

No. Dok: 6062-

Copy: 1

D  
544-60  
sar  
p

**PENGARUH PENAMBAHAN ZEOLIT TERHADAP SIFAT  
TERMAL BUSA POLIURETAN/ZEOLIT**

**DI POLITEKNIK STMI JAKARTA  
(September 2019 – September 2020)**

**TUGAS AKHIR**

Oleh  
**LINDA ROHMATA SARI  
NIM: 1516039**



**DATA BUKU PERPUSTAKAAN**

Tgl Terima

16/04/2022

No Induk Buku

188/HIP/STMI/2022

**PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA POLIMER  
POLITEKNIK STMI JAKARTA  
KEMENTERIAN PERINDUSTRIAN RI  
2020**

**SUMBANGAN ALUMNI**

**PENGARUH PENAMBAHAN ZEOLIT TERHADAP SIFAT  
TERMAL BUSA POLIURETAN/ZEOLIT**

**DI POLITEKNIK STMI JAKARTA  
(September 2019 – September 2020)**

**TUGAS AKHIR**

**Karya tulis sebagai salah satu syarat  
untuk memperoleh gelar Sarjana Bidang Teknik dari  
Politeknik STMI Jakarta**

**Oleh  
LINDA ROHMATA SARI  
NIM: 1516039**



**PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA POLIMER  
POLITEKNIK STMI JAKARTA  
KEMENTERIAN PERINDUSTRIAN RI  
2020**

## ABSTRAK

### PENGARUH PENAMBAHAN ZEOLIT TERHADAP SIFAT TERMAL BUSA POLIURETAN/ZEOLIT

Oleh

**Linda Rohmata Sari**

**NIM: 1516039**

**(Program Studi Teknik Kimia Polimer)**

Poliuretan dapat digunakan sebagai *roof head lining* pada kendaraan, tetapi poliuretan memiliki kekurangan yaitu tidak tahan dengan suhu yang tinggi dan akan mengalami degradasi sehingga dilakukan upaya untuk mengatasinya, salah satu upaya ialah menambahkan pengisi. Zeolit sebagai pengisi dapat memberikan keuntungan karena memiliki sifat stabil pada temperatur tinggi. Tujuan dari penelitian ini ialah mengetahui pengaruh penambahan zeolit terhadap sifat dekomposisi, derajat kristalinitas dan temperatur transisi kaca pada komposit busa poliuretan/zeolit. Metode yang digunakan dalam pembuatan busa poliuretan ialah metode *one shot*. Metode ini dilakukan dengan cara memasukkan semua bahan baku seperti polioliol dan isosianat dengan perbandingan 3:2 dan zeolit dengan variasi 0%, 10%, 20% dan 30% lalu dituang ke dalam cetakan. Pada penelitian ini sifat yang diamati ialah derajat kristalinitas, temperatur transisi kaca dan dekomposisi. Suhu dekomposisi poliuretan mengalami kenaikan ketika ditambahkan zeolit, derajat kristalinitas mengalami kenaikan seiring ditambahkan zeolit. Sedangkan temperatur transisi kaca mengalami penurunan seiring ditambahkan zeolit.

**Kata Kunci : Poliuretan, zeolit, derajat kristalinitas, temperatur transisi kaca, dekomposisi**

**HALAMAN PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING**

**PENGARUH PENAMBAHAN ZEOLIT TERHADAP SIFAT  
TERMAL BUSA POLIURETAN/ZEOLIT**

**Linda Rohmata Sari**  
**NIM: 1516039**  
**(Program Studi Teknik Kimia Polimer)**

**Politeknik STMI Jakarta**

**Jakarta, Juli 2020**

**Menyetujui,**

**Ketua Program Studi  
Teknik Kimia Polimer**



**Fitria Ika Aryanti, S.T., M.Eng**  
**NIP. 198505112014022001**

**Dosen Pembimbing**



**Dr. Erfina Oktariani, S.T., M.T.**  
**NIP. 198210012014022001**

**HALAMAN PENGESAHAN TIM PENGUJI SEMINAR TUGAS  
AKHIR**

**PENGARUH PENAMBAHAN ZEOLIT TERHADAP SIFAT  
TERMAL BUSA POLIURETAN/ZEOLIT**

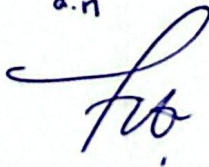
Linda Rohmata Sari  
NIM: 1516039  
(Program Studi Teknik Kimia Polimer)

Politeknik STMI Jakarta

Jakarta, Agustus 2020

Penguji 1

a.n



**Syaiful Ahsan, S.T., M.T**  
NIP.198407162014021001

Penguji 2



**Reviana Inda Dwi Suyatmo, S.T., M.Eng**  
NIP. 198911202018012001

Dosen Pembimbing



**Dr. Erfina Oktariani, S.T., M.T**  
NIP. 198210012014022001

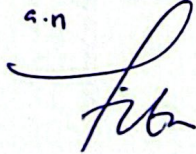
**HALAMAN PENGESAHAN TIM PENGUJI SIDANG TUGAS  
AKHIR**

**PENGARUH PENAMBAHAN ZEOLIT TERHADAP SIFAT  
TERMAL BUSA POLIURETAN/ZEOLIT**

Linda Rohmata Sari  
NIM: 1516039  
(Program Studi Teknik Kimia Polimer  
Politeknik STMI Jakarta

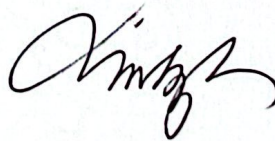
Jakarta, September 2020

Penguji 1

a.n  


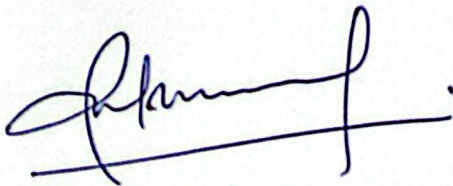
**Syaiful Ahsan, S.T., M.T**  
NIP.198407162014021001

Penguji 2



**Dr. Ir. Lintong Sopandi Hutahaean, MSc**  
NIP. 195803221986031002

Penguji 3



**Dr. Ir. Parulian Leonard Marpaung, MM**  
NIP. 195702141985031002

Dosen Pembimbing



**Dr. Erfina Oktariani, S.T., M.T**  
NIP. 198210012014022001

## HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya mahasiswa Program Studi Teknik Kimia Polimer, Politeknik STMI Jakarta, Kementerian Perindustrian Republik Indonesia:

Nama : Linda Rohmata Sari  
NIM : 1516039  
Program Studi : Teknik Kimia Polimer

Dengan ini menyatakan bahwa tugas akhir yang saya buat dengan judul Pengaruh Penambahan Zeolit Terhadap Sifat Termal Busa Poliuretan/Zeolit

- Dibuat dan diselesaikan sendiri dengan menggunakan literatur hasil kuliah, survei lapangan, bimbingan dengan dosen pembimbing melalui tanya jawab maupun asistensi serta buku-buku jurnal acuan yang tertera dalam referensi pada tugas akhir ini.
- Bukan merupakan duplikasi yang sudah dipublikasikan atau yang pernah dipakai untuk mendapatkan gelar sarjana di Universitas/Perguruan Tinggi lain, kecuali pada bagian-bagian tertentu digunakan referensi pendukung untuk melengkapi informasi dan sumber informasi dengan dicantumkan melalui referensi yang semestinya.
- Bukan merupakan karya tulis terjemahan dari kumpulan buku atau jurnal acuan yang tertera dalam referensi pada tugas akhir ini.

Jika terbukti saya tidak memenuhi apa yang telah saya nyatakan seperti apa yang diatas, maka tugas akhir saya ini dibatalkan.

Jakarta, September 2020



Linda Rohmata Sari

## KATA PENGANTAR

Puji syukur ke hadirat Allah *Subhanahu Wa Ta'ala* atas rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir penelitian dengan judul, Pengaruh Penambahan Zeolit Terhadap Sifat Termal Busa Poliuretan/Zeolit. Penyusunan tugas akhir merupakan pemenuhan salah satu syarat pelaksanaan tugas akhir Program Studi Teknik Kimia Polimer (TKP) di Politeknik STMI Jakarta, Kementerian Perindustrian Republik Indonesia. Pada kesempatan ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang turut membantu dan mendukung dalam penyusunan tugas akhir ini. Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada:

1. Ayah dan Ibu saya serta keluarga yang telah memberikan dukungan secara moril maupun materil.
2. Bapak Dr. Mustofa, S.T., M.T., selaku Direktur Politeknik STMI Jakarta.
3. Ibu Fitria Ika Aryanti, S.T., M.Eng selaku Ketua Program Studi Teknik Kimia Polimer Politeknik STMI Jakarta.
4. Ibu Ella Melyna, S.T., M.T., selaku Sekretaris Program Studi Teknik Kimia Polimer Politeknik STMI Jakarta.
5. Ibu Dr. Erfina Oktariani, S.T., M.T., selaku Dosen pembimbing penelitian yang selalu memberikan masukan dan waktunya untuk membimbing saya.
6. Bapak Syaiful Ahsan, S.T., M.T., selaku Kepala Laboratorium Teknik Kimia Polimer Politeknik STMI Jakarta.
7. Ibu Ida Nur Apriani, S.ST., M.Si. selaku Operator Laboratorium.
8. Teman-teman Teknik Kimia Polimer 2016 selaku kawan-kawan seperjuangan.

Jakarta, September 2020

Penulis

# DAFTAR ISI

ABSTRAK .....	iii
HALAMAN PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING .....	iv
HALAMAN PENGESAHAN TIM PENGUJI SEMINAR TUGAS AKHIR.....	v
HALAMAN PENGESAHAN TIM PENGUJI SIDANG TUGAS AKHIR.....	vi
HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR.....	vii
KATA PENGANTAR .....	viii
DAFTAR ISI .....	ix
DAFTAR LAMPIRAN.....	xi
DAFTAR GAMBAR .....	xii
DAFTAR TABEL .....	xiii
DAFTAR SINGKATAN DAN LAMBANG .....	xiv
Bab I Pendahuluan .....	1
I.1 Latar Belakang .....	1
I.2 Rumusan Masalah.....	2
I.3 Batasan Masalah .....	2
I.4 Tujuan.....	3
I.5 Manfaat.....	3
Bab II Tinjauan Pustaka.....	4
II.1 Polimer .....	4
II.2 Komposit Busa.....	5
II.3 Poliuretan .....	6
II.3.1 <i>Flexible Polyurethane Foams</i> .....	8
II.3.2 <i>Molded Flexible Foams</i> .....	9
II.3.3 <i>Viscoelastic Foams</i> .....	9
II.3.4 <i>Super-soft Foams</i> .....	10
II.3.5 <i>Semiflexible Foam</i> .....	10
II.3.6 <i>Rigid Polyurethane Foams</i> .....	10
II.4 Poliol .....	11
II.5 Isosianat.....	12
II.6 Zeolit .....	12
II.7 Sifat Termal Komposit Busa Poliuretan/Zeolit .....	14
Bab III Metode.....	17
III.1 Waktu dan Tempat.....	17
III.2 Alat dan Bahan.....	17
III.2.1 Alat.....	17
III.2.1 Bahan .....	17
III.3 Variabel .....	18
III.3.1 Variabel Tetap.....	18
III.3.2 Variabel Berubah .....	18
III.4 Prosedur.....	18
III.4.1 Persiapan Bahan.....	19
III.4.2 Pembuatan Komposit Busa .....	19
III.4.3 Pengujian Termal .....	20

Bab IV Hasil dan Pembahasan .....	21
IV.1 Pengaruh penambahan zeolit terhadap stabilitas termal pada komposit busa poliuretan/zeolit .....	21
IV.2 Pengaruh penambahan zeolit terhadap temperatur transisi kaca dan derajat kristalinitas pada komposit busa poliuretan/zeolit .....	22
Bab V Penutup.....	25
V.1 Kesimpulan .....	25
V.2 Saran.....	25
DAFTAR PUSTAKA .....	26
LAMPIRAN 28	

## DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A Lembar Bimbingan Tugas Akhir .....	29
LAMPIRAN B Lembar Surat Tugas Dosen Pembimbing.....	31
LAMPIRAN C Bahan .....	32
LAMPIRAN D Sampel Komposit Busa Poliuretan/Zeolit.....	33
LAMPIRAN E Perhitungan Bahan Untuk Setiap Variasi .....	34
LAMPIRAN F Perhitungan Derajat Kristalinitas .....	36

## DAFTAR GAMBAR

Gambar I.1	Ekspor poliuretan lima tahun terakhir.....	1
Gambar II.1	Klasifikasi komposit.....	5
Gambar II.2	Perbandingan <i>modulus young</i> berbagai bahan.....	6
Gambar II.3	Sintesis poliuretan .....	7
Gambar III.1	Diagram alir penelitian.....	19
Gambar IV.1	Kurva dekomposisi poliuretan dan poliuretan/zeolit .....	21
Gambar IV.2	Kurva termogram poliuretan, poliuretan/zeolit dan poliuretan PT X .....	23

## DAFTAR TABEL

Tabel II.1	Contoh polimer .....	4
Tabel II.2	Spesifikasi polioli .....	12
Tabel II.3	Spesifikasi isosianat .....	12
Tabel III.1	Matriks penelitian.....	18
Tabel IV. 1	Suhu dekomposisi poliuretan dan poliuretan/zeolit .....	22
Tabel IV.2	Hasil pengujian DSC poliuretan, poliuretan/zeolit, dan poliuretan PT X .....	23

## DAFTAR SINGKATAN DAN LAMBANG

SINGKATAN	Nama	Pemakaian pertama kali pada halaman
DSC	<i>Differential Scanning Calorimetry</i>	14
DTA	<i>Differential Thermal Analysis</i>	14
MAH	<i>Maleic Anhydride</i>	5
MDI	<i>Methylene Diphenyl Diisocyanate</i>	7
Tg	Temperatur Transisi Kaca	7
TGA	<i>Thermo Gravimetry Analysis</i>	14
Tm	Temperatur Leleh	15
LAMBANG		
Xc	Derajat kristalinitas	15
$\Delta H^{\circ}_m$	Entalpi leleh untuk 100% kristalisasi poliuretan	15
$\Delta H_m$	Entalpi leleh	15

tersebut (Gultom dan Hernawaty, 2019). Chen dkk., (2012) memodifikasi sepiolit dengan g-aminopropyltriethoxysilane dan menambahkannya pada busa poliuretan. Hasilnya dapat meningkatkan suhu dekomposisi awal. El-Shekeil dkk., (2012) menambahkan serat kenaf pada busa poliuretan. Hasilnya menurunkan suhu dekomposisi. Penelitian Cao dkk., (2005) melaporkan bahwa pengisi bentonit yang ditambahkan pada poliuretan dapat meningkatkan temperatur transisi kaca poliuretan sebesar 6 °C.

Salah satu pengisi yang dapat ditambahkan ke dalam busa poliuretan ialah zeolit, karena bahannya yang melimpah di alam dan memiliki luas permukaan yang besar. Kumar dkk., (2010) menggunakan zeolit sebagai pengisi pada busa poliuretan. Hasilnya ialah zeolit dapat meningkatkan stabilitas termal pada busa poliuretan. Pehlivan dkk., (2006) menambahkan zeolit pada polipropilen, hasilnya ialah dapat meningkatkan struktur kristal dan bertindak sebagai agen nukleasi pada komposit polipropilen/zeolit.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, maka busa poliuretan ini akan dikembangkan dengan menambahkan zeolit sebagai pengisi. Dengan harapan diperoleh material yang memiliki sifat termal yang lebih baik dari sebelumnya.

### **I.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang yang telah dibahas sebelumnya, maka masalah yang dapat dirumuskan adalah:

1. bagaimana pengaruh penambahan zeolit 0%, 10%, 20%, 30% terhadap stabilitas termal pada komposit busa poliuretan/zeolit?
2. bagaimana pengaruh penambahan zeolit 0%, 10%, 20%, 30% terhadap temperatur transisi kaca dan derajat kristalinitas pada komposit busa poliuretan/zeolit?

### **I.3 Batasan Masalah**

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. bahan baku yang digunakan polioliol dan diisosiyanat dengan perbandingan persen massa 3:2,

2. variasi persentase berat zeolit yaitu 0%, 10%, 20%, 30%, dan
3. analisis yang dilakukan pengujian sifat termal yaitu suhu dekomposisi, temperatur transisi kaca dan derajat kristalinitas.

#### **I.4 Tujuan**

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. mengetahui pengaruh penambahan zeolit 0%, 10%, 20%, 30% terhadap stabilitas termal pada komposit busa poliuretan/zeolit,
2. mengetahui pengaruh penambahan zeolit 0%, 10%, 20%, 30% terhadap temperatur transisi kaca dan derajat kristalinitas pada komposit busa poliuretan/zeolit.

#### **I.5 Manfaat**

Manfaat pada penelitian ini adalah:

1. sebagai upaya memperbaiki sifat termal busa poliuretan,
2. memperluas pengetahuan mengenai busa poliuretan.

**II.1 Polimer**

Polimer adalah suatu molekul besar yang tersusun secara berulang dari unit molekul yang disebut monomer. Istilah polimer dan monomer berasal dari Yunani, poli artinya banyak, mono artinya tunggal dan meros yang artinya bagian. Jadi polimer merupakan senyawa yang banyak mengandung monomer (Clowes 2013).

A. Berdasarkan sumber polimer terbagi atas tiga kelompok sumbernya, yaitu :

1. Polimer alam merupakan senyawa yang dihasilkan dari proses metabolisme makhluk hidup. Polimer alam memiliki beberapa kekurangan seperti jumlahnya yang terbatas dan sifat polimer alam yang kurang stabil saat pemanasan, sukar dibentuk menyebabkan penggunaannya amat terbatas (Januastuti, 2015). Beberapa contoh polimer alam dapat dilihat pada Gambar II.1.

Tabel II.1 Contoh polimer alam

No	Polimer	Monomer	Polimerisasi	Contoh
1	Pati/amilum	Glukosa	Kondensasi	Biji-bijian, akar umbi
2	Selulosa	Glukosa	Kondensasi	Sayur, kayu, kapas
3	Protein	Asam amino	Kondensasi	Susu, daging, telur, wol, sutera
4	Asam nukleat	Nukleotida	Kondensasi	Molekul <i>Deoxyribo Nucleic Acid</i> (DNA) dan <i>Ribonucleic Acid</i> (RNA)
5	Karet alam	Isoprena	Adisi	Getah pohon karet

Sumber : Harsojuwono dan Arnata, 2015

Polimer alam umumnya memiliki banyak kelemahan, seperti karet alam bersifat tidak elastis, cepat rusak sebab karet jenis ini tak tahan pada minyak tanah dan bensin serta tidak dapat tahan lama di udara terbuka. Selain karet terdapat sutera dan wol yang mudah sekali rusak karena tersusun dari protein dimana protein ini adalah media hidup bakteri (Harsojuwono dan Arnata 2015).

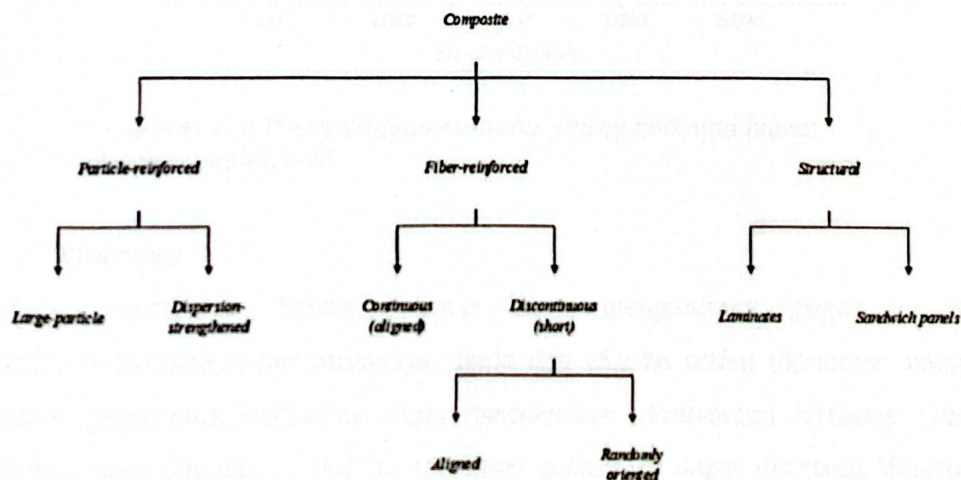
2. Polimer semi sintesis, yaitu jenis polimer hasil rekayasa antara polimer alami dan senyawa kimia (Harsojuwono dan Arnata 2015).

3. Polimer sintesis adalah jenis polimer yaitu polimer dari hasil modifikasi polimer alam dan bahan kimia (Nevianita, 2016).

## II.2 Komposit Busa

Komposit didefinisikan sebagai paduan dari kombinasi antara dua atau lebih komponen material untuk menghasilkan suatu karakteristik dan sifat tertentu yang diinginkan. (Arwanto, 2012). Berdasarkan pengertiannya komposit merupakan bahan yang tersusun minimal dari dua unsur yang saling mendukung guna mendapatkan bahan yang mempunyai sifat-sifat yang tidak sama dengan unsur material dasarnya. Komponen komposit ini adalah bahan pokok atau matrik dan bahan pengokoh atau *reinforcement* yang dicampurkan guna menambah kekokohan atau kekuatan dan kekakuan bahan. Bahan penguat matrik tersebut umumnya berbentuk fiber atau serat, namun terkadang ditambahkan aditif lainnya seperti *agent coupling*, *Maleic Anhydride* (MAH) (Harsojuwono dan Arnata 2015).

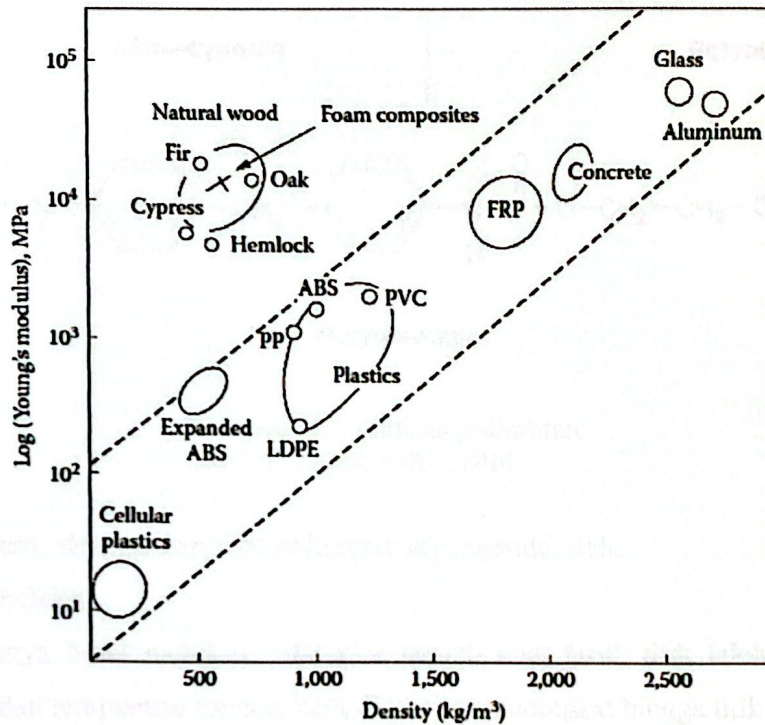
Komposit diklasifikasikan menjadi tiga yaitu *particle-reinforced* yaitu komposit yang diperkuat dengan partikel, *fiber reinforced* yaitu komposit yang diperkuat dengan serat, *structural* yaitu komposit yang dibentuk *reinforce-reinforce* yang memiliki bentuk lembaran-lembaran. Gambar II.1 menjelaskan klasifikasi komposit.



Gambar II.1 Klasifikasi komposit  
Sumber : Callister dan Rethwisch, 2014

Komposit busa merupakan komposit yang tersusun dengan menjebak gelembung gas di dalam cairan atau padatan. Salah satunya ialah komposit yang berbasis poliuretan yang dibuat dengan mereaksikan dua bahan utama yaitu isosianat dan polioliol (Manik, 2014).

Komposit busa memiliki dua aplikasi utama yaitu pengganti kayu dan *cryogenic insulants*. Gambar II.2 menunjukkan *modulus young* dari berbagai bahan, dapat dilihat bahwa komposit busa menunjukkan rasio modulus yang tinggi per *density* (Ashida, 2006)



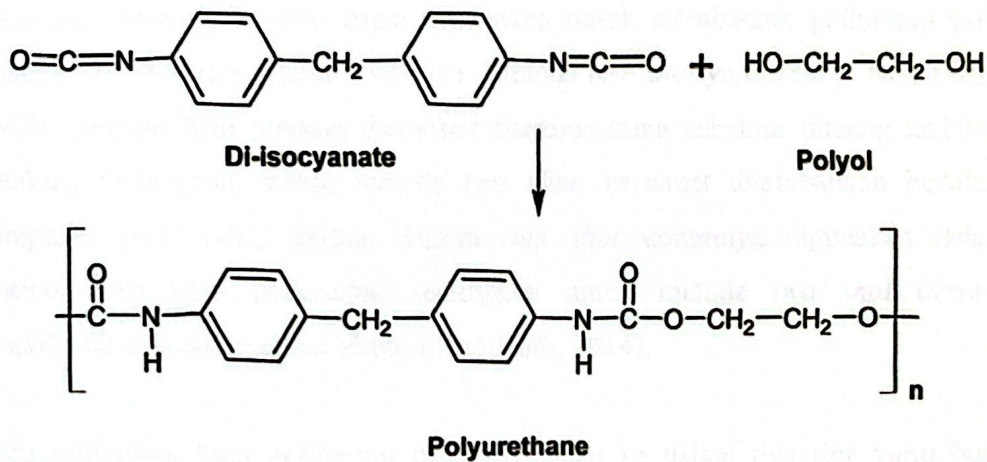
Gambar II.2 Perbandingan *modulus young* berbagai bahan  
Sumber : Ashida, 2006

### II.3 Poliuretan

Poliuretan merupakan bahan polimer yang mengandung gugus fungsi ( $\text{-NHCOO-}$ ) dalam rantainya. Jenis dan ukuran setiap monomer setiap monomer pembentuk poliuretan akan memberikan sumbangan terhadap sifat poliuretan yang dihasilkan. Hal ini membuat poliuretan dapat disintesis dengan massa jenis dan kekakuan bervariasi mulai dari elastomer yang sangat fleksibel hingga kaku atau *rigid* (Rohaeti, 2005). Sintesis poliuretan dapat dilihat pada Gambar II.3.

Poliuretan termoplastik merupakan struktur *multiblock* dari fase-fase yang dipisahkan, yaitu terdiri dari segmen keras dan segmen lunak (Drobny, 2014).

Elastomer poliuretan termoplastik biasanya diproduksi dari material *Methylene Diphenyl Diisocyanate* (MDI) (Adam dkk., 2000).



Gambar II.3 Sintesis poliuretan  
Sumber : Akindoyo dkk., 2016

Secara umum, struktur dan sifat poliuretan dipengaruhi oleh:

1. Berat molekul

Bertambahnya berat molekul, sifat-sifat seperti kuat tarik, titik leleh, elongasi, elastisitas dan temperatur transisi kaca (T<sub>g</sub>) akan meningkat hingga titik tertentu.

2. Gaya antar molekul

Termasuk dalam hal ini adalah ikatan hidrogen, momen dipol dan ikatan Van Der Walls.

3. Kekakuan rantai

Adanya struktur aromatik dalam struktur poliuretan akan meningkatkan titik leleh, kekerasan dan menurunkan elastisitas.

4. Ikat silang

Semakin tinggi tingkat ikat silang, maka poliuretan akan semakin *rigid* yang selanjutnya dapat meningkatkan modulus elastisitas serta mengurangi elongasi terhadap pelarut (Manik, 2014)

Poliuretan berkembang menjadi suatu material khas yang mempunyai tetapan yang amat luas, tidak hanya digunakan sebagai fiber, tetapi dapat juga digunakan untuk membuat busa, bahan elastomer, lem, pelapis dan lain-lain (Manik, 2014). Sekitar

70% poliuretan diaplikasikan untuk pembuatan busa, sisanya diaplikasikan pada elastomer, lem dan pelapis.

Terdapat dua metode yang dapat digunakan untuk membentuk poliuretan yaitu metode *one shot* dan metode *two shot*. Metode *one shot* yaitu semua bahan baku untuk menghasilkan polimer dicampur bersama-sama sebelum dituang ke dalam cetakan. Sedangkan, untuk metode *two shot*, isosianat ditambahkan ke dalam campuran pada tahap kedua. Sistem *one shot* umumnya digunakan dalam pembentukan busa poliuretan, sedangkan untuk metode *two shot* biasanya diaplikasikan pada produksi elastomer (Manik, 2014).

Pada umumnya busa poliuretan diklasifikasikan ke dalam tiga tipe yaitu busa fleksibel, busa *rigid* dan busa semi *rigid*. Perbedaan sifat fisik dari tiga tipe busa poliuretan tersebut berdasarkan pada perbedaan berat molekul, fungsionalitas polioliol dan fungsionalitas isosianat. Sedangkan berdasarkan struktur sel, busa dibedakan menjadi dua yaitu sel terbuka dan sel tertutup. Busa dengan struktur *closed cell* merupakan jenis busa kaku sedangkan busa dengan struktur *opened cell* adalah busa fleksibel (Manik, 2014).

### II.3.1 *Flexible Polyurethane Foams*

Busa poliuretan fleksibel atau *flexible polyurethane foams* dapat digolongkan berdasarkan polioliolnya menjadi busa *polyether* dan busa *polyester*. *flexible polyurethane foams* dapat diklasifikasikan juga berdasarkan proses menjadi *slabstock foams* dan *molded foams* (Ashida, 2006).

Busa *slabstock polyether* termasuk busa polieter konvensional busa *hot molded*, busa *cold molded*, busa *high-resilience*, busa *viscoelastic*, busa super lunak (*super-soft*), busa semifleksibel, dan busa *polyester* fleksibel. *Molded foams* dapat diklasifikasikan menjadi dua yaitu *hot molded foam* dan *cold molded foam* (Ashida, 2006).

### II.3.2 *Molded Flexible Foams*

*Molded flexible urethane foams* telah digunakan untuk memproduksi produk seperti kursi otomotif, kursi anak, *head restraints*, *vibration damping* untuk mobil, sandaran lengan, bantal furnitur, dan kasur baik dengan proses *hot molding* atau dengan proses *cold molding* (Ashida, 2006).

Busa *hot molded* diproduksi menggunakan formulasi yang terdiri dari *polyether polioliol* dengan *toluene diisocyanate*. Pada tahun 1961 Nisshinbo Industries Inc di Jepang mengkomersilkan kasur yang terbuat dari busa *urethane hot molded* yang mampu memberikan daya tahan yang lebih baik serta kenyamanan lebih saat tidur dibanding kasur yang terbuat dari busa *slabstock*. Harga matras yang terbuat dari busa *urethane hot molded* relatif mahal sehingga kalah kompetitif dengan kasur yang terbuat dari busa *slabstock* sehingga produksinya dihentikan (Ashida, 2006).

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. Busa ini biasanya dibuat dengan mencampurkan TDI dengan MDI (Ashida, 2006).

### II.3.3 *Viscoelastic Foams*

Busa *viscoelastic* memiliki ciri khas lambat kembali ke bentuk semula apabila diberikan kompresi atau tekanan. Busa ini juga disebut *low resiliency foam*, *slow recovery foam*, *ergonomic foam*, *better-riding comfort foam*, dan *temperatur-sensitive foam* (Ashida, 2006).

Busa *viscoelastic* dibuat menggunakan campuran dari polioliol yang memiliki berat molekul tinggi dengan polioliol yang memiliki berat molekul rendah. *Isocyanate* yang dapat digunakan berupa TDI, atau MDI. Busa *viscoelastic* berbasis TDI umumnya lunak saat disentuh, memiliki *resilience* yang sangat rendah, dan lama untuk kembali ke bentuk semula. Sedangkan Busa *viscoelastic* berbasis MDI lebih mudah untuk dibuat. Kekuatan dari busa *viscoelastic* berbasis MDI lebih rendah,

*resilience* lebih tinggi, dan *compression set*nya lebih baik dibanding yang berbasis TDI (Ashida, 2006).

Busa *viscoelastic* digunakan untuk bahan jok atau tempat duduk pada supir truk, pekerja kantoran, pesawat ulang alik, kursi roda dan 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 (Ashida, 2006).

#### **II.3.4 Super-soft Foams**

*Super soft foams* dapat diproduksi dengan menggunakan *polyether triol* yang memiliki berat molekul yang tinggi. Isosianat yang cocok digunakan adalah TDI. *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 (Ashida, 2006).

#### **II.3.5 Semiflexible Foam**

*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.

Busa semifleksibel diproduksi dengan kombinasi yang sesuai antara *polyester* dengan *isocyanate*. Busa poliuretan fleksibel, dengan merubah formulasi variasi dapat didapatkan dalam kekerasan dan properti lainnya. Busa Poliuretan semifleksibel memiliki sifat termoplastik dan tidak akan meleleh, tapi akan melunak seiring dengan penambahan temperatur (Ashida, 2006).

#### **II.3.6 Rigid Polyurethane Foams**

*Rigid polyurethane foams* merupakan busa yang memiliki sel tertutup dan dapat digunakan untuk isolasi termal. Selain sebagai isolasi termal, busa *rigid* juga dapat digunakan untuk menanggung beban mekanis. *Reinforcement* biasa digunakan dalam busa rigid untuk memperkuat busa (Adam dkk., 2000)

Busa *rigid polyurethane* dapat dibuat dengan mereaksikan *polyether* atau *polyester polioliol* dengan MDI (Adam dkk., 2000). Busa ini 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 (Ashida, 2006).

#### II.4 Polioliol

Polioliol merupakan senyawa dengan banyak grup hidroksil yang fungsional. Molekul dengan dua gugus hidroksil disebut dioliol, tiga gugus disebut trioliol, dan seterusnya. Polioliol yang digunakan untuk busa *urethane* adalah *oligomer* cair atau senyawa *polymeric* yang memiliki minimal dua gugus hidroksil (Ashida, 2006).

Umumnya polioliol dikelompokkan menjadi dua jenis yaitu :

##### A. Polieter polioliol

Polieter polioliol diproduksi dari polimerisasi anionik alkilena oksida, (misalnya: propilena oksida, etilen oksida) dengan adanya inisiator dan katalis. Polieter polioliol adalah senyawa utama yang digunakan dalam busa kaku dan busa fleksibel.

##### B. Poliester polioliol

Poliester polioliol untuk busa poliuretan dapat diproduksi oleh reaksi *di-basic acids* misalnya pada asam adipat dan asam ftalat dengan glikol. Contoh dari jenis polioliol ini adalah poli(1,6-heksanadioliol) karbonat. Bahan-bahan ini digunakan dalam pembuatan poliuretan yang fleksibel. Busa poliuretan kaku dibuat menggunakan polioliol poliester aromatik, karena dapat meningkatkan ketahanan busa terhadap api dan asap yang dihasilkan sedikit (Manik, 2014).

Karakteristik unggul poliuretan berbasis poliester polioliol dijelaskan oleh struktur kristal yang lebih baik, dibandingkan dengan polieter polioliol yang amorf karena poliester polioliol lebih tahan panas dibandingkan polieter polioliol. Poliuretan berbahan dasar poliester memiliki keunggulan ketahanan pelarut dibandingkan dengan poliuretan berbasis polieter (Çelebi dan Yazici, 2016). Spesifikasi polioliol terdapat pada Tabel II.2.

Tabel II.2 Spesifikasi polioli

Nama Produk	JKR-7631LN-1
Komposisi	<i>Polyol Compound</i>
Warna	<i>Yellow Liquid</i>
<i>Viscosity (mPa.S at 25 °C)</i>	250 - 400
<i>Specific Gravity (gr/cm<sup>3</sup>) at 25 °C</i>	1,0 - 1,1
<i>Water Content by Weight (%)</i>	1 - 4

Sumber : PT. Justus Kimiaraya

## II.5 Isosianat

Isosianat merupakan gugus fungsi utama dari industri poliuretan. Secara komersial, isosianat organik tersedia dalam bentuk alifatik, sikloalifatik, aromatik dan heterosiklik poliisosianat (Manik, 2014). Secara umum, isosianat aromatik lebih reaktif dibandingkan isosianat alifatik dan poliisosianat sikloalifatik (Adam dkk., 2000).

Isosianat aromatik telah digunakan untuk persiapan isosianat berbasis busa. Isosianat alifatik tidak digunakan karena poliisosianat alifatik bereaksi lambat dengan gugus hidroksi, sedangkan untuk reaksi busa membutuhkan reaktivitas tinggi. Isosianat utama yang digunakan TDI dan MDI (Adam dkk., 2000). Spesifikasi isosianat yang terdapat pada Tabel II.3

Tabel II.3 Spesifikasi isosianat

Nama Produk	Millionate MR-200
Komposisi	<i>Isocyanate</i>
Warna	<i>Dark Brown Liquid</i>
<i>Viscosity (mPa.S at 25 °C)</i>	150 - 250
<i>Specific Gravity (gr/cm<sup>3</sup>) at 25 °C</i>	1,220 - 1,240

Sumber : PT. Justus Kimiaraya

## II.6 Zeolit

Zeolit merupakan mineral alam berbentuk kristal berukuran mikro yang tersusun dari alumina (AlO<sub>4</sub>) dan silika (SiO<sub>2</sub>) (Auerbach dkk., 2003). Komposisi kimia dari tiap zeolit akan mempengaruhi bentuk struktur zeolit. Zeolit terdiri dari 3 komponen yaitu, kation yang dipertukarkan, kerangka aluminosilikat, dan kandungan air. Kandungan air pada zeolit berubah-ubah tergantung dari sifat

kation yang ditukar dan kondisi kristalisasi. Air dan kation yang ada di dalam rongga zeolit dapat disubstitusikan dengan molekul lain dengan cara ion *exchange treatment* (Anggoro, 2017).

Zeolit merupakan mineral berpori. Jika terdapat beberapa molekul memasuki sistem mikropori zeolit, molekul bisa terserap berdasarkan kepolaran atau interaksi molekul dengan zeolit. Mekanisme interaksi molekul yang terjadi bisa secara penyerapan fisika (gaya Van der Waals), penyerapan kimia (gaya elektrostatik), ikatan hydrogen dan pembentukan kompleks koordinasi. Efektifitas penyerapan bergantung pada sifat spesies yang diserap, kemampuan pertukaran ion, keasaman padatan zeolit dan kelembaban system. Selain itu, zeolit dengan rongga-rongga molekulnya mempunyai gugus aktif di dalam saluran antar kristal sehingga dapat berlaku sebagai pengemban katalis (Anggoro, 2017).

Penggunaan zeolit sebagai pengisi memberikan keuntungan karena zeolit memiliki sifat seperti stabil pada temperatur tinggi, tahan terhadap pelarut organik dan bahan kimia serta sifatnya yang keras sehingga tahan terhadap tekanan mekanik yang cukup tinggi apabila dibandingkan dengan bahan organik maupun polimer (Fransiskus, 2016). Seperti pada penelitian Visakh dkk., (2016) partikel zeolit membatasi pergerakan makromolekul rantai dalam matriks polimer dan bertindak sebagai penghalang termal komposit dan mencegah aliran panas ke matriks polimer dan degradasi lebih lanjut. Pada penelitian Lv dkk., (2011) menunjukkan bahwa temperatur transisi kaca ( $T_g$ ) menurun lebih signifikan saat konten zeolit 13X adalah 7%. Hal ini mengindikasikan bahwa zeolit 13X merupakan agen nukleasi heterogen yang menginduksi kristalisasi segmen keras.

Zeolit terdiri dari 2 jenis yaitu zeolit alam dan sintesis. Kedua jenis zeolit ini memiliki persamaan sifat fisik dan kimia meskipun mempunyai beberapa perbedaan. Zeolit alam diperoleh dengan penambangan secara terbuka dan secara mekanis banyak ditemukan di Indonesia di daerah Cipatujuh, Bayan, Nagrek, Malang Selatan (Anggoro, 2017).

## II.7 Sifat Termal Komposit Busa Poliuretan/Zeolit

Sifat termal merupakan respon dari material terhadap panas yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh antara suhu dan sifat fisik dari bahan. Alat yang dapat digunakan yaitu *Thermo Gravimetry Analysis* (TGA), *Differential Thermal Analysis* (DTA), dan *Differential Scanning Calorimetry* (DSC). (Menczel dan Prime, 2009)

Prinsip dasar dari TGA adalah pengukuran berat dari sampel sebagai fungsi dari suhu (Harsojuwono dan Arnata 2015). Stabilitas termal polimer didefinisikan sebagai kemampuan bahan polimer untuk menahan panas dan untuk mempertahankan sifat-sifatnya, seperti kekuatan, ketangguhan, atau elastisitas pada suhu tertentu. Stabilitas termal polimer biasanya ditentukan dengan TGA. Biasanya suhu pada alat TGA mencapai 1000 °C atau lebih, sesuai dengan batas yang memadai untuk aplikasi polimer. Gas digunakan seperti nitrogen, argon, atau helium (Menczel dan Prime, 2009).

Polimer umumnya menunjukkan kehilangan massa, meskipun penambahan massa dapat diamati sebelum degradasi pada laju pemanasan lambat. Kehilangan massa dapat dikategorikan sebagai komponen volatil seperti *absorbed moisture*, sisa pelarut, atau massa aditif dengan berat molekul rendah atau oligomer yang umumnya menguap. Semua proses kehilangan massa dapat ditandai dengan TGA untuk menghasilkan informasi seperti komposisi, tingkat kehilangan massa, dan stabilitas termal (Menczel dan Prime, 2009).

Degradasi termal dapat terjadi akibat penyerapan inframerah radiasi, biasanya dari spektrum matahari dapat juga diakibatkan oleh disosiasi termal ikatan kimia dalam makromolekul (Xie dkk., 2019). Dekomposisi poliuretan terjadi melalui beberapa tahap seperti pada penelitian El- Shekeil dkk., (2012) menjelaskan tahap pertama dengan rentang 31-153 °C karena terjadi penguapan dari kelembapan, selanjutnya ialah penguapan akibat dari pemutusan rantai polioliol dan isosianat yang terbentuk selama proses polimerisasi, setelah itu isosianat menguap, sedangkan polioliol terdekomposisi pada tahap selanjutnya. Hal ini juga didukung melalui penelitian

dari Chen dkk., (2012) yang menunjukkan pada rentang suhu 280-400 °C merupakan tahap yang terjadi karena pemutusan grup uretan dan hasil dari reaksi samping. Pada rentang suhu 400-490 °C menunjukkan dekomposisi polimer polioliol.

*Differential Scanning Calorimetry* (DSC) digunakan untuk mengetahui nilai temperatur transisi kaca ( $T_g$ ), temperatur leleh ( $T_m$ ) dan derajat kristalinitas ( $X_c$ ) dari suatu bahan. Transisi kaca terjadi dalam polimer amorf dan semikristalin, setelah dipanaskan polimer padat amorf berubah dari kondisi kaku menjadi karet. (Callister, 2014). Pada temperatur kristalisasi polimer kehilangan sebagian susunan rantai acaknya bentuk ikatan antarmolekul dan molekul polimer menjadi lebih teratur. Pembentukan ikatan selama kristalisasi adalah proses eksotermik, sehingga terjadi peningkatan aliran panas menyertai proses kristalisasi (Gregorova, 2013).

Kristalinitas berpengaruh pada  $T_g$ . Beberapa kasus menunjukkan semakin  $T_g$  meningkan maka kristalinitas juga meningkat karena fase kristal lebih banyak daripada amorf, tetapi terdapat juga kasus dimana  $T_g$  menurun dengan meningkatnya kristal (Menczel dan Prime, 2009). Polimer tidak dapat sepenuhnya mengkristal, yaitu tidak dapat memiliki keteraturan yang sempurna. Nukleasi menjelaskan pembentukan kristal atau peningkatan kristal. Untuk mendapatkan nilai derajat kristalinitas ( $X_c$ ) dapat dihitung dengan cara:

$$X_c (\%) = \frac{\Delta H_m}{\Delta H^*m} \times 100 \%$$

Keterangan :

$X_c$  = Derajat kristalinitas

$\Delta H_m$  = Entalpi leleh

$\Delta H^*m$  = Entalpi leleh untuk 100% kristalisasi poliuretan = 196,8 J/g

Pada penelitian Lv dkk., (2011) menunjukkan penurunan  $T_g$  secara signifikan dengan penambahan zeolit pada poliuretan. Sedangkan derajat kristalinitas mengalami kenaikan seiring ditambahkan zeolit, seperti pada penelitian

Pehlivan (2006) bahwa zeolit dapat meningkatkan kristalisasi. Peningkatan ini terjadi karena zeolit berperan sebagai *nucleating agent*.

### III.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilakukan secara eksperimen di Laboratorium Teknik Kimia Polimer Politeknik STMI Jakarta, dimulai pada bulan Juni 2020 sampai dengan bulan Juli 2020. Penyusunan data dilakukan pada bulan Maret 2020 sampai dengan bulan September 2020.

### III.2 Alat dan Bahan

#### III.2.1 Alat

1. Gelas ukur
2. Gelas kimia
3. Corong gelas
4. Neraca digital
5. Gunting/pemotong kertas
6. *Magnetic stirrer*
7. *Hotplate*
8. Oven
9. Cawan
10. *Tray*
11. Cetakan pembuatan busa
12. *Thermo Gravimetric Analyzer (TGA)*
13. *Differential Scanning Calorimetry (DSC)*

#### III.2.1 Bahan

1. Polyol yang diproduksi oleh Tosoh Jepang.
2. Isosianat jenis Metil difenildiisiosianat (MDI) yang diproduksi oleh Tosoh Jepang.
3. Zeolit alam Lampung dari PT Adywater.

### III.3 Variabel

#### III.3.1 Variabel Tetap

Variabel tetap adalah suatu variabel yang tidak berubah selama penelitian ini berlangsung. Variabel tetap yang digunakan selama penelitian ini yaitu lama pengadukan bahan polioliol dengan zeolit dan isosianat dengan zeolit selama 30 detik. Lama pengadukan pembuatan busa 40 detik. Kecepatan pengadukan 200 rpm.

#### III.3.2 Variabel Berubah

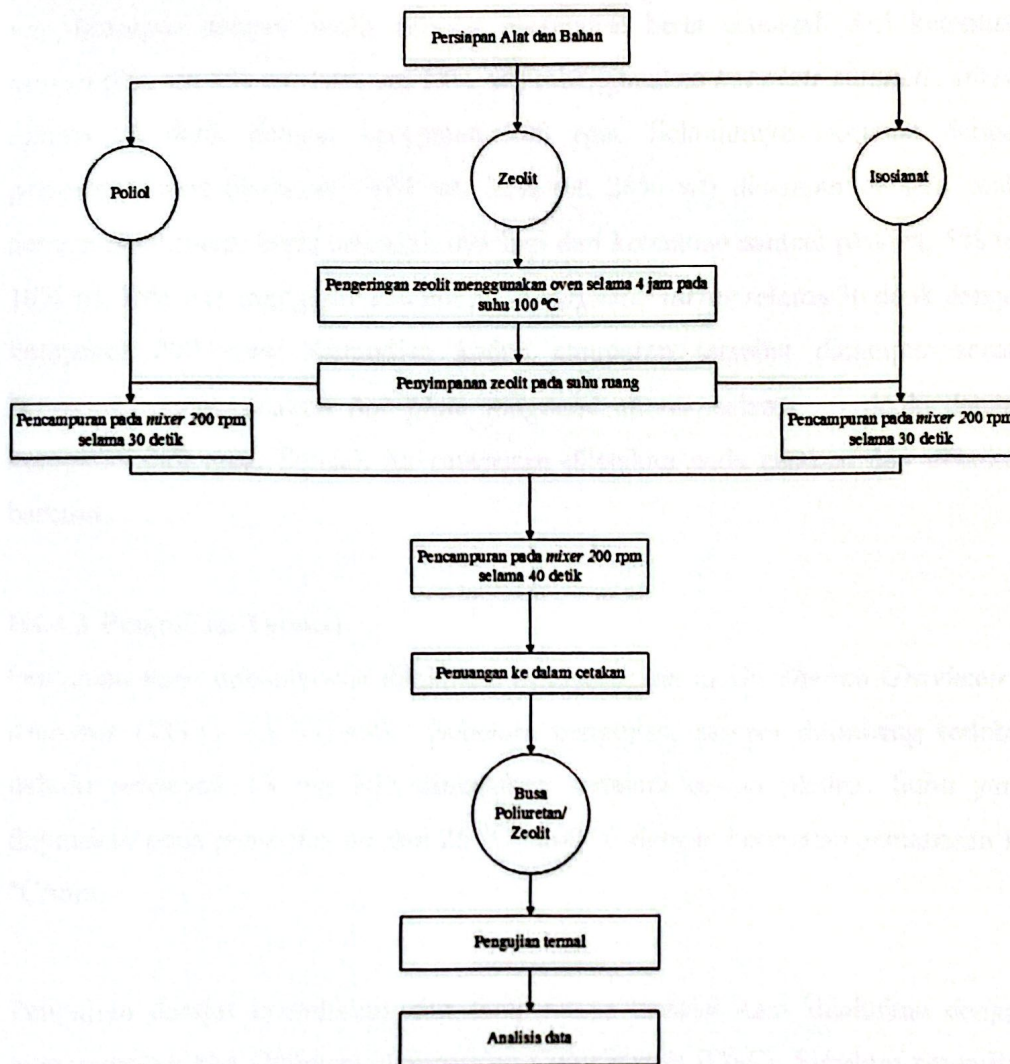
Variabel berubah adalah variabel yang divariasikan selama penelitian ini berlangsung. Bertujuan untuk mencari nilai terbaik pada sampel produk komposit yang terbentuk. Variabel bebas tersebut dapat dilihat pada tabel III.1.

Tabel III.1 Matriks penelitian

Sampel	Polioliol (% wt)	Isosianat (% wt)	Zeolit (% wt)
1	60	40	0
2	54	36	10
3	48	32	20
4	42	28	30

### III.4 Prosedur

Prosedur pada penelitian ini terdiri dari studi literatur mengenai pembuatan busa poliuretan dan pengujian. Kemudian persiapan alat dan bahan seperti persiapan zeolit yang dilakukan proses pemanasan didalam oven, lalu pencampuran zeolit dengan polioliol, lalu pencampuran zeolit dengan isosianat. Kemudian kedua campuran tersebut dicampurkan. Setelah di campurkan dimasukan ke dalam cetakan dan di masukan ke dalam oven. Sehingga terbentuk busa poliuretan/zeolit. Kemudian dilakukan pengujian kuat tarik dan sifat termal. Setelah itu dilakukan proses analisis data untuk dilanjutkan ke dalam penulisan laporan. Gambar III.1 diagram alir penelitian.



Gambar III.1 Diagram alir penelitian

#### III.4.1 Persiapan Bahan

Zeolit sebanyak 100 gram dipersiapkan dengan cara melakukan pengovenan selama 4 jam dengan suhu 100 °C. Setiap satu jam sekali dilakukan pengecekan massa zeolit secara konstan. Pemanasan dalam oven dilakukan untuk menghilangkan kadar air pada zeolit.

#### III.4.2 Pembuatan Komposit Busa

Busa poliuretan dibuat dengan melakukan pencampuran antara polioliol dan diisosiyanat dengan perbandingan persen massa polioliol dan isosianat diambil 3:2. Selanjutnya polioliol dengan berat masing-masing (60% wt, 54% wt, 48% wt, 42%

wt) dicampur dengan zeolit dengan persentase berat setengah dari ketentuan sampel (0% wt, 5% wt, 10% wt, 15% wt) menggunakan *hot plate magnetic stirrer* selama 30 detik dengan kecepatan 200 rpm. Selanjutnya isosianat dengan persentase berat (40% wt, 36% wt, 32% wt, 28% wt) dicampur dengan zeolit dengan persentase berat setengah nya lagi dari ketentuan sampel (0% wt, 5% wt, 10% wt, 15% wt) menggunakan *hot plate magnetic stirrer* selama 30 detik dengan kecepatan 200 rpm. Kemudian kedua campuran tersebut dicampur secara bersamaan menggunakan *hot plate magnetic stirrer* selama 40 detik dengan kecepatan 200 rpm. Setelah itu campuran diletakan pada cetakan dan dibiarkan berbusa.

#### **III.4.3 Pengujian Termal**

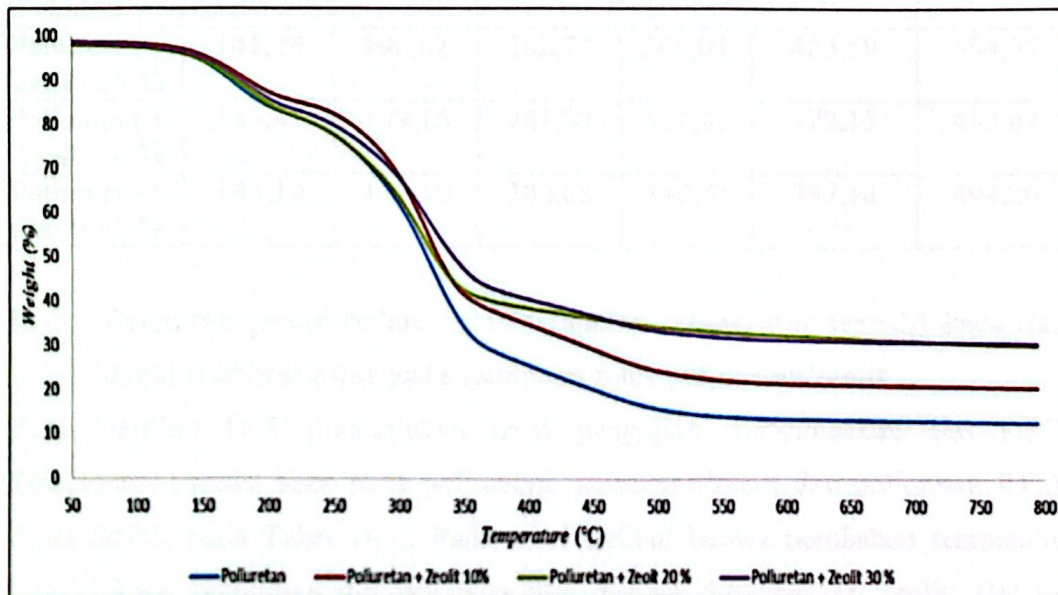
Pengujian suhu dekomposisi dilakukan menggunakan mesin *Thermo Gravimetric Analyzer (TGA) TA TGA55*. Sebelum pengujian, sampel ditimbang terlebih dahulu sebanyak 13 mg lalu dimasukan kedalam cawan platina. Suhu yang digunakan pada pengujian ini dari 25 °C - 800 °C dengan kecepatan pemanasan 10 °C/min.

Pengujian derajat kristalinitas dan temperature transisi kaca dilakukan dengan menggunakan alat *Differential Scanning Calorimetric (DSC)*. Sebelum pengujian sampel sebanyak 6 mg. Sampel dipanaskan dari -20 °C hingga 200 °C, kemudian didinginkan sampai -20 °C lalu dipanaskan kembali hingga 200 °C dengan kecepatan pemanasan dan pendinginan 10 °C/min.

## Bab IV Hasil dan Pembahasan

### IV.1 Pengaruh penambahan zeolit terhadap stabilitas termal pada komposit busa poliuretan/zeolit

Gambar IV.1 menunjukkan bahwa poliuretan maupun poliuretan/zeolit mengalami tiga tahap kehilangan massa (El- Shekeil dkk., 2012). Kehilangan massa pada langkah pertama terjadi karena penguapan dari kelembapan. Langkah kedua terjadi karena pemutusan rantai ikatan poliuretan menjadi polioliol dengan isosianat yang terbentuk dari hasil polimerisasi, kemudian isosianat menguap sementara polioliol tidak. Langkah ketiga terjadi karena penguapan dari polioliol.



Gambar IV.1 Kurva dekomposisi poliuretan dan poliuretan/zeolit

Tingkat kehilangan massa poliuretan yang ditambahkan zeolit lebih rendah dari busa poliuretan murni. Perbedaannya terlihat pada Gambar IV.1, dapat dilihat bahwa pada suhu diatas 350 °C poliuretan murni memiliki kekurangan massa lebih besar.

Suhu awal kehilangan massa dapat dilihat pada Tabel IV.1. Pada  $onset x_I$ ,  $onset x_{II}$ ,  $onset x_{III}$  menunjukkan suhu awal kehilangan massa pada langkah pertama, kedua, dan ketiga, sedangkan  $end x_I$ ,  $end x_{II}$ , dan  $end x_{III}$  menunjukkan suhu akhir

kehilangan massa pada langkah pertama, kedua, dan ketiga. Poliuretan yang ditambahkan zeolit 10 % dan 30 % memiliki suhu dekomposisi yang lebih tinggi dari poliuretan murni, namun pada penambahan zeolit 20 % mengalami penurunan pada  $end\ x_{III}$  tetapi masih masuk dalam rentang suhu dekomposisi pada poliuretan yaitu 400-490 °C. Penambahan zeolit meningkatkan suhu dekomposisi karena partikel zeolit dapat bertindak sebagai penghalang termal pada komposit (Visakh dkk., 2016) dan zeolit memiliki sifat termal yang lebih tinggi karena termasuk senyawa logam.

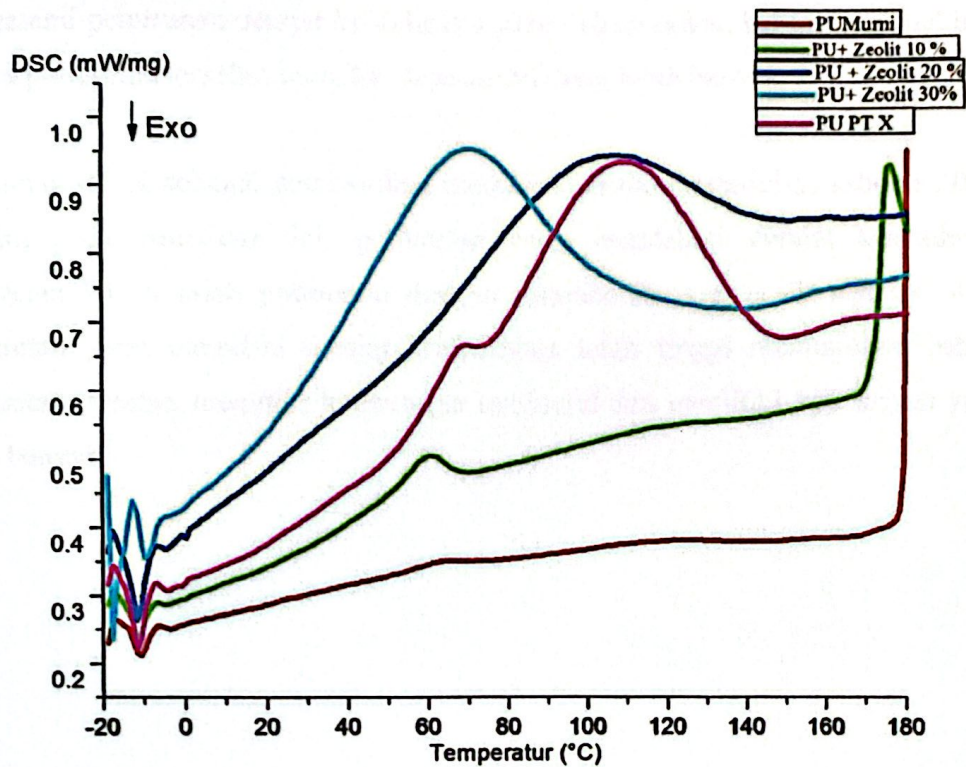
Tabel IV. 1 Suhu dekomposisi poliuretan dan poliuretan/zeolit

Keterangan	Onset $x_I$ (°C)	End $x_I$ (°C)	Onset $x_{II}$ (°C)	End $x_{II}$ (°C)	Onset $x_{III}$ (°C)	End $x_{III}$ (°C)
Poliuretan murni	138,22	189,26	280,04	346,73	385,08	488,68
Poliuretan + Zeolit 10 %	141,28	196,62	282,72	341,01	425,59	494,52
Poliuretan + Zeolit 20 %	143,47	199,15	281,32	337,41	372,15	433,67
Poliuretan + Zeolit 30 %	145,19	195,60	280,88	346,42	387,18	494,26

#### IV.2 Pengaruh penambahan zeolit terhadap temperatur transisi kaca dan derajat kristalinitas pada komposit busa poliuretan/zeolit

Pada Gambar IV.1 menunjukkan hasil pengujian menggunakan alat DSC. Temperatur transisi kaca pada poliuretan, poliuretan/zeolit dan poliuretan PT X dapat dilihat pada Tabel IV.2. Pada tabel terlihat bahwa perubahan temperatur transisi kaca poliuretan ditunjukkan seiring dengan ditambahkan zeolit. Hal ini karena zeolit merupakan agen nukleasi heterogen yang menginduksi kristalisasi poliuretan (Lv dkk., 2011)

Poliuretan yang memiliki nilai Tg lebih besar menunjukkan bahwa poliuretan tersebut dapat mempertahankan sifat kacanya sehingga sulit untuk menjadi elastis. Poliuretan yang bersifat elastis akan menyebabkan mudah lepasnya busa tersebut pada atap kendaraan, sifat ini kurang bagus dalam pengaplikasian plafon pada kendaraan



Gambar IV.2 Kurva termogram poliuretan, poliuretan/zeolit dan poliuretan PT X

Poliuretan pada penelitian ini baik yang ditambahkan zeolit maupun tidak memiliki temperatur transisi kaca lebih rendah dibanding dengan poliuretan dari PT X yaitu sebesar 131,2 °C dan disusul oleh poliuretan yang ditambahkan zeolit 20% sebesar 122 °C sehingga dalam mempertahankan sifat kacanya poliuretan PT X sebagai pembanding lebih unggul.

Tabel IV.2 Hasil pengujian DSC poliuretan, poliuretan/zeolit, dan poliuretan PT X

Keterangan	Temperatur Transisi Kaca (°C)	$\Delta H_m$ (J/g)	Derajat Kristalinitas (%)
Poliuretan murni	119,8	39,93	20,29
Poliuretan + Zeolit 10 %	107,8	12,93	6,57
Poliuretan + Zeolit 20 %	122,0	43,59	22,15
Poliuretan + Zeolit 30 %	86,5	55,3	28,10
Poliuretan PT X	131,2	59,12	30,04

Derajat kristalinitas pada poliuretan murni sebesar 20,29% dan meningkat seiring ditambahkan zeolit. Hal ini menunjukkan bahwa zeolit berperan sebagai agen nukleasi (Pehlivan 2006). Poliuretan dengan ditambahkan zeolit sebesar 10%

mengalami penurunan derajat kristalinitas yang cukup tajam, hal ini kemungkinan bahwa poliuretan tersebut memiliki fase amorf yang lebih banyak.

Poliuretan PT X sebagai pembanding memiliki derajat kristalinitas sebesar 30,04 % dan pada penelitian ini, poliuretan yang mendekati derajat kristalinitas poliuretan PT X ialah poliuretan dengan ditambahkan zeolit sebesar 30%. Poliuretan yang memiliki derajat kristalinitas lebih tinggi menunjukkan bahwa poliuretan tersebut memiliki keteraturan struktural dan memiliki fase kristal yang lebih banyak.

## **Bab V Penutup**

### **V.1 Kesimpulan**

Berdasarkan data hasil pengujian dan analisis data dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. persentase berat zeolit pada poliuretan mempengaruhi suhu dekomposisi poliuretan. Suhu dekomposisi poliuretan mengalami kenaikan ketika ditambahkan zeolit, namun pada persentase zeolit 20% mengalami penurunan,
2. persentase berat zeolit pada poliuretan mempengaruhi derajat kristalinitas dan temperatur transisi kaca pada komposit busa poliuretan/zeolit. Derajat kristalinitas mengalami kenaikan seiring bertambah zeolit, namun terdapat penurunan pada dengan penambahan 10% zeolit. Temperatur transisi kaca mengalami penurunan seiring bertambah zeolit, namun mengalami kenaikan dengan penambahan 20 zeolit.

### **V.2 Saran**

Dari pelaksanaan penelitian yang telah dilakukan, penulis menyarankan terkait pelaksanaan penelitian agar hasil kedepannya lebih baik lagi, diantaranya:

1. mengidentifikasi kandungan produk di PT X,
2. melakukan pengujian morfologi pada busa poliuretan dan komposit busa poliuretan/zeolit.

## DAFTAR PUSTAKA

- Adam, N., Avar, G., Blankenheim, H., Friederichs, W., Giersig, M., Weigand, E., dan Meyer-Ahrens, S. (2000): *Polyurethanes*. Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry.
- Akindoyo, J. O., Beg, M., Ghazali, S., Islam, M. R., Jeyaratnam, N., dan Yuvaraj, A. R. (2016): Polyurethane types, synthesis and applications—a review. *Rsc Advances*.
- Anggoro, D. D. (2017): *Buku Ajar Teori dan Aplikasi Rekayasa Zeolit*. Undip Press
- Arwanto. (2012): *Sintesis komposit hybrid glass/epoxy-MWNT dan analisis dengan model mikro mekanik*. Disertasi Program Studi Ilmu Material, Universitas Indonesia.
- Ashida, K. (2006): *Polyurethane and related foams: chemistry and technology*. CRC press.
- Auerbach, S. M., Carrado, K. A., dan Dutta, P. K. (2003): *Handbook of zeolite science and technology*. CRC press.
- Callister, W. D., dan Rethwisch, D. G. (2014): *Materials science and engineering: an introduction*. New York: Wiley.
- Cao, X., Lee, L. J., Widya, T., dan Macosko, C. (2005): Polyurethane/clay nanocomposites foams: processing, structure and properties. *Polymer*, 46(3), 775-783.
- Çelebi, M., dan Yazici, T. (2016): Synthesis and Characterization of Bio-Based Polyester Polyol. *Journal of the Turkish Chemical Society Section A: Chemistry*, 3(3), 721-730.
- Chen, H., Lu, H., Zhou, Y., Zheng, M., Ke, C., dan Zeng, D. (2012): Study on thermal properties of polyurethane nanocomposites based on organo-sepiolite. *Polymer Degradation and Stability*, 97(3), 242-247.
- Clowes, M. (2013): *Senyawa organik dan polimer terjemahan*: Nuraini, Wulandari. Pakar Raya Pustaka, Bandung.
- Drobny, J. G. (2014): *Handbook of thermoplastic elastomers*. Elsevier.
- El-Shekeil, Y. A., Sapuan, S. M., Abdan, K., dan Zainudin, E. S. (2012): Influence of fiber content on the mechanical and thermal properties of Kenaf fiber reinforced thermoplastic polyurethane composites. *Materials and Design*, 40, 299-303.
- Gregorova, A. (2013): *Application of Differential Scanning Calorimetry to The Characterization of Biopolymers*.
- Gultom, F. (2016): *Pembuatan dan Karakterisasi Nanokomposit Busa Poliuretan dengan Penambahan Pengisi Nanozeolit Alam Sarulla*. Disertasi Program Doktor, Universitas Sumatera Utara.
- Gultom, F., dan Hernawaty, H. (2019): Pengaruh Penambahan Nanozeolit alam dalam Preparasi Nanokomposit Foam Poliuretan terhadap Sifat Mekanik. *Jurnal Darma Agung*, 27(3), 1179-1190.
- Harsojuwono, B. A., dan Arnata, I. W. (2015): *Teknologi Polimer Industri Pertanian*. Denpasar.

- Januastuti, L. (2015): *Pemanfaatan Limbah Ampas Tahu Sebagai Bahan Baku Pembuatan Plastik Biodegradable dengan Plasticizer Sorbitol*. Disertasi Program Doktor, Politeknik Negeri Sriwijaya).
- Komariyah, S. (2016): *Karakterisasi Sifat Akustik, Sifat Mekanik dan Morfologi Komposit Polyurethane/Serbuk Bambu Sebagai Aplikasi Panel Pintu Mobil*, Disertasi Program Doktor, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- Kumar, B. S., Shayan, M. B., Manjula, K. S., Ranganathaiah, C., Rao, G. N., Basavalingu, B., dan Byrappa, K. (2010): Effect of zeolite particulate filler on the properties of polyurethane composites. *Journal of polymer research*, 17(1), 135.
- Lv, Zhang, L., Yang, Y., dan Bi, X. (2011): Preparation and properties of polyurethane/zeolite 13X composites. *Materials & Design*, 32(6), 3624-3628.
- Manik, D. R. (2014): *Pembuatan Komposit Busa Poliuretan Dengan Mikrobentonit dan Arang Aktif Cangkang Kelapa Sawit Sebagai Bahan Penyaring Dalam Pengolahan Air Bersih DAS Belawan (Master's thesis)*.
- Menczel, Joseph D, dan R Bruce Prime (2009): *Thermal analysis of polymer*, Canada: John Wiley and Son Inc.
- Nevianita, I. (2016): *Rancang Bangun Prototipe Elektroda Aluminium Berbasis Molecularly Imprinted Polymer (MIP) Simazin*. Disertasi Program Doktor, Politeknik Negeri Sriwijaya.
- Pehlivan, H., Balköse, D., Ülkü, S., dan Tihminlioglu, F. (2006): Effect of zeolite filler on the thermal degradation kinetics of polypropylene. *Journal of applied polymer science*, 101(1), 143-148.
- Rohaeti, E. (2015): *Sintesis Poliuretan Ramah Lingkungan*, UNY Press, Yogyakarta.
- Visakh, P. M., Nazarenko, O. B., Amelkovich, Y. A., dan Melnikova, T. V. (2016): Effect of zeolite and boric acid on epoxy-based composites. *Polymers for Advanced Technologies*, 27(8), 1098-1101.
- Xie, F., Zhang, T., Bryant, P., Kurusingal, V., Colwell, J. M., & Laycock, B. (2019). Degradation and stabilization of polyurethane elastomers. *Progress in Polymer Science*, 90, 211-268.

**Daftar Pustaka dari Situs Internet (web site):**

Data Ekspor Poliuretan 2015 - 2019 merupakan data dari *Biro Pusat Statistik*, data diperoleh melalui situs internet: <https://www.bps.go.id/>. Diunduh pada tanggal 04 April 2020.



## LAMPIRAN A Lembar Bimbingan Tugas Akhir

### LEMBAR BIMBINGAN PENYUSUNAN TUGAS AKHIR

Nama : Linda Rohmata Sari  
NIM : 1516039  
Judul : PENGARUH PENAMBAHAN ZEOLIT TERHADAP  
SIFAT TERMAL BUSA POLIURETAN/ZEOLIT  
Pembimbing : Dr. Erfina Oktariani, S.T., M.T.

Tanggal	BAB	Keterangan	Paraf
25/09/2019	-	Pengarahan tugas akhir	
05/11/2019	-	Presentasi jurnal	
21/01/2019	-	Perbaikan presentasi jurnal	
5/02/2020	-	Penulisan proposal	
10/02/2020	-	Disukusi variabel, bahan dan alat	
12/03/2020	-	Diskusi prosedur penelitian	
17/04/2020	I	Perbaikan penulisan	
12/05/2020	I	Perbaikan penulisan	
29/05/2020	II	Perbaikan penulisan	
19/06/2020	-	Revisi laporan tugas akhir dan melanjutkan ppt tugas akhir	
20/06/2020	-	Latihan presentasi tugas akhir	

Menyetujui,  
Ketua Program Studi  
Teknik Kimia Polimer

Dosen Pembimbing

**Fitria Ika Aryanti, S.T., M.Eng**  
NIP. 198505112014022001

**Dr. Erfina Oktariani, S.T., M.T.**  
NIP. 198210012014022001

Nomor : B/ /BPSDMI/STMI/PP/II/2020  
Lampiran : 1 (satu)  
Hal : Penugasan Proses Bimbingan Tugas Akhir  
Tahun Akademik 2019/2020

Jakarta, 12 Februari  
2020

Yth. Ibu DR. Erfina Oktariani, S.T., M. T  
Di Jakarta

Berdasarkan Keputusan Direktur Politeknik STMI Jakarta Nomor 01/BPSDMI/STMI/PP/KEP/II/2020 tanggal 02 Januari 2020 tentang pengangkatan Dosen Pembimbing dan Asisten Dosen Pembimbing Tugas Akhir Politeknik STMI Jakarta Tahun Akademik 2019/2020, maka dengan ini kami mengharap bantuan Ibu untuk dapat memberikan bimbingan dalam penulisan / penyusunan Tugas Akhir kepada mahasiswa yang namanya tersebut di bawah ini:

Nama : Linda Rohmata Sari  
No. Induk : 1516039

Adapun judul Tugas Akhir yang bersangkutan berdasarkan proposal yang terdaftar adalah:

" Pengaruh Variasi Talk terhadap Sifat Termal dan Mekanik pada Poliuretan Talk . "

Demikian surat penugasan ini disampaikan. Atas perhatian dan bantuan Ibu kami ucapkan terima kasih.

Direktur,

Mustofa

Tembusan:

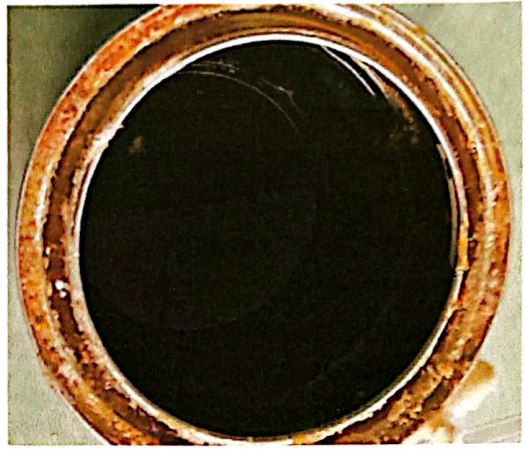
1. Pudir 1;
2. Ka Prodi TKP;
3. Mahasiswa yang bersangkutan;



## LAMPIRAN C Bahan



Polyol



Metil difenildiisosianat



Zeolit

## LAMPIRAN D Sampel Komposit Busa Poliuretan/Zeolit



Busa poliuretan



Busa komposit poliuretan/zeolit 10 %



Busa komposit poliuretan/zeolit 20 %



Busa komposit poliuretan/zeolit 30 %

## LAMPIRAN E Perhitungan Bahan Untuk Setiap Variasi

Variasi sampel akan dibuat sesuai dengan tabel berikut:

Sampel	Poliol (% wt)	Isosianat (% wt)	Zeolit (% wt)
1	60	40	0
2	54	36	10
3	48	32	20
4	42	28	30

Perhitungan yang dibutuhkan:

1. Menghitung polioliol yang dibutuhkan pada setiap variasi
2. Menghitung isosianat yang dibutuhkan pada setiap variasi
3. Menghitung zeolit yang dibutuhkan pada setiap variasi

1. Menghitung polioliol yang dibutuhkan pada setiap variasi

$$\rho \text{ Polioliol} = 1,23 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$$

Sampel 1

$$\frac{60}{100} \times 100 \text{ g} = 60 \text{ g}$$

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$1,23 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} = \frac{60 \text{ g}}{V}$$

$$48,8 \text{ cm}^3 = V$$

$$48,8 \text{ ml} = V$$

Sampel 2

$$\frac{54}{100} \times 100 \text{ g} = 54 \text{ g}$$

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$1,23 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} = \frac{54 \text{ g}}{V}$$

$$44 \text{ cm}^3 = V$$

$$44 \text{ ml} = V$$

Sampel 3

$$\frac{48}{100} \times 100 \text{ g} = 48 \text{ g}$$

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$1,23 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} = \frac{48 \text{ g}}{V}$$

$$39 \text{ cm}^3 = V$$

$$39 \text{ ml} = V$$

Sampel 4

$$\frac{42}{100} \times 100 \text{ g} = 42 \text{ g}$$

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$1,23 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} = \frac{42 \text{ g}}{V}$$

$$34,1 \text{ cm}^3 = V$$

$$34,1 \text{ ml} = V$$

2. Menghitung isosianat yang dibutuhkan pada setiap variasi

Sampel 1

$$\frac{40}{100} \times 100 \text{ g} = 40 \text{ g}$$

Sampel 2

$$\frac{36}{100} \times 100 \text{ g} = 36 \text{ g}$$

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$1,05 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} = \frac{40 \text{ g}}{V}$$

$$38 \text{ cm}^3 = V$$

$$38 \text{ ml} = V$$

Sampel 3

$$\frac{32}{100} \times 100 \text{ g} = 32 \text{ g}$$

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$1,05 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} = \frac{32 \text{ g}}{V}$$

$$30,5 \text{ cm}^3 = V$$

$$30,5 \text{ ml} = V$$

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$1,05 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} = \frac{36 \text{ g}}{V}$$

$$34,2 \text{ cm}^3 = V$$

$$34,2 \text{ ml} = V$$

Sampel 4

$$\frac{28}{100} \times 100 \text{ g} = 28 \text{ g}$$

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$1,05 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} = \frac{28 \text{ g}}{V}$$

$$26,6 \text{ cm}^3 = V$$

$$26,6 \text{ ml} = V$$

### 3. Menghitung zeolit yang dibutuhkan pada setiap variasi

Sampel 1

$$\frac{0}{100} \times 100 \text{ g} = 0 \text{ g}$$

Sampel 3

$$\frac{20}{100} \times 100 \text{ g} = 20 \text{ g}$$

Sampel 2

$$\frac{10}{100} \times 100 \text{ g} = 10 \text{ g}$$

Sampel 4

$$\frac{30}{100} \times 100 \text{ g} = 30 \text{ g}$$

## LAMPIRAN F Perhitungan Derajat Kristalinitas

Untuk mendapatkan nilai derajat kristalinitas ( $X_c$ ) dapat dihitung dengan cara:

$$X_c (\% \text{ kristalinitas}) = \frac{\Delta H_m}{\Delta H^*_m} \times 100 \%$$

Dengan:

$X_c$  = Derajat kristalinitas

$\Delta H_m$  = Entalpi pelelehan sampel

$\Delta H^*_m$  = Entalpi pelelehan poliuretan kristalisasi 100% = 196,8 J/g

Poliuretan

$$\begin{aligned} X_c &= \frac{\Delta H_m}{\Delta H^*_m} \times 100 \% \\ &= \frac{39,93}{196,8} \times 100 \% \\ &= 20,29 \% \end{aligned}$$

Poliuretan/zeolit 10%

$$\begin{aligned} X_c &= \frac{\Delta H_m}{\Delta H^*_m} \times 100 \% \\ &= \frac{12,93}{196,8} \times 100 \% \\ &= 6,57 \% \end{aligned}$$

Poliuretan/zeolit 20%

$$\begin{aligned} X_c &= \frac{\Delta H_m}{\Delta H^*_m} \times 100 \% \\ &= \frac{43,59}{196,8} \times 100 \% \\ &= 22,15 \% \end{aligned}$$

Poliuretan/zeolit 30%

$$\begin{aligned} X_c &= \frac{\Delta H_m}{\Delta H^*_m} \times 100 \% \\ &= \frac{55,3}{196,8} \times 100 \% \\ &= 28,10 \% \end{aligned}$$

Sampel PT X

$$\begin{aligned} X_c &= \frac{\Delta H_m}{\Delta H^*_m} \times 100 \% \\ &= \frac{58,12}{196,8} \times 100 \% \\ &= 30,04 \% \end{aligned}$$