



TUGAS AKHIR – TL141584

**PENGARUH PENAMBAHAN ASAM ADIPAT  
TERHADAP KEKUATAN TARIK DAN STABILITAS  
TERMAL DARI POLIURETAN**

Made Subekti Dwijaya  
NRP 2709 100 008

Dosen Pembimbing  
Dr. Eng. Hosta Ardhyananta, S.T., M.Sc  
Sigit Tri Wicaksono, S.Si, M.Si, Ph.D

Jurusan Teknik Material dan Metalurgi  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2016



FINAL PROJECT – TL141584

**EFFECTS OF ADIPIC ACID ADDITION ON TENSILE  
STRENGTH AND THERMAL STABILITY OF  
POLYURETHANE**

Made Subekti Dwijaya  
NRP 2709100008

ADVISOR

Dr. Eng. Hosta Ardhyanta, S.T., M.Sc  
Sigit Tri Wicaksono, S.Si, M.Si, Ph.D

Department of Materials and Metallurgical Engineering  
Faculty of Industrial Technology  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2016

**PENGARUH PENAMBAHAN ASAM ADIPAT  
TERHADAP KEKUATAN DAN STABILITAS TERMAL  
POLYURETHANE**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada

Bidang Studi Metalurgi Manufaktur  
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Material dan Metalurgi  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**MADE SUBEKTI DWIJAYA**  
NRP 2709100008

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Dr. Eng. Hosta Ardhyana, M.Sc.....(Pembimbing 1)
2. Sigit Tri Wicaksono.....(Pembimbing 2)



Januari 2016

## **Pengaruh Penambahan Asam Adipat Terhadap Kekuatan Tarik Dan Stabilitas Termal Poliuretan**

**Nama** : Made Subekti Dwijaya  
**NRP** : 2709100008  
**Jurusan** : Teknik Material dan Metalurgi  
**Pembimbing** : Dr. Hosta Ardhyananta, S.T., M.Sc  
Sigit Tti Wicaksono, S.T., M.Si., Ph.D

### **Abstrak**

Poliuretan adalah polimer dengan ciri khas adanya gugus uretan dalam rantai utama. Asam adipat, sebagai polyester polioliol berfungsi untuk meningkatkan kekuatan tarik. Pada penelitian ini dilakukan variasi penambahan asam adipat untuk mengetahui pengaruhnya terhadap kekuatan tarik dan stabilitas termal poliuretan. Penambahan asam adipat dilakukan dengan komposisi 10, 20, 30, 40, 50, dan 60%wt. Resin epoksi dan penguatnya ditambahkan pada proses pencampuran. Campuran dituangkan kedalam cetakan spesimen uji tarik dan dilakukan proses curing selama 72 jam. Pengujian yang dilakukan adalah pengujian DSC/TGA, FTIR, pengujian kekerasan, dan pengujian tarik. Hasil dari pengujian DSC/TGA menunjukkan stabilitas termal tertinggi didapat pada spesimen 30% berat asam adipat dengan temperatur degradasi 5% pada 203.167°C. Pengujian FTIR memberikan hasil terdapatnya gugus pembentuk poliuretan. Pengujian kekerasan menunjukkan kekerasan tertinggi didapat dari spesimen 40% berat asam adipat dengan nilai kekerasan 89 shore A. Hasil pengujian tarik memberikan hasil nilai kekuatan tarik tertinggi didapat dari spesimen 40% berat asam adipat sebesar 3.029554655 MPa.

**Kata kunci** : Poliuretan, Asam Adipat, Epoxy Resin

## **Effects of Adipic Acid Addition On Tensile Property and Thermal Stability Polyurethane.**

**Name** : Made Subekti Dwijaya  
**NRP** : 2709100008  
**Department** : Teknik Material dan Metalurgi  
**Advisor** : Dr. Hosta Ardhyananta, S.T., M.Sc  
Dr. Sigit Tri Wicaksono, S.Si., M.Si

### **Abstract**

*Polyurethane is polymer characterized by urethane group on the main link. Adipic acid, as the polyester polyol, is used to increase the tensile strength. In this research, adipic acid was added with varying composition of 10, 20, 30, 40, 50, and 60%wt. Epoxy resin & hardener were added when the mixing process. The mixture poured into tensile test cast and cured for 72 hour in room temperature. Characterized being conducted in this research were DSC/TGA, FTIR, hardness test, and tensile test. The result of DSC/TGA shows highest thermal stability achieve with 30%wt adipic acid addition with 5% thermal degradation on 203.167°C. FTIR test shows the forming of Urethane group. Hardness test shows highest hardness number 89 shore A when the specimen contain 40%wt adipic acid. Tensile test shows highest tensile strength on 3.029554655 MPa when the specimen contain 40%wt adipic acid.*

**Keywords** : Polyurethane, Adipic Acid, Epoxy Resin

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan limpahan karunia sehingga penulis dapat menyelesaikan seluruh rangkaian penyusunan laporan Tugas Akhir dengan judul *“Pengaruh Penambahan Asam Adipat Terhadap Kekuatan Tarik Dan Stabilitas Termal Polyuretan”*

Terima kasih kepada semua pihak yang berperan pada penulisan tugas akhir ini. Penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Sang Hyang Widhi Wasa, Tuhan Yang Maha Esa, yang selalu mencurahkan berkat-Nya serta selalu senantiasa menguatkan tekad penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini
2. Bapak, Ibu kedua orang tua penulis, kak Agus, kak Ari, om Nyoman, Intan Purnama Iswari dan keluarga besar Baturinggit dan Tabanan yang selalu mendoakan dan memberi semangat selama ini
3. Dr. Eng. Hosta Ardhyanta, S.T., M.Sc dan Sigit Tri Wicaksono, S.T., M.Si, Ph.D selaku dosen pembimbing Tugas Akhir, yang telah memberikan bimbingan dan motivasi kepada penulis.
4. Pak Toto, Pak Moko, Pak Anto,atas bantuannya selama penelitian Tugas Akhir
5. “And The Atuh”, Rendy, Ditri, Ade, Yudha, Dubul, Philip, Bang Bonor, Afrisa, Adam, Wanda, Taqy atas memori selama masa perkuliahan.
6. Rekan rekan Teknik Material angkatan 2009 selama masa perkuliahan atas segala bantuan dan dorongannya
7. Mas Fahri, Imam, Huffal, Hafidh, Ali, Ocir, Raka selaku penghuni laboratorium Inovatif
8. AG2028FS untuk kesetiiaannya selama ini
9. Seluruh pihak yang telah memberikan kontribusi atas penulisan Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan Tugas Akhir ini masih terdapat kekurangan, dibalik itu terdapat niat tulus untuk berbagi pengetahuan bagi sesama. Penulis berharap bahwa laporan ini dapat bermanfaat bagi penulis sendiri dan pembaca.

Surabaya, Januari 2016

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	v
<b>ABSTRAK</b> .....	vii
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	xi
<b>DAFTAR ISI</b> .....	xiii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xvii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xix
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	2
1.5 Manfaat penelitian.....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	5
2.1 Polyurethane.....	5
2.2 Flexible Polyurethane Foam.....	6
2.3 Slabstock Foam.....	7
2.4 Hot-Molded, Flexible Urethane Foam.....	8
2.5 Cold-Molded, Flexible Urethane Foam.....	8
2.6 High Resilience (HR) Foams.....	9
2.7 Viscoelastic Foams.....	10
2.8 Super-soft Foams.....	11
2.9 Semiflexible Foam.....	11
2.10 Rigid Polyurethane Foams.....	12
2.11 Isocyanate.....	13

2.12 Polyol .....	15
2.13 Asam adipat.....	17
2.14 Epoxy .....	20
<b>BAB III METODOLOGI .....</b>	<b>23</b>
3.1 Diagram Alir .....	23
3.2 Metode Penelitian.....	24
3.3 Material .....	25
3.4 Alat.....	25
3.5 Prosedur Percobaan .....	26
3.6 Proses Pengujian.....	27
3.6.1 Pengujian Tarik .....	27
3.6.2 Pengujian Kekerasan .....	27
3.6.3 Pengujian DSC/TGA .....	27
3.6.4 Pengujian FTIR .....	27
3.7 Rancangan Penelitian .....	28
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>29</b>
4.1 Polyurethane-Epoxy .....	29
4.2 Komposisi Kimia Polyurethane-Epoxy .....	30
4.3 Pengujian Kekerasan .....	31
4.4 Pengujian Tarik .....	33
4.5 Pengujian DSC/TGA .....	35
4.6 Pengujian FTIR .....	38
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>41</b>

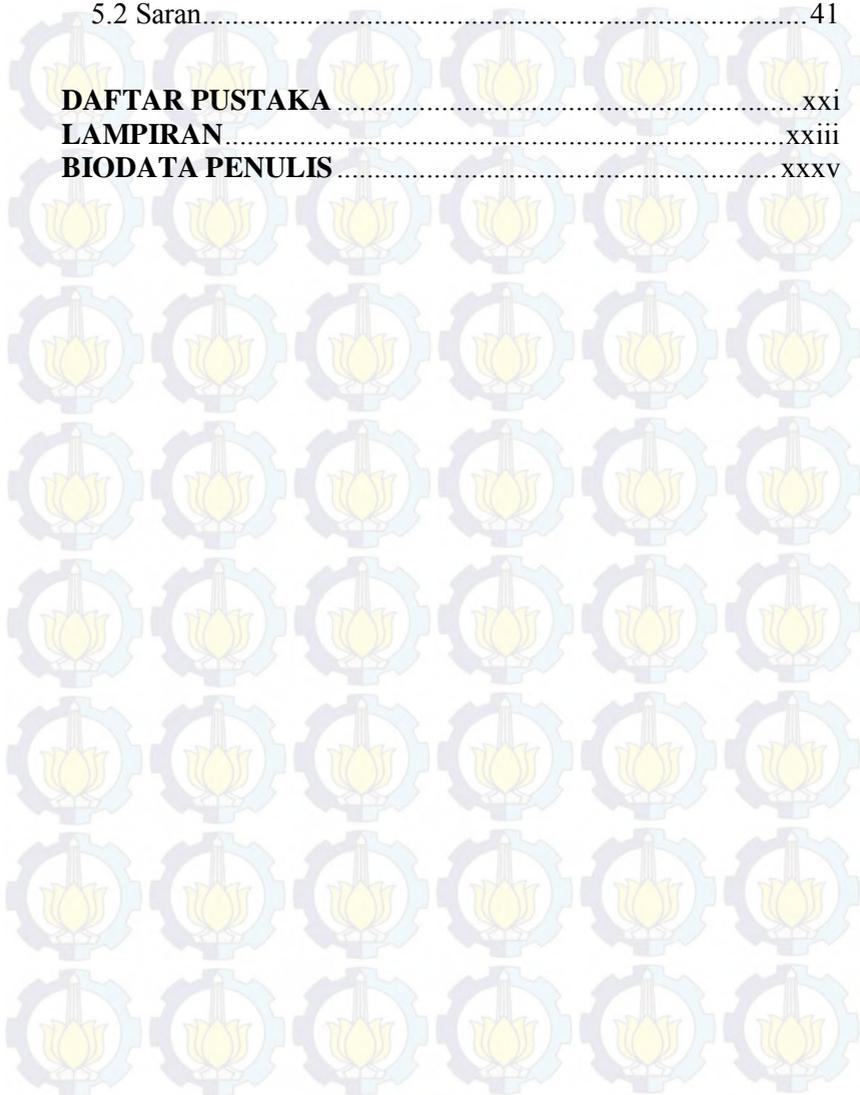
5.1 Kesimpulan..... 41

5.2 Saran..... 41

**DAFTAR PUSTAKA** .....xxi

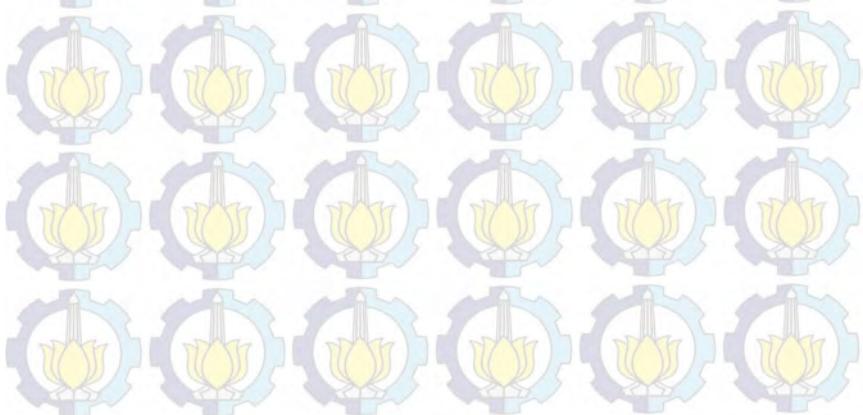
**LAMPIRAN**.....xxiii

**BIODATA PENULIS** .....xxxv



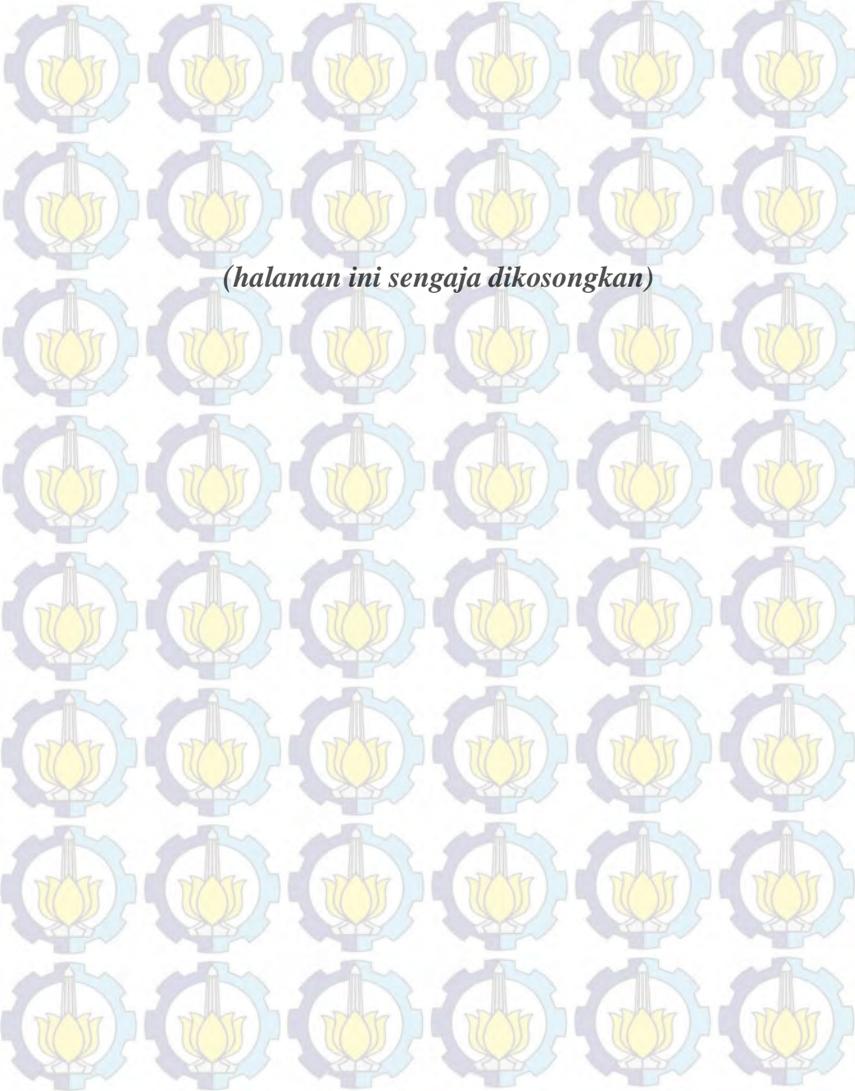
## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	<i>Flexible Polyurethane foam</i> .....	6
Gambar 2.2	Proses Pembuatan Busa <i>Slabstock</i> .....	8
Gambar 2.3	Struktur Kimia MDI 4,4' .....	14
Gambar 2.4	Reaksi Pembentukan <i>Polyurethane</i> Secara Umum .....	20
Gambar 2.5	Gugus <i>Epoxy</i> .....	21
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian.....	23
Gambar 4.1	Pengaruh Penambahan Asam Adipat Terhadap <i>Polyurethane-Epoxy</i> dengan (a) 10 (b) 20 (c) 30 (d) 40 (e) 50 (f) 60 %berat .....	30
Gambar 4.2	Grafik Kekerasan Terhadap Penambahan Asam Adipat 10, 20, 30, 40, 50, dan 60%berat .....	32
Gambar 4.3	Grafik Kekuatan Terhadap Penambahan Asam Adipat 10,20,30,40,50, dan 60% berat .....	34
Gambar 4.4	Grafik Elongasi Terhadap Penambahan Asam Adipat 10, 20, 30, 40, 50, dan 60%berat .....	35
Gambar 4.5	Grafik Stabilitas Termal <i>Polyurethane-Epoxy</i> .....	38
Gambar 4.6	Grafik FTIR <i>Polyurethane-Epoxy</i> .....	40



## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Klasifikasi Busa Urethane .....	5
Tabel 2.2	Sag factor Flexible Polyurethane Foams .....	7
Tabel 2.3	Contoh Formulasi All Water-Blown Cold-Molded Foam.....	9
Tabel 2.4	Physical Properties dari High-Resilience Flexible Foam, PRC-GM # 25 .....	10
Tabel 2.5	Properti Fisik TDI.....	14
Tabel 2.6	Properti Fisik MDI.....	15
Tabel 2.7	Fungsionalitas Inisiator Untuk Polyether Polyol .....	16
Tabel 3.1	Rancangan Penelitian.....	28
Tabel 4.1	Komposisi Polyurethane-Epoxy .....	31
Tabel 4.2	Nilai Kekerasan Polyurethane-Epoxy .....	32
Tabel 4.3	Nilai Kekuatan Polyurethane-Epoxy .....	33
Tabel 4.4	Nilai Elongasi Polyurethane-Epoxy.....	35
Tabel 4.5	Stabilitas Termal Polyurethane-Epoxy .....	37
Tabel 4.7	Hasil Pengujian FTIR .....	39



*(halaman ini sengaja dikosongkan)*



## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Penemuan Nylon 66 oleh W. Carothers dari DuPont de Nemours & Co pada pertengahan 1930an merupakan stimulus yang kuat bagi para ahli kimia untuk menjadi pionir dalam bidang polimer sintetik. Sejak saat itu banyak penelitian dalam bidang sintesis polimer dilakukan diseluruh dunia. Contohnya *polyurethane* yang ditemukan oleh Otto Bayer dan rekan kerjanya di I.G. Farbenindustrie A.G. di Jerman. T. Hoshino dan Y. Iwakura dari Tokyo Institute of Technology di Jepang serta grup peneliti dari E.I DuPont de Nemours Co di Amerika Serikat juga melakukan penelitian mengenai *polyurethane*. (Kaneyoshi, 2007)

*Polyurethane* adalah material polimer yang memiliki ciri khas adanya gugus *urethane* (-NHCOO-) dalam rantai utama polimer. Gugus fungsi *urethane* dihasilkan dari reaksi antara senyawa yang mengandung gugus hidroksil fungsional (-OH) yang disebut *polyol* dengan senyawa yang mengandung gugus *isocyanate* (-NCO-). (Kaneyoshi, 2007).

Jumlah konsumsi dunia terhadap *polyurethane* pada 2010 diperkirakan mencapai 17 milyar *pounds* atau sekitar 5% dari total konsumsi plastik dunia. Amerika Serikat sendiri pada 2010 diperkirakan mengkonsumsi 5 milyar *pounds polyurethane* dan terus meningkat dengan laju sekitar 4% per tahun. Umumnya *polyurethane* digunakan dalam pembuatan busa fleksibel, diikuti oleh busa kaku dan elastomer. Selain itu *polyurethane* juga digunakan sebagai bahan pelapis (*coating*), perekat (*adhesives*), dan penyegel (*sealant*). *Polyurethane* sebagai bahan pelapis banyak digunakan di berbagai substrat seperti kayu, plastik, logam, keramik, dan tekstil. (Sczyher, 2013)

Sayangnya *polyurethane* konvensional diketahui memiliki stabilitas termal yang buruk sehingga dapat membatasi



penggunaannya. Contohnya, sifat mekanik yang dapat diterima menghilang pada temperature 80-90°C dan degradasi termal terjadi pada temperature diatas 200°C. (Takeichi, 1998)

Asam adipat merupakan salah satu *polyester polyol*. Dibandingkan dengan *polyether polyol*, *polyester polyol* memiliki ketahanan terhadap cahaya dan *thermal aging* yang lebih baik. *Polyurethane* yang diproduksi dengan *polyester polyol* umumnya digunakan sebagai bahan cat, material pelapis, dan dikarenakan stabilitas termalnya yang tinggi juga digunakan sebagai busa kaku tahan api. (Ullman, 2005)

### 1.2 Perumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh penambahan asam adipat terhadap sifat tarik polyurethane
2. Bagaimana pengaruh penambahan asam adipat terhadap stabilitas thermal polyurethane

### 1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Pengotor pada bahan diabaikan
2. Proses pencampuran dianggap homogen
3. Kecepatan pengadukan ketika pencampuran dianggap konstan

### 1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Menganalisa pengaruh penambahan asam adipat terhadap sifat tarik polyurethane
2. Menganalisa pengaruh penambahan asam adipat terhadap stabilitas thermal polyurethane



### 1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah mengembangkan teknologi pembuatan polyurethane yang memiliki sifat tarik dan stabilitas termal yang lebih tinggi serta dapat menjadi bahan literatur pengembangan polyurethane.





Laporan Tugas Akhir  
Jurusan Teknik Material dan Metalurgi

---





## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Polyurethane

*Polyurethane* adalah material polimer yang memiliki ciri khas adanya gugus *urethane* (-NHCOO-) dalam rantai utama polimer. Gugus fungsi *urethane* dihasilkan dari reaksi antara senyawa yang mengandung gugus hidroksil fungsional (-OH) yang disebut *polyol* dengan senyawa yang mengandung gugus *isocyanate* (-N=C=O), sehingga membentuk struktur -NH-C(=O)-O. *Polyurethane* kadang disebut PUR dan busa *Polyurethane* disebut busa PUR. *Polyurethane* dan busa polimer yang berbasis *isocyanate* dibuat melalui proses reaksi adisi, kondensasi, dan/atau cyclotrimesasi. Busa *Polyurethane* dapat digolongkan menjadi dua kategori: busa yang fleksibel/ lentur dan busa yang rigid/ kaku. (Kaneyoshi, 2007)

**Tabel 2.1** Klasifikasi Busa *Urethane* (Kaneyoshi, 2007)

<i>Polyol</i>	Rigid Foam	Semirigid Foam	<i>Flexible</i> Foam
OH No	350-560	100-200	5.6-70
OH Equivalent No	160-100	560-280	10,000- 800
Functionality	3.0-8.0	3.0-3.5	2.0-3.1
Elastic Modulus at 23°C			
Mpa	>700	700-70	<70
Lb/in	>100,000	100,000- 10,000	<10,000

*Polyurethane* pertama kali disintesis oleh Dr. Otto Bayer pada tahun 1937 di IG Farbenindustrie, Jerman dengan cara mereaksikan *polyester* diol dengan *diisocyanate*. Hal ini membuka sebuah cara baru dalam kimia makromolekul, yaitu sintesis polimer dengan reaksi baru yang disebut sebagai reaksi poliadisi. *Polyurethane* yang penemuannya masih belum lama,



baru sekitar 65 tahun, kini menjadi salah satu jenis polimer yang penggunaannya paling dinamis dimana aplikasinya mencakup hampir semua bidang aplikasi polimer seperti busa, elastomer, material termoplastis & thermosetting, perekat, pelapis, serat dll. *Polyurethane* dipakai dalam hampir semua aspek dalam kehidupan sehari-hari manusia, meningkatkan kualitas hidup umat manusia. Furnitur, matras, jok mobil, sol sepatu, insulator panas untuk kulkas dan gedung, bahan pengemasan, dan bahan pelapis adalah beberapa contoh kecil dari aplikasi *Polyurethane* dalam kehidupan sehari-hari. *Polyurethane* didapat melalui reaksi antara oligomer *polyol* dengan *diisocyanate* atau *polyisocyanate*. Struktur dari oligomer *polyol* yang digunakan dalam proses pembuatan *Polyurethane* sangat menentukan property dari produk polimer yang dihasilkan. (Ionescu, 2005)

## 2.2 Flexible Polyurethane Foams

Busa *urethane* fleksibel (*flexible Polyurethane foams*) dapat digolongkan berdasarkan *polyol*nya menjadi busa *polyether* dan busa *polyester*. Busa *urethane* fleksibel terdiri dari busa *slabstock polyether* biasa, busa *hot molded*, busa *cold molded*, busa *high-resilience* (HR), busa *viscoelastic*, busa super lunak (*super-soft*), busa semifleksibel, dan busa *polyester* fleksibel. (Kaneyoshi, 2007)



Gambar 2.1 *Flexible Polyurethane Foam* (Avar, 2012)



Busa fleksibel juga digolongkan berdasarkan *sag factor*

**Tabel 2.2** Sag Flexible *Polyurethane* Foams  
(Kaneyoshi, 2007)

Foam	Sag Factor
<i>Flexible polyester</i> foam	1.2-1.4
<i>Flexible polyether</i> foam	1.6-2.0
HR Foam	2.4-3.0

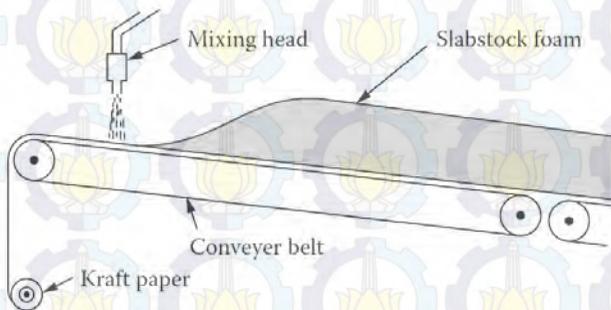
Penggunaan busa *Polyurethane* fleksibel terbesar adalah sebagai bahan bantalan furniture. Berat yang lebih ringan, kekuatan yang lebih tinggi, lebih mudah difabrikasi dibanding busa latex adalah sejumlah keunggulan busa *Polyurethane* fleksibel. Selain itu fabrikasi dan pengaplikasian busa *Polyurethane* fleksibel lebih mudah dan cepat dibanding penggunaan bulu hewan, bulu burung, atau material untuk pengisi bantalan yang lain. Teknik dalam proses molding busa *Polyurethane* fleksibel yang semakin meningkat memudahkan fabrikasi furniture dengan bentuk yang tidak biasa. (Szycher, 2013)

### 2.3 Slabstock Foam

Bongkahan besar busa yang terbentuk dari penuangan terus menerus campuran cairan pembuat busa pada *conveyor* disebut busa *slabstock* dan potongan melintang dari busa *slabstock* disebut busa balok. Proses pembuatan busa *slabstock* banyak digunakan dalam pembuatan busa *polyester* dan *polyether*. Pada proses pembuatan busa *slabstock* umumnya digunakan proses satu langkah (*one-step process*). Semua bahan dipompa menuju ujung pencampur (*mixing head*) melalui beberapa aliran lalu dituang ke *conveyor* yang bergerak. Campuran ini terdiri dari campuran air dan katalis. Demi hasil pengukuran dan mendapatkan viskositas yang diinginkan beberapa bahan sebelumnya telah dicampur sebelum dituangkan ke *conveyor*. Campuran ini terdiri dari campuran air dengan



katalis *amine*, katalis *tin* dengan *polyol*, dan *blowing agent* dengan *polyol*. (Kaneyoshi, 2007)



**Gambar 2.2** Proses Pembuatan Busa *Slabstock* (Kaneyoshi, 2007)

#### 2.4 Hot-Molded, Flexible Urethane Foam

Busa *hot molded* diproduksi menggunakan formulasi yang terdiri dari *polyether polyol* biasa (3,000 mol wt, tri fungsional *oxypropylene triol*) dengan TDI 80/20. Pada tahun 1961 Nisshinbo Industries Inc di Jepang mengkomersilkan matras yang terbuat dari busa *urethane hot molded* yang mampu memberikan daya tahan yang lebih baik dan kenyamanan lebih saat tidur dibanding matras yang terbuat dari busa *slabstock*. Sayangnya harga matras yang terbuat dari busa *urethane hot molded* relatif mahal sehingga kalah kompetitif dengan matras yang terbuat dari busa *slabstock* sehingga produksinya dihentikan. (Kaneyoshi, 2007)

#### 2.5 Cold-Molded, Flexible Urethane Foam

Busa *cold molded* dibuat menggunakan cetakan yang bertemperatur rendah (60 hingga 70°C) selama 10 menit sambil tetap mempertahankan temperatur cetakan lalu dilakukan *post cure* di oven terpisah atau pada temperatur ruangan. (Kaneyoshi, 2007).



**Tabel 2.3** Contoh Formulasi *All Water-Blown Cold-Molded Foam* (Kaneyoshi, 2007)

Polyisocyanate	Polyol (mol wt)	Mold Cure (°C/min)	Post-cure (°C/min)
TDI/pMDI*	Polymer polyol	60-69/10	121/130
TDI/pMDI*	Polymer polyol	100/10	None
TDI/pMDI*	Polymer polyol	63/6	121/4
TDI/pMDI*	8,000-10,000	80/7	NA
TDI/pMDI**	Polymer polyol	120/8	120/30
TDI/pMDI***	Polymer polyol	NA	NA
All pMDI	4,800-6,000	45-50/4-5	NA
TDI 80-20	Polymer polyol	70/5	NA

\*pMDI = polymeric MDI, weight ratio of TDI/MDI = 80/20

\*\*Weight ratio of TDI/MDI = 78/22

\*\*\*Weight ratio of TDI/MDI = 70/30

## 2.6 High Resilience (HR) Foams

Busa *high resilience* (HR) dibuat menggunakan proses yang sama dengan pembuatan busa *cold molded*. Dasar dari formulasi pembuatannya adalah untuk mengurangi interaksi intermolekuler seperti ikatan hidrogen pada rantai *urethane* dan seterusnya. (Kaneyoshi, 2007)

Busa *high resilience* memiliki ciri khas *sag factor* yang tinggi dibanding busa biasa. Ciri khas ini membuat busa *high resilience* banyak digunakan sebagai bahan bantalan. Selain itu aplikasi lainnya adalah sebagai bahan pembuatan busa spons dan busa lain yang memerlukan kemampuan absorpsi cairan. Biasanya busa *high resilience* dibuat dalam bentuk *slab*, lalu kemudian dibentuk sesuai kebutuhan. (Szchyer, 2013)



**Tabel 2.4** *Physical Properties* dari *High-Resilience Flexible Foam*, PRC-GM # 25 (Kaneyoshi, 2007)

Physical Properties	U.S Customary	SI Unit
Density, pounds/ cubic feet (kg/m <sup>3</sup> )	2.75	44
ILD, 25%R, pounds/50 inches <sup>2</sup> (N/ 323cm <sup>2</sup> )	26	116
65%R, pounds/ 50 inches <sup>2</sup> (N/ 323cm <sup>2</sup> )	75	334
Sag factor	2.88	2.88
Tensile strength, pounds/inches <sup>2</sup> (kPa)	10	69
Elongation, %	100	100
Tear strength, pounds/inches (N/m)	0.8	140
Compression set, %	3.5	3.5
Rebound, %	73	73

## 2.7 Viscoelastic Foams

Busa *viscoelastic* memiliki ciri khas lambat kembali ke bentuk semula apabila dikenai kompresi atau tekanan. Busa ini juga disebut *low-resiliency foam*, *slow-recovery foam*, *ergonomic foam*, *better-riding comfort foam*, dan *temperatur-sensitive foam*. Busa ini yang digunakan pada jok mobil, akan terdeformasi dalam ukuran yang luas oleh bagian tubuh yang berat seperti pinggul tapi luas deformasinya akan kecil apabila yang memberi tekanan adalah bagian tubuh yang ringan seperti punggung. Busa *viscoelastic* dibuat menggunakan campuran dari *polyol* bermassa molekul tinggi dengan *polyol* bermassa molekul rendah. *Isocyanate* yang digunakan adalah TDI 80/20, TDI 63/36, atau MDI *polymeric*. Umumnya *isocyanate* berindeks rendah yang digunakan (kurang dari 100). Busa *viscoelastic* berbasis TDI umumnya sangat empuk saat disentuh, memiliki *resilience* yang sangat rendah, dan lama untuk kembali ke bentuk semula. Busa *viscoelastic* berbasis MDI lebih mudah untuk dibuat dan bias diproduksi dengan indeks *isocyanate* yang lebih luas. Kekuatan dari busa *viscoelastic* berbasis MDI lebih rendah, *resilience* lebih tinggi, dan *compression set*nya lebih



baik dibanding yang berbasis TDI. Di pasaran busa *viscoelastic* digunakan untuk bahan jok untuk orang yang banyak menghabiskan pekerjaannya dengan duduk seperti supir truk, pekerja kantoran, pilot, juga digunakan untuk tempat duduk di pesawat ulang alik milik NASA, tempat duduk pada kursi roda, juga pada peralatan olahraga yang memerlukan kemampuan untuk menyerap energi seperti matras untuk senam lantai, pelindung lutut untuk pemain hoki es, dan sepatu *boots* untuk pemain ski. (Kaneyoshi, 2007)

## 2.8 Super-soft Foams

Busa super lunak (*super-soft foams*) dapat diproduksi dengan menggunakan *polyether triol* yang memiliki berat molekul yang tinggi seperti 6,000 hingga 12,000 mol wt *polyether triol*. *Isocyanate* yang cocok digunakan adalah TDI 80/20, dengan indeks *isocyanate* dalam rentang 92 hingga 104. *Blowing agent* yang digunakan bisa air atau air dengan *blowing agent* fisik. Penggunaan dari busa super lunak di pasaran adalah sebagai bahan bantalan pada sofa kualitas tinggi. (Kaneyoshi, 2007)

## 2.9 Semiflexible Foam

Busa semifleksibel (*semiflexible foam*) memiliki *open cells* yang tinggi, dan kemampuan menyerap energi. Busa ini banyak digunakan dalam industri otomotif, seperti inti *bumper*, panel penahan benturan yang terdapat di pintu, dan bagian dalam atap dari mobil. Busa semifleksibel memiliki ciri mampu menyerap energy jadi sering juga disebut busa penyerap energi (*energy-absorbing* atau *EA foam*). (Kaneyoshi, 2007)

Busa semifleksibel diproduksi dengan kombinasi yang sesuai antara *polyester* dengan *isocyanate*. Seperti busa *Polyurethane* fleksibel, dengan merubah formulasi dapat didapatkan variasi dalam kekerasan dan property lainnya. Busa *Polyurethane* semifleksibel memiliki sifat termoplastis dan tidak



akan meleleh, tapi akan melunak seiring dengan pertambahan temperatur. (Szycher, 2013)

## 2.10 Rigid Polyurethane Foams

Busa *Polyurethane* kaku (*rigid Polyurethane foams*) diproduksi dengan mereaksikan *polyether* atau *polyester polyol* dengan MDI *polymeric*. Kepadatannya bergantung pada penambahan *blowing agent* atau formasi karbon dioksida dan reaksi air dengan MDI. (Avar, 2012)

Busa *Polyurethane* kaku memiliki karakteristik yang unik seperti berikut:

1. Busa dipersiapkan pada temperatur ruang tanpa pemanasan.
2. Busa dapat menempel pada banyak jenis material seperti baja, kayu, resin *thermosetting*, dll.
3. Densitas busa dapat bervariasi mulai dari 20 hingga 3000 kg/m<sup>3</sup>.
4. Busa tahan terhadap minyak dan pelarut nonpolar lainnya.
5. Busa yang berdensitas rendah memiliki sifat ketahanan panas yang tinggi (*high thermal insulation properties*). Karakteristik ini berbeda dengan busa *thermoplastic* seperti *polystyrene* dan *polyolefin* dan juga dengan busa *thermosetting* lainya seperti busa *phenolic*. (Kaneyoshi, 2007)

Busa *Polyurethane* kaku dapat diaplikasikan dalam banyak produk penahan panas seperti kulkas, lemari pembeku, gudang pembeku, bangunan dan konstruksi, pabrik kimia dan petrokimia, pemanas air, kotak es portabel, dan botol *thermos*. (Kaneyoshi, 2007)

Persentase *closed cells* dalam busa *Polyurethane* kaku bergantung pada derajat *crosslink* dan *surfactant* yang digunakan ketika proses *foaming*, begitu juga dengan berat ekuivalen *polyol*nya. Secara umum kandungan *closed cell* yang tinggi justru diharapkan terbentuk. Tingginya kadar *closed cell*



berpengaruh pada rendahnya daya serap air dan permeabilitas busa. (Szycher, 2013)

## 2.11 Isocyanate

*Isocyanate* adalah gugus fungsi dengan rumus kimia (-NCO-). Sintesis *isocyanate* pertama kali dilaporkan oleh A. Wurtz pada tahun 1848. Ahli kimia terkenal yang lain seperti A.W. vonHofmann dan T. Curtius juga menyelidiki *isocyanate* pada tahun 1800an. Sintesis *isocyanate* yang penting secara komersil ditemukan oleh W. Hentschel pada tahun 1884. Diisocyanate menjadi penting secara komersil pada 1930an ketika proses pembuatan *Polyurethane* melalui proses polimerisasi adisi *isocyanate* difungsional dengan *polyol* ditemukan oleh O. Bayer dan rekan kerjanya di laboratorium I.G Farben di Leverkusen. Lebih dari 270 jenis isocyanate berhasil disintesis pada 1934 hingga 1949. Saat ini *4,4-diphenylmethane diisocyanate* (MDI), *toluene diisocyanate* (TDI), *hexamethylene diisocyanate* (HDI), *isophorone diisocyanate* (IPDI), *hydrogenated MDI [bis(4-isocyanatocyclohexyl)methane, H<sub>12</sub>MDI]* merupakan yang paling banyak digunakan secara praktikal.(Ullman, 2005)

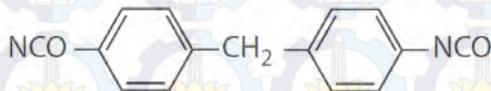
TDI dibuat melalui *phosgenation diaminotoluene*, yang didapatkan melalui reduksi *nitrotoluene*. Produk komersial dari TDI adalah campuran dari isomer 2,4 dan 2,6 dengan rasio berat 80/20 satau 65/35. TDI dengan rasio berat 80/20 umumnya digunakan untuk membuat busa yang fleksibel. TDI yang telah dimodifikasi dan TDI yang tidak didistilasi umumnya digunakan untuk membuat busa *Polyurethane* yang kaku dan bagian dari busa yang semi kaku. TDI tidak cocok untuk membuat busa *polyisocyanurate*. (Kaneyoshi, 2007)



**Tabel 2.5** Properti Fisik TDI (Kaneyoshi, 2007)

Item	Isomer Ratio (2.4 to 2.6)		
	100	80:20	65:35
Physical state at normal T	Liquid		
Color	Colorless to pale yellow		
Viscosity (mPas @25°C)	(3-6)	3-6	(3-6)
Purity	>99.5%		
Specific gravity (g/ml) (@25°C)	1.21	1.21	1.21
Boiling point (°C)	251	251	251
Flash point (°C)	135	135	135
Fire point (°C)	142	142	142
Autoignition temp (°C)	277	277	277
Freezing temp (°C)	22	<15	<8
Vapor density (air=1)	6.0	6.0	6.0
Vapor pressure (mbar @25°C)	0.03	0.03	0.03

MDI dibuat melalui *phosgenation* dari produk kondensasi *aniline* dengan *formaldehde*. *Polimeric* dan *oligomeric* MDI berbentuk cairan, umumnya berbasis isomer 4,4' dan sebagian kecil berbasis isomer 2,2' dan lebih dari 10% berbasis isomer 2,4'. Fungsionalitas rata ratanya berkisar antara 2.3 sampai 3.0. *Polymeric* MDI digunakan untuk busa *urethane* kaku dan semi kaku, juga untuk busa *polyisocyanurate*. (Kaneyoshi, 2007)



4,4'-Diphenylmethane diisocyanate (MDI)

**Gambar 2.3** Struktur Kimia MDI 4,4' (Szycher, 2013)



**Tabel 2.6** Properti Fisik MDI (Kaneyoshi, 2007)

Item	MDI (monomeric)	MDI (polymeric)
Physical state at normal temperature	Solid	Liquid
Viscosity (mPa @25°C)	-	100-800
Color	White to light yellow	Dark brown (opaque)
Specific gravity (@25°C)	1.22 (43°C)	1.23
Boiling point (°C)	171 (1.33mbar) 200 (6.66 mbar) 230 decomposition	Polymerizes at 260 with evolution of carbon dioxide
Flash point (°C)	199	Over 200
Fire point (°C)	232	Over 200
Freezing point (°C)	38	Below 10
Vapor density (air=1)	8.5	8.5
Vapor pressure (mbar @25°C)	$<10^{-5}$	$<10^{-5}$

### 2.12 Polyol

*Polyol* adalah senyawa dengan banyak grup hidroksil yang fungsional. Molekul dengan dua gugus hidroksil disebut diol, tiga gugus disebut triol, dan seterusnya. *Polyol* yang digunakan untuk busa *urethane* adalah *oligomer* cair atau senyawa *polymeric* yang memiliki minimal dua gugus hidroksil. *Polyol* terdiri dari *polyether polyol*, *polyester polyol*, *hydroxyl-terminated polyol*, *hydroxyl-terminated polyolefin*, dan hidroksil yang mengandung minyak sayur. (Kaneyoshi, 2007)

*Polyether polyol* konvensional adalah *polyol* yang banyak digunakan untuk busa *Polyurethane*. *Polyether polyol* terbagi menjadi empat kelompok, yaitu: *polyoxyalkylene polyol*, *graft polyol*, PHD (*Polyharnstoff Dispersion*) *polyol*, dan *polytetramethylene ether glycol* (PTMEG). Inisiator untuk *polyether polyol* adalah senyawa hydrogen aktif, memiliki berat molekul yang rendah dengan fungsionalitas 2 sampai 8. (Kaneyoshi, 2007)



**Tabel 2.7** Fungsionalitas Inisiator Untuk *Polyether Polyol*  
(Kaneyoshi, 2007)

**Functionality 2**

Propylene glycol  
Ethylene glycol  
Water  
Methyldiethanolamine

**Functionality 4**

Pentaerythritol  
Methyl glucoside  
Ethylenediamine  
Toluenediamine

**Functionality 6**

Sorbitol

**Functionality 3**

Glycerol  
Trimethylolpropane  
1,2,6-Hexadienol  
Triethanolamine  
Phosphoric acid

**Functionality 5**

Diethylene triamine

**Functionality 8**

Sucrose

Kelebihan *polyether polyol* dibanding *polyester polyol* adalah:

1. Ketersediaan fungsionalitas *polyol* (2 hingga 8)
2. Berat ekuivalen dapat diubah ubah
3. Viskositasnya lebih rendah dibanding *polyester polyol*
4. Biaya produksinya lebih rendah dibanding *aliphatic polyester*
5. Busa yang dihasilkan bersifat tahan terhadap hidrolisis
6. Fungsionalitas dan berat ekuivalen *polyether polyol* dapat divariasikan dengan mudah. Ini merupakan kelebihan yang signifikan dibanding *polyester polyol* sehingga *polyether polyol* digunakan secara luas untuk memproduksi bermacam produk *Polyurethane* seperti busa fleksibel, busa semi fleksibel, busa kaku, elastomer, pelapis (*coating*), bahan perekat (*adhesives*), *sealants*, dan resin



Kekurangan dari *polyether polyol* dibanding *polyester polyol* adalah ketahanan terhadap oksidasinya lebih rendah. (Kaneyoshi, 2007)

*Polyester polyol* untuk *urethane* dan sejenisnya terdiri dari *polyester* alifatik dan aromatik. *Polyester* alifatik dibuat dengan menggunakan reaksi polikondensasi terhadap asam *dibasic* seperti *adipic acid*, *phthalic acid*, dan *sebacic acid* dengan *glycol* seperti *ethylene glycol*, *propylene glycol*, *diethylene glycol*, *1,4-butanediol*, dan *1,6-hexanediol*. *Polyester polyol* memiliki viskositas yang tinggi dan fungsionalitas yang rendah. *Polyester* aromatik dibuat menggunakan proses trans-esterifikasi dari daur ulang produk *polyethylene terephthalate* (PET) seperti film untuk sinar X dan MRI serta botol minum. *Polyol* ini berbentuk cairan dengan warna gelap dan memiliki fungsionalitas 2. *Polyol* ini dapat digunakan dalam pembuatan busa *urethane* kaku dan busa *polyisocyanurate*. (Kaneyoshi, 2007)

Dibandingkan dengan *polyether polyol*, *polyester polyol* memiliki ketahanan terhadap cahaya dan *thermal aging* yang lebih baik. *Polyurethane* yang diproduksi dengan *polyester polyol* umumnya digunakan sebagai bahan cat, material pelapis, dan dikarenakan stabilitas termalnya yang tinggi juga digunakan sebagai busa kaku tahan api. *Polyester polyol* yang umum digunakan dikarenakan harganya yang murah tapi memiliki kualitas yang baik adalah asam adipat dan etilen glikol/1,4-butadienol. (Ullman, 2005)

### 2.13 Asam Adipat

Asam adipat ( $C_6H_{10}O_4$ ) adalah asam dikarboksilat alifatik yang secara komersial paling penting. Asam adipat secara alami hanya terdapat sedikit di alam tapi diproduksi di pabrik dalam skala besar diseluruh dunia. Aplikasi utama dari asam adipat adalah untuk produksi nylon 66 *polyamide*, ditemukan pada awal 1930an oleh W.H. Carothers dari DuPont. (Ullman, 2005)

Asam adipat berbentuk kristal yang tidak berwarna dan tidak berbau, serta memiliki rasa asam. Asam adipat sangat larut



dalam *methanol* dan *ethanol*, larut dalam air dan *acetone*, dan sedikit larut dalam *cyclohexane* dan *benzene*. Kecenderungan asam adipat untuk membentuk *anhydride cyclic* dengan hilangnya air tidak sejelas asam *glutaric* atau asam *succinic*. Asam adipat dapat dengan mudah bereaksi dengan satu atau kedua grup asam *carboxylic* tersebut untuk membentuk garam, ester, *amide*, dan nitril. Asam adipat cukup stabil terhadap kebanyakan unsur pengoksidasi, dibuktikan dalam produksi asam nitrat. Tapi asam nitrat akan menyerang asam adipat secara autokatalis pada temperatur diatas  $180^{\circ}\text{C}$  menghasilkan karbon dioksida, air, dan nitrogen oksida. (Ullman, 2005)

85% dari produksi asam adipat di Amerika Serikat digunakan untuk proses produksi nylon 66. Sisa 15%nya dijual ke pasaran sebagai bahan pembuatan material lain. Sekitar 3% dari penjualan *Polyurethane* di Amerika Serikat pada tahun 1988 berasal dari produk kondensasi *polyisocyanate* dengan polyadipates yang berberat molekul rendah yang memiliki gugus akhir hidroksil. Pada tahun 1986 diperkirakan mencapai 29,000 ton atau 4% dari total konsumsi asam adipat. Jumlah persentase ini sama dengan wilayah Eropa Barat. Sekitar 90% dari *Polyurethane* yang mengandung asam adipat digunakan untuk *flexible* atau semirigid foam dan elastomer, sedangkan sisanya digunakan untuk bahan pembuatan bahan perekat, coating, dan serat spandex. (Othmer. K, 2001)

Asam adipat mengalami reaksi yang biasa dialami asam karboksilat seperti esterifikasi, amidasi, reduksi, halogenasi, pembentukan garam, dan dehidrasi.

#### 1. Esterifikasi

Ester dan *polyester* merupakan turunan asam adipat yang terpenting kedua setelah *polyamide*. Asam adipat mudah bereaksi dengan alcohol membentuk mono atau diester. Meskipun biasanya reaksi tersebut dikatalis oleh asam, konversi dapat ditingkatkan dengan menghilangkan air yang terbentuk dari hasil reaksi. Metil ester merupakan material yang penting dalam industri karena produk



turunannya dapat didistilasi untuk menyediakan metode untuk memisahkan atau memurnikan campuran asam. Proses modifikasi produksi asam adipat terbaru telah menyertakan esterifikasi *methanol* dari produk sampingan campuran asam dikarboksilat. Kegunaan penting dari ester adipat yang lain adalah untuk pembuatan *polyurethane* resin dengan cara mereaksikan *polyester* berberat molekul ringan yang diterminasi dalam grup hidroksil dengan *polyisocyanate*.

2. Pembentukan garam

Reaksi pembentukan garam dari asam adipat sama dengan asam karboksilat. Garam alkali metal terlarut dalam air, sedangkan garam metal alkali tanah memiliki kelarutan yang terbatas.

3. Amideasi

Pemanasan garam diamonium atau reaksi antara dimetil ester dengan konsentrat ammonium hidroksida menghasilkan *adipamide* yang relatif tidak larut dalam air dingin. Reaksi yang paling penting dalam industri adalah reaksi antar asam adipat dengan diamin, khususnya 1,6-hexadiamin. Garam polymeric yang dapat larut dalam air terbentuk di awal pencampuran larutan kedua material tersebut. Hasil pencampuran tersebut kemudian dipanaskan, seiring menghilangnya air terbentuk *polyamide*, nylon 66.

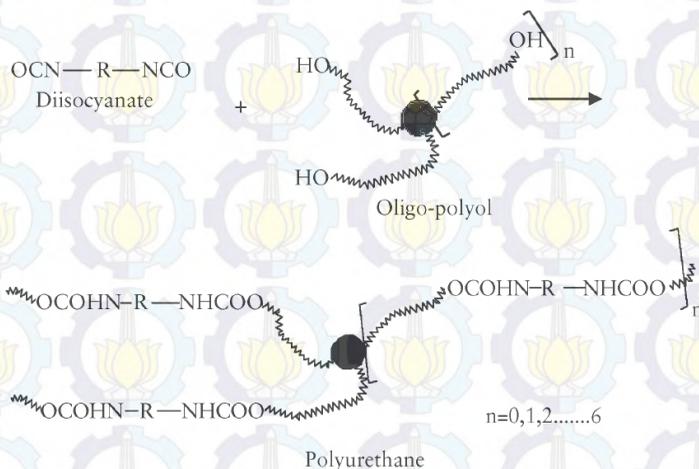
4. Reduksi

Proses hidrogenasi dari dimetil adipat terhadap tembaga chromite pada 200°C dan 10MPa menghasilkan *1,6-hexadienol*, zat kimia pertengahan yang penting. Untuk menghasilkan *1,6-hexdiamine* dari asam adipat pada proses terdahulu yang kini tidak lagi digunakan lagi, dilakukan hidrogenasi dari asam adipat (sebagai esternya) terhadap diol, diikuti amonolisis terhadap diamin.



## 5. Dehidrasi

Pemanasan diatas titik leleh asam adipat menyebabkan hilangnya air dan terbentuknya anhidrid *linear* atau polimerik, bukan anhidrid siklik seperti yang terbentuk pada anhidrid glutarik dan anhidrid suklinik. Dekarboksilasi terjadi pada temperatur 230-250°C, menghasilkan siklopentanon sebagai produk utama. Reaksi ini dikatalis oleh metal seperti kalsium atau barium. (Othmer. K, 2001)



**Gambar 2.4** Reaksi Pembentukan *Polyurethane* Secara Umum  
(Ionescu, 2005)

## 2.14 Epoxy

*Epoxy* resin merupakan jenis material polimer yang penting dengan ciri khas adanya lebih dari satu cincin tertutup tiga yang biasa disebut gugus *epoxy*, epoxide, oxirane, atau ethoxyline. Kata “*epoxy*” berasal dari kata dalam bahasa Yunani “ep” yang berarti diantara dan “oxy” yang berarti oksigen. Dalam pengertian yang lebih sempit, *epoxy* resin dapat diartikan



sebagai monomer yang tidak mengalami *crosslink* atau oligomer yang mengandung gugus *epoxy*. (Ullman, 2005)



**Gambar 2.5** Gugus *Epoxy* (Ullman, 2005)

Penelitian mengenai polimer *epoxy* merupakan topik yang banyak dibahas pada tahun 1970 dan 1980an dimana pada masa itu pengetahuan dasar mengenai polimer termosett sedang gencar dipaparkan. Pada periode ini berbagai bahan kimia yang dapat digunakan dalam pembuatan *epoxy* resin mulai diketahui, permodelan bentuk jaringan mulai dibuat dengan berbagai tingkat kompleksitas, transisi yang terjadi ketika pembentukan jaringan seperti pembentukan gelatin dan vitrifikasi mulai dikenali dan dapat diprediksi, diagram transformasi mulai dikembangkan untuk mengukur siklus *curing*. Di sisi lain dalam periode yang sama, para pelaku industri mulai mengembangkan formulasi dan teknik pemrosesan baru untuk memproduksi berbagai macam aplikasi dari polimer *epoxy* seperti bahan perekat, pelapis, dan komposit. (Pascault, 2010)

Monomer *epoxy* yang paling banyak digunakan merupakan produk turunan yang dihasilkan dari reaksi antara *bis(4-hydroxyl phenylene) -2,2 propane* yang biasa disebut *bisphenol A* dengan *1-chloroprene 2-oxide* yang biasa disebut *epichlorohydrin*. Struktur kimia dari produk utamanya, *bisphenol A diglycidyl ether* atau DGEBA dan bentuk terkondensasinya bergantung kepada stoikiometri dari reaktannya. (Pascault, 2010)

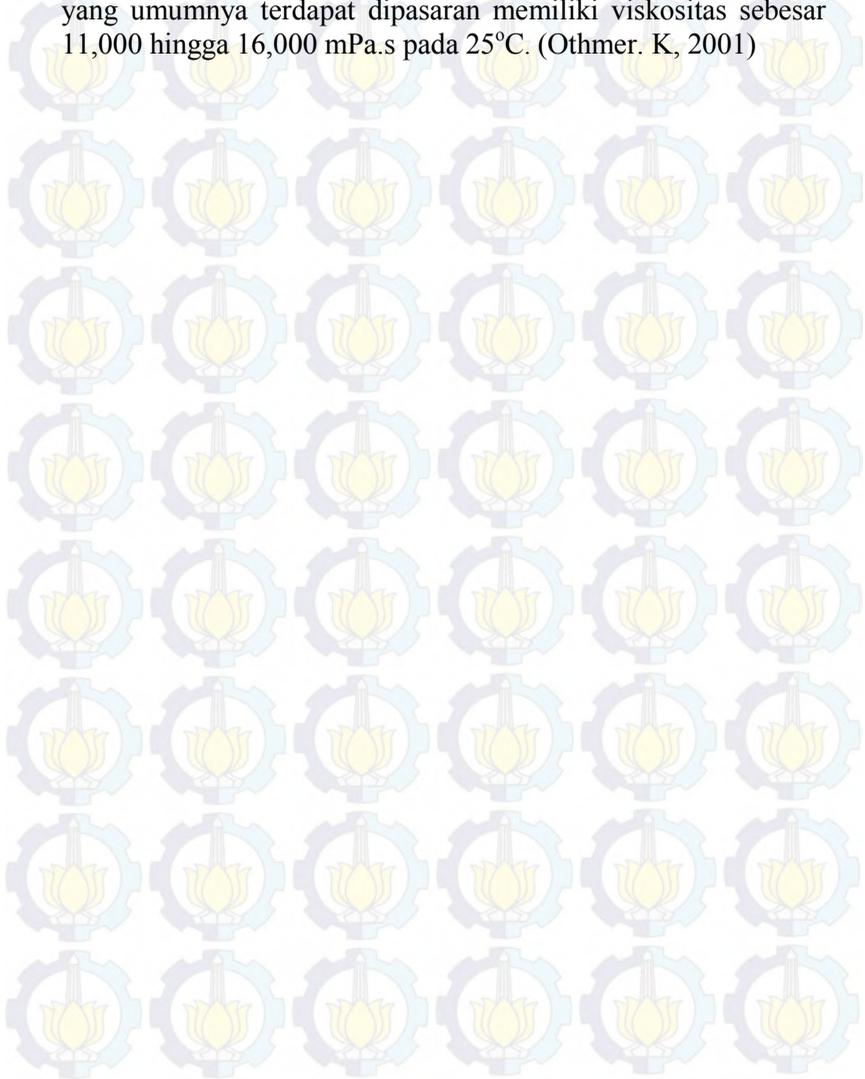
Diperkirakan sekitar 75% *epoxy resin* yang digunakan didunia berasal dari DGEBA. Dominasi pasar oleh *epoxy resin* berbasis *bisphenol A* dikarenakan harganya yang relatif murah dan performanya yang memuaskan dalam banyak aplikasi.



## Laporan Tugas Akhir Jurusan Teknik Material dan Metalurgi

---

DGEBA murni berbentuk kristalin padat dengan *melting point* 43°C dengan berat *epoxide* ekuivalen sebesar 170. Resin cair yang umumnya terdapat dipasaran memiliki viskositas sebesar 11,000 hingga 16,000 mPa.s pada 25°C. (Othmer, K, 2001)

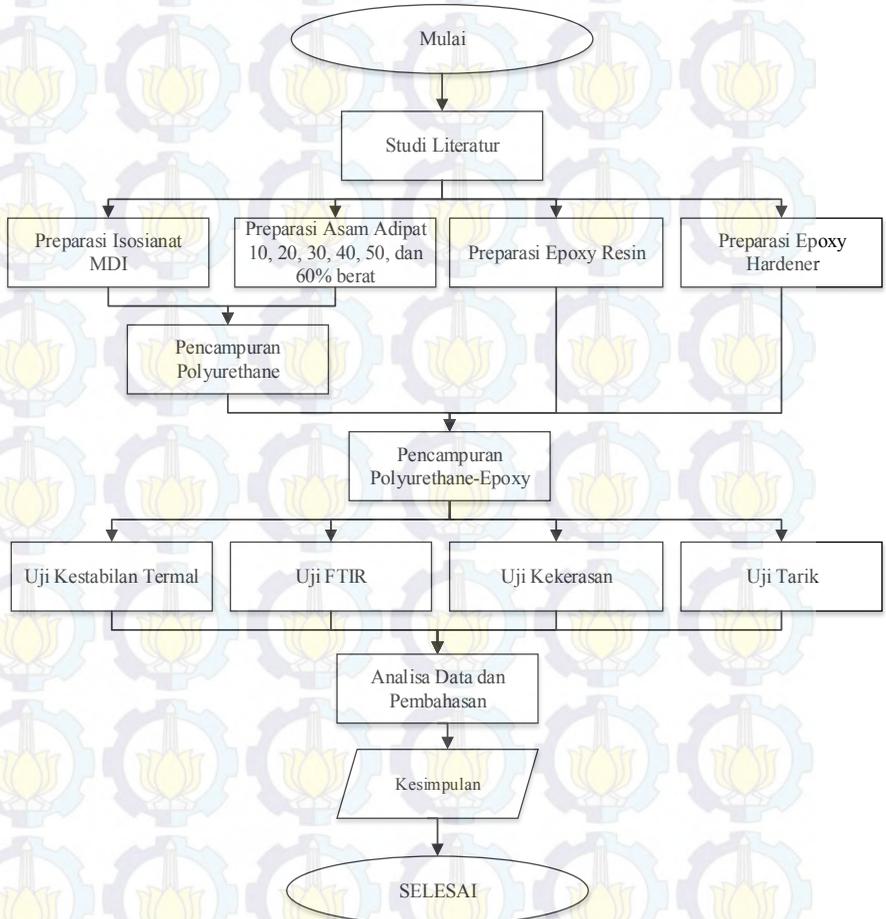




### BAB III METODOLOGI

#### 3.1 Diagram Alir

Gambar 3.1 adalah diagram alir pada penelitian ini



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian



### 3.2 Metode Penelitian

Sebelum melakukan eksperimen, preparasi sampel dilakukan dengan cara menghitung komposisi massa tiap – tiap komponen yang diinginkan. Setelah proses penghitungan komposisi, bahan dicampur sesuai urutan. Metode pembuatan spesimen uji dilakukan dengan menuang hasil pencampuran kedalam cetakan uji tarik.

- a) Analisis Sifat Tarik  
Analisis sifat tarik dilakukan dengan menganalisis hasil pengujian tarik. Analisa sifat tarik bertujuan untuk mengetahui kekuatan, %elongasi, dan modulus elastisitas dari produk hasil pencampuran sehingga dapat dianalisis lebih lanjut mengenai sifat fisik spesimen.
- b) Analisis Kekerasan  
Analisis kekerasan menggunakan durometer shore A. Hal ini bertujuan untuk melihat nilai kekerasan dari tiap spesimen yang dibandingkan dengan rentang kekerasan sesuai standar material polimer. Sehingga dapat dianalisis pengaruh variasi komposisi terhadap kekerasan material.
- c) Analisis Stabilitas Termal  
Analisis stabilitas termal dilakukan dengan menganalisa hasil pengujian DSC/TGA. Pengujian DSC/TGA bertujuan untuk mengetahui stabilitas termal actual spesimen.
- d) Analisa Struktur Kimia  
Analisa struktur kimia dilakukan dengan menganalisis hasil pengujian FTIR. Sehingga dapat dianalisis struktur kimia apa saja yang terdapat dalam spesimen.



### 3.3 Material

Material yang digunakan pada penelitian ini adalah

1. Asam Adipat  
Asam adipat ini diperoleh dalam bentuk serbuk dengan warna putih yang digunakan untuk keperluan umum Laboratorium Inovasi Material Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS. Digolongkan sebagai *polyester polyol*.
2. *Isocyanate*  
*Isocyanate* pada penelitian ini digunakan jenis MDI. *Isocyanate* ini didapatkan dari PT Justus Kimia Raya.
3. *Epoxy Resin*  
Epoxy resin pada penelitian ini didapatkan dari PT Justus Kimia Raya.
4. *Epoxy Hardener*  
*Epoxy hardener* yang digunakan dalam penelitian ini didapatkan dari PT Justus Kimia Raya.
5. Bahan Pelarut  
Bahan pelarut yang digunakan dalam penelitian ini adalah *methanol* 99%.

### 3.4 Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah

1. Wadah aluminium  
Alat ini digunakan sebagai wadah saat proses pencampuran. Wadah yang digunakan adalah wadah aluminium kapasitas 50ml.
2. Timbangan *Digital*  
Digunakan untuk mengukur massa bahan pencampuran.
3. Batang Pengaduk  
Alat ini digunakan untuk mencampur bahan bahan yang digunakan dalam pembuatan spesimen.
4. Cetakan Spesimen Uji Tarik  
Digunakan untuk mencetak material hasil pencampuran menjadi spesimen uji tarik.



5. *Aluminium Foil*  
Digunakan untuk melapisi cetakan uji tarik agar tidak lengket oleh material hasil pencampuran uji.
6. Mesin Gerinda  
Digunakan untuk menghaluskan permukaan spesimen.
7. Alat Uji Tarik Autograph  
Alat uji tarik yang digunakan untuk menguji tarik spesimen. Alat uji tarik yang digunakan adalah milik Lab Farmasi Universitas Airlangga.
8. Alat Uji Kekerasan Durometer Shore A  
Alat ini digunakan untuk mengukur kekerasan dalam skala shore A.
9. Alat Uji DSC/TGA  
Digunakan untuk mengetahui stabilitas termal dari spesimen uji.
10. Alat Uji FTIR  
Digunakan untuk mengetahui struktur kimia dalam spesimen uji.

### 3.5 Prosedur Percobaan

Preparasi spesimen dilakukan dengan menyiapkan bahan berupa asam adipat, *isocyanate*, *methanol*, *epoxy resin*, dan *epoxy hardener*. Semua bahan ditimbang sesuai dengan perhitungan komposisi. Cetakan uji dilapisi dengan *aluminium foil*. Asam adipat dilarutkan dalam *methanol* pada krusibel aluminium dengan perbandingan berat 1:5. Asam adipat yang telah dilarutkan ditambahkan kedalam *isocyanate* dengan persentase berat 10, 20, 30, 40, 50, dan 60% lalu diaduk selama 60 detik. Kemudian ditambahkan *epoxy resin* kedalam hasil campuran asam adipat dan *isocyanate* lalu diaduk selama 30 detik. Selanjutnya *epoxy hardener* ditambahkan dan diaduk selama 30 detik. Langkah selanjutnya material hasil campuran dituangkan kedalam cetakan uji tarik. Material hasil campuran yang telah dituangkan kedalam cetakan uji tarik lalu didiamkan pada temperature kamar selama 3 hari. Setelah 3 hari, spesimen hasil campuran dikeluarkan dari cetakan uji tarik dan



dibersihkan dari *aluminium foil*. Spesimen lalu dirapikan menggunakan mesin gerinda.

### **3.6 Proses Pengujian**

Penelitian ini dilakukan empat pengujian. Pengujian sifat tarik oleh uji tarik, Pengujian DSC/TGA untuk melihat stabilitas termal. *Hardness test* untuk mengetahui nilai kekerasan. Uji FTIR untuk mengetahui struktur kimia yang terbentuk.

#### **3.6.1 Pengujian Tarik**

Pengujian tarik adalah pengujian dengan menarik spesimen uji hingga putus untuk mendapatkan data kekuatan tarik. Dari data kekuatan tarik didapatkan %elongasi dan modulus elastisitas dari spesimen. Pengujian tarik pada penelitian ini dilakukan di Lab. Farmasi Universitas Airlangga dengan standar ASTM D638

#### **3.6.2 Pengujian Kekerasan**

Pengujian kekerasan dilakukan untuk mengetahui nilai kekerasan dari spesimen. Pengujian kekerasan pada penelitian ini dilakukan sesuai standar ASTM D2240. Nilai kekerasan umumnya berkorelasi dengan nilai kekuatan suatu spesimen.

#### **3.6.3 Pengujian DSC/TGA**

Pengujian DCS/TGA dilakukan untuk mengetahui stabilitas termal dari spesimen. Pengujian DSC/TGA pada penelitian ini dilakukan di Lab. Divisi Karakterisasi Material Jurusan Teknik Material dan Metalurgi ITS.

#### **3.6.4 Pengujian FTIR**

Pengujian FTIR dilakukan untuk mengetahui struktur kimia yang terbentuk dalam spesimen. Pengujian FTIR pada penelitian ini dilakukan di Lab Divisi Karakterisasi Material Jurusan Teknik Material dan Metalurgi ITS.



### 3.7 Rancangan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah dipaparkan, rancangan penelitian ini ditunjukkan pada Tabel 3.1.

**Tabel 3.1** Rancangan Penelitian

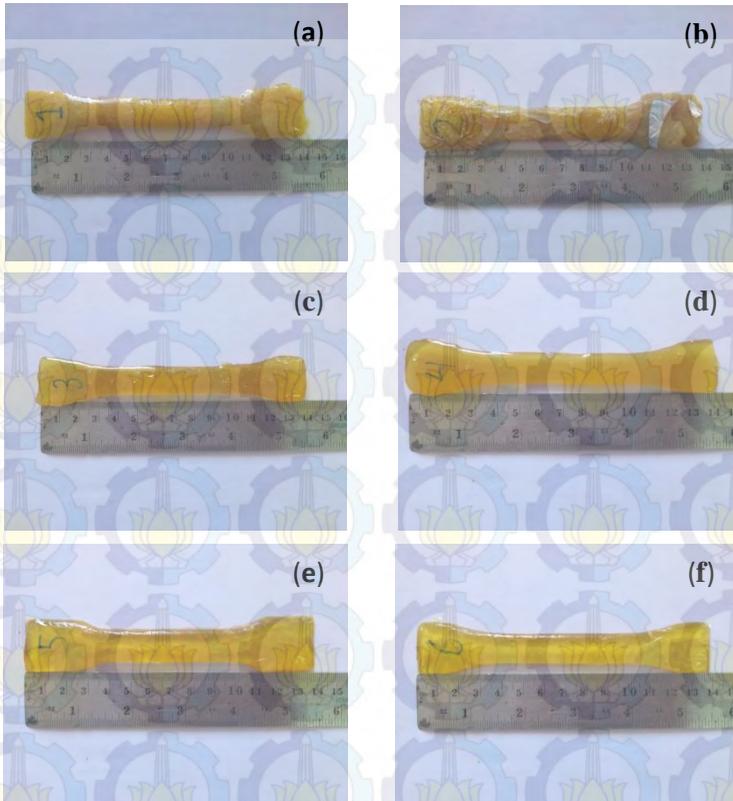
Material	Rasio Berat Epoxy : MDI : Asam Adipat	Asam Adipat (%berat)
PU <sub>10</sub>	1 : 0.9 : 0.1	10
PU <sub>20</sub>	1 : 0.8 : 0.2	20
PU <sub>30</sub>	1 : 0.7 : 0.3	30
PU <sub>40</sub>	1 : 0.6 : 0.4	40
PU <sub>50</sub>	1 : 0.5 : 0.5	50
PU <sub>60</sub>	1 : 0.4 : 0.6	60



## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Polyurethane-Epoxy

Gambar 4.1 menunjukkan variasi morfologi dari spesimen *Polyurethane-Epoxy*. Gambar 4.1 (a) menunjukkan morfologi *Polyurethane-Epoxy* dengan 10%berat asam adipat, berwarna kuning kecoklatan tidak tembus pandang, agak lengket ketika dipegang, beraroma *epoxy hardener*, agak lunak, banyak *porous* kecil, permukaan rata, rigid. Sedangkan gambar 4.1 (b) menunjukkan morfologi *Polyurethane-Epoxy* dengan 20%berat asam adipat, permukaan relative kurang rata, warna kuning kecoklatan yang lebih pekat dibanding spesimen (a), beraroma *epoxy hardener*, lengket ketika dipegang, *porous* agak besar, rigid. Gambar 4.1 (c) menunjukkan morfologi *Polyurethane-Epoxy* dengan 30%berat asam adipat, berwarna kuning agak kecoklatan tembus pandang, keras, permukaan spesimen relatif rata dan tidak lengket, memiliki aroma *epoxy hardener*, terdapat sedikit porositas, sangat rigid. Gambar 4.1 (d) menunjukkan morfologi *Polyurethane-Epoxy* dengan 40%berat asam adipat, permukaan spesimen rata, keras, terdapat sedikit porositas, berwarna kuning kecoklatan tembus pandang, beraroma *epoxy hardener*, serta tidak lengket, sangat rigid. Pada gambar 4.1 (e) menunjukkan morfologi dari *Polyurethane-Epoxy* dengan 50%berat asam adipat, tidak terdapat porositas, berwarna kuning terang tembus pandang, permukaan rata, memiliki aroma *epoxy hardener*,sedikit lengket bila dibiarkan bersentuhan dengan spesimen lain, tidak rigid. Gambar 4.1 (f) menunjukkan morfologi dari *Polyurethane-Epoxy* dengan 60%berat asam adipat (f), berwarna kuning terang yang tembus pandang, permukaan yang rata, tidak rigid, beraroma *epoxy hardener*, terdapat sedikit porositas,tidak rigid serta agak lengket bila dibiarkan bersentuhan dengan spesimen lain. Seiring penambahan %berat asam adipat, spesimen *Polyurethane-Epoxy* menunjukkan perubahan warna yang semakin terang.



**Gambar 4.1** Pengaruh Penambahan Asam Adipat Terhadap *Polyurethane-Epoxy* dengan (a) 10 (b) 20 (c) 30 (d) 40 (e) 50 (f) 60 %berat

#### 4.2 Komposisi Kimia *Polyurethane-Epoxy*

Tabel 4.1 menunjukkan komposisi pencampuran material dalam pembuatan material *Polyurethane-Epoxy*. Asam adipat merupakan bahan yang menyediakan gugus fungsi hidroksil yang fungsional dalam pencampuran ini, sedangkan methanol berperan sebagai pelarut asam adipat. Pemilihan methanol



sebagai pelarut dikarenakan kelarutan asam adipat yang tinggi dalam methanol. MDI berfungsi sebagai penyedia gugus -NCO- atau isosianat yang nantinya akan bereaksi dengan gugus hidroksil fungsional dari asam adipat untuk membentuk gugus urethane yang berulang. Epoxy resin dan epoxy hardener berperan sebagai peningkat stabilitas termal dalam produk hasil pencampuran.

**Tabel 4.1** Komposisi *Polyurethane-Epoxy*

Material	Rasio Berat Epoxy : MDI : Asam Adipat	Asam Adipat (%berat)
PU <sub>10</sub>	1 : 0.9 : 0.1	10
PU <sub>20</sub>	1 : 0.8 : 0.2	20
PU <sub>30</sub>	1 : 0.7 : 0.3	30
PU <sub>40</sub>	1 : 0.6 : 0.4	40
PU <sub>50</sub>	1 : 0.5 : 0.5	50
PU <sub>60</sub>	1 : 0.4 : 0.6	60

### 4.3 Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan spesimen dilakukan dengan menggunakan metode uji kekerasan shore A dengan standar ASTM D2240. Menggunakan indentor durometer shore A.

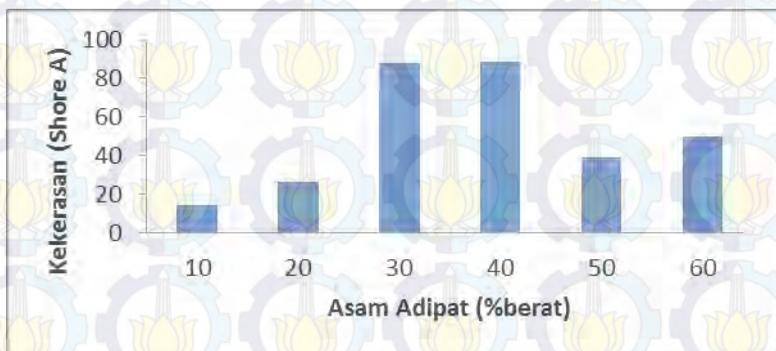
Tabel 4.2 dan Gambar 4.2 menunjukkan nilai kekerasan terhadap penambahan asam adipat 10, 20, 30, 40, 50, dan 60%wt. Pengujian dilakukan pada 5 titik indentasi untuk setiap 1 spesimen sehingga didapat 5 nilai kekerasan shore A. Perhitungan nilai kekerasan diperoleh dari rata-rata nilai kekerasan shore A untuk setiap spesimen. Pada spesimen *Polyurethane-Epoxy* dengan 10%berat asam adipat menunjukkan nilai kekerasan sebesar 14.00 shore A. Kenaikan nilai kekerasan terjadi pada spesimen *Polyurethane-Epoxy* dengan 20%berat menjadi 26.60 shore A. Kenaikan nilai kekerasan yang paling signifikan terjadi pada spesimen *Polyurethane-Epoxy* dengan 30%berat asam adipat menjadi



sebesar 88.00 shore A. Nilai kekerasan tertinggi didapat pada spesimen *Polyurethane-Epoxy* dengan 40%berat asam adipat sebesar 89.00 shore A. Namun terjadi penurunan nilai kekerasan secara signifikan pada spesimen *Polyurethane-Epoxy* dengan 50%berat yaitu menjadi 38.80 shore A. Kenaikan nilai kekerasan terjadi kembali pada spesimen *Polyurethane-Epoxy* dengan 60%berat asam adipat menjadi 49.80 shore A. Penambahan 40%berat asam adipat dalam pembuatan spesimen *Polyurethane-Epoxy* memberikan nilai kekerasan paling tinggi dikarenakan pada komposisi tersebut terjadi reaksi pembentukan *Polyurethane* rigid antara MDI dengan asam adipat yang paling baik.

**Tabel 4.2** Nilai Kekerasan *Polyurethane-Epoxy*

Material	Kekerasan (Shore A)	Asam Adipat (%berat)
PU <sub>10</sub>	14.00±4.79	10
PU <sub>20</sub>	26.60±10.69	20
PU <sub>30</sub>	88.00±5.91	30
PU <sub>40</sub>	89.00±2.23	40
PU <sub>50</sub>	38.80±8.87	50
PU <sub>60</sub>	49.80±1.64	60



**Gambar 4.2** Grafik Kekerasan Terhadap Penambahan Asam Adipat 10, 20, 30, 40, 50, dan 60%berat



#### 4.4 Pengujian Tarik

Pengujian tarik spesimen dilakukan sesuai standar ASTM D638. . Tabel 4.3 dan Gambar 4.3 menunjukkan nilai kekuatan terhadap penambahan asam adipat 10, 20, 30, 40, 50, dan 60%berat. Spesimen *Polyurethane-Epoxy* dengan 10%berat asam adipat memberikan nilai kekerasan sebesar 0.215979796 MPa. Terjadi sedikit kenaikan nilai kekuatan pada spesimen *Polyurethane-Epoxy* dengan 20%berat asam adipat menjadi 0.210142486 MPa. Pada hasil pengujian tarik spesimen *Polyurethane-Epoxy* dengan 30%berat asam adipat terjadi kenaikan nilai kekuatan yang signifikan yaitu 1.62510214 MPa. Kekuatan tarik spesimen *Polyurethane-Epoxy* dengan 40%berat asam adipat kembali mengalami kenaikan dibanding nilai kekuatan tarik spesimen *Polyurethane-Epoxy* yaitu 03.029554655 MPa. Namun terjadi penurunan kekuatan tarik pada spesimen *Polyurethane-Epoxy* dengan 50%berat asam adipat yaitu 0.406275486 MPa. Penurunan kekuatan tarik juga terjadi pada spesimen *Polyurethane-Epoxy* dengan 60%berat asam adipat menjadi 0.420284972 MPa. Sifat kekuatan pada spesimen juga berkorelasi dengan nilai kekerasan, yaitu nilai tertinggi didapat pada spesimen dengan penambahan 40%berat asam adipat dimana terjadi proses pembentukan *polyurethane* rigid yang paling baik.

**Tabel 4.3** Nilai Kekuatan *Polyurethane-Epoxy*

Material	$\sigma$ (MPa)	Asam Adipat (%berat)
PU <sub>10</sub>	0.215979796	10
PU <sub>20</sub>	0.210142486	20
PU <sub>30</sub>	1.62510214	30
PU <sub>40</sub>	3.029554655	40
PU <sub>50</sub>	0.406275486	50
PU <sub>60</sub>	0.420284972	60



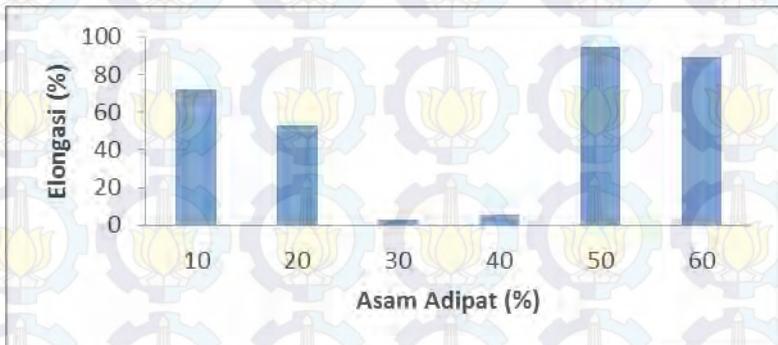
**Gambar 4.3** Grafik Kekuatan Terhadap Penambahan Asam Adipat 10, 20, 30, 40, 50, dan 60%berat

Tabel 4.4 dan Gambar 4.4 menunjukkan nilai elongasi terhadap penambahan asam adipat 10, 20, 30, 40, 50, dan 60%berat. Spesimen *Polyurethane-Epoxy* dengan 10%berat asam adipat memiliki elongasi sebesar 72.21429%. Sedangkan terjadi sedikit penurunan nilai elongasi pada spesimen *Polyurethane-Epoxy* dengan 20%berat asam adipat menjadi 52.57143%. Elongasi paling rendah yang didapatkan dalam pengujian didapat dari pengujian spesimen *Polyurethane-Epoxy* dengan 30%berat asam adipat yaitu sebesar 3%. Pada spesimen *Polyurethane-Epoxy* dengan 40%berat asam adipat terjadi kenaikan elongasi *Polyurethane-Epoxy* yaitu 5.642857%. Nilai elongasi paling tinggi didapatkan pada spesimen *Polyurethane-Epoxy* dengan 50%berat asam adipat yaitu sebesar 94.78571%. Sedangkan untuk spesimen *Polyurethane-Epoxy* dengan 60%berat asam adipat memiliki elongasi 89%. Rendahnya elongasi pada spesimen dengan %berat asam adipat sebesar 30&40 sesuai dengan kekuatannya dimana semakin tinggi kekuatan maka elongasinya semakin rendah.



**Tabel 4.4** Nilai Elongasi *Polyurethane-Epoxy*

Material	Elongasi (%)	Asam Adipat (%berat)
PU <sub>10</sub>	72.21429	10
PU <sub>20</sub>	52.57143	20
PU <sub>30</sub>	3	30
PU <sub>40</sub>	5.642857	40
PU <sub>50</sub>	94.78571	50
PU <sub>60</sub>	89	60



**Gambar 4.4** Grafik Elongasi Terhadap Penambahan Asam Adipat 10, 20, 30, 40, 50, dan 60%berat

#### 4.5 Pengujian DSC/TGA

Pengujian TGA dilakukan dengan memanaskan sampel dari temperatur 25°C sampai dengan 800°C untuk mengetahui perubahan massa dari sampel polimer terhadap kenaikan temperatur.

Tabel 4.5 dan Gambar 4.5 menunjukkan pengaruh penambahan asam adipat terhadap stabilitas termal *Polyurethane-Epoxy*. Spesimen *Polyurethane-Epoxy* dengan 10% berat asam adipat menunjukkan pada temperatur 25 hingga 340 °C tidaklah terjadi pengurangan massa yang signifikan. Spesimen baru menunjukkan perubahan drastis setelah pemanasan diatas 340 °C. Sedangkan pada spesimen *Polyurethane-Epoxy* dengan 20% berat asam adipat mengalami



dua kali penurunan massa secara signifikan yaitu pada temperatur 212 dan 335°C. Lalu pada spesimen *Polyurethane-Epoxy* dengan 30% berat asam adipat pada temperatur 25 hingga 330 °C menunjukkan penurunan massa yang sedikit lebih banyak daripada *Polyurethane-Epoxy* dengan 20% berat asam adipat dan spesimen masih stabil hingga temperatur 330 °C, tetapi baru mengalami perubahan drastis pada pemanasan di atas 330 °C. Untuk spesimen *Polyurethane-Epoxy* dengan 40% berat asam adipat mengalami penurunan massa yang hampir sama dengan *Polyurethane-Epoxy* 30% berat asam adipat pada pemanasan temperatur 25 hingga 330 °C, tetapi pada temperatur di atas 330 °C terjadi perubahan drastis yang dimana sama dengan spesimen *Polyurethane-Epoxy* dengan 30% berat. Spesimen *Polyurethane-Epoxy* dengan 50% berat tetap stabil pada 25 sampai 340°C dan baru mengalami penurunan massa setelah pemanasan di atas 340°C. Spesimen *Polyurethane-Epoxy* dengan 60% berat tetap stabil pada temperatur 25 sampai 340°C dan mengalami penurunan massa yang sedikit lebih drastis dibanding spesimen *Polyurethane-Epoxy* dengan 50% berat pada temperatur di atas 340°C.

Spesimen *Polyurethane-Epoxy* dengan penambahan 10% berat asam adipat mengalami degradasi 5% pada 118.667°C dan degradasi 10% berat pada 263.167 °C, serta diakhir pemanasan didapatkan besar persentase sisa berat sebesar 9.868108124%. Sedangkan pada spesimen *Polyurethane-Epoxy* dengan 20% asam adipat mengalami degradasi 5% pada 190.833 °C dan degradasi 10% pada 244.167 °C serta persentase sisa beratnya sebesar 12.98815021%. Temperatur degradasi 5% spesimen *Polyurethane-Epoxy* 30% berat asam adipat adalah pada 203.167°C dan temperatur degradasi 10%nya pada 239.333°C serta persentase sisa beratnya sebesar 8.842644518%. Spesimen *Polyurethane-Epoxy* dengan 40% berat asam adipat mengalami degradasi 5% pada 180.333°C, degradasi 10% pada 225.5°C, dan persentase sisa berat sebesar 12.62628265%. Spesimen *Polyurethane-Epoxy*

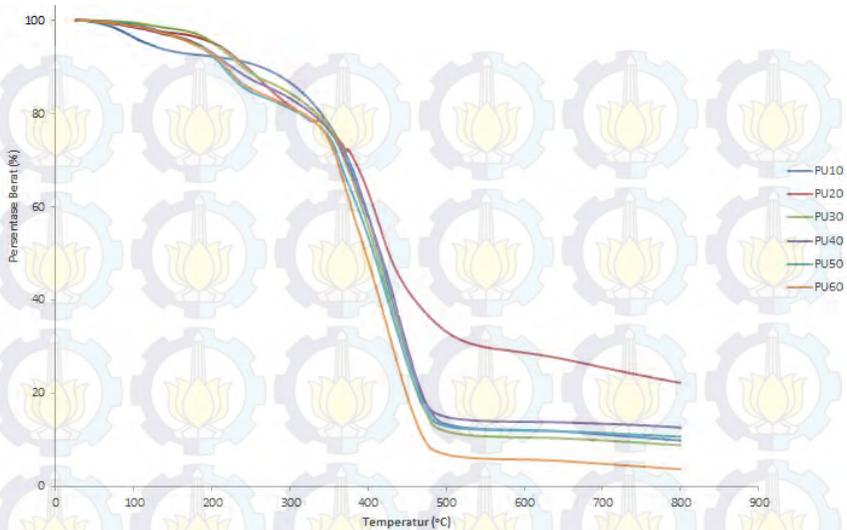


dengan 50% berat asam adipat mengalami degradasi 5% pada 176.667°C, degradasi 10% pada 214.5°C, dan diakhir pemanasan didapat persentase sisa berat sebesar 10.67325418%. Sedangkan spesimen *Polyurethane-Epoxy* dengan 60% berat asam adipat mengalami degradasi 5% pada 175.667°C, degradasi 10% pada 218.833°C, dan persentase sisa berat sebesar 3.703762579%.

Menurut penelitian Lei, dkk pada tahun 2014, pada *Polyurethane* diketahui bahwa *hard segment* lebih rentan terhadap dekomposisi termal dibanding *soft segment*. Akibatnya stabilitas termal dari *Polyurethane* umumnya bergantung pada stabilitas termal *hard segment*nya. Penelitian yang dilakukan oleh Zhang pada tahun 2011 menunjukkan bahwa stabilitas thermal dari polimer dipengaruhi oleh 5% pengurangan berat awal. Semakin tinggi temperatur yang dibutuhkan untuk menghasilkan 5% pengurangan massa, semakin stabil jenis polimer tersebut, umumnya disebut sebagai temperatur dekomposisi. Temperatur degradasi 5% dari spesimen diketahui yang paling tinggi pada PU<sub>30</sub> lalu menurun seiring penambahan %berat Asam Adipat.

**Tabel 4.5** Stabilitas Termal *Polyurethane-Epoxy*

Material	Temperatur Degradasi 5%(°C)	Temperatur Degradasi 10% (°C)	Persentase Sisa Berat (%berat)
PU <sub>10</sub>	118.667	263.167	9.868108124
PU <sub>20</sub>	190.833	244.167	22.24315
PU <sub>30</sub>	203.167	239.333	8.842644518
PU <sub>40</sub>	180.333	225.5	12.62628265
PU <sub>50</sub>	176.667	214.5	10.67325418
PU <sub>60</sub>	175.667	218.833	3.703762579



Gambar 4.5 Grafik Stabilitas Termal *Polyurethane-Epoxy*

#### 4.6 Pengujian FTIR

Gambar 4.6 menunjukkan hasil pengujian FTIR pada spesimen *Polyurethane-Epoxy*. Struktur *Polyurethane* dibentuk dari reaksi antara gugus isosianat ( $-N=C=O$ ), dibuktikan dengan *wave number* 2240-2275, dengan gugus hidroksil (OH), dibuktikan dengan *wave number* 1260-1440 dan 3230-3400, dari asam adipat. OH dari gugus hidroksil pada asam adipat akan terputus akibat reaksi poliadisi sehingga masing masing berikatan membentuk N-H, hal ini dibuktikan dengan hasil spektra pada *wave number* 1490-1580 dan C=O, dibuktikan dengan hasil spectra pada *wave number* 1550-1850. Oksigen berikatan dengan karbon pada isosianat membentuk gugus keton. Sedangkan hydrogen pada isosianat terlepas dan berikatan dengan N membentuk gugus amine (N-H). Oksigen pada ujung isosianat membentuk C-O, yang dibuktikan dengan *wave number* 750-800. Penelitian yang dilakukan oleh Takeichi, 2005 dan Zhen, dkk pada tahun 2009 menyatakan hilangnya gugus

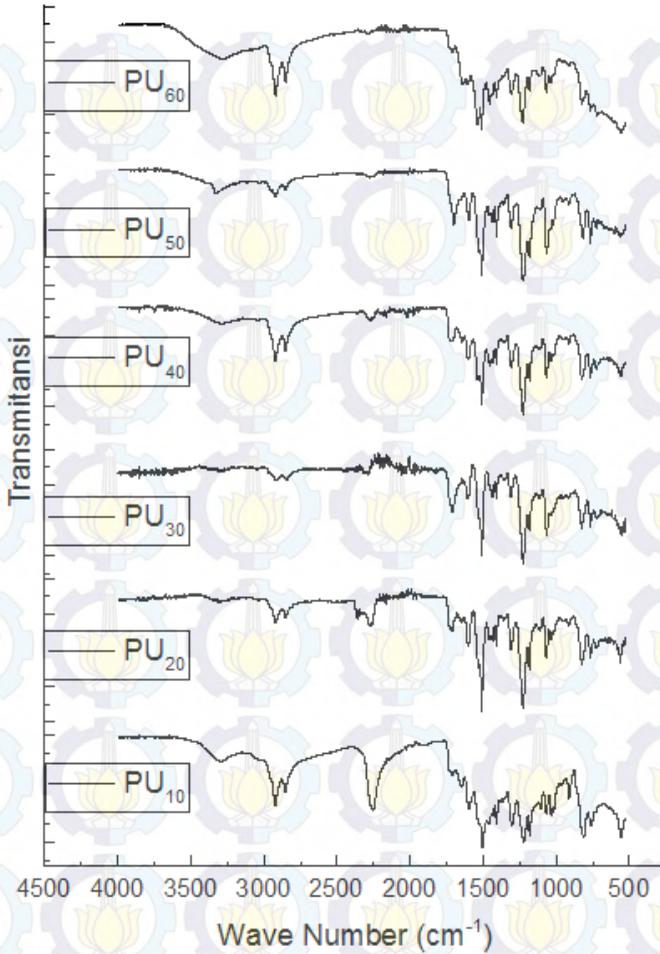


$N=C=O$  yang berasal dari isosianat dan gugus OH yang berasal dari asam adipat merupakan pertanda terbentuknya *polyurethane*.

Struktur polimer *epoxy* ditandai dengan gugus N-H atau amine yang berasal dari *hardener*. Berdasarkan hasil FTIR gugus ini terdapat pada wave number 1490-1580. Struktur ini berikatan dengan COOR pada epoxy. Hasil reaksi ini diindikasikan dengan gugus C-O, wave number 750-800, dan O-H, wave number 1260-1440.

**Tabel 4.6** Hasil Pengujian FTIR

Daerah Serapan <i>Polyurethane- Epoxy</i> ( $cm^{-1}$ )	Ikatan	Gugus Fungsi
445-570	C-C stretch	Eter
750-800	C-O stretch	Alkohol
780-975	C-H stretch	Aldehyde
800-900	C-C stretch	Alkane
1000-1200	C-N stretch	Amine
1180-1280	C-N stretch	Amine
1215-1230	1,4 disubstituted benzene	Aromatik
1260-1440	O-H deformation	Hidroksil
1265-1380	C-N stretch	Amine Aromatic
1490-1580	N-H deformation	Amine
1550-1850	C=O deformation	Carbonyl
1580-1650	N-H deformation	Amine
2240-2275	$N=C=O$ stretch	Isocyanate
2840-2975	C-H stretch	Alkane
3230-3400	O-H stretch	Alkohol



**Gambar 4.6** Grafik FTIR *Polyurethane-Epoxy*



## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Kesimpulan dari penelitian ini adalah :

1. Penambahan asam adipat pada campuran *Polyurethane-Epoxy* dapat meningkatkan nilai kekuatan tarik hingga komposisi 40%berat. Nilai kekuatan tarik pada campuran *Polyurethane-Epoxy* dengan penambahan 40% berat asam adipat yaitu sebesar 3.029554655 MPa.
2. Penambahan asam adipat pada campuran *Polyurethane-Epoxy* dapat meningkatkan stabilitas termal hingga komposisi 30%berat. Stabilitas termal tertinggi pada campuran *Polyurethane-Epoxy* dengan penambahan 30% berat asam adipat dengan temperature degradasi 5% pada 203.167°C.

#### **5.2 Saran**

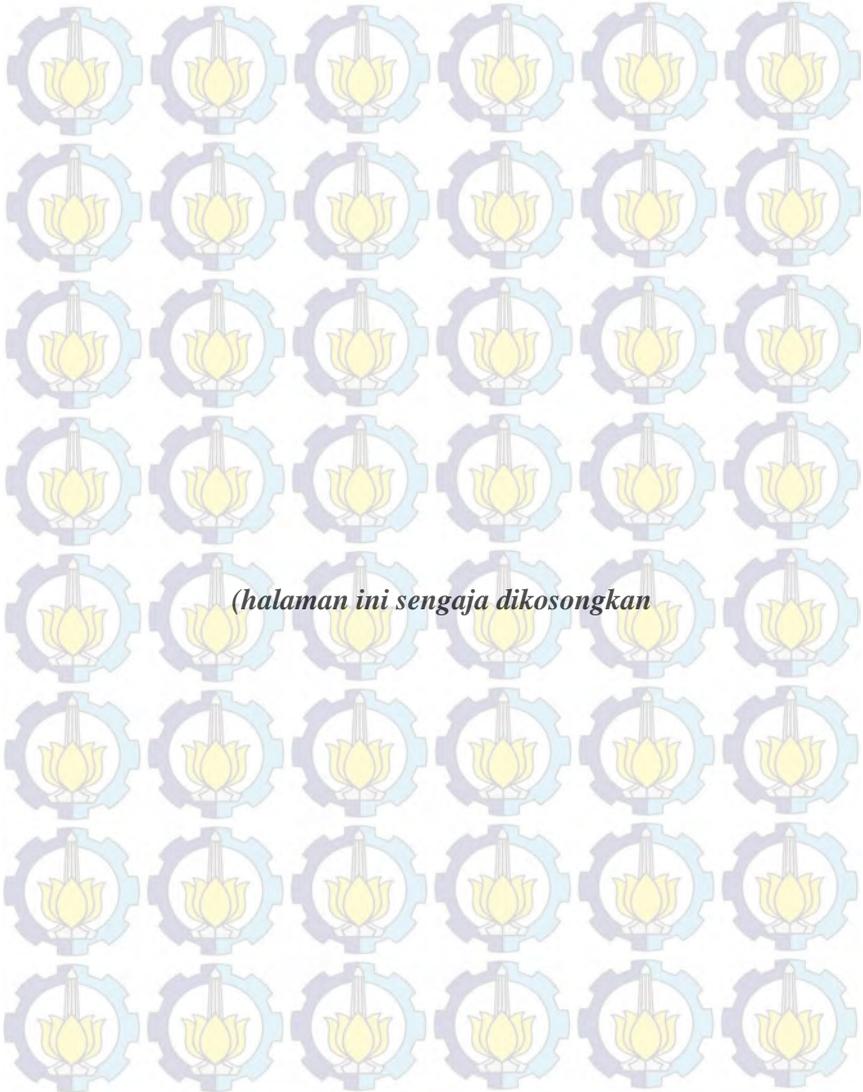
Penelitian selanjutnya disarankan :

1. Perlu dilakukan proses pencampuran yang lebih dikontrol
2. Perlu dilakukan karakterisasi awal terhadap monomer poliuretan



Laporan Tugas Akhir  
Jurusan Teknik Material dan Metalurgi

---



## DAFTAR PUSTAKA

- \_\_\_\_\_. ASTM International Handbook Committee. 2004. *Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics ASTM D-638 M*, West Conshohocken, United State.
- \_\_\_\_\_. ASTM International Handbook Committee. 2004. *Standard Test Method for Rubber Property—Durometer Hardness ASTM D-2240*, West Conshohocken, United State.
- Ashida, Kaneyoshi. 2007. *Polyurethane and Related Foams Chemistry and Technology*. Florida: CRC Press
- Avar, G., Meier-Westhues, U., Casselmann, H., dan Achten, D. 2012. *Polyurethane*. Bayer Material Science. Leverkusen: B.V
- Chattopadhyay<sup>1</sup>, D.K dan Webster, D.C. 2009. “*Thermal stability and flame retardancy of polyurethane*”. *Progress in Polymer Science* 34 (2009) 1068–1133
- Cheremisinoff, P. 1997. *Handbook of Engineering Polymeric Materials*. New York: Marcel Dekker, Inc
- Ge, Z., Zhang, X., Dai, J., Li, W., Luo, Y. 2009. “*Synthesis, characterization and properties of a novel fluorinated Polyurethane*”. *European Polymer Journal* 45 (2009) 530–536
- Gogoi, S., Barua, S., January. 2014. “*Cross-linking kinetics of hyperbranched epoxy cured hyperbranched polyurethane and optimization of reaction conversion by central composite design*”. *Chemical Engineering Science* 127 (2015) 230–238
- Ionescu, M. 2005. *Chemistry and Technology of Polyols for Polyurethanes*. Shawbury: Rapra Technology Limited
- Janik, H., Sienkiewicz, M., dan Kucinska-Lipka, J. 2014. *Handbook of Thermoset Plastics*. Elsevier Inc
- Klempner, D dan Frisch, K. 2001. *Advances in Urethane Science and Technology*. Shawbury: Rapra Technology Limited

Lei, L., Zhong, L., Lin, X., Li, Y., dan Xia, Z. 2014. “*Synthesis and characterization of waterborne polyurethane dispersions with different chain extenders for potential application in waterborne ink*”. Chemical Engineering Journal 253 (2014) 518–525

Othmer, K. 2001. *Encyclopedia of Chemical Technology*

Pascualt, J.P dan Williams, R.J.J. 2010. *Epoxy Polymers*. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.

Szycher, M. 2013. *Handbook of Polyurethanes Second Edition*. Florida: CRC Press

Ullmann. 2005. *Encyclopedia of Industrial Chemistry*, Vols. 1 to 39

Zhang, W., Li, X., Yang, R. 2011. “*Pyrolysis and fire behavior of epoxy resin composites based on a phosphorus-containing polyhedral oligomeric silsesquioxane (DOPO-POSS)*”. Polymer Degradation and Stability 96 (2011) 1821-1832

Zhang, W., Li, X., Yang, R. 2011. “*Novel flame retardancy effects of DOPO-POSS on epoxy resins*”. Polymer Degradation and Stability 96 (2011) 2167-2173

Zuo, M., Takeichi, T., October. 1998. “*Preparation and characterization of poly(urethane-imide) films prepared from reactive polyimide and polyurethane prepolymer*”. Polymer 40 (1999) 5153–5160

## LAMPIRAN

### Lampiran A:

#### Data Pengujian Tarik

Spesimen	Load (kgf)	Pertambahan Panjang (mm)
PU <sub>10</sub>	1.85	10.11
PU <sub>20</sub>	2.1	7.36
PU <sub>30</sub>	11.6	0.42
PU <sub>40</sub>	17.3	0.79
PU <sub>50</sub>	2.9	13.27
PU <sub>60</sub>	2.4	12.46

#### Nilai Modulus Elastisitas *Polyurethane-Epoxy*

Spesimen	<i>E</i> (MPa)	Asam Adipat (%berat)
PU <sub>10</sub>	0.03049786	10
PU <sub>20</sub>	0.04076087	20
PU <sub>30</sub>	5.52381	30
PU <sub>40</sub>	5.4746842	40
PU <sub>50</sub>	0.04370701	50
PU <sub>60</sub>	0.04815409	60



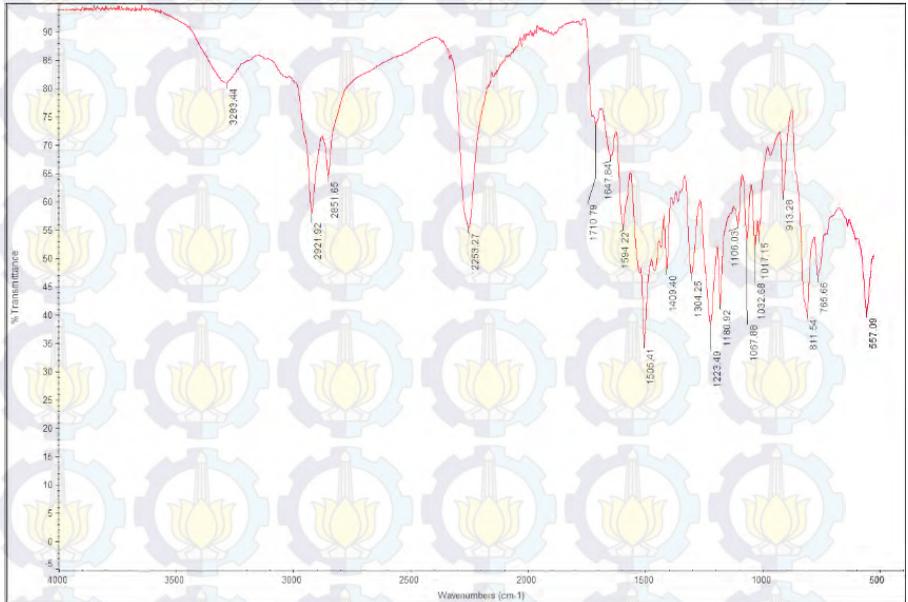
Grafik Modulus Elastisitas terhadap penambahan asam adipat 10, 20, 30, 40, 50, dan 60%wt



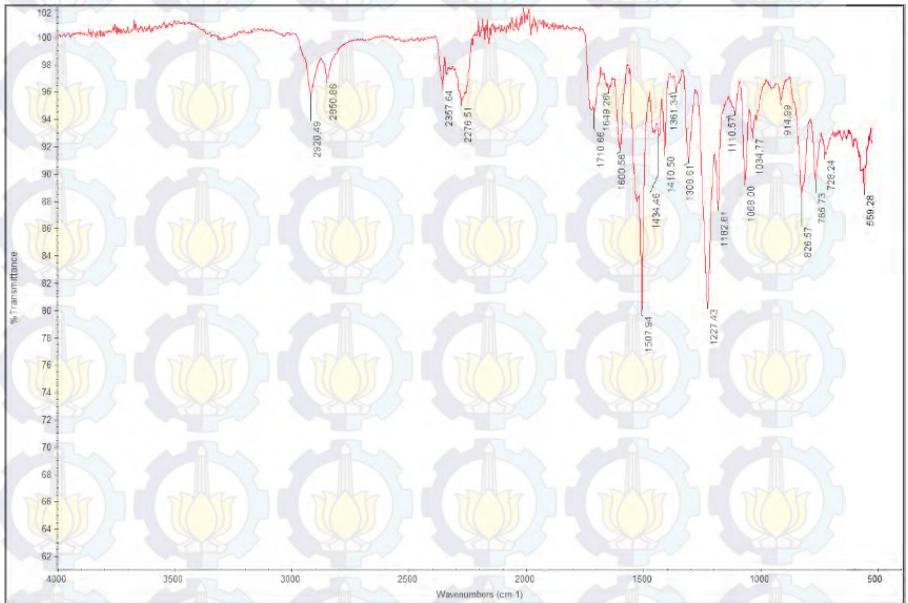
## Lampiran B:

### Hasil Pengujian FTIR

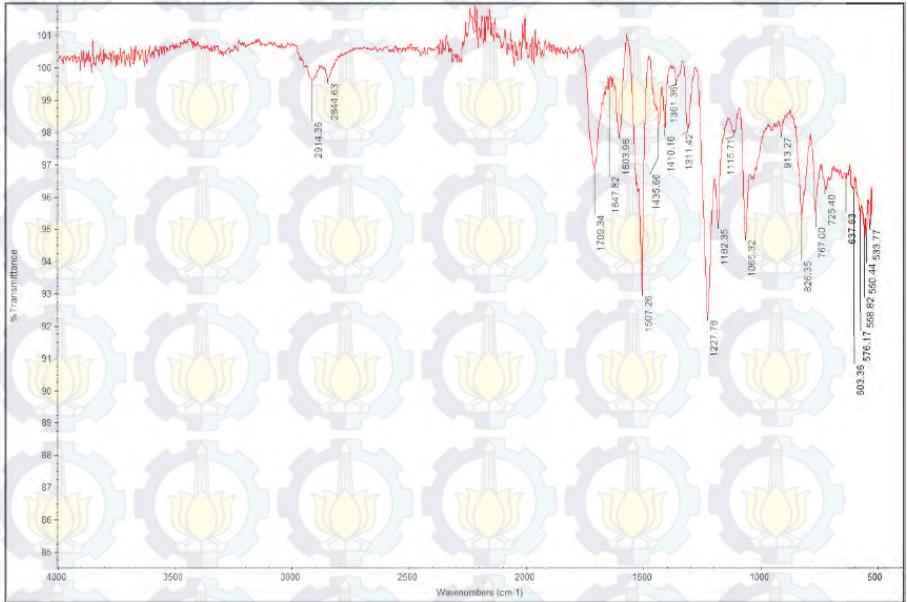
Spesimen PU<sub>10</sub>



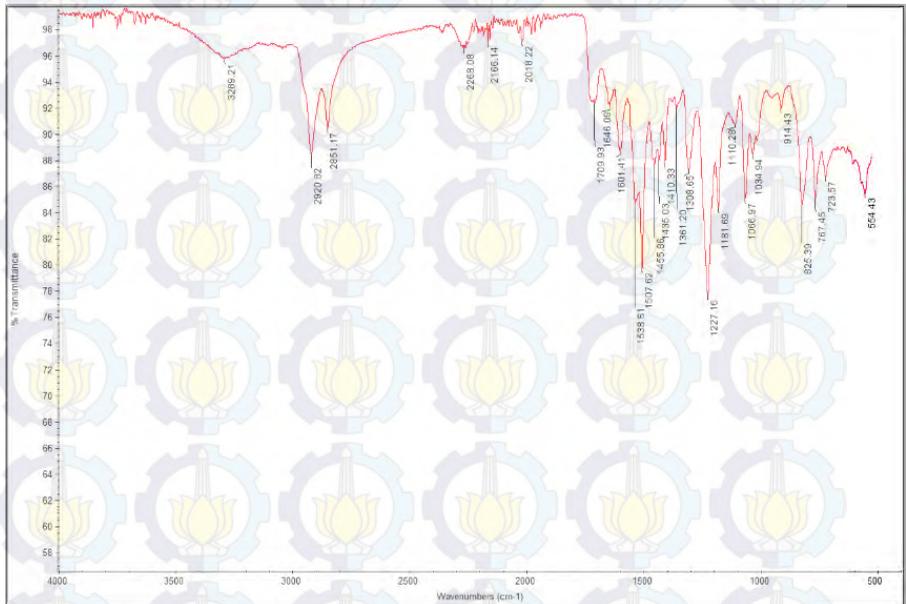
# Spesimen PU<sub>20</sub>



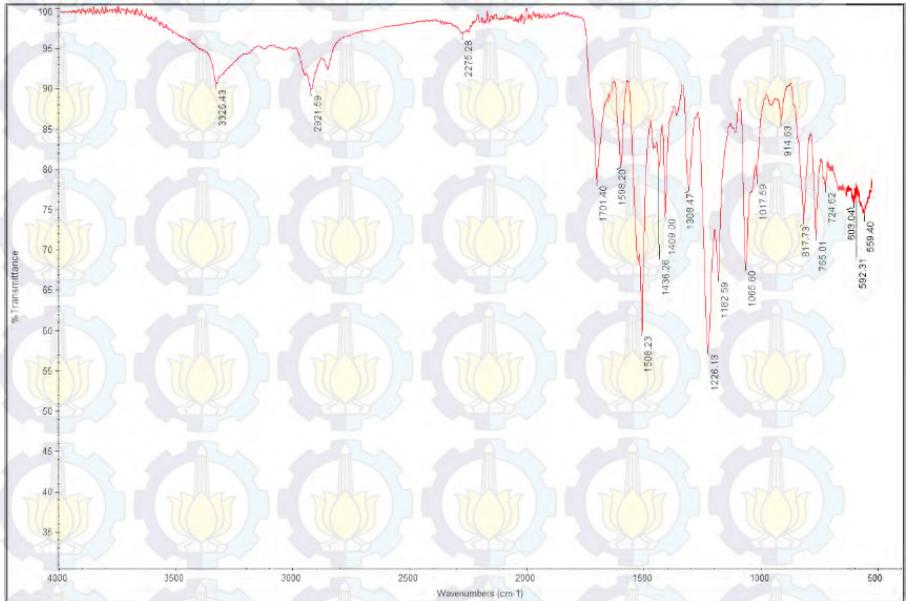
# Spesimen PU<sub>30</sub>



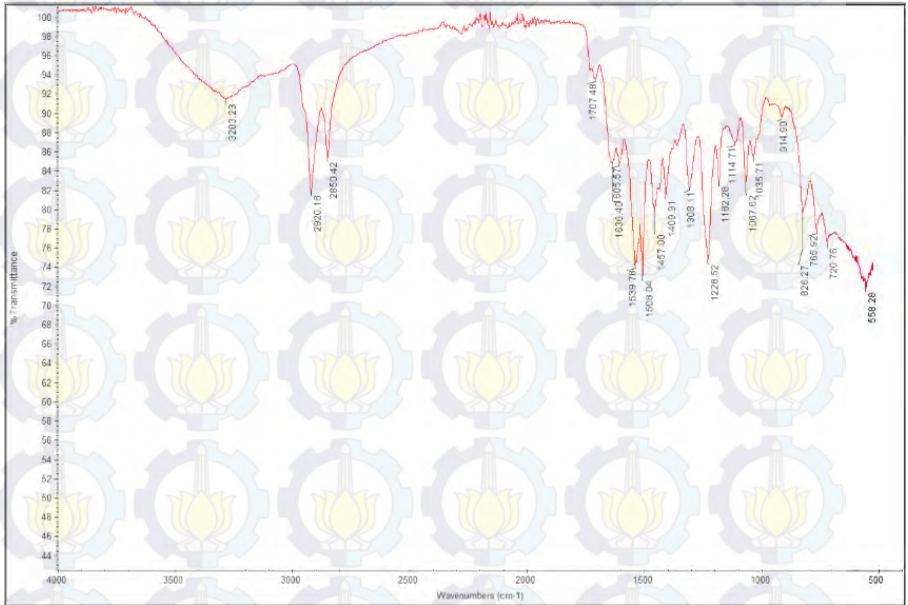
# Spesimen PU<sub>40</sub>



# Spesimen PU<sub>50</sub>



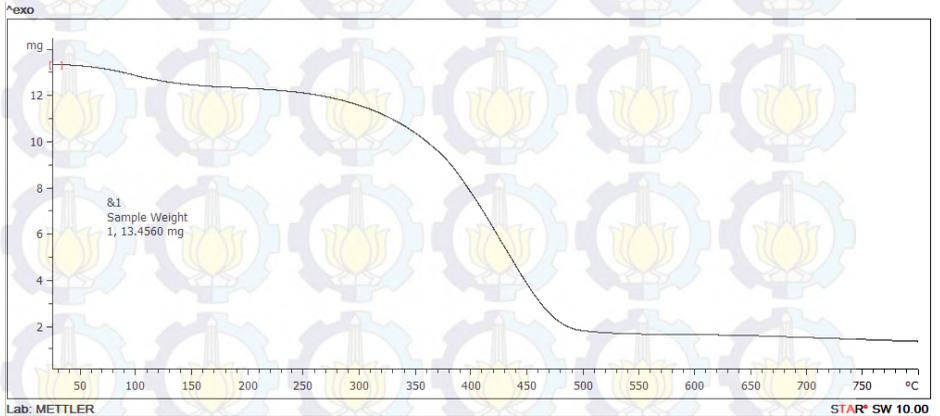
# Spesimen PU<sub>60</sub>



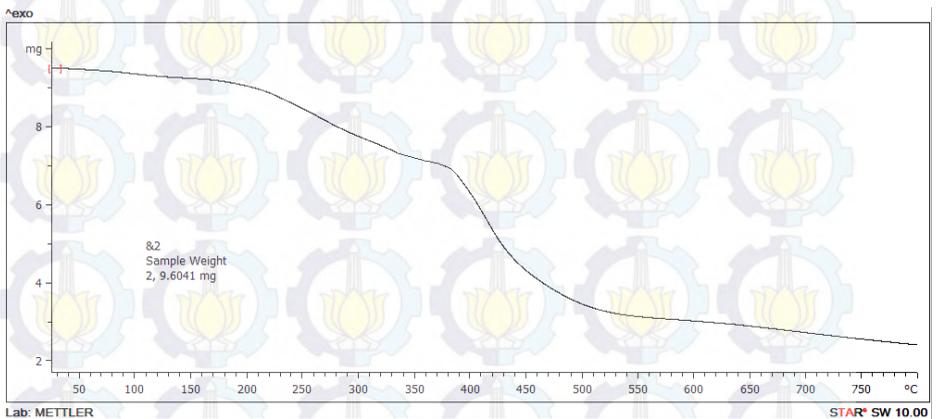
## Lampiran C:

### Hasil Pengujian TGA

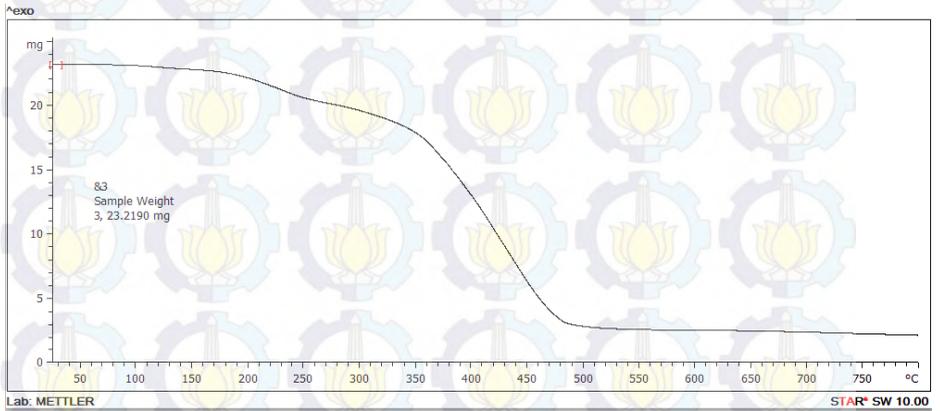
Spesimen PU<sub>10</sub>



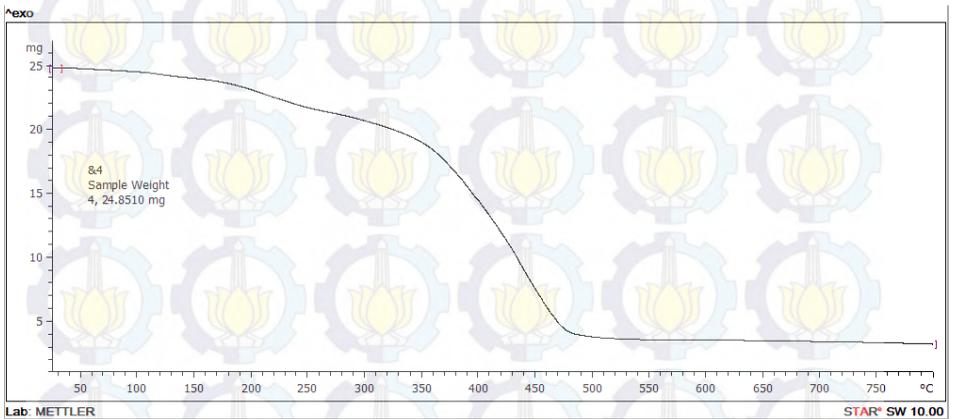
Spesimen PU<sub>20</sub>




### Spesimen PU<sub>30</sub>




### Spesimen PU<sub>40</sub>



### Spesimen PU<sub>50</sub>



### Spesimen PU<sub>60</sub>





## BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap Made Subekti Dwijaya. Anak kedua dari dua bersaudara ini lahir di Jakarta, 11 Maret 1991. Penulis telah menempuh pendidikan formal di SD PSKD Kwitang 8 Depok (1997-2003), SMPN 2 Depok (2003-2006), SMAN 3 Depok (2006-2009) dan diterima di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS, terdaftar dengan NRP 2709 100 008.

Dengan perjuangan usaha dan doa, akhirnya penulis berhasil menyelesaikan tugas akhir yang berjudul “Pengaruh Penambahan Asam Adipat Terhadap Kekuatan Tarik Dan Stabilitas Termal Poliuretan”, dan mengantarkan penulis lulus dari ITS dengan gelar Sarjana Teknik.

**Made Subekti Dwijaya**

[made.subekti.dwijaya@gmail.com](mailto:made.subekti.dwijaya@gmail.com)

+62-878-5161-2191