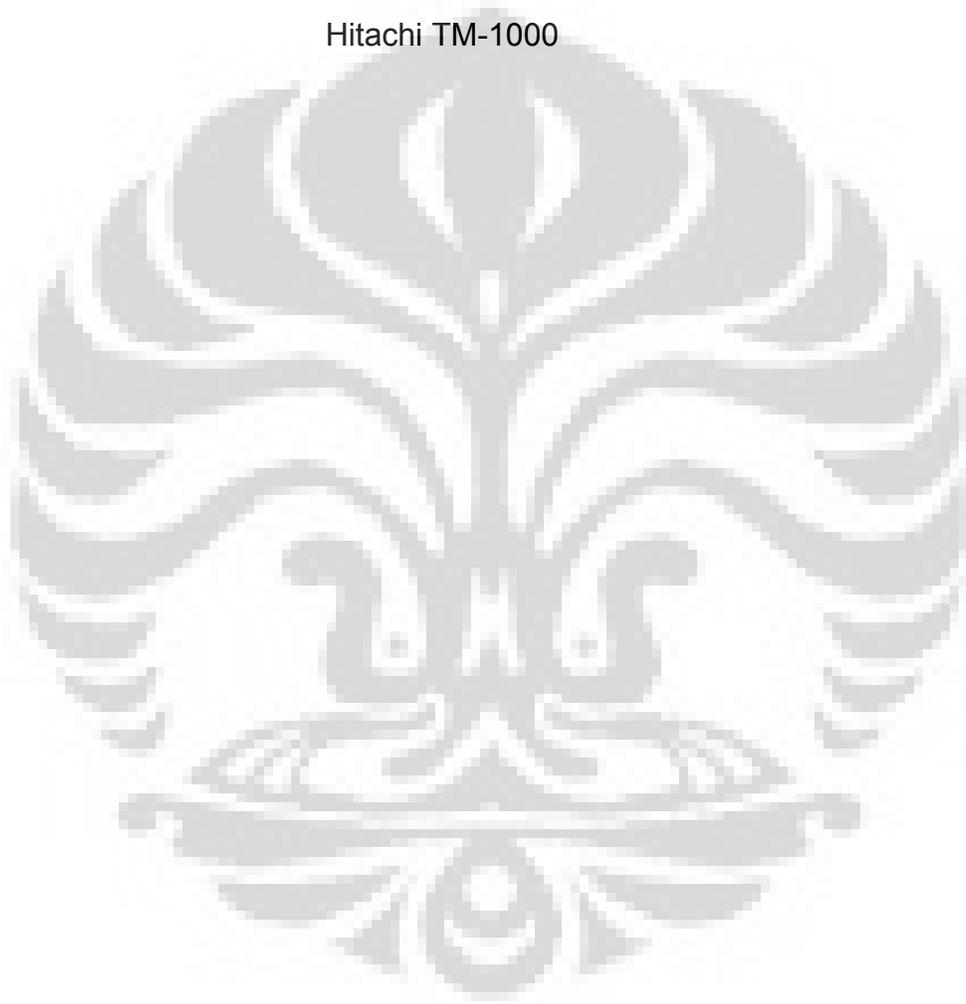
3.2.2.4 Analisa SEM (*Scanning Electron Microscope*)

Foam poliuretan yang dihasilkan dianalisa dengan menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM) untuk mengetahui struktur morfologi permukaan sampel.



Gambar 3.3 Alat SEM (*Scanning Electron Microscope*)

Hitachi TM-1000



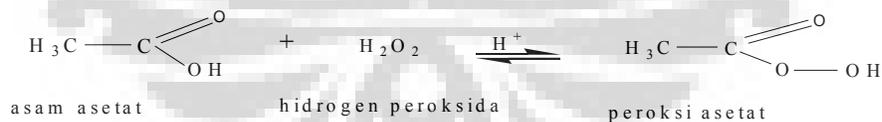
BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

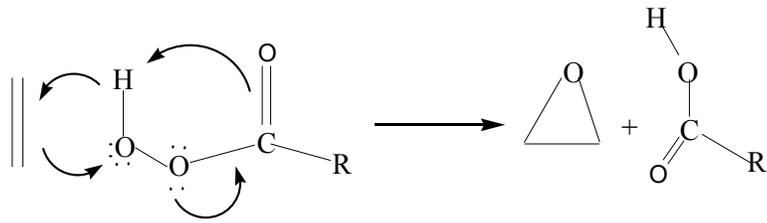
4.1 Sintesis Polioliol HMGMS dari Gliserol Monooleat (GMO)

Pada sintesis polioliol HMGMS digunakan bahan baku gliserol monooleat (GMO), GMO mengandung ikatan rangkap sehingga dapat digunakan sebagai bahan baku polioliol melalui reaksi epoksidasi dan hidroksilasi. Epoksidasi adalah suatu reaksi oksidasi terhadap senyawa organik, baik rantai lurus maupun rantai lingkaran yang mempunyai ikatan rangkap untuk membentuk senyawa epoksida. Dalam proses pembuatan polioliol ini, H_2O_2 berperan sebagai reagen epoksidasi yang bereaksi dengan asam asetat membentuk peroksi asetat, peroksi asetat ini berperan sebagai elektrofilik untuk memecah ikatan rangkap pada GMO membentuk cincin oksiran atau cincin epoksida seperti pada

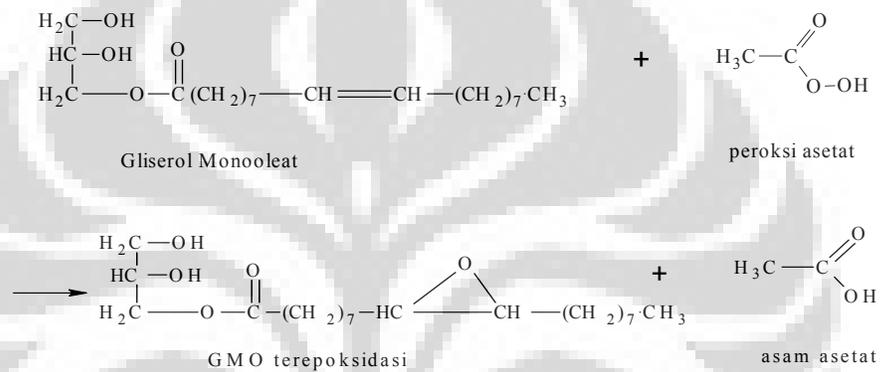
Gambar 4.1 berikut ini:



Gambar 4.1 Reaksi pembentukan peroksiasetat



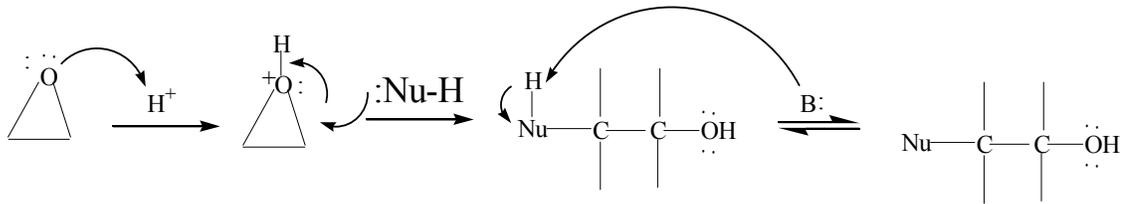
Gambar 4.2 Mekanisme pembentukan cincin epoksida



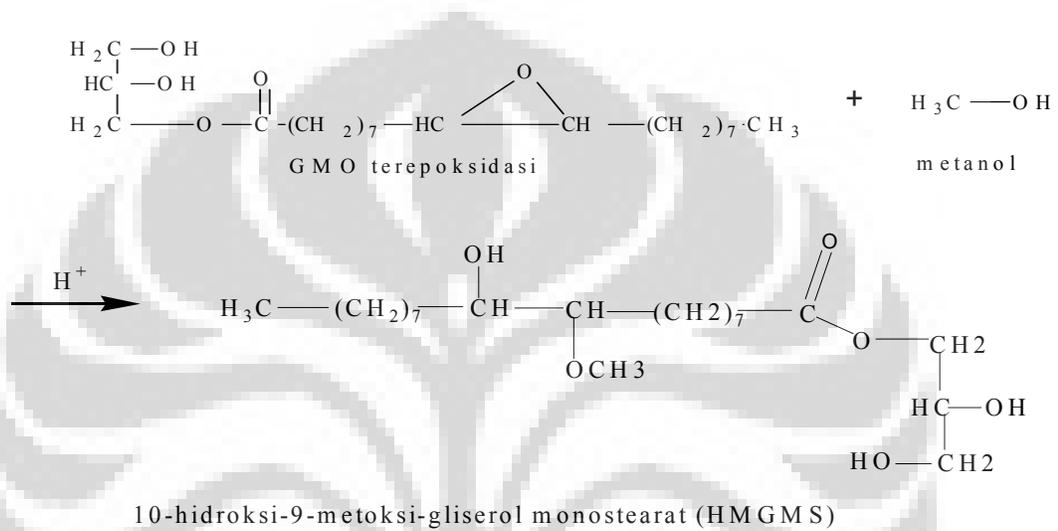
Gambar 4.3 Reaksi pembentukan cincin epoksida

Jalan reaksi pembentukan epoksida pada pembuatan polioliol GMO yang melibatkan serah terima oksigen dari asam peroksi asetat langsung kepada C alkena atau ikatan rangkap.

Penambahan H_2SO_4 pada sintesis polioliol berperan sebagai katalis dan sebagai agen protonasi untuk reaksi pembukaan cincin epoksida menjadi gugus hidroksil pada proses hidroksilasi, sedangkan metanol berperan sebagai nukleofilik yang menyerang cincin epoksida pada proses alkoksilasi seperti pada reaksi Gambar 4.5 berikut ini:

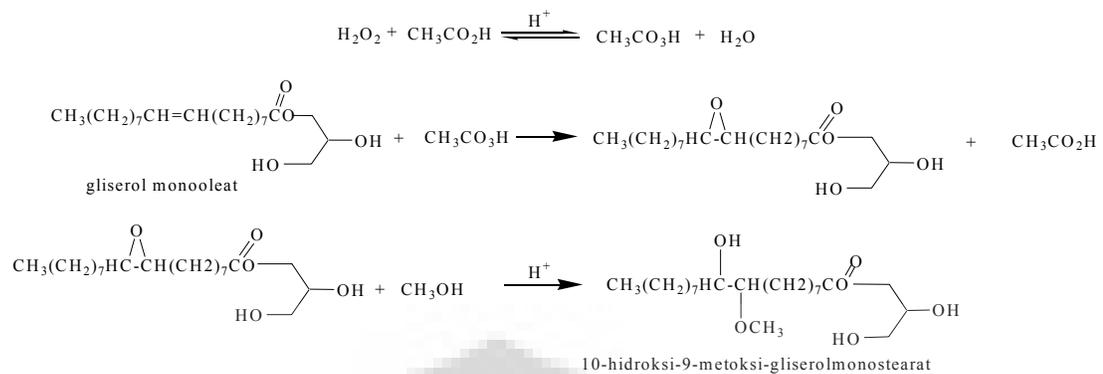


Gambar 4.4 Mekanisme pembukaan cincin epoksida



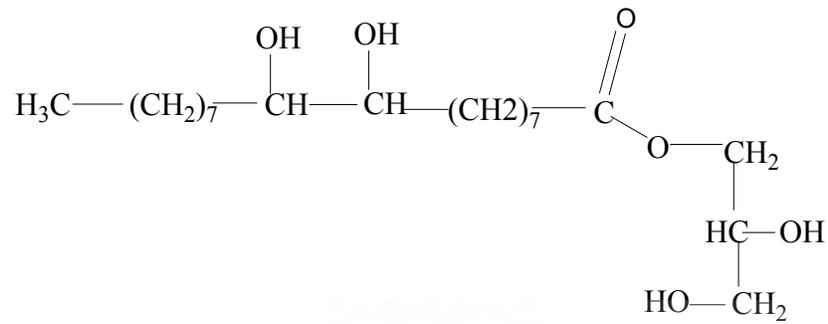
Gambar 4.5 Reaksi hidroksilasi dan metoksilasi

Jadi reaksi yang terjadi pada proses pembuaan polioliol HMGMS dapat dituliskan secara keseluruhan seperti pada reaksi berikut :



Gambar 4.6 Epoksidasi dan hidrosilasi secara berkelanjutan terhadap gliserol monooleat

Pada penelitian ini, polioliol yang disintesis dari GMO berupa 10-hidroksi-9-metoksi gliserol monostearat (HMGMS), karena bila dibandingkan dengan polioliol 9,10-dihidroksi gliserol monostearat dengan mengkonversi ikatan rangkap menjadi dihidroksi pada posisi 9 dan 10 melalui proses epoksidasi dan hidrosilasi, maka pada polioliol 9,10-dihidroksi gliserol monostearat karena letak jarak gugus hidroksilnya terlalu berdekatan pada posisi 9 dan 10 sehingga cenderung membentuk ikatan silang (*cross linking*) membentuk ikatan uretan yang dihasilkan dari reaksi hidroksil dengan gugus isosianat, akibatnya polimer *foam* poliuretan yang dihasilkan menjadi rapuh akibat terbentuk ikatan silang yang terlalu banyak. Oleh karena itu penelitian ini mensintesis polioliol dari GMO dengan mengkonversi ikatan rangkap menjadi gugus hidroksil dan metoksi melalui proses epoksidasi, hidrosilasi dan metoksilasi dengan hasil yang diperoleh cenderung ke arah rigid.



Gambar 4.7 Struktur 9,10-dihidroksi gliserol monostearat

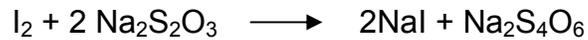
Poliol yang dihasilkan dilakukan pencucian dengan air yang tujuannya untuk menarik asam asetat dan H_2SO_4 yang masih tersisa di dalam polioliol, sehingga terbentuk dua lapisan yaitu lapisan polioliol (lapisan non polar) dan lapisan air (lapisan polar) yang kemudian lapisan polioliol ini dipisahkan. Kemudian polioliol dievaporasi yang tujuannya untuk menguapkan sisa air yang terdapat dalam polioliol.

4.1.1 Analisa Bilangan Iod

Dasar penentuan bilangan iod adalah reaksi adisi ikatan rangkap pada asam lemak tidak jenuh. Asam lemak tak jenuh dalam minyak atau lemak mampu menyerap sejumlah iodin dan membentuk senyawa yang jenuh. Besarnya jumlah iodin yang diserap menunjukkan banyaknya ikatan rangkap atau ikatan tidak jenuh.

Penentuan bilangan iod dilakukan dengan titrasi iodometri. Prinsip dari analisis ini di dasarkan pada banyaknya iod yang diserap oleh polioliol yang

ditunjukkan oleh sisa iod yang direaksikan dengan natrium tiosulfat dengan persamaan reaksi sebagai berikut:



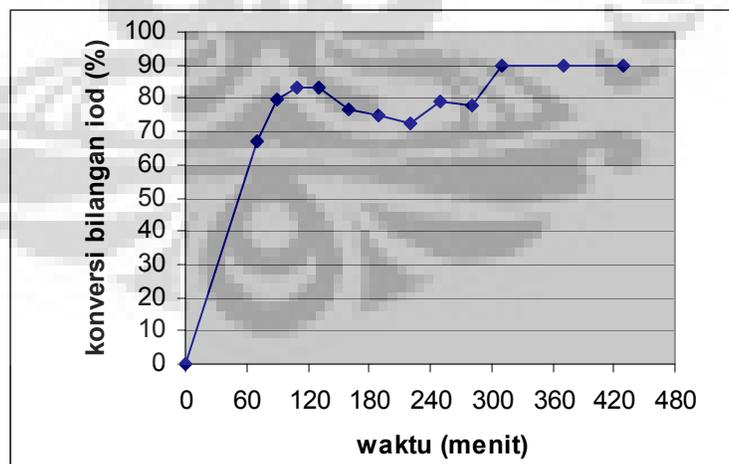
Kelebihan iod menyebabkan larutan menjadi berwarna kuning dan selanjutnya digunakan amilum sebagai indikator. Amilum dengan iod akan menghasilkan warna biru. Pada saat titrasi iod dengan larutan natrium tiosulfat, larutan amilum baru ditambahkan bila sebagian besar iod bereaksi (warna coklat telah berubah menjadi kuning), agar tidak banyak I_2 yang berikatan dengan amilum. Penentuan bilangan iod dilakukan penyimpanan di tempat gelap tujuan untuk menghindari penguraian I_2 oleh adanya cahaya karena I_2 sangat peka terhadap cahaya. Penambahan KI berfungsi sebagai pelarut I_2 karena I_2 sukar larut dalam air.

Dari hasil pengamatan, suhu reaksi sebelum dilakukan penambahan H_2O_2 adalah $27\text{ }^\circ\text{C}$ tapi ketika ditambahkan H_2O_2 setelah menit ke 70, suhu reaksi naik menjadi $83\text{ }^\circ\text{C}$, hal ini disebabkan karena reaksi H_2O_2 untuk membentuk senyawa epoksida bersifat eksotermis sehingga suhu naik secara tajam, suhu reaksi kemudian dikendalikan pada $70\text{ }^\circ\text{C}$. Untuk mengetahui kondisi optimum reaksi maka dilakukan sampling pada menit tertentu, yang kemudian ditentukan bilangan iodnya. Analisa bilangan iod dilakukan untuk mengetahui banyaknya ikatan rangkap dalam asam lemak sampel yang terkonversi menjadi ikatan tunggal yang ditunjukkan dengan banyaknya iodin

yang diserap. Adapun data konversi bilangan iod pada proses pembuatan poliol HMGMS ditunjukkan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Data konversi bilangan iod proses produksi poliol HMGMS

Waktu (menit)	Bilangan Iod (mg I ₂ / g sampel)	Konversi (%)
0	88,01	0
70	28,91	67,15
90	17,87	79,69
110	14,57	83,44
130	14,92	83,05
160	20,63	76,56
190	22,19	74,79
220	24,34	72,34
250	18,3	79,21
280	19,63	77,69
310	9,08	89,68
370	8,85	89,94
430	8,92	89,86



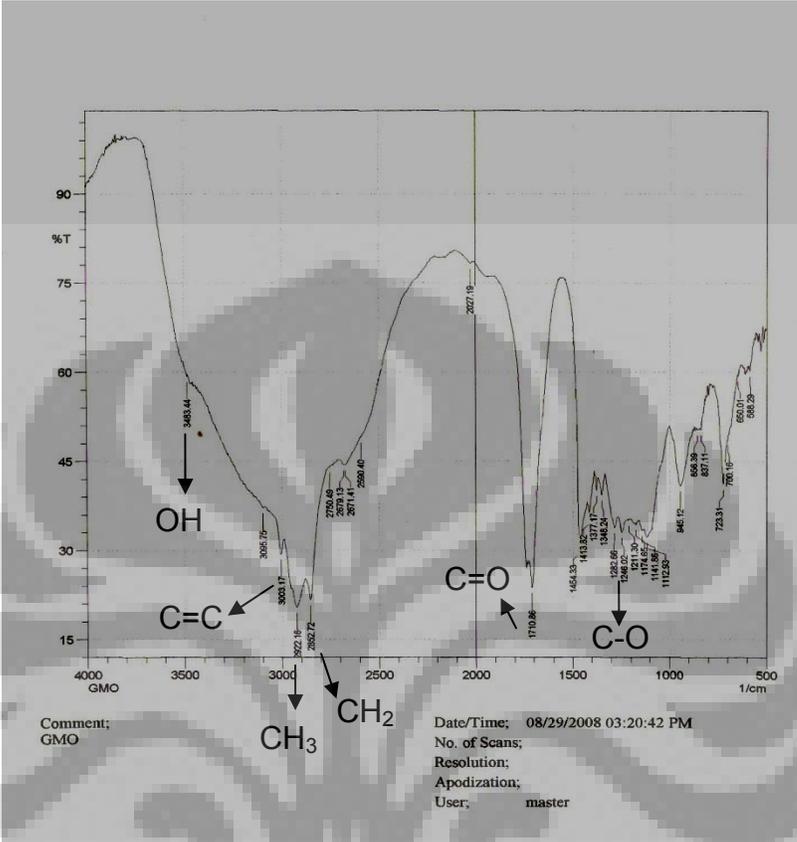
Gambar 4.8 Kurva bilangan iod

Dari data di atas dapat diketahui bahwa konversi bilangan iod terbesar diperoleh pada saat waktu reaksi mencapai 370 menit (setelah 5 jam) dengan nilai konversi sebesar 89,94 %, artinya setelah 5 jam hampir seluruh bilangan iod terkonversi menjadi ikatan jenuh. Sedangkan pada menit 310 (setelah 4 jam), kondisi bilangan iod cenderung stabil dengan hasil akhir konversi bilangan iod sebesar 89,86%. Dengan menurunnya bilangan iod dapat diketahui bahwa ikatan rangkap pada polioliol GMO dapat hilang karena proses epoksidasi, hidroksilasi dan metoksilasi yang menghasilkan polioliol HMGMS.

4.1.2 Analisa Bilangan Hidroksil

Pada analisa bilangan hidroksil Polioliol HMGMS didapatkan sebesar 122 mg KOH / g sampel. Bilangan hidroksil ini menyatakan banyaknya mg KOH yang setara dengan banyaknya gugus hidroksil dalam 1 gram sampel. Artinya dalam 1 gram polioliol HMGMS tersebut hanya terdapat 122 gugus hidroksil. Bilangan ini meningkat sebanyak 97,8 mg KOH/g sampel dari bilangan hidroksil GMO awal yaitu sebesar 24,2 mg KOH/g sampel. Artinya pada sintesis polioliol ini terjadi penambahan gugus OH yang terbentuk melalui epoksidasi, hidroksilasi dan metoksilasi.

4.1.3 Analisa FTIR



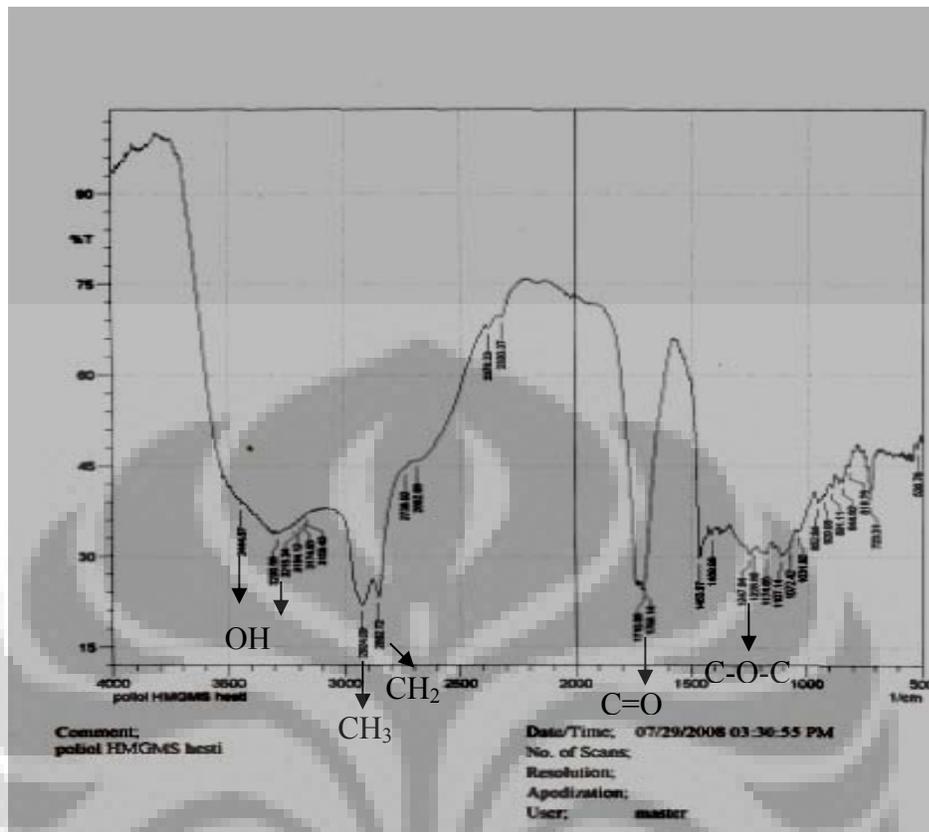
Gambar 4.9 FTIR GMO

Tabel 4.2 Hasil frekuensi gugus fungsi pada FTIR GMO dan polioli

HMGMS

Gugus Fungsional	Frekuensi (cm ⁻¹)	
	GMO	HMGMS
O-H	3483	3215, 3290, 3444
C=C	3003, 3095	-
C=O	1710	1710
-CH ₃	2922	2924
-CH ₂ -	2852	2852
-C-O-C	1211, 1246, 1282	1228, 1247

Pada analisa FTIR dengan sampel GMO, didapatkan pita serapan pada daerah 3483 cm⁻¹ yang menunjukkan adanya gugus hidroksil pada senyawa tersebut dan pita serapan C=C (C-H sp²) pada panjang gelombang 3003 cm⁻¹ dan 3095 cm⁻¹, pita serapan C=O didapat pada panjang gelombang 1710 cm⁻¹, serapan C-O-C pada panjang gelombang 1211 cm⁻¹, 1246 cm⁻¹ dan 1282 cm⁻¹, dan serapan CH₃ terdapat pada daerah 2922 cm⁻¹ dan -CH₂- pada daerah 2852 cm⁻¹,



Gambar 4.10 FTIR polioli HMGMS

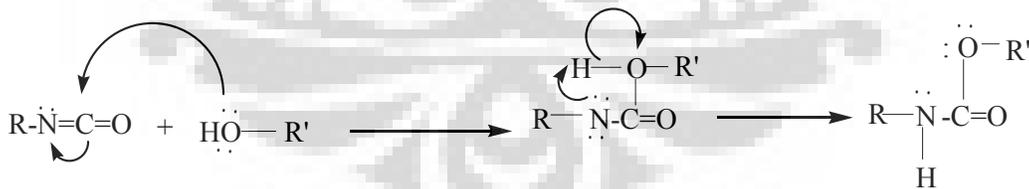
Sedangkan pada FTIR polioli HMGMS terlihat lenyapnya serapan ikatan rangkap C=C pada daerah $3003\text{-}3096\text{ cm}^{-1}$, digantikan dengan tampaknya gugus serapan OH pada daerah 3215 cm^{-1} , 3290 cm^{-1} , dan 3444 cm^{-1} yang mengalami serapan yang lebih tajam bila dibandingkan dengan serapan sebelumnya pada GMO. Hal ini diduga bahwa ikatan rangkap pada GMO telah terkonversi menjadi gugus hidroksil (pembentukan polioli) melalui proses hidroksilasi, sehingga dengan bertambahnya gugus hidroksil pada HMGMS akan memperbesar serapan hidroksil dan memperkecil % transmitansinya. Hilangnya serapan dari C-H sp^2 pada daerah $3003\text{-}3096\text{ cm}^{-1}$ juga dapat menjadi pendukung bahwa ikatan tidak jenuh C=C telah terkonversi

menjadi ikatan jenuh C-C. Adanya gugus metoksi $-OCH_3$ pada HMGMS ditunjukkan oleh munculnya serapan pada daerah 1228cm^{-1} dan 1247cm^{-1} yang merupakan serapan dari ikatan C-O-C.

4.2 Sintesis *Foam* Poliuretan

Foam poliuretan dibuat dengan mereaksikan polioliol dengan isosianat. Pada penelitian ini dilakukan pembuatan *foam* poliuretan dengan menggunakan polioliol HMGMS direaksikan dengan 4,4'-metilen difenil diisosianat (MDI).

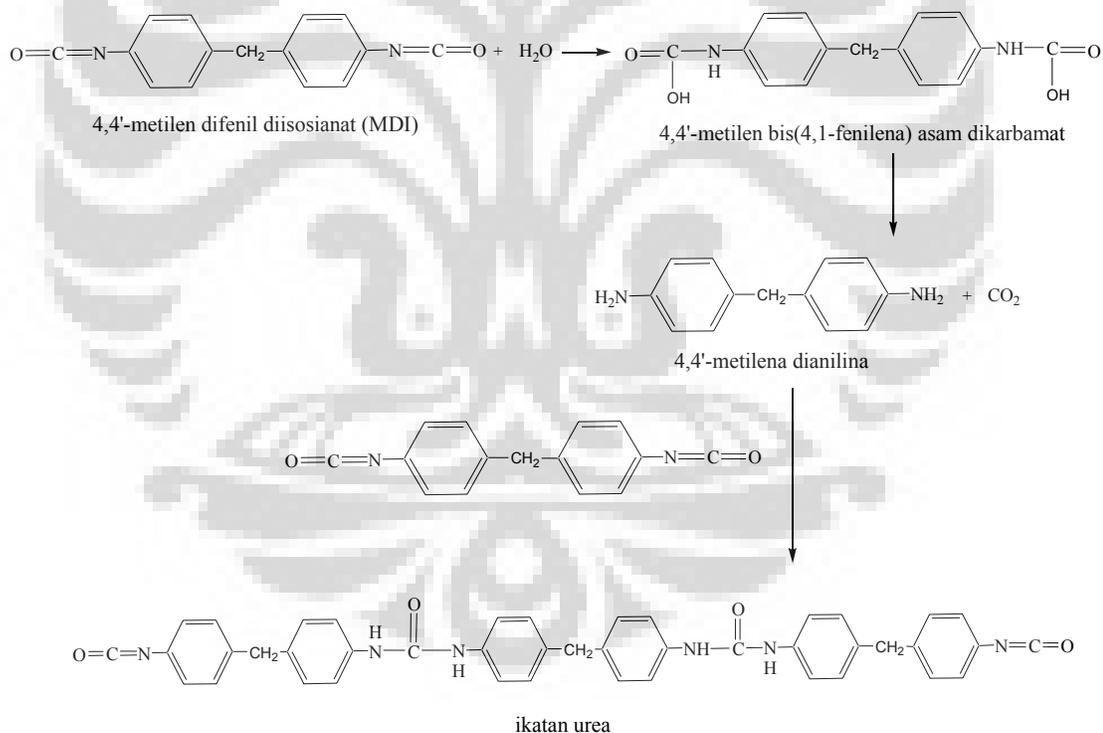
Isosianat sangat reaktif terhadap suatu nukleofil, hal ini disebabkan oleh posisi atom C pada isosianat berada di antara dua elemen elektronegatif, yaitu oksigen dan nitrogen. Pada kondisi ini, atom karbon menjadi kekurangan elektron sehingga ketika bertemu dengan atom yang kaya elektron (nukleofil), 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.



Gambar 4.11 Mekanisme transfer elektron pada reaksi isosianat dan polioliol untuk membentuk poliuretan.

Ada dua reaksi kimia penting pada pembentukan *foam* poliuretan, reaksi pertama adalah antara isosianat dengan polioliol membentuk poliuretan (reaksi

reaksi mempercepat pembentukan poliuretan. Agar pembuatan poliuretan cepat terjadi maka perlu digunakan katalis. Katalis yang dapat mempercepat reaksi pembentukan poliuretan adalah katalis basa dan katalis logam. Dalam penelitian pembuatan *foam* poliuretan ini, yang berperan sebagai katalis basa yaitu trietilen diamin yang mengandung gugus amin berfungsi untuk mempercepat reaksi isosianat, baik terhadap polioliol maupun air. Sedangkan *stannous octoate* berfungsi sebagai katalis logam yang dapat mempercepat reaksi isosianat dengan polioliol. Air digunakan untuk menghasilkan gas CO₂ yang berpotensi membentuk busa.



Gambar 4.12 Reaksi pembentukan gas CO₂ dan ikatan urea

Reaksi gugus isosianat dibagi menjadi reaksi blow dan reaksi gelation. Pada reaksi blow, gugus isosianat bereaksi dengan air menghasilkan asam karbamat yang tidak stabil sehingga cepat terdekomposisi menjadi senyawa bergugus amin dan melepaskan gas CO₂. Pada tahap kedua reaksi senyawa amin yang baru terbentuk kemudian bereaksi lagi dengan gugus isosianat lain dan membentuk ikatan urea yang menyusun segmen keras (*hard segment*). Sedangkan pada reaksi gelation, gugus isosianat bereaksi dengan gugus alkohol dari polioliol dan membentuk ikatan uretan yang berfungsi sebagai penghubung antara segmen keras dan segmen lunak polioliol.

Dalam sistem *foam* poliuretan dengan bahan pengembang (*blowing agent*) metilen klorida, pada saat awal pengadukan terbentuk gelembung-gelembung gas yang disebabkan metilen klorida yang mengalami evaporasi. Gelembung-gelembung gas ini menyebabkan terbentuknya inti sel pertama kali, pada saat yang bersamaan terjadi reaksi isosianat-air yang menyebabkan terbentuknya gas CO₂ yang kemudian akan membentuk nuklei baru dan atau berdifusi kedalam nuklei sel yang terbentuk lebih dahulu.

Reaksi isosianat-polioliol dan reaksi isosianat-air menyebabkan terjadinya kenaikan suhu yang tinggi dan karena metilen klorida merupakan liquid yang volatil mengakibatkan difusivitas gas yang terbentuk meningkat. Akibatnya nuklei-nuklei sel mengalami pertumbuhan atau terjadi ekspansi volume sel.

Metode yang paling umum dalam pembuatan *foam* poliuretan adalah mencampur polioliol dengan penambahan aditif diantaranya surfaktan, katalis, *blowing agent*, dan pereaksi pemanjang rantai (*chain extender*), dan kemudian

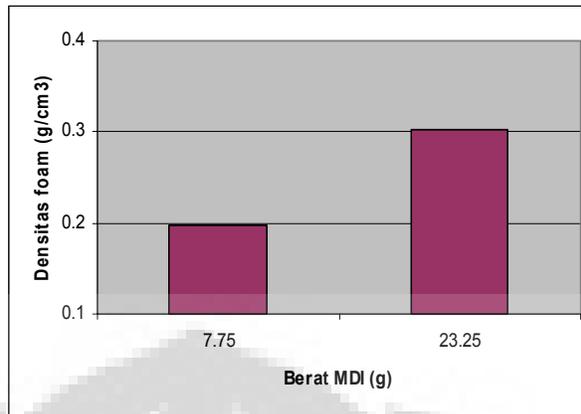
diikuti dengan pencampuran diisosianat (MDI). Formulasi masing-masing aditif juga mempengaruhi hasil akhir dari *foam* poliuretan, sehingga dalam penelitian ini dilakukan penentuan titik optimasi perbandingan polioliol HMGMS dengan MDI, variasi penambahan aditif (surfaktan dan katalis) dan variasi pereaksi pemanjang rantai (*chain extender*) untuk melihat pengaruhnya terhadap busa poliuretan yang dihasilkan. Bentuk *foam* semi rigid mempunyai kisaran densitas 25-250 kg/m³, sedangkan *foam* rigid mempunyai densitas di atas 250 kg/m³.

4.2.1 Sintesis *Foam* Poliuretan pada Variasi Berat MDI

Tabel 4.3 Hasil *foam* poliuretan dengan perbandingan polioliol HMGMS dengan berat MDI

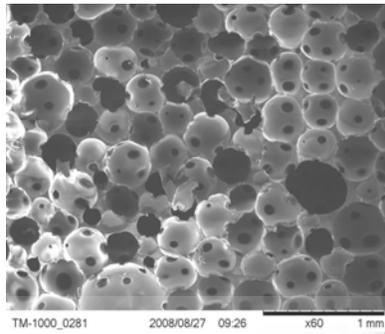
Variasi	Bentuk <i>foam</i>	Densitas <i>foam</i> (g/cm ³)	Kekerasan (<i>Hardness</i>)
HMGMS:MDI			
1:1	Semi rigid	0,1965	2,2
1:3	Rigid	0,3026	24,1

Berdasarkan hasil yang diperoleh, dapat dilihat bahwa densitas pada *foam* yang rigid memiliki nilai densitas yang lebih besar. Hal ini disebabkan karena poliuretan *foam* yang rigid memiliki ukuran sel yang lebih kecil dengan jumlah sel yang lebih banyak sehingga memiliki densitas yang lebih besar. Hal ini bisa dilihat pada perbandingan (HMGMS : MDI = 1: 3) dengan bentuk *foam* rigid yang memiliki nilai densitas *foam* sebesar yaitu 0,3026 g/cm³.

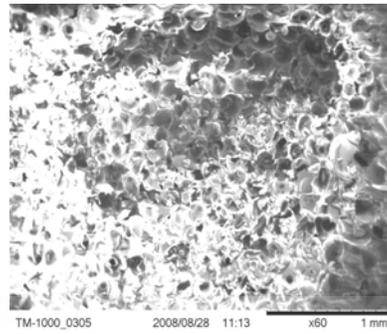


Gambar 4.13 Pengaruh berat isosianat pada densitas *foam* poliuretan

Pembentukan struktur morfologi rongga sel permukaan *foam* poliuretan dapat dilihat dari gambar SEM (*Scanning Electron Microscope*) pada Gambar 4.14. Berdasarkan hasil yang diperoleh, struktur morfologi rongga sel pada perbandingan (HMGMS : MDI = 1: 3) memiliki bentuk sel tertutup (*close cel*) dengan jumlah sel yang lebih banyak dan ukuran yang lebih kecil dibandingkan dengan struktur morfologi pada *foam* poliuretan perbandingan (HMGMS : MDI = 1: 1), karena ukuran rongga selnya lebih kecil sehingga memiliki kerapatan yang lebih besar akibatnya kekuatan sifat mekaniknya pun lebih besar, hal ini bisa dilihat dari nilai kekerasan yang diperoleh. Pada *foam* poliuretan perbandingan (HMGMS : MDI = 1: 3) memiliki nilai kekerasan 24,1 lebih besar daripada *foam* poliuretan pada perbandingan (HMGMS : MDI = 1: 1) yaitu 2,2.



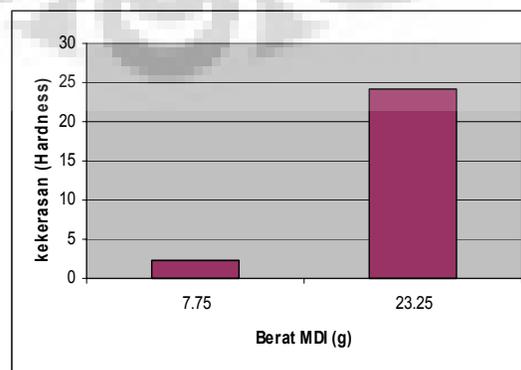
(7,75 g MDI)



(23,25 g MDI)

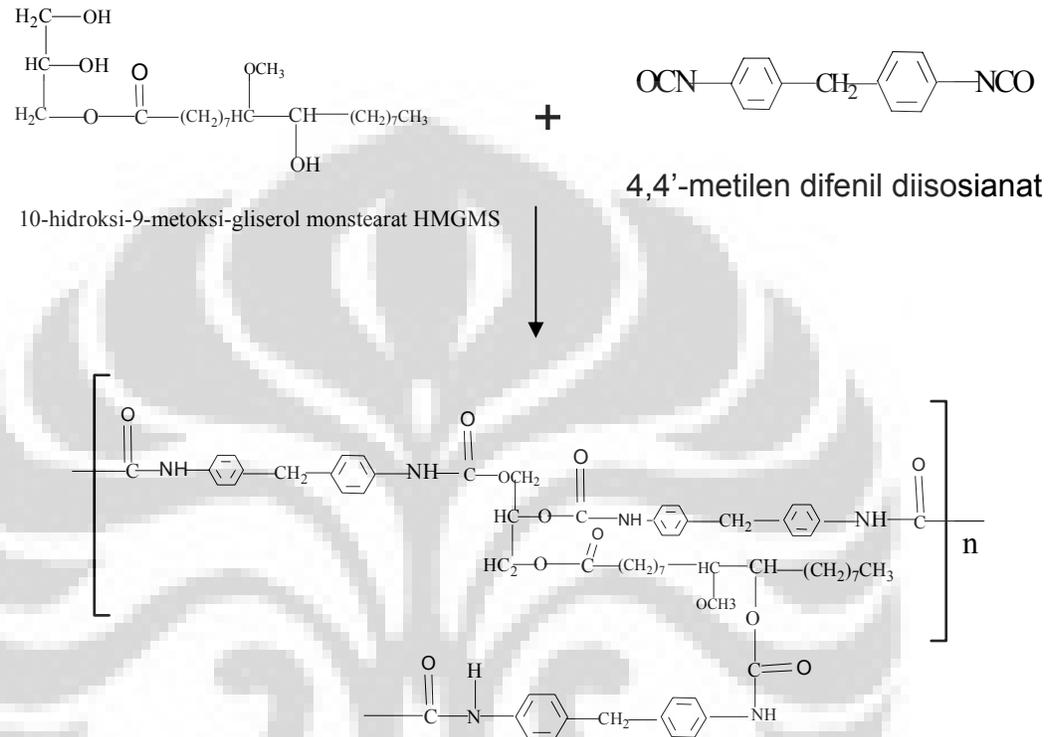
Gambar 4.14 Pengaruh berat MDI terhadap struktur morfologi sel *foam* poliuretan

Kekerasan *foam* poliuretan selain dipengaruhi oleh densitas *foam*, dipengaruhi juga oleh adanya gugus aromatik pada rantai *foam* poliuretan yang berasal dari struktur 4,4'-metilen difenil diisosianat (MDI) yang bersifat kaku berbentuk planar, karena adanya faktor sterik maka molekul memiliki ruang gerak segmen yang kecil sehingga molekul cenderung sulit untuk bergerak, selain itu reaksi antara polioliol dengan MDI akan membentuk ikatan uretan sehingga akan menyebabkan terjadinya ikatan hidrogen antar ikatan uretan, dimana semakin banyak gugus aromatik dan ikatan hidrogen pada rantai polimer maka kekuatan sifat mekanik *foam* poliuretan semakin kuat.



Gambar 4.15 Pengaruh berat MDI terhadap kekerasan

Berikut adalah reaksi antara poliol HMGMS dengan MDI :



Gambar 4.16 Reaksi antara poliol HMGMS dengan MDI

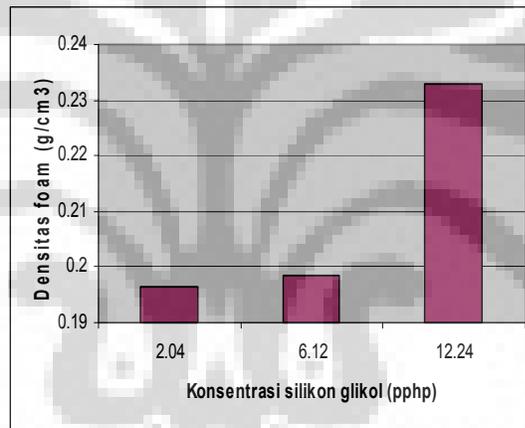
4.2.2 Sintesis *Foam* Poliuretan pada Variasi Konsentrasi Silikon Glikol

Tabel 4.4 Hasil *foam* poliuretan dengan variasi konsentrasi silikon glikol (SG)

Variasi	Bentuk <i>foam</i>	Densitas <i>foam</i> (g/cm ³)	Kekerasan (<i>Hardness</i>)
HMGMS:SG			
1:1	Semi rigid	0,1965	2,2
1:3	Semi rigid	0,1986	5,8
1:6	Semi rigid	0,2328	10,8

Pada pembuatan *foam* poliuretan, penambahan silikon glikol berfungsi sebagai surfaktan atau stabilizer yang berpengaruh terhadap keseragaman dan struktur sel tertutup (*close cell*) poliuretan yang rigid. Surfaktan digunakan untuk mencampurkan komponen-komponen yang tidak saling larut antara yang polar dan non polar, mengurangi tegangan permukaan pada fase fluida, dan menstabilkan ekspansi rongga sel dan menghasilkan struktur sel (sel terbuka atau sel tertutup). Berdasarkan hasil pengamatan yang diperoleh, semakin besar konsentrasi silikon glikol yang ditambahkan, maka struktur gelembung-gelembung (*bubbles*) yang terbentuk akan makin stabil dan menjadikan larutan semakin kental karena dengan makin kentalnya larutan maka laju alir cairan keluar dari lapisan film cairan antar busa (*lamella*) akan menurun sehingga busa akan berumur lebih lama akibatnya struktur rongga sel *foam* yang terbentuk

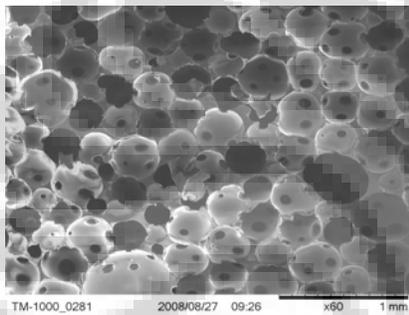
tidak mudah pecah sehingga rongga sel cenderung membentuk sel tertutup (*close cell*) dengan ukuran sel yang seragam. Makin banyak rongga sel yang stabil (tidak pecah), maka *foam* poliuretan memiliki densitas *foam* yang semakin besar karena kerapatan selnya semakin besar akibatnya kekerasan pun semakin 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.



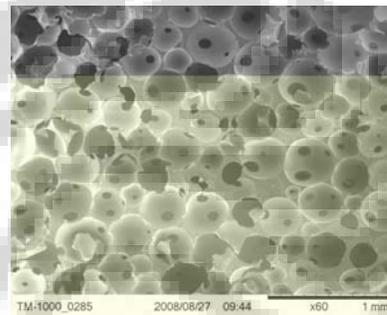
Gambar 4.17 Pengaruh konsentrasi silikon glikol terhadap densitas *foam* poliuretan

Berdasarkan hasil yang diperoleh dari gambar SEM (*Scanning Electron Microscope*), 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* poliuretan pada konsentrasi 2,04 pphp dan 6,12 pphp,

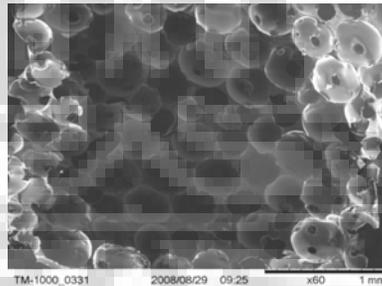
karena pada konsentrasi 12,24 pphp silikon glikol pembentukan sel tertutupnya lebih banyak sehingga memiliki kerapatan yang lebih besar akibatnya kekuatan mekaniknya pun lebih besar, hal ini bisa dilihat dari nilai kekerasan yang diperoleh. Pada *foam* poliuretan perbandingan (HMGMS : SG = 1: 6) memiliki nilai kekerasan 10,8 lebih besar daripada *foam* poliuretan pada perbandingan (HMGMS : SG= 1: 1) sebesar 2,2 dan perbandingan (HMGMS : SG= 1: 2) sebesar 5,8.



(2,04 pphp SG)

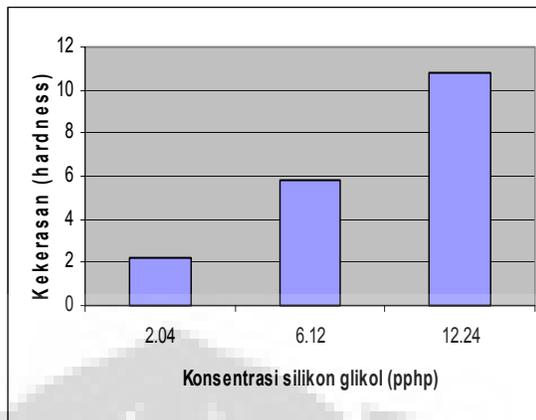


(6,12 pphp SG)



(12,24 pphp SG)

Gambar 4.18 Pengaruh konsentrasi silikon glikol terhadap struktur morfologi sel *foam* poliuretan



Gambar 4.19 Pengaruh konsentrasi silikon glikol terhadap kekerasan *foam* poliuretan

4.2.3 Sintesis *Foam* Poliuretan pada Variasi Konsentrasi Trietilen Diamin

Tabel 4.5 Hasil *foam* poliuretan dengan variasi konsentrasi trietilen diamin

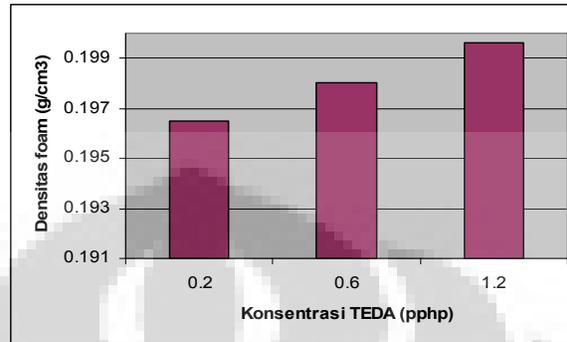
Variasi	Bentuk <i>foam</i>	Densitas <i>foam</i> (g/cm ³)	Kekerasan (<i>Hardness</i>)
HMGMS:TEDA			
1:1	Semi rigid	0,1965	2,2
1:3	Semi rigid	0,1980	5,6
1:6	Semi rigid	0,1996	8,4

Trietilen diamin berfungsi sebagai katalis basa. Katalis basa mengandung gugus amin berfungsi untuk mempercepat reaksi isosianat, baik terhadap polioliol maupun air. Berdasarkan hasil dari densitas *foam* yang

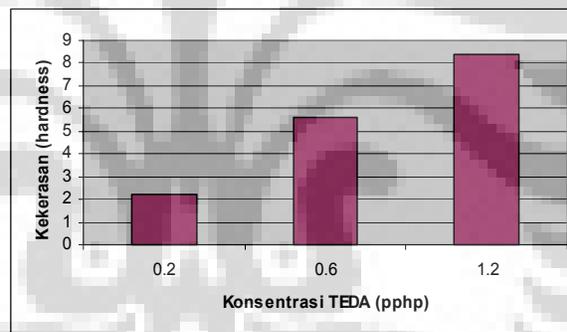
diperoleh, nilai densitas *foam* poliuretan meningkat dengan meningkatnya konsentrasi trietilen diamin, hal ini diakibatkan karena semakin besar konsentrasi trietilen diamin, maka pembentukan ikatan uretan akan semakin cepat sehingga massa *foam* semakin bertambah. Dengan massa *foam* yang semakin bertambah dan volume yang hampir sama, dengan demikian maka densitasnya semakin besar.

Berdasarkan 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 pphp 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*.

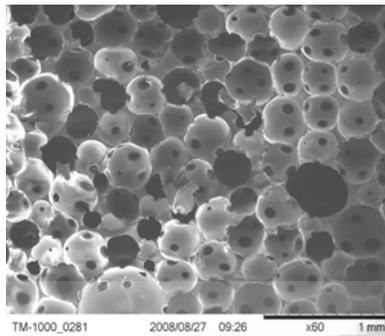


Gambar 4.20 Pengaruh konsentrasi trietilen diamin terhadap densitas *foam* poliuretan

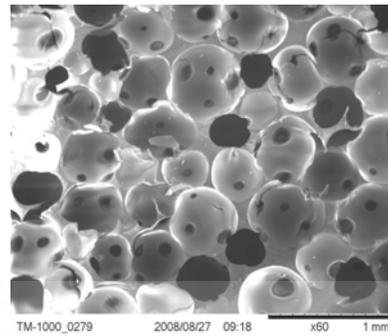


Gambar 4.21 Pengaruh konsentrasi trietilen diamin terhadap kekerasan *foam* poliuretan

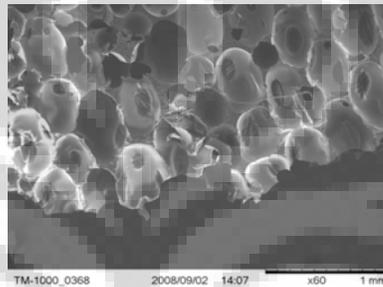
Berdasarkan hasil yang diperoleh dari gambar SEM (*Scanning Electron Microscope*), struktur morfologi rongga sel pada variasi trietilen diamin baik pada konsentrasi 0,2 pphp, 0,6 pphp, dan 1,2 pphp semuanya berbentuk sel tertutup (*close cell*), hal ini karena penambahan variasi konsentrasi trietilen diamin bentuk *foam* yang dihasilkan yaitu semi rigid.



(0,2 pphp TEDA)

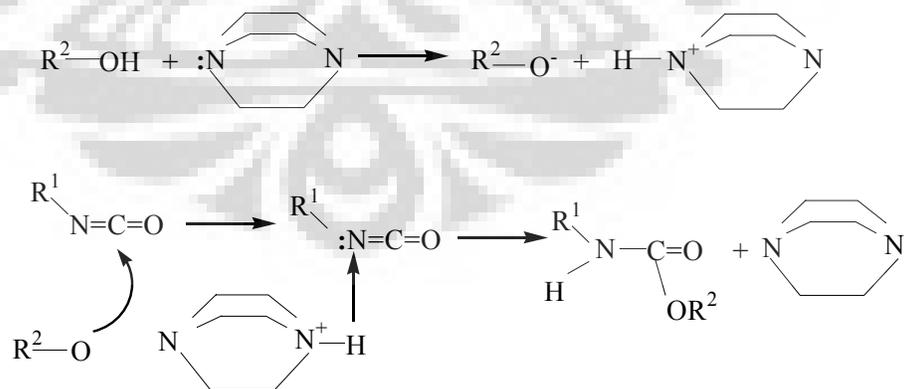


(0.6 pphp TEDA)



(1,2 pphp TEDA)

Gambar 4.22 Pengaruh konsentrasi trietilen diamin terhadap struktur morfologi sel *foam* poliuretan.



Gambar 4.23 Mekanisme katalis tertier diamin pada reaksi *foam* poliuretan (dikutip dari Wikipedia *the free encyclopedia*, "polyurethane")

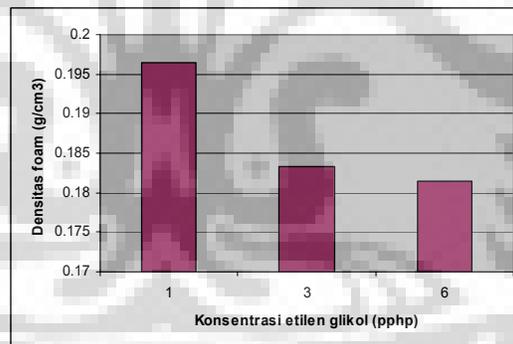
4.2.4 Sintesis *Foam* Poliuretan pada Variasi Konsentrasi Etilen Glikol

Tabel 4.6 *Foam* poliuretan dengan variasi konsentrasi etilen glikol

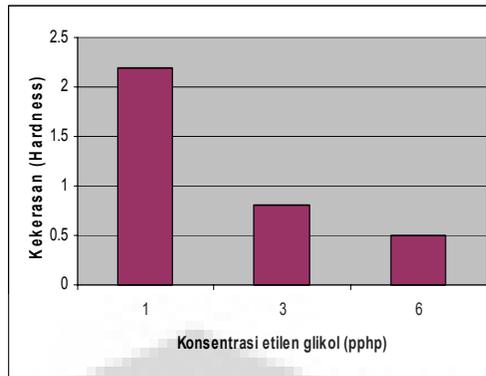
Variasi	Bentuk <i>foam</i>	Densitas <i>foam</i> (g/cm ³)	Kekerasan (<i>Hardness</i>)
HMGMS:EG			
1:1	Semi rigid	0,1965	2,2
1:3	Semi rigid	0,1833	0,8
1:6	Semi rigid	0,1815	0,5

Pada *foam* poliuretan penambahan etilen glikol berfungsi sebagai pemanjang rantai (*chain extender*) yang akan membentuk segmen lunak pada segmentasi rantai polimer. Gugus isosianat akan bereaksi dengan gugus hidroksi dari polioliol maupun etilen glikol yang akan membentuk ikatan uretan yang berfungsi sebagai penghubung antara segmen keras dan segmen lunak polioliol. Berdasarkan hasil yang diperoleh, kekerasan *foam* poliuretan semakin menurun dengan semakin besarnya konsentrasi etilen glikol, hal ini disebabkan karena dengan adanya etilen glikol maka rantai polimer akan bertambah panjang dengan terbentuknya segmen lunak yang dihasilkan dari etilen glikol. Dengan demikian, dengan semakin besar konsentrasi etilen glikol maka akan semakin banyak etilen glikol yang bereaksi dengan polioliol sehingga segmen lunak yang terbentuk pun akan semakin banyak.

Berdasarkan hasil pengamatan visual, semakin meningkat konsentrasi etilen glikol maka larutannya semakin menurun viskositasnya (menjadi lebih encer) sehingga kerapatan rongga sel berkurang akibatnya densitasnya semakin menurun. Dengan semakin menurun densitasnya dan banyaknya segmen lunak, maka kekerasan *foam* poliuretan pun akan semakin berkurang karena kekuatan dinding sel semakin melemah sehingga kekuatan mekanik terhadap beban yang diberikan semakin berkurang. Bentuk *foam* semi rigid mempunyai kisaran densitas 25-250 kg/m³, sedangkan *foam* rigid mempunyai densitas di atas 250 kg/m³. Karena nilai densitas yang diperoleh di bawah 250 kg/m³, maka bentuk *foam*nya termasuk semi rigid.

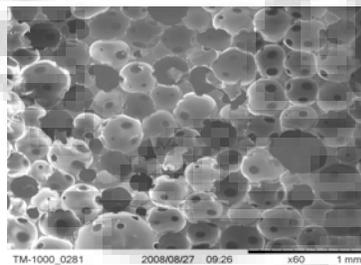


Gambar 4.24 Pengaruh konsentrasi trietilen diamin terhadap densitas *foam* poliuretan

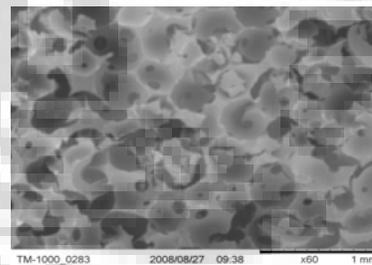


Gambar 4.25 Pengaruh konsentrasi trietilen diamin terhadap kekerasan *foam* poliuretan

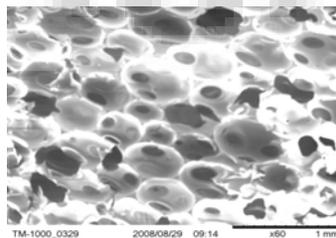
Berdasarkan hasil yang diperoleh dari gambar SEM (*Scanning Electron Microscope*), struktur morfologi rongga sel pada variasi etilen glikol berbentuk sel tertutup (*close cel*), hal ini karena penambahan variasi konsentrasi etilen glikol bentuk *foam* yang dihasilkan yaitu semi rigid.



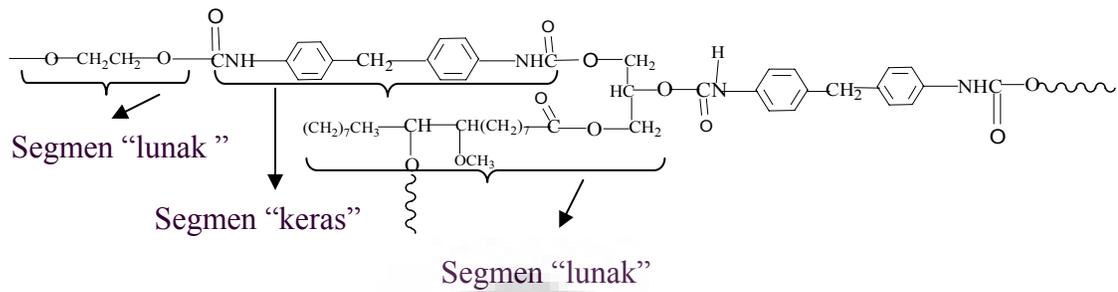
(1 pphp EG)



(3 pphp EG)



Gambar 4.26 Pengaruh konsentrasi etilen glikol terhadap struktur morfologi sel *foam* poliuretan.

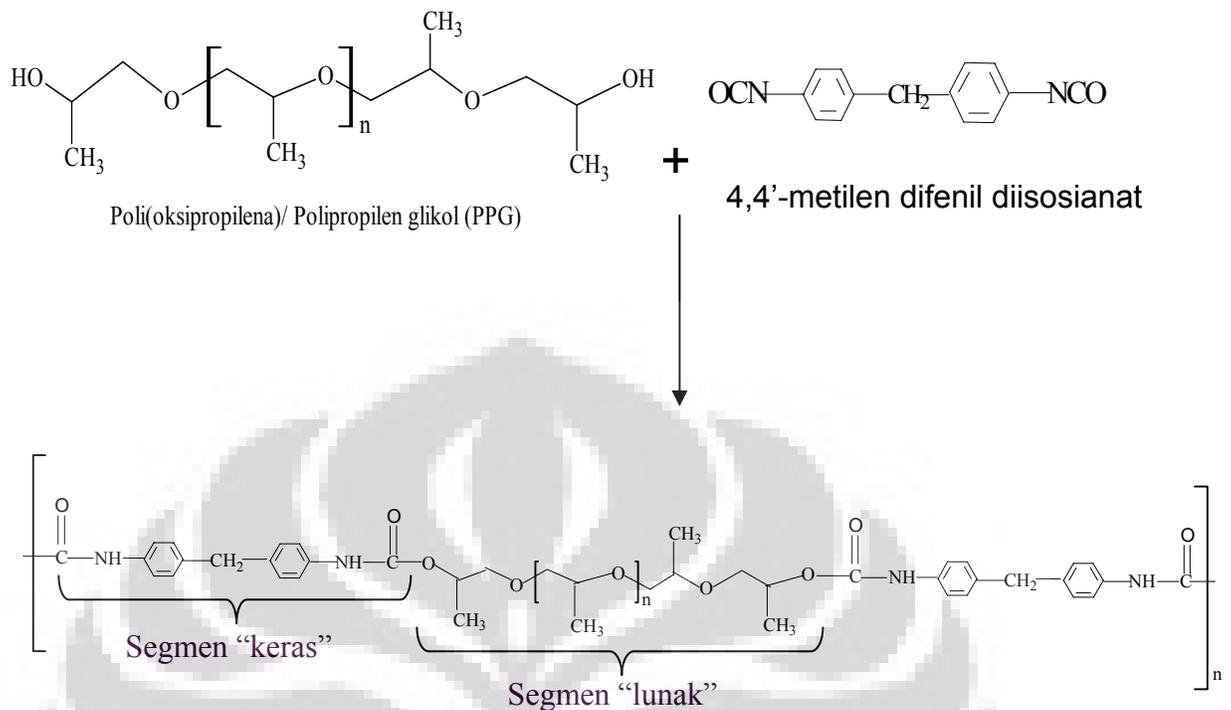


Gambar 4.28 Reaksi antara polioliol HMGMS dan MDI dengan etilen glikol

4.2.5 Sintesis *Foam* Poliuretan pada Variasi polioliol

Tabel 4.7 Perbandingan *foam* poliuretan dari polioliol HMGMS dan polioliol PPG

Sampel	Bentuk <i>foam</i>	Densitas <i>foam</i> (g/cm^3)	Kekerasan (<i>Hardness</i>)
HMGMS	Semi rigid	0,1985	2.2
PPG	fleksibel	0,1613	1,7



Gambar 4.29 Reaksi pembentukan *foam* poliuretan dari polioliol PPG dengan MDI

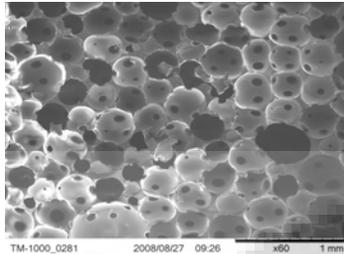
Berdasarkan hasil yang diperoleh, *foam* poliuretan yang dihasilkan dari polioliol PPG yang berasal dari petrokimia cenderung fleksibel, sedangkan *foam* poliuretan yang dibuat dari polioliol HMGMS yang berasal dari gliserol monooleat cenderung semi rigid. Hal ini disebabkan karena pada rantai karbon polipropilen glikol lebih panjang bila dibandingkan dengan polioliol HMGMS sehingga pergerakan antar molekulnya menjadi lebih besar akibatnya *foam* poliuretan yang dihasilkan dari polioliol PPG cenderung fleksibel, selain itu pada ujung rantai PPG hanya terdapat dua gugus fungsi hidroksi yang akan bereaksi dengan gugus isosianat (-N=C=O) membentuk ikatan uretan (segmen keras) sehingga

segmen keras yang dihasilkan lebih sedikit bila dibandingkan dengan *foam* poliuretan yang berasal dari poliol HMGMS yang memiliki tiga gugus fungsi hidroksi. Semakin banyak gugus hidroksi pada poliol maka akan semakin banyak pula ikatan uretan yang terbentuk dari reaksi antara gugus OH dengan gugus isosianat ($-N=C=O$), artinya bahwa semakin banyak ikatan uretan yang terbentuk maka segmen keras yang terbentuk pun akan semakin banyak, hal ini akibat adanya ikatan hidrogen yang terbentuk antar ikatan uretan sehingga interaksinya semakin kuat akibatnya kekuatan sifat mekaniknya pun akan semakin besar. Selain karena faktor adanya ikatan hidrogen, gugus aromatik pun berpengaruh, dimana semakin banyak gugus aromatik pada rantai polimer maka *foam* poliuretan akan semakin rigid, hal ini disebabkan karena adanya efek sterik yang ditimbulkan dari gugus aromatik (struktur rangkanya yang kaku) sehingga molekul cenderung sulit untuk bergerak (kaku) akibatnya *foam* menjadi rigid. Itulah sebabnya *foam* poliuretan yang berasal dari poliol HMGMS cenderung semi rigid.

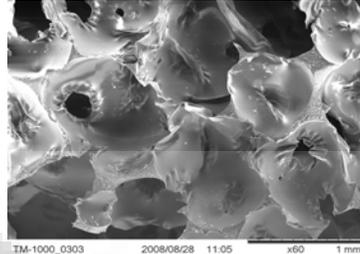
Berdasarkan hasil yang diperoleh, nilai kekerasan *foam* poliuretan yang berasal dari poliol HMGMS lebih besar karena bentuk *foamnya* yang semi rigid, sedangkan *foam* poliuretan yang berasal dari PPG kekerasannya lebih kecil karena bentuk *foamnya* yang fleksibel.

Berdasarkan hasil yang diperoleh dari gambar SEM (*Scanning Electron Microscope*), struktur morfologi rongga sel pada *foam* poliuretan yang berasal dari poliol HMGMS berbentuk sel tertutup (*close cell*) karena bentuk *foamnya* semi rigid, sedangkan *foam* poliuretan dari poliol PPG berbentuk sel tertutup

(*close cel*) tapi sel-selnya saling berhubungan dari sel yang satu dengan sel yang lain, karena bentuk *foamnya* fleksibel.



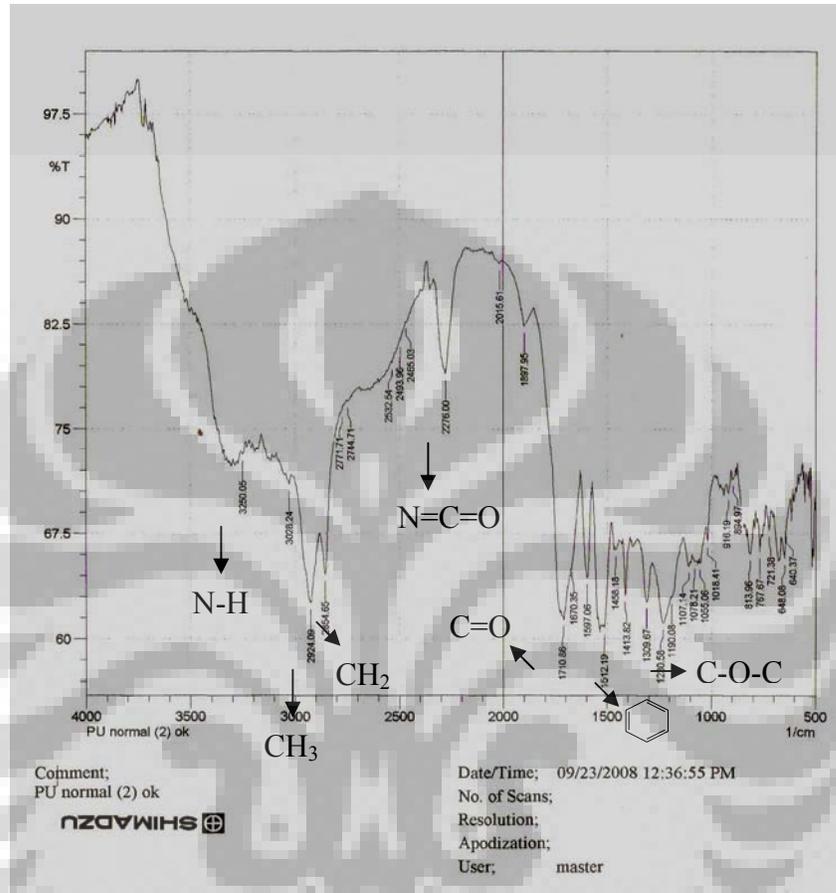
Poliol HMGMS



Poliol PPG

Gambar 4.30 Struktur morfologi sel *foam* poliuretan yang berasal dari polioliol HMGMS dan polioliol PPG.

4.2.6 Analisa FTIR



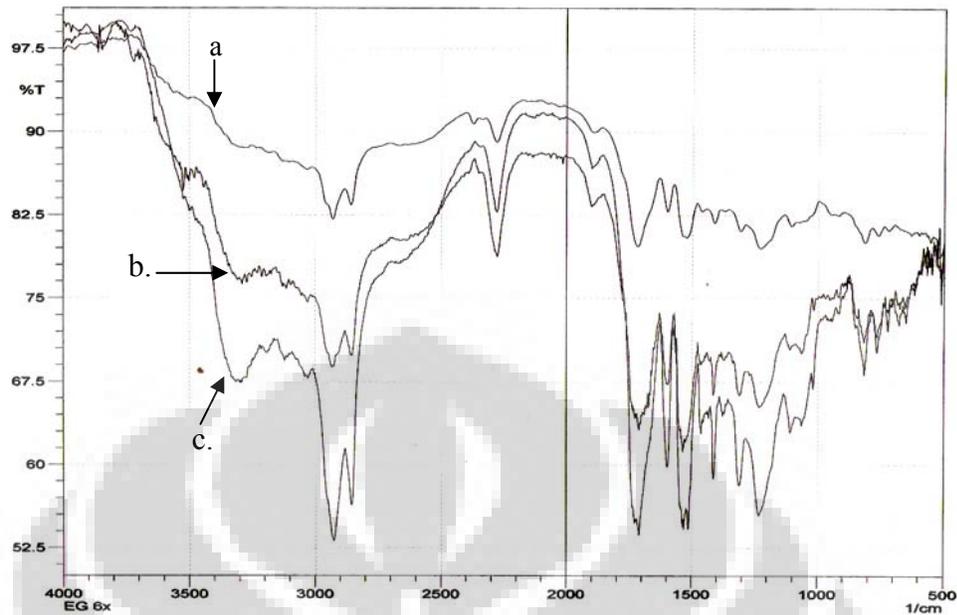
Gambar 4.31 FTIR *foam* poliuretan (HMGMS:MDI=1:1)

Tabel 4.8 Kisaran frekuensi gugus fungsi pada FTIR

foam poliuretan

Frekuensi (cm ⁻¹)	Gugus Fungsional
3329-3290	-N-H-(uretan)
1580-1620	-C=C (cincin aromatik)
2260-2280	-N=C=O
2850-2970	-CH ₃
2850-2860	-CH ₂ -
1710-1716	C=O
1220-1280	-C-O-C-

Terbentuknya poliuretan dari reaksi antara polioliol HMGMS dengan isosianat MDI dapat dilihat dengan analisa FTIR. Pada analisa FTIR dengan sampel *foam* poliuretan, puncak serapan hampir sama dengan FTIR pada sampel polioliol HMGMS. Perbedaannya pada *foam* poliuretan, pita serapan OH pada panjang gelombang 3215 cm⁻¹, 3290 cm⁻¹, dan 3444 cm⁻¹ telah mengalami pergeseran menjadi 3250 cm⁻¹. Terjadinya pergeseran ini diduga telah terjadi reaksi polimerisasi antara polioliol HMGMS dengan MDI sehingga terbentuk ikatan uretan (-O-CONH-) dan serapan 3250 cm⁻¹ tersebut berasal dari serapan -NH-. Pita serapan pada daerah 2276 cm⁻¹ merupakan serapan dari -N=C=O yang diduga berasal dari sisa MDI yang tidak bereaksi dengan polioliol HMGMS. Sedangkan serapan pada daerah 1512 cm⁻¹ dan 1597 cm⁻¹ merupakan serapan ikatan rangkap dari gugus aromatik yang berasal dari MDI.



Gambar 4.32 Spektrum FTIR pengaruh konsentrasi etilena glikol pada *foam* poliuretan : a) 1 pphp, b) 3 pphp, c) 6 pphp.

Disamping reaksi antara polioliol dengan isosianat, pemanjangan rantai (*chain extender*) juga mempunyai peranan penting dalam *foam* poliuretan. Penambahan *chain extender* berpengaruh pada mekanik dan pemisahan mikrofasa *foam* poliuretan. Reaksi *chain extender* dengan gugus isosianat membentuk ikatan uretan. Penambahan *chain extender* akan meningkatkan panjang rantai dan kemudian akan memisahkan mikrofasa yang dihasilkan antara segmen keras dengan segmen lunak. Pengaruh konsentrasi etilena glikol pada struktur *foam* poliuretan dapat di analisa melalui spektrum FTIR. Spektrum FTIR *foam* poliuretan dengan variasi konsentrasi etilena glikol ditunjukkan pada Gambar 4.32. Sesuai dengan spektrum FTIR, ikatan uretan

ditunjukkan pada peak spektrum $3329-3290\text{ cm}^{-1}$ (N-H) and $1220-1280\text{ cm}^{-1}$ (C-O-C). Ikatan uretan dihasilkan dari reaksi antara isosianat dengan polioliol, dan isosianat dengan etilen glikol. Pada peak spektrum $1710-1716\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan gugus C=O dan $1232-1226\text{ cm}^{-1}$ gugus C-N. Peak spektrum pada $2850-2970\text{ cm}^{-1}$ (C-H) dalam gugus $-\text{CH}_3$ dan peak spektrum $2850-2860\text{ cm}^{-1}$ dalam gugus $-\text{CH}_2-$ menunjukkan adanya segmen lunak polioliol dan etilen glikol di dalam rantai *foam* poliuretan. Pengaruh konsentrasi etilen glikol menunjukkan adanya peningkatan peak spektrum pada $3329-3290\text{ cm}^{-1}$ dari ikatan N-H. Dari data ini dapat dikatakan bahwa ketika konsentrasi etilen glikol meningkat maka ikatan uretan yang terbentuk juga meningkat. Peningkatan peak spektrum ikatan uretan menunjukkan bahwa ikatan antara etilen glikol dan isosianat telah membentuk uretan (Gambar 4.28).

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang dilakukan, dapat dibuat kesimpulan sebagai berikut :

1. Sintesis poliol HMGMS yang berasal dari gliserol monooleat pada kondisi optimum memiliki karakterisasi yaitu dengan nilai bilangan iod 8,92 mg $I_2/100$ g sampel dan bilangan hidroksil 122 mg KOH/ g sampel dapat disintesis menjadi *foam* poliuretan .
2. Sintesis *foam* poliuretan dengan perbandingan poliol HMGMS dengan MDI diperoleh titik optimasinya pada perbandingan 1:3 dengan nilai bulk densitas *foam* dan kekerasan yaitu 0,3026 g/cm³ dan 24,2 .
3. Pengaruh variasi surfaktan terhadap sintesis *foam* poliuretan yaitu semakin besar konsentrasi surfaktan yang diberikan maka pembentukan struktur rongga sel "*close cell*" pada *foam* poliuretan semakin stabil dengan ukuran sel rongga yang seragam dengan kekerasan dan bulk densitas yang semakin meningkat.
4. Pengaruh katalis terhadap foam poliuretan yaitu semakin besar konsentrasi katalis maka pembentukan ikatan uretan pada *foam* poliuretan semakin cepat dengan kekerasan yang semakin besar.

5. Pengaruh *chain extender* (etilen glikol) terhadap *foam* poliuretan yaitu rantai polimer semakin panjang dengan bertambahnya segmen lunak yang terbentuk dengan kekerasan yang semakin berkurang.
6. Perbandingan *foam* poliuretan yang dihasilkan, yang berasal dari polioliol PPG (petrokimia) cenderung bersifat fleksibel, sedangkan *foam* poliuretan yang berasal dari polioliol HMGMS cenderung bersifat semi rigid.

5.2 Saran

- Melakukan penelitian lebih lanjut dengan menggunakan bahan pengembang (*blowing agent*) CO_2 yang bersifat ramah lingkungan.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Perhitungan Bahan

Contoh perhitungan aditif :

1. Poliol HMGMS atau Polipropilen Glikol (PPG) = 10 g (yang ditimbang)

2. Air (H₂O)

Konsentrasi Air = 2,67 pphp (*part per hundred polyol*)

Massa air = 2,67% x 10 g = 0,267 g

$$Volume_{air} = \frac{massa_{air}}{\rho_{air}} = \frac{0,267 \text{ gram}}{1 \text{ g/ml}} = 0,267 \text{ ml}$$

3. Silikon glikol

Konsentrasi silikon glikol = 2,04 pphp

Massa silikon glikol = 2,04% x massa poliol = 0,0204x10g = 0,204 gram

Silikon glikol = 1,02 g/ml

$$Volume \text{ silikon glikol} = \frac{0,204 \text{ gr}}{1,02 \text{ g/ml}} = 0,2 \text{ ml}$$

4. *Stannous Octoate*

Konsentrasi *stannous octoate* = 0,3 pphp

Massa *stannous octoate* = 0,3%x massa poliol = 0,003x10g = 0,03 gram

Stannous octoate = 1,25 g/ml

$$Volume \text{ stannous octoate} = \frac{0,03 \text{ gr}}{1,25 \text{ g/ml}} = 0,024 \text{ ml}$$

5. Trietilena diamina

Konsentrasi trietilena amina = 0,2 pphp

Massa trietilena amina = 0,2% massa poliol = 0,002 x 10 g = 0,02 gram

Trietilena amina = 1,033 g/ml

$$\text{Volume trietilena amina} = \frac{0,02 \text{ gr}}{1,033 \text{ g/ml}} = 0,02 \text{ ml}$$

6. Metilen klorida

Konsentrasi metilen klorida = 10 pphp

Massa metilen klorida = 10% x massa poliol = 0,1 x 10 g = 1 gram

Metilen klorida = 1,33 g/ml

$$\text{Volume metilen klorida} = \frac{1 \text{ gr}}{1,33 \text{ g/ml}} = 0,75 \text{ ml}$$

7. Etilen glikol

Konsentrasi etilen glikol = 1 pphp

Massa etilen glikol = 1% x massa poliol = 0,01 x 10 g = 0,1 gram

Etilen glikol = 1,05 g/ml

$$\text{Volume etilen glikol} = \frac{0,1 \text{ gr}}{1,156 \text{ g/ml}} = 0,09 \text{ ml}$$

Lampiran 2. Gambar reaktor poliol dan poliol hasil sampling



Alat reaktor poliol



poliol hasil sampling

Lampiran 3. *Foam* poliuretan perbandingan polioliol HMGMS dengan berat
MDI



HMGMS : MDI=1:1



HMGMS : MDI=1:3

Lampiran 4. *Foam* poliuretan variasi surfaktan (silikon glikol)



HMGMS : SG=1:3



HMGMS : SG=1: 6

Lampiran 5. *Foam* poliuretan variasi *chain extender* (etilen glikol)



HMGMS : EG=1:3



HMGMS : EG=1:6

Lampiran 6. *Foam* poliuretan variasi katalis (trietilen diamin)



HMGMS : TEDA=1:3



HMGMS : TEDA=1:6

Lampiran 7. *Foam* poliuretan dari polioli HMGMS dengan polioli PPG



Foam poliuretan dari Polioli HMGMS



Foam poliuretan dari Polioli PPG

Lampiran 8. *Foam* poliuretan dalam cetakan botol tertutup

