

**LAPORAN TUGAS AKHIR PENELITIAN
SINTESIS *POLYURETHANE* DENGAN PENAMBAHAN MATERIAL
CARBON NANOTUBE DAN *CLAY* UNTUK MEMPERBAIKI SIFAT
MEKANIK DAN TAHAN BAKAR
DI SENTRA TEKNOLOGI POLIMER - BPPT
(1 Maret – 18 Mei)**



OLEH:

SANMAXWELL NADAPDAP	1512045
FIRMAN DWI SUKMANA	1512052

**PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA POLIMER
POLITEKNIK STMI JAKARTA
KEMENTERIAN PERINDUSTRIAN
2016**

**LAPORAN TUGAS AKHIR PENELITIAN
SINTESIS *POLYURETHANE* DENGAN PENAMBAHAN MATERIAL
CARBON NANOTUBE DAN *CLAY* UNTUK MEMPERBAIKI SIFAT
MEKANIK DAN TAHAN BAKAR
DI SENTRA TEKNOLOGI POLIMER - BPPT
(1 Maret – 18 Mei)**



OLEH:

SANMAXWELL NADAPDAP 1512045

FIRMAN DWI SUKMANA 1512052

**PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA POLIMER
POLITEKNIK STMI JAKARTA
KEMENTERIAN PERINDUSTRIAN
2016**

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penyusun panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat rahmat dan karunia-Nya penyusun dapat menyelesaikan laporan penelitian ini dengan baik. Laporan yang berjudul “Sintesis *polyurethane* dengan penambahan material *carbon nanotube* dan *clay* untuk memperbaiki sifat mekanik dan tahan bakar” dibuat untuk memenuhi persyaratan kelulusan program Diploma IV Politeknik STMI, Kementerian Perindustrian RI, Jakarta.

Penelitian di Jurusan Teknologi Kimia Industri Politeknik STMI Jakarta ini dimaksudkan untuk melatih mahasiswa dalam menerapkan teori dan pengetahuan yang telah diperoleh selama masa kuliah. Dengan tugas penelitian ini, diharapkan mahasiswa memiliki ketrampilan dalam melakukan analisis, sintesis, analogi, generalisasi, mengembangkan hipotesis, mengembangkan konsep, melakukan percobaan dan mengambil keputusan.

Dalam penyusunan Laporan Penelitian ini, penyusun mendapat bimbingan dan bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu pada kesempatan ini penyusun ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Orang tua kami yang telah memberikan cinta dan kasih sayang baik secara moril maupun materi dan selalu berdoa untuk kesuksesan penyusun.
2. Bapak Dr. Mustofa, ST, MT selaku Direktur Politeknik STMI Kementerian Perindustrian RI.
3. Bapak Ir. Roosmariharso, MBA, selaku Ketua Jurusan Teknik Kimia Polimer Politeknik STMI Kementerian Perindustrian RI.
4. Bapak Dr. Ir. Agus Mundiyo selaku dosen pembimbing penelitian Tugas Akhir penelitian Kami yang telah banyak membimbing dan menuntun serta memberikan banyak ilmu yang bermanfaat selama penyusunan laporan penelitian ini.
5. Ibu Fitria selaku Sekretaris Jurusan Teknik Kimia Polimer yang telah memberikan bantuan selama pelaksanaan Tugas Akhir ini.
6. Benni Ramadhoni M.Eng, selaku pembimbing utama di Sentra Teknologi Polimer yang telah banyak membimbing dan menuntun penyusun serta

memberikan banyak ilmu yang bermanfaat selama pelaksanaan dan penyusunan laporan penelitian ini.

7. Seluruh Peneliti dan Analis Laboratorium Polimer (Onny Ujianto, Bapak Roni, Bapak Hakim, Bapak Yogi, Bapak Fajar, Bapak Ade, Bapak Ari, Bapak Taufik dan Ibu Ely) yang telah banyak membimbing dan memberikan bantuan selama pelaksanaan penelitian ini.
8. Seluruh dosen Jurusan Teknik Kimia Polimer yang telah memberikan banyak ilmu kepada penyusun.
9. Rekan-rekan seperjuangan mahasiswa Teknologi Kimia Polimer angkatan 2012, dan juga kakak-kakak senior yang telah banyak memberikan saran kepada penyusun.
10. Rekan-rekan seperjuangan pada pelaksanaan penelitian di STP BPPT, (Rafli, Yosea, Diani, Mona, Imam dan Debby) yang telah banyak berbagi ilmu, informasi, serta canda tawa selama pelaksanaan penelitian ini.
11. Serta seluruh pihak yang tak dapat penyusun sebutkan satu persatu yang telah membantu pada proses pelaksanaan maupun penyusunan laporan penelitian ini.

Penyusun menyadari bahwa Laporan Penelitian ini masih jauh dari kesempurnaan. Mohon maaf apabila terdapat kekurangan atau kesalahan. Penyusun mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari semua pihak yang berkaitan dengan Penelitian ini. Akhir kata, semoga Laporan Penelitian ini dapat bermanfaat bagi semua pihak dan dapat berguna sebagai bahan menambah ilmu pengetahuan.

Jakarta, Juni 2016

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI.....	iii
DAFTAR TABEL.....	vi
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR LAMPIRAN.....	viii
ABSTRAK	ix
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Batasan Masalah.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Sintesis	4
2.2 Komposit.....	4
2.3 Poliuretan	5
2.4 Jenis Poliuretan	7
2.5 Bahan Pembuat Komposit Poliuretan	7
2.5.1 Isosianat	7
2.5.2 Polioliol	9
2.5.3 <i>Blowing Agent</i> (Bahan Peniup)	10
2.5.4 <i>Carbon nanotube</i>	11
2.5.4.1 Jenis-jenis <i>carbon nanotube</i>	12
2.5.4.2 Sifat fisik <i>carbon nanotube</i>	14
2.5.5 <i>Clay</i>	15
2.6 Metode Pendispersian Nanopartikel	16
2.6.1 <i>Solution Mixing</i>	16
2.6.2 <i>Melt Blending</i>	17
2.6.3 <i>In Situ Polymerization</i>	17

2.6.4	<i>Latex Technology</i>	17
2.7	<i>Design Of Experiment</i>	17
BAB II	METODOLOGI PENELITIAN	21
3.1	Tempat dan Waktu Penelitian.....	21
3.2	Alat dan Bahan Penelitian.....	21
3.2.1	Alat.....	21
3.2.2	Bahan.....	21
3.3	Variabel.....	22
3.3.1	Variabel Tetap.....	22
3.3.2	Variabel Berubah.....	22
3.4	Rancangan Percobaan.....	22
3.5	Skema Penelitian.....	23
3.6	Prosedur Penelitian.....	24
3.6.1	<i>Pre-liminary research</i>	24
3.6.2	Proses Pembuatan Komposit Poliuretan.....	24
3.7	Pengujian.....	26
3.7.1	Uji <i>Compressive Strength</i>	26
3.7.2	Uji Kekerasan (<i>Hardness Shore A</i>).....	26
3.7.3	Uji Bakar (<i>Flammability</i>).....	26
3.7.4	Uji Densitas (<i>Density</i>).....	26
3.8	Pengolahan Data dan Analisis Data.....	27
3.8.1	Pengumpulan Data.....	27
3.8.2	Reduksi Data.....	27
3.8.3	Penyajian Data.....	27
3.9	Pengambilan Kesimpulan.....	27
3.10	Jadwal Penelitian.....	28
BAB IV	HASIL DAN PEMBAHASAN	29
4.1	Sifat Mekanik Poliuretan (Poliuretan Murni).....	29
4.2	Sifat Uji Bakar Poliuretan Murni.....	29
4.3	Densitas Poliuretan.....	29
4.4	Hasil Uji Mekanik Komposit Poliuretan.....	30

4.5 Hasil Uji Bakar (<i>Flammability</i>)	34
4.6 Densitas Komposit Poliuretan.....	36
BAB V PENUTUP.....	39
5.1 Kesimpulan	39
5.2 Saran.....	39
DAFTAR PUSTAKA	40

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Beberapa peralatan dan kondisi Operasi yang digunakan	7
Tabel 2.2 Jenis Isosianat	8
Tabel 2.3 Sifat Fisis <i>Polymeric MDI</i> (HUNSTMAN)	9
Tabel 3.1 Rancangan Percobaan Dengan Aplikasi Minitab.....	22
Tabel 3.2 Rancangan Percobaan <i>Full Factorial</i> dengan Aplikasi Minitab 16.....	23
Tabel 3.3 Pelaksanaan Penelitian di Sentra Teknologi Polimer	28
Tabel 4.1 Sifat Mekanik Poliuretan Murni	29
Tabel 4.2 Sifat Uji Bakar Poliuretan Murni	29
Tabel 4.3 Densitas Poliuretan	30
Tabel 4.4 Pengaruh Clay terhadap <i>Compressive Strength</i> dan <i>Hardness</i> Komposit PU	31
Tabel 4.5 Pengaruh CNT terhadap <i>Compressive Strength</i> Komposit PU.....	31
Tabel 4.6 Pengaruh Perbandingan <i>Polyol Isocyanate</i> terhadap <i>Compressive</i> <i>Strength</i> dan <i>Hardness</i> Komposit PU	33
Tabel 4.7 Analisis variabel dan interaksi antar variabel terhadap	33
Tabel 4.8 Pengaruh CNT terhadap <i>Burning Rate</i> Komposit PU	35
Tabel 4.9 Pengaruh Penambahan Clay terhadap <i>Flammability</i> PU	35

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Reaksi Sederhana Pembentukan Poliuretan	5
Gambar 2.2	Gambar Struktur Isosianat.....	8
Gambar 2.3	Struktur Carbon Nanotube dalam 3 Dimensi	11
Gambar 2.4	Beberapa Bentuk Struktur SWCNT (a) Struktur Armchair (b) Struktur Zigzag (c) Struktur Chiral	13
Gambar 2.5	Perbedaan struktur antara (a) SWCNT dan (b) MWCNT.....	14
Gambar 2.6	<i>Nanoclay</i>	15
Gambar 3.1	Pencampuran polyol, carbon nanotube dan clay	25
Gambar 3.2	Pencampuran Larutan polioliol carbon nanotube clay dengan isosianat.....	26
Gambar 4.1	<i>Main Effect Plot For Compressive Strength</i>	30
Gambar 4.2	Hasil Uji <i>Compressive Strength</i> Komposit Poliuretan.....	32
Gambar 4.3	<i>Main Effect Plot For Hardness</i>	32
Gambar 4.4	Hasil Uji Hardness <i>Shore A</i>	33
Gambar 4.5	<i>Main Effect Plot For Flammability</i>	34
Gambar 4.6	Hasil Uji <i>Burning Rate</i>	35
Gambar 4.7	Pengaruh Variabel terhadap <i>Density</i>	36
Gambar 4.8	<i>Interaction Polyol * Clay for Density</i>	37
Gambar 4.9	<i>Intercation CNT * Clay for Density</i>	37
Gambar 4.10	<i>Interaction CNT * RPM for Density</i>	38
Gambar 4.11	Hasil Uji <i>Density</i>	38

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A

LAMPIRAN B

LAMPIRAN C

ABSTRAK

Nanokomposit berbasis polimer memiliki banyak keunggulan dibandingkan komposit konvensional, makro maupun mikro. Keunggulannya antara lain meningkatkan sifat elektrik, konduktivitas termal, sifat mekanik dan resistensi terhadap suhu tinggi. Semua keunggulan ini tergantung pada struktur dan sifat, serta komposisi penyusun material nanokomposit. Bahan nanokomposit berbasis polimer dengan nano *filler clay* dan CNT (*Carbon Nanotube*) merupakan salah satu alternatif dalam pengembangan bahan baru. Oleh karena itu dalam penelitian akan dibuat komposit poliuretan dengan menambahkan CNT dan Clay untuk mengetahui sifat mekanik dan tahan bakarnya. Adapun penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan *Multy Walled Carbon Nanotube* (MWCNT) dan *nanoclay* terhadap sifat mekanik dan ketahanan bakar komposit poliuretan sehingga diperoleh komposit dengan sifat mekanik yang tinggi dan laju bakar yang rendah. Metode penelitian dilakukan yaitu poliuretan disintesis dengan penambahan MWCNT dan *Nanoclay* menggunakan proses *one shot*. Proses *one shot* dipilih karena prosesnya yang mudah dan sederhana. Cara pendispersi materialnya dengan *solution mixing* menggunakan alat *mechanical mixer* dan *sonicator*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan *carbon nanotube* sebanyak 0.015 phr dan *clay* sebanyak 1,5 phr terhadap komposit poliuretan menghasilkan sifat mekanik (*compressive strength* dan *hardness shore A*) paling tinggi. Penambahan *carbon nanotube* sebanyak 0.025 phr dan *clay* sebanyak 2,5 phr terhadap poliuretan menghasilkan sifat laju bakar paling rendah.

Kata kunci : *Carbon nanotube* , *clay*, *compressive strength*, *flammability*,
Nanokomposit, Poliuretan

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Nanoteknologi telah membangkitkan perhatian yang sangat besar dari para ilmuwan di seluruh dunia, dan saat ini merupakan bidang riset yang paling bergairah. Nanoteknologi merupakan ilmu dan rekayasa penciptaan material, struktur fungsional, maupun piranti kedalam skala nanometer.

Bidang material nanokomposit akhir-akhir ini mendapat perhatian serius dari para ilmuwan. Berbagai penelitian yang dilakukan dengan sangat cermat terus menerus dilakukan. Penelitian yang dilakukan berdasarkan pemikiran/ide yang sangat sederhana, yaitu menyusun sebuah material yang terdiri atas blok-blok partikel dengan ukuran nanometer. Ternyata hasil penelitian tersebut sungguh mengejutkan. Sebuah material baru lahir dengan sifat-sifat fisis, mekanik dan ketahanan panas yang jauh lebih baik dari material penyusunnya. Hal ini memicu perkembangan material nanokomposit di segala bidang dengan memanfaatkan ide sederhana tersebut. [42]

Penerapan Poliuretan (PU) di industri busa bukan hal baru. Hampir 23% dari seluruh produksi PU mengandalkan kaku PU busa.[46] PU busa kontribusi pasar global terbesar dengan sekitar 53% di antara busa polimer.[34] Oleh sebab itu Poliuretan merupakan salah satu bahan polimer yang dapat digunakan sebagai matriks dalam pembuatan nanokomposit. Ciri khas Poliuretan adalah adanya gugus fungsi uretan (-NHCOO-) dalam rantai utama polimer. Penggunaan Poliuretan sebagai matriks komposit sangat diperlukan, karena poliuretan memiliki sifat fisis yang tergantung dari komposisi bahan penyusunnya sehingga dapat disesuaikan. [20][47] Poliuretan dapat dimodifikasi dengan menambahkan sejumlah pegisi (*filler*) kedalam sistem akan terjadi peningkatan sifat mekanik seperti *tensile strength*, *impact strength* dan *modulus young*. Begitu juga dengan sifat termal dari Poliuretan akan dipengaruhi oleh penambahan sejumlah *filler*. [15][22][44][55] Nanokomposit dibuat dengan menyisipkan nanopartikel (nano *filler*) kedalam sebuah material (matriks). Nanopartikel yang biasa digunakan dalam nanokomposit

diantaranya adalah *clay*, logam, CNT (*Carbon Nanotube*).[18][29][42] Sedangkan matriks yang biasa digunakan berupa matriks polimer, logam, dan keramik. [6][45]

Nanokomposit berbasis polimer memiliki banyak keunggulan dibandingkan komposit konvensional, makro maupun mikro. Keunggulannya antara lain meningkatkan sifat elektrik, konduktivitas termal, sifat mekanik dan resistensi terhadap suhu tinggi.[45]

Semua keunggulan ini tergantung pada struktur dan sifat, serta komposisi penyusun material nanokomposit.[6] Bahan nanokomposit berbasis polimer dengan nano *filler* tanah lempung (*organoclay*) dan CNT (*Carbon Nanotube*) merupakan salah satu alternatif dalam pengembangan bahan baru. Komposit polimer hanya membutuhkan sedikit *organoclay* dan *carbon nanotube* sebagai *filler*. [13][22][27]

Beberapa material komposit terdiri dari dua fasa, yaitu fasa matriks dan fasa terdispersi. Sifat yang dihasilkan akan bergantung pada sifat, jumlah dan geometri dari fasa terdispersi.[6] Cara mendispersi bahan nano material juga diperhatikan. Metode mendispersi yang biasa digunakan adalah metode ultrasonik.[30][36][52] Metode ini mampu menghasilkan dispersi homogen nanomaterial. Gelombang ultrasonik dapat mematahkan aglomerasi dengan merusak gaya Coulomb dan Gaya van der Waals antara partikel dan membuat partikel terpisah secara homogen dalam media cair.[41] Sehingga penelitian ini menitik beratkan pada pembuatan material nano komposit dari bahan Poliuretan dengan penambahan *filler carbon nanotube* dan *Clay*.

1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan yang diangkat pada penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh penambahan *carbon nanotube* dan *clay* terhadap sifat mekanik spesimen pada proses pembuatan komposit poliuretan?
2. Bagaimana pengaruh penambahan *carbon nanotube* dan *clay* terhadap ketahanan bakar spesimen pada proses pembuatan komposit poliuretan?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk:

1. Memperoleh pengaruh penambahan *carbon nanotube* dan *clay* terhadap sifat mekanik komposit poliuretan.
2. Memperoleh pengaruh penambahan *carbon nanotube* dan *clay* terhadap ketahanan bakar komposit poliuretan.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini yaitu untuk memberikan informasi tambahan mengenai proses pembuatan komposit poliuretan khususnya dengan penambahan material nano-komposit seperti *carbon nanotube* dan *clay*.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Bahan baku berupa *Polyether Polioliol (Daltofoam MP 50192)* dan *Isosianat (Suprasec 5005)* di suplai dari HUNSTSMAN.
2. Bahan pengisi (*filler*) terdiri dari *carbon nanotube (Multy Walled Carbon Nanotube)* dan *CLAY (nanoclay)*.
3. Bahan pendispersi *Polyvinyl Butyral (B60H)* dari PT. Jaya Warindo Abadi.
4. Komposisi Polioliol dan Isosianat 45 : 55 dan 55 : 45.
5. Variasi penambahan *carbon nanotube* 0,015 phr dan 0,025 phr.
6. Variasi penambahan *clay* 1,5 phr dan 2,5 phr.
7. Variasi *rpm mixing* 1300 dan 1900.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sintesis

Sintesis merupakan uji nyata kemampuan dalam menggunakan dan mengendalikan reaksi kimia. Salah satu tujuan sintesis dilakukan dengan tujuan untuk menemukan senyawa atau zat baru yang belum diketahui sebelumnya tapi diramalkan akan mempunyai sifat berguna baik untuk menguji teori ataupun penciptaan produk kimia baru. Penemuan ini dilakukan melalui serangkaian tahap yang dikendalikan.[7]

2.2 Komposit

Komposit merupakan salah satu jenis material yang saat ini sedang dikembangkan penggunaannya untuk berbagai hal, seperti untuk pesawat terbang, kendaraan -bermotor dan berbagai macam peralatan yang membutuhkan kekuatan yang tinggi tetapi ringan. Komposit adalah gabungan material yang terdiri dari dua atau lebih komponen material penyusun, baik secara mikro maupun secara makro yang berbeda bentuk dan komposisi kimianya dan tidak saling melarutkan .[43]

Komposit tersusun dari material pengikat (*matrix*) dan material penguat (*reinforce*)[2]. Logam, keramik, polimer dapat dipergunakan sebagai material matrik untuk pembuatan komposit, tergantung dari sifat yang ingin dihasilkan, namun polimer merupakan material yang paling luas dipergunakan sebagai matrik dalam komposit [14]. Poliuretan merupakan salah satu jenis polimer yang sangat penting untuk berbagai aplikasi seperti pelapisan, komposit, karena bahan ini memiliki kekuatan terhadap abrasi, tangguh, sifatnya dapat menyesuaikan, tahan bahan kimia dan korosi.[20][48]. Perkembangan teknologi komposit, telah berhasil ditemukan material nanokomposit. Nanokomposit merupakan material komposit dengan struktur berskala nanometer.[12] Struktur ini terkait dengan ukuran butiran, ukuran pengisi, dan ukuran pori. Ukuran pengisi yang lebih kecil memungkinkan permukaan interaksi antara pengisi dengan matriks yang lebih besar per unit volume.[12] *Nanofiller* pada komposit dapat berupa partikel nano (contoh

Secara umum, struktur dan sifat Poliuretan dipengaruhi oleh: [33]

- Berat molekul merupakan bertambahnya berat molekul, sifat-sifat seperti kuat tarik, titik leleh, elongasi, elastisitas akan meningkat hingga titik tertentu.
- Gaya antar molekul adalah termasuk dalam hal ini adalah ikatan hidrogen
- Kekakuan rantai adalah adanya struktur aromatik dalam struktur Poliuretan akan meningkatkan titik leleh, kekerasan dan menurunkan elastisitas.
- Kristalinitas merupakan linearitas dalam rantai polimer akan meningkatkan kristalinitas yang selanjutnya akan menurunkan solubilitas, elastisitas, elongasi dan fleksibilitas namun serta meningkatkan kuat tarik, titik leleh dan kekerasan
- Ikatan silang, semakin tinggi tingkat ikatan silang, maka Poliuretan akan semakin kaku (*rigid*) yang selanjutnya akan meningkatkan modulus elastisitasnya.

Busa poliuretan adalah jenis yang paling banyak aplikasinya di antara semua produk uretan. Busa didefinisikan sebagai substansi yang dibentuk dengan menjebak gelembung gas di dalam cairan atau padatan. Prinsip penyusunan busa uretan didasarkan pada terjadinya dua reaksi yang bersamaan yaitu pembentukan poliuretan dan pembentukan gas dengan adanya katalis dan surfaktan [25]

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 di tuang ke dalam cetakan. Sedangkan, untuk metode *two shot*, Isosianat ditambahkan ke dalam campuran pada tahap kedua.[28] Pemilihan sistem untuk pembentukan poliuretan, didasarkan kepada properti polimer yang diinginkan. Beberapa studi literatur pada tabel 2.1 menunjukkan evaluasi kondisi operasi proses dalam pembuatan Poliuretan dengan *filler* nanokomposit. Dari tabel 2.1 dapat disimpulkan bahwa pembuatan poliuretan kebanyakan menggunakan alat *mechanical mixer*. Hal ini disebabkan karena bahan baku poliuretan yang digunakan dalam fase cairan. Kondisi operasi optimum adalah pada suhu 25 °C , dengan 1300 rpm dan 1900 selama 30 detik (*Preliminary Research*).

Tabel 2.1 Beberapa peralatan dan kondisi Operasi yang digunakan dalam pembuatan komposit Poliuretan

TR M	Mixe r	T(°C)	Rpm	Time (Sec)	Reff
	V	30- 50	2500	10-15	[52]
	V	30		30	[11]
V	V				[13]
	V	25	3000	2min	[54]
	V	25	2500	30	[42]

2.4 Jenis Poliuretan

Busa Poliuretan diklasifikasikan ke dalam 3 tipe yaitu busa fleksibel, busa kaku (*rigid*) dan busa semi kaku (*semi rigid*). [19] Perbedaan sifat fisik dari 3 tipe busa Poliuretan tersebut berdasarkan pada perbedaan berat molekul, fungsionalitas polioliol dan fungsionalitas isosianat. Sedangkan berdasarkan struktur selnya, busa dibedakan menjadi dua yaitu sel terbuka sel tertutup (*closed cell*) dan (*open cell*). [10] Busa poliuretan kaku adalah busa dengan produksi yang tinggi dan memiliki aplikasi yang luas seperti isolasi, konstruksi [51], pipa kimia, pengisi ruang dan aplikasi lainnya karena sifat mereka yang sangat baik seperti struktur sel tertutup, rendah termal konduktivitas dan permeabilitas kelembaban rendah [7][10]

Sedangkan busa poliuretan fleksibel memiliki struktur sel terbuka dengan pori-pori yang saling terhubung satu sama lain untuk membentuk jaringan interkoneksi. Selain itu, jenis busa ini memiliki kerapatan relatif lebih rendah dan penampilannya seperti spons. Busa-busa yang fleksibel dipakai sebagai isolator, termasuk laminat-laminat tekstil untuk pakaian musim dingin, panel pelindung pada mobil, kain pelapis tempat tidur, karpet dasar, spons sintetis dan berbagai pemakaian lainnya. [26]

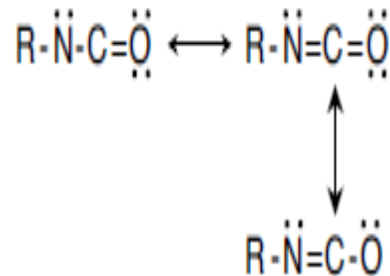
2.5 Bahan Pembuat Komposit Poliuretan

Berikut ini akan dijelaskan bahan-bahan pembuatan poliuretan:

2.5.1 Isosianat

Isosianat merupakan gugus fungsi utama yang menjadi dasar dari industri Poliuretan [52] dan merupakan segmen keras yang menanamkan kekakuan untuk

polimer poliuretan. Isosianat dibuat dengan mereaksikan amina dengan fosgen. Isosianat memiliki gugus fungsi (-N=C=O) seperti pada gambar 2.2 berikut ini:



Gambar 2.2 Gambar Struktur Isosianat

Sumber: T.Thomson, 2004

Beberapa jenis isosianat yang tersedia dipasaran dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

Tabel 2.2 Jenis Isosianat

<i>Designation</i>	Formula	<i>Molecular Weight</i>	<i>Melting Point</i>
2,4-Toluene diisocyanate (TDI)	C ₉ H ₆ O ₂ N ₂	174,2	21,8
Diphenylmethane-4,4'-diisocyanate (MDI)	C ₁₅ H ₁₀ O ₂ N ₂	250,3	39,8
1,6-Hexane diisocyanate (HDI)	C ₈ H ₁₂ O ₂ N ₂	168,2	-67
Hydrogenated MDI	C ₁₅ H ₁₈ O ₂ N ₂	258,3	30
Isopherone diisocyanate (IPDI)	C ₁₂ H ₁₈ O ₂ N ₂		-60
Napthalene diisocyanate (NDI)	C ₁₂ H ₆ O ₂ N ₂		127

Sumber: T.Thomson, 2004

Isosianat utama yang digunakan adalah toluen diisosianat (TDI) dan metil dipenil diisosianat (MDI). TDI memiliki senyawa dasar toluena, terdiri dari dua jenis isomer 2,4 (80%) dan isomer 2,6 (20%) yang merupakan Isosianat biasa untuk pembuatan busa fleksibel poliuretan. Jenis kedua adalah TDI dengan campuran 65% isomer 2,4 dan 35% isomer 2,6. TDI ini memiliki reaktifitas berbeda yang mana kedudukan 4-Isosianat adalah lebih reaktif dari pada 2 atau 6 Isosianat atau dapat dinyatakan gugus NCO pada kedudukan 4 adalah sepuluh kali lebih reaktif dari letak 2 atau 6 pada temperatur kamar. [23]

Pada penelitian ini jenis isosianat yang digunakan dalam pembuatan busa Poliuretan yaitu *polymeric diphenyl methane diisosianate* (MDI). Penggunaan MDI disebabkan menghasilkan poliuretan busa kaku [52]. Selain itu MDI memiliki

keunggulan yaitu aman digunakan berdasarkan tekanan uap rendah dan tersedia secara komersil.[49]

Tabel 2.3 Sifat Fisis *Polymeric MDI*

<i>Typical Properties</i>	
<i>Product</i>	<i>Suprasec 5005 (Polymeric diphenyl methane diisosianate)</i>
<i>Appearance</i>	<i>Clear brown liquid</i>
<i>Density, g/cm³ at 25 °C</i>	1,23
<i>Viscosity, mPa s at 25 °C</i>	220
<i>Isosianat (NCO) value % corrected for hydrolysisable chlorine</i>	30,75
<i>Iron content, ppm</i>	<20
<i>Acidity, ppm</i>	100
<i>Hydrolysisable chlorine, ppm</i>	<2000
<i>Flash Point, °C Cleveland Cup, ASTM method D92</i>	230
<i>Fire Point, °C Cleveland Cup, ASTM method D92</i>	245

Sumber : HUNSTMAN

2.5.2 Polioliol

Salah satu komponen penting dalam pembuatan poliuretan adalah polioliol yang berfungsi sebagai segmen lembut poliuretan. Polioliol dapat bereaksi dengan Isosianat untuk membentuk poliuretan. Polioliol yang memiliki dua gugus hidroksi disebut dioliol dan yang memiliki tiga gugus hidroksi disebut trioliol dan seterusnya. Polioliol yang digunakan untuk produksi busa poliuretan adalah oligomer. Oligomer merupakan polimer yang memiliki setidaknya dua gugus hidroksil yang dapat bereaksi dengan gugus isosianat. Terdapat banyak sekali jenis polioliol, tetapi secara keseluruhan dapat dikelompokkan menjadi 2 (dua) kategori yaitu:

1. Polieter Polioliol

Polieter Polioliol adalah senyawa utama yang digunakan dalam busa kaku dan busa fleksibel. Polieter polioliol diproduksi oleh polimerisasi anionik alkilena oksida (misalnya: propilena oksida, etilen oksida) dengan adanya inisiator dan katalis. Polieter polioliol untuk busa poliuretan kaku diproduksi menggunakan inisiator fungsionalitas tinggi seperti gliserol, sorbitol dan sukrosa. Polieter yang dapat

digunakan sebagai polioliol dalam sintesis poliuretan, yaitu politetrametilen glikol, polietilen glikol, dan polipropilen glikol. [33]

2. Poliester Polioliol

Poliester polioliol untuk busa poliuretan dapat diproduksi oleh reaksi *di-basic acids* (misalnya: asam adipat dan asam Glutarat) dengan glikol (misalnya: etilena glikol dan propilen glikol) ataupun dibuat dengan pembukaan cincin polimerisasi lakton.[40] Contoh jenis polioliol ini adalah poli (1,6-heksanadiol) karbonat. Bahan-bahan ini digunakan dalam pembuatan poliuretan yang fleksibel. Namun, untuk busa poliuretan kaku, polioliol poliester aromatik [52] adalah tipe polioliol yang paling sering digunakan karena dapat meningkatkan ketahanan busa terhadap api dan asap yang dihasilkan sedikit.[17][52]

2.5.3 Blowing Agent (Bahan Peniup)

Bahan atau zat yang menghasilkan struktur sel dalam massa polimer didefinisikan sebagai bahan peniup (*blowing agent*). Bahan peniup meliputi gas yang mengembang saat tekanan dilepaskan, cairan yang mengembang sel-sel ketika berubah menjadi gas dan bahan kimia yang terurai atau bereaksi di bawah pengaruh panas/ katalis untuk membentuk gas [17]

Bahan peniup memainkan peran yang sangat penting baik dalam pembuatan maupun kinerja busa polimer. Bahan peniup merupakan faktor yang paling dominan dalam pengendali kepadatan busa. Selain kepadatan, bahan peniup juga mempengaruhi mikrostruktur dan morfologi sel busa yang nantinya menjadi penentu penggunaan akhir busa. Bahan peniup dalam pembuatan busa poliuretan dibagi menjadi dua, yaitu:

1. Bahan peniup fisika

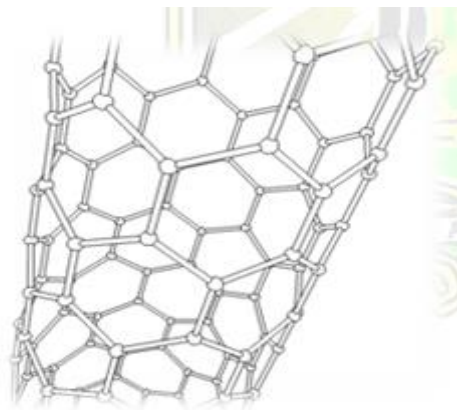
Contohnya: gas-gas (udara, nitrogen atau karbondioksida) yang oleh tekanan larut dalam polimernya

2. Bahan peniup kimia yang terurai oleh pemanasan untuk melepaskan gas. Contohnya: cairan bertitik didih rendah seperti klorofluorokarbon (CFC), metilen klorida (MC) dan aseton.[16]

2.5.4 *Carbon nanotube*

Carbon nanotube adalah salah satu struktur karbon yang berbentuk seperti silinder dengan diameter dalam orde nanometer. Salah satu keunikan dalam struktur ini adalah kelebihanannya dalam hal kekuatan, sifat keelektrikannya, dan juga sifat dalam penghantaran panas yang baik. Struktur ini memiliki bermacam bentuk turunan yang masing-masing memiliki sifatnya tersendiri. Keistimewaan *carbon nanotube* membuatnya menjadi harapan baru dalam perkembangan teknologi nano.

Carbon nanotube merupakan turunan dari struktur carbon. *Carbon nanotube* dapat dideskripsikan sebagai lembaran grafit setebal 1 atom yang digulung menyerupai silinder dan memiliki diameter dengan orde nanometer. Lembaran ini memiliki struktur seperti sarang lebah (*honeycomb*) yang terdiri dari ikatan-ikatan atom carbon. Struktur *carbon nanotube* yang unik memungkinkannya memiliki sifat kenyal, daya regang, dan stabil dibandingkan struktur carbon lainnya. Kelebihan ini dapat dimanfaatkan dalam pengembangan struktur bangunan yang kuat, struktur kendaraan yang aman, dan lainnya.



Gambar 2.3 Struktur *Carbon Nanotube* dalam 3 Dimensi

Sumber: Burrmann, 2007

Beberapa studi telah menunjukkan bahwa *carbon nanotube* dapat bertindak sebagai bahan penguat pada polimer. [23][30][38] Konduktivitas, kekuatan, elastisitas, kekokohan, dan ketahanan dari komposit yang terbentuk dapat meningkat secara substansial dengan penambahan *carbon nanotube*. [3]

Penelitian mengenai penggunaan material *carbon nanotube* sebagai pengisi komposit telah banyak dilakukan salah satunya dilakukan oleh (Loos, M. R.dkk, 2013), dalam penelitian ini digunakan tambahan agen pendispersi *polyvinyl butyral*. Menghasilkan komposit Poliuretan dengan kekuatan tarik mengalami peningkatan hingga 38%. Komposit Poliuretan mengandung 1,3 wt% MWCNT dan B60H sebagai pendispersi MWCNT. Dari penelitian ini disimpulkan bahwa komposit Poliuretan dapat mengungguli sifat mekanik dari *epoxy*. [30] Sehingga menekankan penggunaan *carbon nanotube* dalam komposit Poliuretan.

Selain itu penelitian penggunaan material nano pada resin poliuretan dilakukan oleh Ciecierska dkk, 2016 dengan melakukan penambahan material *carbon nanotube* dan *grafit* dalam resin poliuretan untuk meningkatkan sifat mekanik dan tahan bakar. Hasil penelitian menunjukkan penambahan *carbon nanotube* (hingga 0,05wt%) meningkatkan kekuatan mekanik 20%, yang dikaitkan dengan efek penguatan *carbon nanotube* dan perubahan struktur busa, yaitu ukuran yang lebih kecil dari pori-pori dan distribusi pori kecil. Untuk konten *carbon nanotube* lebih tinggi, ukuran pori tidak berubah yang menghasilkan penurunan kekuatan mekanik. Stabilitas termal Poliuretan yang dihasilkan dengan penambahan material *carbon nanotube* menyebabkan mudah terbakar. [13]

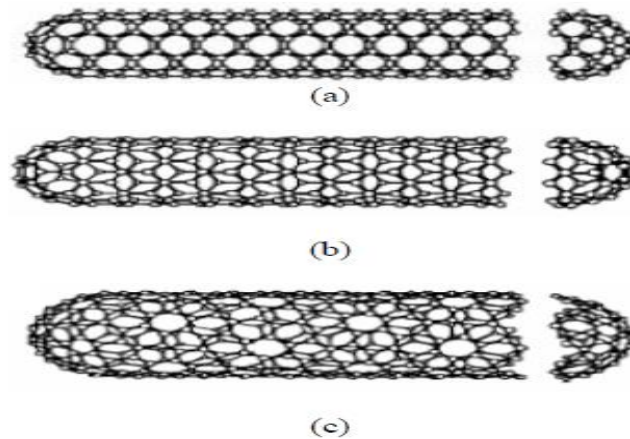
2.5.4.1 Jenis-jenis *carbon nanotube*

Berikut ini adalah jenis carbon nanotube :

a. *Single-Walled Carbon nanotube* (SWCNT)

Struktur ini memiliki diameter kurang lebih 1 nanometer dan memiliki panjang hingga ribuan kali dari diameternya. Struktur SWCNT dapat dideskripsikan menyerupai sebuah lembaran panjang struktur grafit (disebut *graphene*) yang tergulung. Umumnya SWCNT terdiri dari dua bagian dengan properti fisik dan kimia yang berbeda. Bagian pertama adalah bagian sisi dan bagian kedua adalah bagian kepala. *Carbon nanotube* jenis SWCNT memiliki sifat yang lebih unggul dibandingkan dengan jenis MWCNT (*Multi Walled Carbon nanotube*). Akan tetapi, SWNT lebih sulit didapat dibanding MWCNT. SWCNT banyak dimanfaatkan sebagai *hydrogen storage* untuk *fuel cell*. SWCNT memiliki 3

bentuk struktur berbeda yang dapat dilihat bilamana struktur *tube* dibuka bentuk sturkturnya yaitu : armchair, zig-zag, dan helical type.



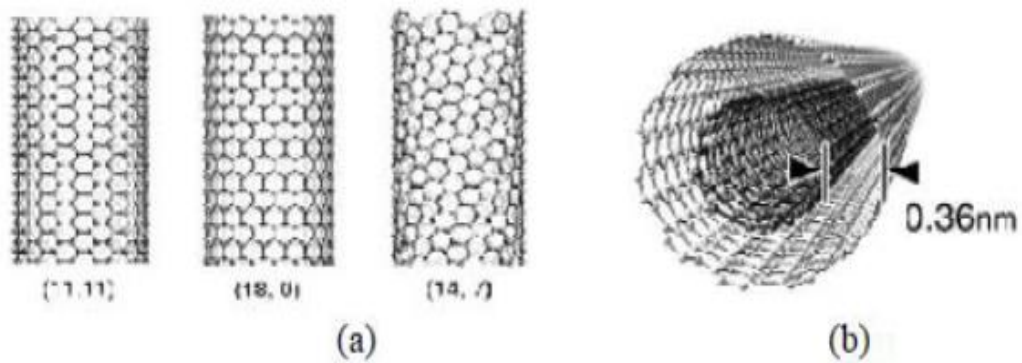
Gambar 2.4 Beberapa Bentuk Struktur SWCNT (a) Struktur Armchair (b) Struktur Zigzag (c) Struktur Chiral

Sumber: Burrmann, 2007

SWCNT memiliki sifat keelektrikan yang tidak dimiliki oleh struktur MWCNT.

b. *Multi Walled Carbon Nanotubes (MWCNT)*

MWCNT adalah material nano yang paling banyak digunakan karena meningkatkan kekuatan dan kekakuan poliuretan secara signifikan. [53][57] MWCNT dibentuk dari beberapa lapisan struktur grafit yang digulung membentuk silinder. Atau dapat juga dikatakan MWCNT tersusun oleh beberapa SWCNT dengan berbeda diameter. MWCNT jelas memiliki sifat yang berbeda dengan SWCNT. yang terdapat pada MWCNT juga bervariasi antara dua sampai puluhan lapisan, sehingga memungkinkan diameter eksternalnya mencapai 100 nm. Aplikasi karbon nanotube jenis ini dapat berupa pemodifikasi adsorber atau agen penguat walaupun tidak sebaik SWCNT. Perbedaan struktur antara SWCNT dan MWCNT ditunjukkan oleh Gambar 2.3.



Gambar 2.5 Perbedaan struktur antara (a) SWCNT* dan (b) MWCNT*
 Sumber: Paramitha, 2009

Pada MWCNT yang hanya memiliki 2 lapis dinding (*Double-Walled Carbon Nanotubes-DWCNT*) memiliki sifat yang penting karena memiliki sifat yang menyerupai SWCNT dengan *chemical resistance* yang lebih baik.

2.5.4.2 Sifat fisik Carbon nanotube

Sifat fisik yang unggul serta rendahnya densitas yang dimiliki oleh *carbon nanotube* membuatnya material yang baik untuk digunakan sebagai bahan penguat komposit. *Carbon nanotube* dianggap sebagai bahan penguat yang efektif karena hanya dengan jumlah kurang dari 5% berat dapat meningkatkan sifat mekanik polimer secara signifikan. [23] *Carbon nanotube* memiliki banyak sifat fisik yang unggul sehingga produknya banyak dimanfaatkan dalam dunia industri untuk berbagai aplikasi. Sifat-sifat dan pemanfaatannya antara lain sebagai berikut:

a. Kekuatan mekanis yang besar

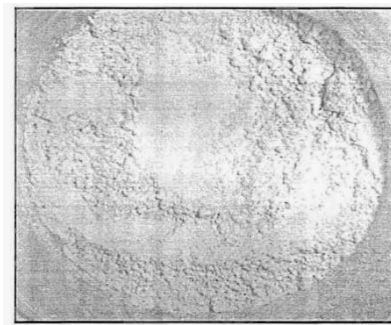
Karbon nanotube jenis SWCNT memiliki kekuatan tensil sebesar 50-100 GPa dan bilangan *modulus Young* sebesar 1-2 TPa. Sedangkan *carbon nanotube* jenis MWCNT seperti dilaporkan Yu memiliki kekuatan tensile dan moduls Young masing-masing sebesar 11-63 GPa dan 270-950 Gpa.[52]. Penambahan *carbon nanotube* dalam jumlah kecil kedalam plastik dapat meningkatkan konduktifitas elektriknya. Hal ini memungkinkan pengerjaan *electrostatic painting* dalam proses pelapisan sparepart otomotif.

b. Ratio L/d yang tinggi

Rasio panjang terhadap diameter yang tinggi memungkinkan aplikasi karbon nanotube sebagai bahan komposit.

2.5.5 Clay

Lempung (*clay*) merupakan suatu material anorganik yang diperoleh dari hasil pelapukan batuan di kerak bumi. Salah satu jenis lempung yang banyak dipelajari sebagai bahan pengisi nano adalah *bentonit*. *Bentonit* merupakan sejenis mineral lempung aluminosilikat hidrat yang terbentuk dari hasil pelapukan dan reaksi hidrotermal batuan *lava* (vulkanik). Mineral *bentonit* yang mempunyai rumus kimia $(\text{Mg,Ca})\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ sebagian besar terdiri atas mineral smektit, terutama *montmorillonite* sebanyak 60 sampai dengan 85%.



Gambar 2.6 Nanoclay

Sumber: Dari Bahan Baku Penelitian, 2016

Pembuatan lempung nano dilakukan dengan cara memodifikasi lempung (*bentonit*) melalui pertukaran kation anorganik (Na^+ , Ca^{2+} , dan Mg^{2+}) pada permukaan lempung dengan kation organik, seperti surfaktan, sehingga membentuk *organoclay* yang memiliki jarak antar lapisan (*layer*) dalam struktur *montmorillonite* (*d-spacing*) yang lebih besar dari pada *d-spacing* pada lempung asalnya. *Nanoclay* sebagai *filler* yang berfungsi sebagai penguat tambahan pada material nanokomposit.

Banyak penelitian yang menggunakan *nanoclay* sebagai *filler*. [8][11][24][37] Salah satunya adalah menggunakan *organoclay* dalam komposit Poliuretan. Penambahan 1wt% *organoclay* mengakibatkan ukuran sel berkurang dari 0,4 ke 0,28 mm dan peningkatan *density* sel.[52] Efek penambahan *organoclay*

yang dihasilkan adalah menurunkan *compression strength* dan *compression modulus*. [8][24]

Penelitian lain juga menggunakan *nano filler* berupa *nanoclay* [37], diperoleh *rigid* poliuretan *nanocomposite* dengan peningkatan kuat tekan (*compressive strength*) serta sifat morfologi dari poliuretan murni. Komposit Poliuretan dengan kandungan *nanoclay* 6-10wt% memiliki kestabilan sifat termal yang lebih baik. Penggumpalan partikel (aglomerasi) *nanoclay* bertindak sebagai penghalang penyebaran panas dengan cepat sehingga membatasi degradasi lebih lanjut. Disamping itu peningkatan stabilitas termal secara signifikan disebabkan meningkatnya dispersi *nanoclay* sehingga *nanoclay* penghalang masuknya molekul oksigen yang menyebabkan poliuretan mudah terbakar. [11] Sementara dengan penambahan *nanoclay* lebih rendah (2wt% dan 4wt%) meningkatkan sifat mekanik disebabkan distribusi partikel *nanoclay* secara merata pada matriks Poliuretan.

Penelitian penelitian dengan menggunakan nanomaterial seperti *clay* telah banyak dilakukan. Ada penelitian yang berusaha membandingkan pengaruh jenis *nanoclay* terhadap matriks Poliuretan. [9] Hasil penelitian beberapa penelitian mengatakan bahwa penambahan sejumlah kecil *nanoclay* (3wt%) sudah cukup meningkatkan sifat mekanik komposit Poliuretan.

Pemilihan *nanoclay* didasarkan pada pengaruh ukuran diameter sel Poliuretan yang dihasilkan dengan penambahan *nanoclay* berkurang dan meningkatkan densitas busa Poliuretan yang dihasilkan. [52] Penambahan *filler nanoclay* kedalam material komposit dapat meningkatkan sifat mekanik dan termal. [29]

2.6 Metode Pendispersian Nanopartikel

Pendispersian nanopartikel sebagai *filler* komposit memiliki peran penting dalam meningkatkan karakter dari komposit itu sendiri. Beberapa metode yang digunakan untuk mendispersi nanopartikel ke dalam polimer:

2.6.1 Solution Mixing

Metode ini merupakan metode yang paling sering digunakan untuk pembuatan nanokomposit di dalam laboratorium dan efektif. Terdiri dari tiga

langkah yaitu dispersi nanopartikel ke dalam larutan dengan menggunakan *mechanical stirrer*, *magnetic stirrer* atau *sonicator* [39], mencampurkannya ke dalam polimer, dan menuangkannya ke dalam cetakan untuk dijadikan komposit [32]. Nanopartikel juga dapat dengan langsung di dispersi ke dalam polimer tanpa tambahan pelarut.

2.6.2 Melt Blending

Melt blending menggunakan suhu dan gaya geser (*shear force*) yang tinggi (seperti pada *extruder*), untuk mendispersi nanopartikel ke dalam matriks polimer dan paling kompatibel digunakan dalam industri. Akan tetapi, proses ini tidak terlalu efektif dalam mendispersi nanopartikel[32].

2.6.3 In Situ Polymerization

Pada metode ini nanopartikel dicampurkan bersama monomer yang selanjutnya akan direaksikan di dalam reaktor polimerisasi. Pencampuran nanopartikel pada metode *in situ polymerization* diharapkan agar nanopartikel dapat berikatan langsung (ikatan kovalen) dengan monomer yang direaksikan di dalam reaktor [39][50].

2.6.4 Latex Technology

Latex technology merupakan metode lain yang digunakan sebagai alternatif dalam pembuatan nanokomposit [32]. Metode ini hampir mirip seperti metode *in situ polymerization*, perbedaannya adalah nanopartikel di dispersi terlebih dulu sebelum dicampurkan ke dalam matriks polimer [39].

2.7 Design Of Experiment

DOE menyediakan sebuah arti yang kuat untuk mencapai peningkatan pada kualitas produk dan efisiensi proses. Dari pandangan bidang manufaktur, DOE dapat mengurangi jumlah eksperimen yang dibutuhkan ketika mengambil sejumlah faktor yang mempengaruhi hasil eksperimen. DOE bisa menampilkan bagaimana melaksanakan eksperimen dengan jumlah yang paling sedikit ketika harus mempertahankan informasi paling penting. Dengan demikian, DOE tampaknya menjadi alat perbaikan berkelanjutan yang cepat dan penting dalam kualitas (Coleman dan Montgomery, 1993).

Metode-metode eksperimental dapat digunakan untuk memecahkan masalah yang berkaitan dengan proses manufaktur, untuk menggantikan sebuah proses dengan proses lainnya, untuk mengembangkan produk yang berbeda, dan untuk memahami pengaruh berbagai faktor pada kualitas akhir dari produk yang diberikan. *Desain of Experiments* (DOE) adalah teknik eksperimental yang membantu untuk menyelidiki kombinasi terbaik dari parameter proses, kuantitas yang berubah, tingkat dan kombinasi dalam rangka mendapatkan hasil yang statis yang dapat diandalkan. Ini adalah rute yang sistematis yang dapat diikuti untuk mencari solusi pada masalah proses industri dengan objektivitas yang lebih besar dengan menggunakan teknik eksperimental dan statistik (Coleman and Montgomery, 1993; Antony et al., 1998; Steinberg and Hunter, 1984).

Terdapat beberapa metode DOE yang digunakan pada industri manufaktur. Pada paper ini, penulis mengambil 4 metode DOE yaitu *Factorial Design*, *Mixture Design*, *Response Surface Method*, dan *Taguchi Method*. Pemilihan 4 metode tersebut, penulis ambil berdasarkan metode-metode DOE yang didefinisikan oleh Minitab.Inc (2003).

1. *Factorial Design*

Factorial Design (percobaan faktorial) adalah suatu percobaan yang perlakuannya terdiri atas semua kemungkinan kombinasi taraf dari beberapa percobaan dengan menggunakan faktor f dengan level l untuk setiap faktornya yang disimbolkan dengan percobaan faktorial fl . Misalnya, percobaan faktorial 2^2 artinya kita menggunakan 2 faktor dan level untuk tiap faktornya terdiri dari 2 level. Percobaan faktorial 2^2 juga sering ditulis dalam bentuk percobaan faktorial 2×2 . Penyimbolan yang terakhir sering digunakan untuk percobaan faktorial dimana level dari masing-masing faktornya berbeda, misalnya percobaan faktorial $2 \times 2 \times 3$ yang artinya percobaan faktorial yang terdiri dari 3 faktor dengan level untuk tiap faktornya berturut-turut adalah 2, 2, dan 3. Dalam percobaan faktorial ada dua tahap yang perlu dilakukan. Pertama, rancangan perlakuannya diikuti dengan tahap pemilihan rancangan lingkungannya, seperti RAL, RAKL, RBSL, *Split-plot*, *Split-Blok*. Tujuan dari percobaan faktorial adalah untuk melihat interaksi antara faktor yang kita uji. Adakalanya kedua

faktor saling sinergi terhadap respons (positif), namun adakalanya juga keberadaan salah satu faktor justru menghambat kinerja dari faktor lain (negatif). Adanya kedua mekanisme tersebut cenderung meningkatkan pengaruh interaksi antar faktor yang dijadikan sebagai acuan untuk mengukur kegagalan salah satu faktor terhadap setiap level faktor lainnya. Metode *full factorial design* merupakan metode yang paling banyak digunakan di industri kimia. Metode ini umumnya digunakan untuk mengevaluasi dampak dari beberapa faktor untuk mendapatkan kombinasi optimum dari faktor-faktor tersebut.

2. *Mixture Design*

Dalam percobaan *Mixture Design*, faktor-faktor independen memiliki proporsi komponen yang berbeda dari suatu campuran. Sebagai contoh, jika kita ingin mengoptimalkan kekuatan tarik dari *stainless steel*, faktor kepentingan yang mungkin adalah proporsi besi, tembaga, nikel, dan kromium dalam campuran. Kenyataan bahwa proporsi dari faktor yang berbeda harus bernilai 100% merumitkan desain serta analisis *mixture design* (percobaan campuran).

3. *Taguchi Method*

Proses yang paling penting dari DOE adalah menentukan nilai-nilai variabel independen dimana sejumlah percobaan akan dilakukan. Untuk tujuan itu, *Taguchi* melakukan pendekatan yang mengadopsi ide fundamental dari DOE sekaligus menyederhanakan standarisasi desain faktorial sehingga percobaan yang dilakukan dapat menghasilkan hasil yang lebih konsisten. *Taguchi method* dikembangkan oleh Dr. Genichi Taguchi, seorang konsultan manajemen kualitas Jepang. *Taguchi method* menunjukkan bagaimana statistik *Design of Experiment* (DOE) dapat membantu insinyur untuk mendesain dan membuat produk yang berkualitas tinggi dan berbiaya rendah. *Taguchi method* difokuskan pada pengeliminasian penyebab dari kualitas yang buruk dan variasi pada kinerja pembuatan produk. Teknik ini mempelajari pengaruh dari banyak faktor (variabel) pada karakteristik kualitas yang diinginkan dan paling ekonomis. Dengan mempelajari pengaruh tiap faktor pada hasil, kombinasi faktor terbaik dapat ditentukan. *Taguchi method* menggunakan tabel khusus yang dikenal sebagai “orthogonal array” (OA). Penggunaan tabel ini membuat desain

eksperimen sangat mudah dan konsisten serta memerlukan jumlah eksperimen yang relatif lebih sedikit untuk mempelajari seluruh ruang parameter. Akibatnya, penghematan waktu, biaya, dan tenaga kerja dapat dicapai. Hasil eksperimen ini kemudian diubah menjadi *rasio signal-to-noise* (S/N). *Taguchi* merekomendasikan penggunaan rasio S/N untuk mengukur karakteristik kualitas yang menyimpang dari nilai-nilai yang diinginkan. Terdapat tiga kategori kualitas dalam analisis rasio S/N, yaitu *the-lower-the-better*, *the-higher-the-better*, dan *the nominal-the-better*. Rasio S/N untuk setiap tingkat parameter proses dihitung berdasarkan pada analisis S/N. Terlepas dari ketiga kategori kualitas, semakin besar rasio S/N, maka semakin baik kualitasnya. Oleh karena itu, tingkat optimal dari parameter proses adalah tingkat dengan rasio S/N terbesar. Selanjutnya, analisis statistik varian (ANOVA) dilakukan untuk melihat parameter proses yang signifikan secara statistik. Dengan analisis S/N dan ANOVA, kombinasi yang optimal dari parameter proses dapat diprediksi.

4. *Response Surface Method*

Response Surface Method (RSM) adalah kumpulan teknik-teknik matematika dan statistik yang berguna untuk pemodelan dan analisis masalah dimana respon kepentingan dipengaruhi oleh beberapa variabel dengan tujuan untuk mengoptimalkan respon yang dihasilkan (Montgomery 2005).

RSM menentukan pendekatan yang cocok untuk hubungan fungsional yang benar antara variabel respon, y , dan satu set variabel independen, x . Ketika hasil (surface) permukaan yang diperkirakan adalah perkiraan yang mendekati fungsi respon yang benar, hasilnya akan kurang lebih setara dengan analisis dari sistem yang sebenarnya. Tujuan akhir dari RSM adalah untuk menentukan level dan nilai faktor optimal dan untuk membentuk fungsi prediksi dalam sistem.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Sentra Teknologi Polimer (STP) Serpong, Tangerang Selatan. Penelitian dilaksanakan selama dua bulan pada 01 Maret sampai dengan 18 Mei 2016.

3.2 Alat dan Bahan Penelitian

3.2.1 Alat

Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini yaitu :

1. *Mechanical mixer (IKA® RW 20 digital overhead stirrers)* (dapat dilihat pada Lampiran A.1)
2. Sonikator (*Elma S80H Elmasonic*) (dapat dilihat pada Lampiran A.2)
3. Timbangan Digital (*Sartorius BT 2202 S*)
4. Cetakan (*Mould*) modifikasi dengan plat penutup
5. Beban (dapat dilihat pada Lampiran A3 dan A4)
6. *Universal testing Machine Shimadzu AGS 10 kNG* (dapat dilihat pada Lampiran A5)
7. Alat uji Hardness Shore A (dapat dilihat pada Lampiran A6)

3.2.2 Bahan

Bahan-bahan yang digunakan pada proses pembuatan komposit Poliuretan yaitu :

1. *Polyether Polioliol (DALTAFOAM MP 50192 by HUNTSMAN)* (dapat dilihat pada Lampiran A.11)
2. Isosianat (*Polymethylemepolyphenylene ester/SUPRASEC5005 HUNTSMAN*) (dapat dilihat pada lampiran A.11)
3. *Acetone*
4. *Carbon Nanotube (Multy Wall Carbon Nano Tube)* (dapat dilihat pada lampiran A.12)
5. *Nanoclay (Nanomer 1.44PT by Nanocor)* (dapat dilihat pada lampiran A.12)

6. *Polyvinyl Butyral* (PVB) PT. Jaya Warindo Abadi (dapat dilihat pada lampiran A.12)

3.3 Variabel

3.3.1 Variabel Tetap

Variabel tetap merupakan variabel yang tidak berubah selama penelitian berlangsung. Variabel tetap yang digunakan selama proses penelitian ini yaitu :

1. Suhu Proses : a). 26,3 °C b). 10 °C
2. Tekanan : 1 atm
3. Waktu Mixing : a). 10 menit b). 30 detik

3.3.2 Variabel Berubah

Variabel berubah adalah variabel yang divariasikan selama penelitian berlangsung. Bertujuan untuk mencari titik optimasi atau titik yang terbaik pada setiap penelitian.

Variabel berubah yang digunakan yaitu :

1. Perbandingan Polioliol dan Isosianat : 45 : 55 dan 55 : 45
2. Penambahan *carbon nanotube* : 0,015 phr dan 0,025 phr
3. Penambahan *clay* : 1,5 phr dan 2,5 phr
4. RPM *mixer* : 1300 rpm dan 1900 rpm

3.4 Rancangan Percobaan

Pada penelitian ini menggunakan analisis pengaruh perbandingan Polioliol : Isosianat, penambahan *carbon nanotube*, *clay* dan rpm *mixer*. Rancangan percobaan yang digunakan dalam penelitian ini adalah dengan menggunakan aplikasi *Minitab* seperti pada Tabel 3.1. Kondisi operasi diaplikasikan dengan *Design Of Experiment* (DOE) yang tersusun atas 4 faktor yaitu perbandingan Polioliol *Isocyanat*, penambahan *carbon nanotube*, *Clay (nanoclay)* dan RPM *Mixer* dengan 2 level faktorial.

Tabel 3.1 Rancangan Percobaan Dengan Aplikasi Minitab

Level	Kode	Polioliol	<i>Carbon nanotube</i>	<i>Clay</i>	RPM
Low	1	45	0,015	1,5	1300
High	2	55	0,025	2,5	1900

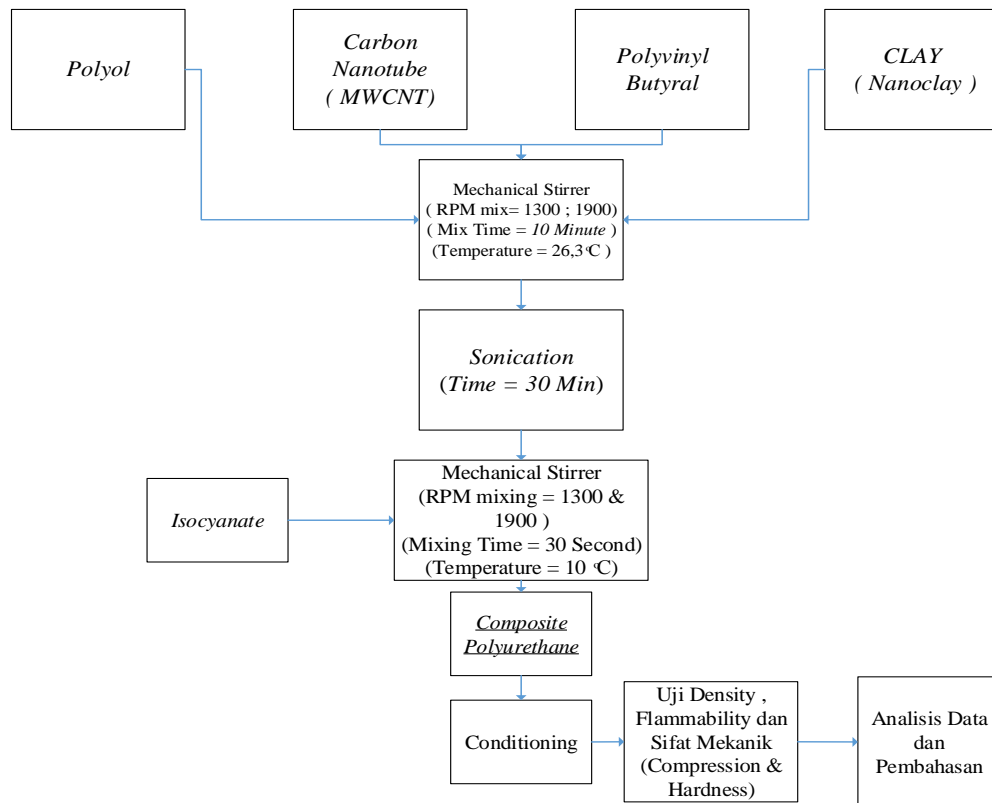
Hasil Rancangan Percobaan dengan menggunakan Aplikasi Minitab 16 disajikan pada tabel dibawah ini. Rancangan percobaan dilakukan dengan *full factorial design*.

Tabel 3.2 Rancangan Percobaan Full Factorial dengan Aplikasi Minitab 16

Runs	Poliol	Carbon nanotube	Clay	RPM
1	45	0,015	2,5	1300
2	45	0,015	2,5	1900
3	55	0,025	2,5	1300
4	45	0,025	2,5	1300
5	55	0,025	1,5	1300
6	45	0,025	1,5	1900
7	45	0,025	2,5	1900
8	55	0,015	2,5	1300
9	55	0,025	1,5	1900
10	45	0,015	1,5	1300
11	55	0,015	2,5	1900
12	45	0,025	1,5	1300
13	55	0,015	1,5	1300
14	55	0,015	1,5	1900
15	55	0,025	2,5	1900
16	45	0,015	1,5	1900

3.5 Skema Penelitian

Bagian ini menjelaskan tahapan proses pembuatan komposit poliuretan. Dalam skema penelitian dapat dilihat tahap pencampuran awal material poliuretan dengan bahan pengisi komposit poliuretan, seperti multy walled carbon nanotube, nanoclay dan juga polivynyl butyral sebagai pendispersi nanomaterial yang ditambahkan. Dengan adanya skema, penelitian dapat dilakukan dengan urutan / tahap tahap yang dapat dikontrol. Sehingga perlakuan yang sama dapat diterapkan pada penelitian berikutnya untuk melakukan pengulangan memperoleh *sample* yang sama. Skema penelitian dapat dijabarkan dalam diagram proses sintesis poliuretan sebagai berikut :



3.6 Prosedur Penelitian

3.6.1 *Pre-liminary research*

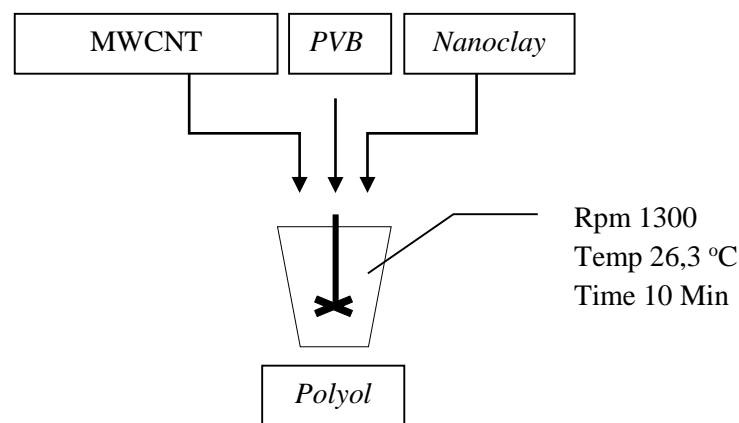
Poliol dan Isosianat adalah bahan yang digunakan dalam pembuatan poliuretan. Untuk membuat poliuretan dilakukan dengan metode *mixing*. Bahan baku yang digunakan hanya bahan baku *basic* yaitu polioliol dan isosianat untuk mengamati ketigian mengembang dari busa poliuretan murni. Bagian ini juga bertujuan untuk mengetahui basis bahan baku yang digunakan untuk menyesuaikan dengan cetakan yang akan digunakan pada saat membuat komposit poliuretan. Teknik pencampuran dan perbandingan polioliol dan isosianat dipelajari dalam bagian ini hingga terbentuk poliuretan murni (tanpa *filler*).

3.6.2 Proses Pembuatan Komposit Poliuretan

Proses pembuatan komposit poliuretan dengan penambahan *carbon nanotube* dan *nanoclay*, memerlukan alat dan bahan yang perlu dipersiapkan. Alat yang dipersiapkan seperti *mechanical stirrer*, timbangan digital, beban, cetakan (*mould*), dan cairan poliuretan (polioliol dan isosianat). Bahan poliuretan (polioliol dan

isosianat) ditimbang dengan perbandingan komposisi 45 : 55 dengan asumsi 160 gram *poliurethane* (72 gram Polioliol dan 88 gram isosianat) (Sumber: HUNSTMAN).

Mechanical Mixer di *setting* pada 1300 RPM dan cetakan dan beban pengepresan dipersiapkan untuk tahap berikutnya. Cairan Polioliol yang telah ditimbang kemudian dicampur dengan *Multy Walled Carbon nanotube* (MWCNT), *Polyvinyl Butyral* (PVB) sebagai agen pendispersi dan *nanoclay* dalam *mixing* pertama pada wadah (*cup*), waktu pencampuran adalah selama 10 menit pada suhu 26,3 ° C dilakukan didalam lemari asam. Tujuan dilakukan pencampuran pada lemari asam adalah untuk mengurangi paparan dari partikel MWCNT, PVB dan *Nanoclay* seperti pada Gambar 3.1.

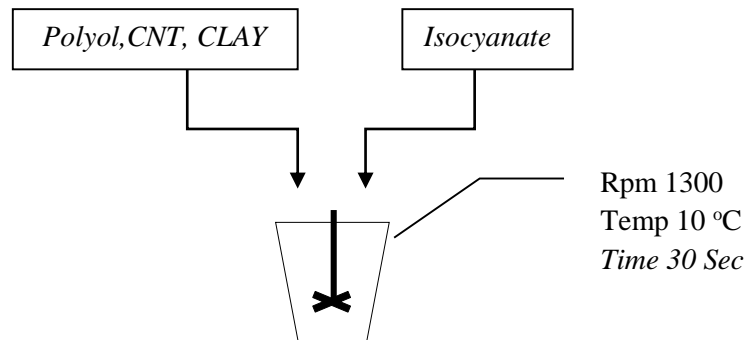


Gambar 3.1 Pencampuran *polyol*, *carbon nanotube* dan *clay*

Hasil campuran kemudian di sonikasi dengan menggunakan ultrasonic (*Elma S80H Elmasonic*) selama 30 menit. Setelah dari proses Sonikasi campuran di kondisikan di dalam wadah es dengan suhu 10 °C selama 5 menit. Isosianat juga di kondisikan didalam wadah es dengan suhu yang sama yaitu 10 ° C selama 5 menit.

Setelah itu Campuran Polioliol, *Multy Walled Carbon nanotube*, *Polyvinyl Butyral* (agen pendispersi) dan *nanoclay* di campur dengan *Isocyanat* selama 30 detik di dalam lemari asam. Tujuan pencampuran di lemari asam adalah untuk menghindari dari Isosianat yang beracun. Setelah itu campuran dituang kedalam cetakan (*mould*) dan cetakan ditutup rapat dengan beban. Hal ini disebabkan karena Poliuretan adalah busa yang harus di kontrol agar komposit Poliuretan yang

dihasilkan dapat di control ketebalan dan tidak meluber dari cetakan. Sehingga dihasilkan Komposit Poliuretan dengan *filler carbon nanotube* dan *clay*.



Gambar 3.2 Pencampuran Larutan polioliol *carbon nanotube clay* dengan isosianat

3.7 Pengujian

3.7.1 Uji *Compressive Strength*

Pengujian *compressive strength* dilakukan berdasarkan ASTM D 1621-94. Pengujian dilakukan dengan menggunakan alat *universal testing machine* SHIMADZU tipe AGS-10kNG dengan kecepatan pengujian sebesar 2,5 mm/min, dan batas *strain* 13 %.

3.7.2 Uji Kekerasan (*Hardness Shore A*)

Pengujian kekerasan (*hardness shore A*) dilakukan berdasarkan ASTM D 2240-03 dengan instrument durometer dengan jenis *shore A*. Pengujian dilakukan dengan penetrasi selama 1 detik dan 15 detik. Pada 5 titik (jarak antartitik 1 cm) pada satu specimen pengujian. Ketebalan minimum specimen untuk pengujian kekerasan adalah 4 mm.

3.7.3 Uji Bakar (*Flammability*)

Pengujian *Flammability* dilakukan berdasarkan UL-94 dengan metode horizontal *burning test*. Alat yang digunakan adalah penjepit statif.

3.7.4 Uji Densitas (*Density*)

Pengujian densitas dilakukan berdasarkan ASTM D 1622-98 dengan instrument timbangan analitik.

3.8 Pengolahan Data dan Analisis Data

Teknik yang digunakan dalam penelitian ini adalah teknik pengolahan data kuantitatif terhadap variabel responnya itu sifat mekanik dan sifat tahan bakar poliuretan yang dilakukan saat pelaksanaan penelitian. Pengolahan data ini dilakukan setelah data terkumpul yang diperoleh dari seluruh instrument penelitian hasil observasi, catatan lapangan, lembar pengujian, dan data hasil tersebut kemudian dibaca, dipelajari dan ditelaah. Langkah pengolahan data yang dilakukan melalui tiga langkah, yaitu:

3.8.1 Pengumpulan Data

Data-data yang diperoleh di lapangan dicatatat audirekam dalam bentuk naratif, yaitu uraian data yang diperoleh dari lapangan apa adanya tanpa adanya komentar atau catatan kaki. Perolehan data diambil dari seluruh instrument penelitian yang digunakan seperti hasil observasi, catatan lapangan, dan lembar pengujian sifat mekanik dan sifat tahan bakar Poliuretan.

3.8.2 Reduksi Data

Reduksi data merupakan prosedur pemilihan, pemusatan perhatian pada penyederhanaan, pengabstrakan dan transformasi data kasar yang muncul dari seluruh instrument penelitian menjadi informasi hasil tindakan.

3.8.3 Penyajian Data

Pada langkah ini penyajian data yang sudah disajikan DoE (*Design of Experiment*) dengan *Minitab 16* dalam bentuk representatif *main effect plot* dan *interaction plot*. Berdasarkan data tersebut kemudian dilakukan analisis data. Analisis data biasanya dilakukan pada tahap akhir penelitian untuk menjawab pertanyaan penelitian, namun demikian untuk kepentingan tertentu analisis data dapat dilaksanakan bersamaan dengan pengolahan data di setiap selesainya pengujian sifat mekanik komposit tersebut.

3.9 Pengambilan Kesimpulan

Pengambilan kesimpulan merupakan upaya memaknai data yang disajikan dengan mencermati pola-pola keteraturan penjelasan, konfigurasi, dan hubungan

sebab akibat. Dalam melakukan penarikan kesimpulan, perlu diamati data-data yang disajikan dan penjelasan terkait dari literatur yang diperoleh seperti karakteristik material yang digunakan dan formulasi bahan-bahan yang digunakan. Kesimpulan awal yang dikemukakan masih bersifat awal, karena berubah atau tidaknya kesimpulan bergantung pada bukti di lapangan.

Format kesimpulan yang diambil dalam bentuk analisis kuantitatif nilai maksimum dan minimum masing-masing pengujian yang berasal dari sajian data, hal ini dimaksudkan untuk mendukung analisis data sehingga dapat diketahui pengaruh yang terjadi terhadap sifat mekanik dan sifat tahan bakar yang dihasilkan akibat variasi polioliol, *carbon nanotube*, *clay* dan rpm yang digunakan.

3.10 Jadwal Penelitian

Penelitian dilakukan di Sentra Teknologi Polimer, Balai Pengkajian dan Penerapan Teknologi, Puspitek, Serpong. Penelitian ini berlangsung dari bulan Maret sampai dengan bulan Mei 2016.

Tabel 3.3 Pelaksanaan Penelitian di Sentra Teknologi Polimer

No	Uraian	Maret				April				Mei			
		Minggu Ke-											
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	<i>Study Literature</i>	■	■	■	■								
2	Persiapan Bahan Baku			■	■								
3	Pembuatan Komposit Poliuretan					■	■	■	■				
4	Preparasi Sampel							■	■	■			
5	Pengujian								■	■	■	■	
6	Pengolahan Data dan Analisa data									■	■	■	■
7	Penyusunan Laporan									■	■	■	■

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini telah dilakukan studi pembuatan komposit Poliuretan untuk memperoleh sifat mekanik dan tahan bakar yang lebih baik. Proses pembuatan dilakukan dengan metode *one shot process* dimana dilakukan pencampuran langsung seluruh komponen matrik (poliol/komponen poliuretan) dengan *reinforcement* (*nanoclay* dan *carbon nanotube*). Penggunaan metode *one shot process* disebabkan karena matriks pembuatan poliuretan yang digunakan adalah fase cair. Pada penelitian ini digunakan agen pendispersi *polyvinyl butyral*. [30]

4.1 Sifat Mekanik Poliuretan (Poliuretan Murni)

Hasil sifat sifat Mekanik Poliuretan murni sebelum dijadikan komposit Poliuretan diperoleh dari hasil pengukuran dengan menggunakan alat ukur *Compression* dan *Hardness shore A*. Komposisi poliol dan isosianat dengan perbandingan 55 : 45. Hasil pengujian sifat mekanik pada Poliuretan murni dapat dilihat pada tabel 4.1 dibawah ini.

Tabel 4.1 Sifat Mekanik Poliuretan Murni

Komponen	<i>Compressive strength</i> (MPa)	<i>Hardness(Shore A)</i>
<i>Pure</i> Poliuretan	0,1068	0,8

4.2 Sifat Uji Bakar Poliuretan Murni

Hasil Sifat uji bakar (*flammability*) poliuretan sebelum dibuat komposit poliuretan diperoleh sebagai berikut:

Tabel 4.2 Sifat Uji Bakar Poliuretan Murni

Komponen	Laju bakar (<i>Burning Rate</i>) [mm/s]	Waktu Pembakaran (<i>Burning Time</i>) [s]
Poliuretan	306,161	14,698

4.3 Densitas Poliuretan

Hasil uji densitas poliuretan murni sebelum dibuat komposit poliuretan diperoleh dengan pengukuran dengan rumus : $\rho = \frac{m}{v}$ (Dimana : ρ = Massa jenis

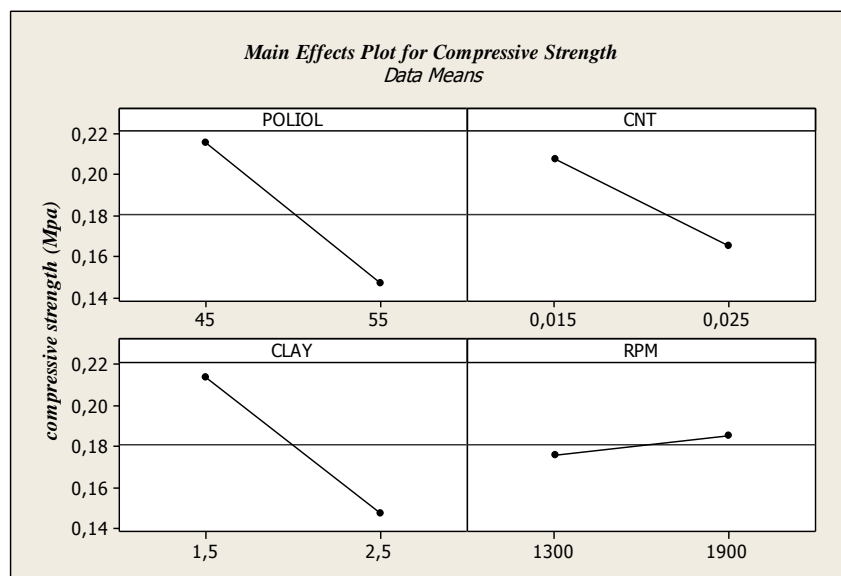
(gr/cm^3), m = massa (gram) dan v = Volume (cm^3). Hasil pengukuran *density* poliuretan murni dapat dilihat pada Tabel 4.3. dibawah ini.

Tabel 4.3 Densitas Poliuretan

Komponen	Densitas (gr/cm^3)
Poliuretan	0,0354

4.4 Hasil Uji Mekanik Komposit Poliuretan

Untuk mengetahui pengaruh penambahan variabel pada komposit dilakukan uji *compressive strength* dan *Hardness shore A*. Dilihat dari *main effect plot* pada gambar 4.1. dan gambar 4.2 Berdasarkan data yang diolah oleh Minitab 16, penambahan *clay* merupakan variabel paling signifikan pada *compressive strength* yang juga dibuktikan oleh *p-value* pada tabel 4.7. *Main effect* dari *clay* pada Poliuretan mempengaruhi *compressive strength* dan *Hardness*. Hal ini dibuktikan dari hasil penelitian pada tabel 4.4. Dari tabel dapat disimpulkan penambahan *clay* sebanyak 1,5 phr menghasilkan *compressive strength* yang lebih tinggi dibandingkan dengan penambahan *clay* sebanyak 2,5 phr. Kesamaan hasil dengan *reserarch* lain juga ditemukan, bahwa dengan penambahan sebanyak 0 sampai 4 phr nanopartikel meningkatkan kekuatan mekanik *compressive strength* Poliuretan.[31][37]



Gambar 4. 1 Main Effect Plot For Compressive Strength

Sumber: Data hasil penelitian, 2016

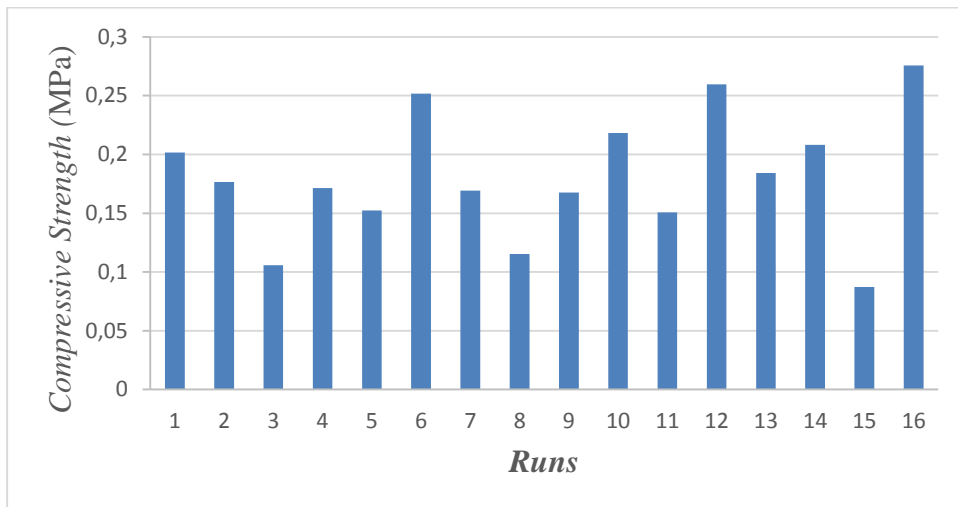
Tabel 4.4 Pengaruh Clay terhadap *Compressive Strength* dan *Hardness Shore A* Komposit PU

<i>Runs</i>	Poliol	CNT (phr)	Clay (phr)	RPM	<i>Compressive Strength</i> (Mpa)	<i>Hardness</i> (Shore A)
16	45	0,015	1,5	1900	0,2757	13,9
2	45	0,015	2,5	1900	0,1766	4,6
6	45	0,025	1,5	1900	0,2517	6,9
7	45	0,025	2,5	1900	0,1691	3,7
10	45	0,015	1,5	1300	0,2182	4,4
1	45	0,015	2,5	1300	0,2017	5,8
5	55	0,025	1,5	1300	0,1524	4,4
3	55	0,025	2,5	1300	0,1058	3,8
9	55	0,025	1,5	1900	0,1677	4,2
15	55	0,025	2,5	1900	0,0872	0,7
13	55	0,015	1,5	1300	0,1843	2,9
8	55	0,015	2,5	1300	0,1153	3,5
14	55	0,025	1,5	1900	0,2082	8,7
11	55	0,025	2,5	1900	0,1506	2,9

Selain itu efek penambahan *carbon nanotube* juga dianalisis dari hasil tabel 4.5 yang disertai dengan tabel dimana penambahan *carbon nanotube* dengan *content* yang lebih sedikit (0,015 phr) menghasilkan *compressive strength* lebih besar. Hal ini memungkinkan *carbon nanotube* dengan *content* lebih kecil mempengaruhi struktur pori dari poliuretan menjadi lebih kecil sehingga kekuatan mekanik meningkat. Sebaliknya penambahan *content carbon nanotube* lebih besar menurunkan sifat mekanik karena dalam jumlah yang tinggi *carbon nanotube* hanya meningkatkan porositas tetapi ukuran pori tidak berubah.[13]

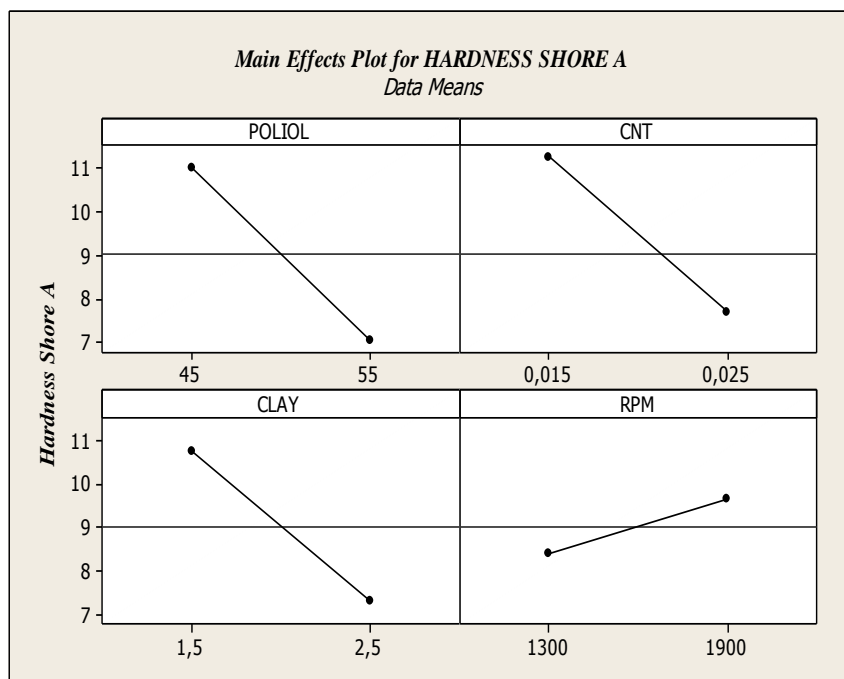
Tabel 4.5 Pengaruh CNT terhadap *Compressive Strength* Komposit PU

<i>Runs</i>	Poliol	<i>Carbon nanotube</i> (phr)	Clay (rpm)	RPM (rpm)	<i>Compressive Strength</i> (Mpa)
1	45	0,015	2,5	1300	0,2017
4	45	0,025	2,5	1300	0,1713
2	45	0,015	2,5	1900	0,1766
7	45	0,025	2,5	1900	0,1691
10	45	0,015	1,5	1300	0,2182
12	45	0,025	1,5	1300	0,2595
3	55	0,025	2,5	1300	0,1058
8	55	0,015	2,5	1300	0,1153

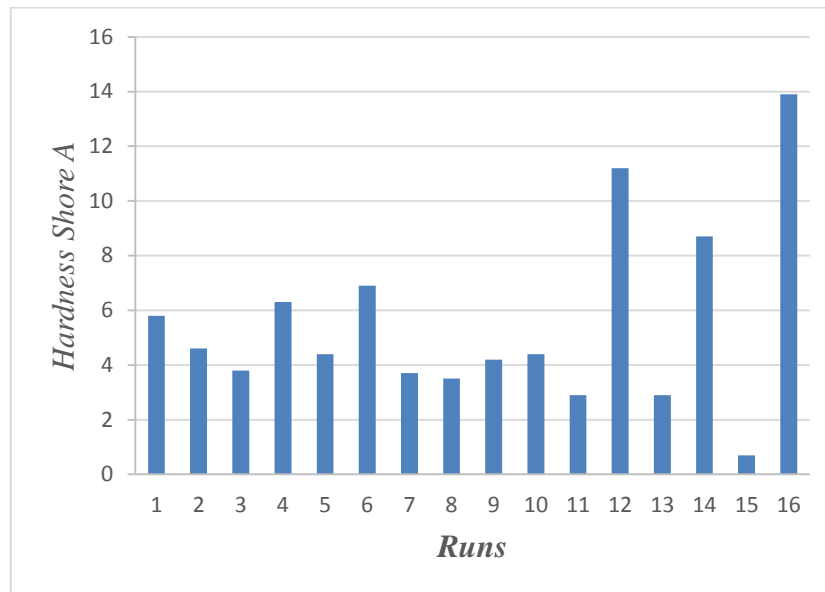


Gambar 4.2 Hasil Uji *Compressive Strength* Komposit Poliuretan
 Sumber: Data hasil penelitian, 2016

Dari gambar 4.2 diperoleh kesimpulan bahwa pada *run* 16 diperoleh peningkatan *Compressive strength* yang paling tinggi. Kondisi operasi pada run 16 adalah dengan penambahan MWCNT sebanyak 0,015 phr dan clay sebanyak 0,15 phr.



Gambar 4.3 Main Effect Plot For Hardness
 Sumber: Data hasil penelitian, 2016



Gambar 4. 4 Hasil Uji *Hardness Shore A*
 Sumber: Data hasil penelitian, 2016

Gambar 4.4 diperoleh kesimpulan bahwa pada *run* 16 diperoleh peningkatan *Hardness shore A* yang paling tinggi sama seperti pada sifat mekanik *Compressive strength*. Kondisi operasi pada *run* 16 adalah dengan penambahan MWCNT sebanyak 0,015 phr dan clay sebanyak 0,15 phr.

Tabel 4.6 Analisis variabel dan interaksi antar variabel terhadap *compressive strength* dan *Hardness Shore A*

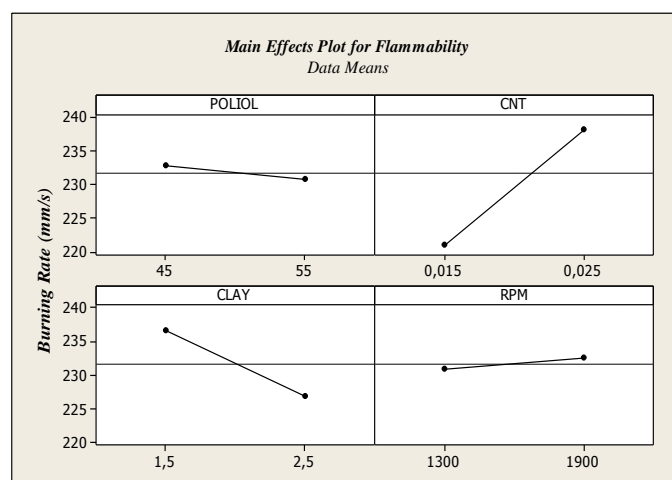
<i>Term</i>	<i>Compressive strength</i>		<i>Hardness Shore A</i>	
	Coef	P-Value	Coef	P-Value
<i>Constant</i>	0,18296	0,000	9,632	0,000
<i>Polyol</i>	-0,03094	0,005	-0,231	0,827
<i>CNT</i>	-0,00808	0,383	-2,402	0,059
<i>CLAY</i>	-0,03417	0,001	-2,293	0,019
<i>RPM</i>	0,00689	0,304	1,232	0,154
<i>Clay*RPM</i>	-0,00663	0,322	-	-
<i>Polyol*Clay*RPM</i>	0,00458	0,592	-	-
<i>CNT*Clay*RPM</i>	0,00173	0,848	-	-
R²	89,90		76,97	

Dengan menggunakan tingkat keyakinan 95%, maka apabila didapatkan p value < 0,05 variabel tersebut dianggap signifikan. Pada tabel 4.6 Analisis variabel dan interaksi antar variabel terhadap *compressive strength* dan *hardness shore A* yang diolah oleh Minitab 16, variabel yang tidak signifikan ditunjukkan dalam kotak kuning dan hijau. Dimana pada kotak kuning, interaksi yang terjadi dapat diabaikan sedangkan pada kotak hijau meskipun tidak signifikan, variabelnya tidak dapat diabaikan karena merupakan variabel utama.

4.5 Hasil Uji Bakar (*Flammability*)

Pengujian uji bakar dilakukan menggunakan standar uji UL 94. Data sifat uji bakar komposit poliuretan dapat dilihat pada tabel 4.7 hasil analisa DoE di software Minitab 16. Untuk menunjang pembahasan terhadap hasil tersebut maka disertakan gambar 4.5.

Dilihat dari *main effect plot* pada Gambar 4.5. Berdasarkan data yang diolah oleh Minitab 16 pada tabel 4.7 CNT merupakan variabel paling signifikan pada sifat uji bakar. Dengan *content* CNT sebanyak 0,025 phr meningkatkan laju bakar (*burning rate*) lebih tinggi dibanding dengan 0,015 phr. Dengan content CNT yang lebih besar justru meningkatkan laju bakar sehingga menyebabkan poliuretan semakin mudah terbakar. Hal ini disebabkan *carbon nanotube* meningkatkan stabilitas termal dari poliuretan dan mengurangi sifat ketahanan bakar poliuretan karena pembentukan lapisan karbon pada permukaan polimer.[13]



Gambar 4.5 Main Effect Plot For Flammability

Sumber: Data dari penelitian, 2016

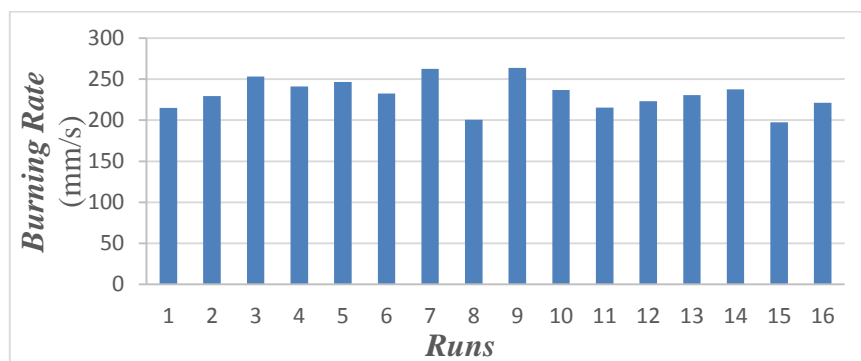
Tabel 4.7 Pengaruh CNT terhadap laju bakar Komposit PU

<i>Runs</i>	Poliol	Isosianat	<i>CNT</i> (phr)	<i>Clay</i> (phr)	RPM	<i>Burning Rate</i> (mm/s)
1	45	55	0,015	2,5	1300	214,8587
4	45	55	0,025	2,5	1300	241,0542
2	45	55	0,015	2,5	1900	229,5216
7	45	55	0,025	2,5	1900	262,5744
13	55	45	0,015	1,5	1300	230,6746
5	55	45	0,025	1,5	1300	246,5483
8	55	45	0,015	2,5	1300	200,5169
3	55	45	0,025	2,5	1300	253,1788

Main effect dari clay pada sifat uji bakar juga menunjukkan pengaruh yang signifikan. Pada tabel 4.8 dengan *content clay* yang lebih besar menurunkan laju bakar komposit poliuretan. Karena *clay* merupakan material tahan bakar. Sehingga semakin besar jumlah penambahan *clay* semakin memperbaiki sifat ketahanan bakar dari poliuretan.[20] *Clay* bertindak sebagai penghalang penyebaran panas dengan cepat sehingga membatasi degradasi lebih lanjut. Disamping itu, peningkatan stabilitas termal secara signifikan disebabkan meningkatnya dispersi *nanoclay* sehingga *nanoclay* penghalang masuknya molekul oksigen yang menyebabkan poliuretan mudah terbakar.[11]

Tabel 4.8 Pengaruh Penambahan Clay terhadap Flammability PU

<i>Runs</i>	Poliol	CNT (phr)	<i>Clay</i> (phr)	RPM	<i>Burning rate</i> (mm/s)
10	45	0,015	1,5	1300	236,7424
1	45	0,015	2,5	1300	214,8587
9	55	0,025	1,5	1900	263,8058
15	55	0,025	2,5	1900	197,3165

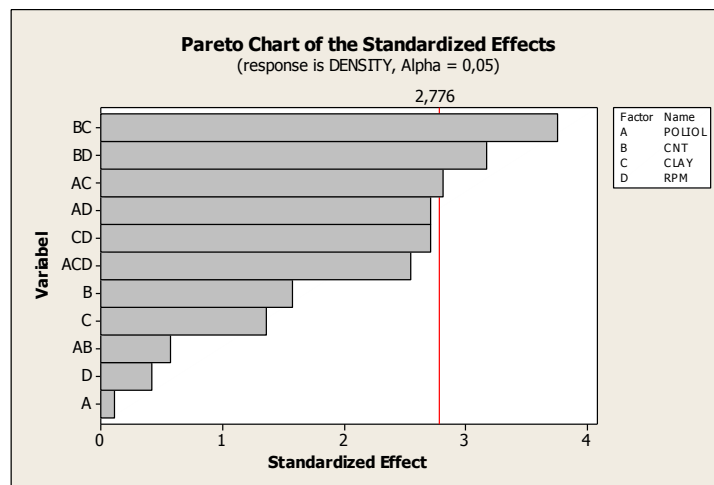
**Gambar 4.6 Hasil Uji *Burning rate***

Sumber: Data hasil penelitian, 2016

Gambar 4.6 diperoleh kesimpulan bahwa pada *run* 15 diperoleh *burning rate* (laju bakar) paling kecil sehingga komposit poliuretan lebih sulit terbakar. Kondisi operasi pada *run* 15 adalah dengan penambahan MWCNT sebanyak 0,015 phr dan *clay* sebanyak 0,25 phr.

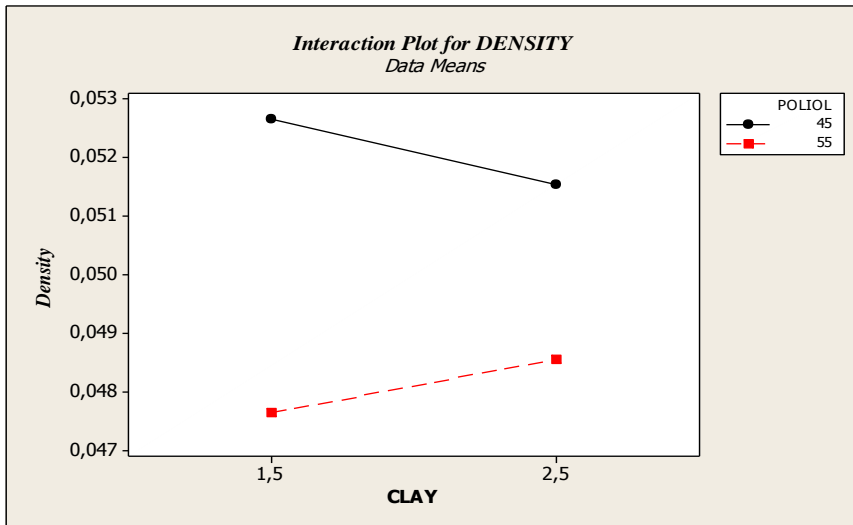
4.6 Densitas Komposit Poliuretan

Densitas poliuretan adalah parameter yang sangat penting untuk mengontrol sifat mekanik poliuretan.[48] Densitas komposit poliuretan bervariasi sesuai dengan *blowing agent* dan proporsi *filler* (bahan pengisi). Dalam penelitian ini filler ada 2 jenis dan variasi kondisi proses juga dibedakan. Dari gambar 4.7 diperoleh hasil bahwa pengaruh yang paling signifikan terhadap density adalah hubungan B*C(CNT-clay), B*D(CNT-RPM) dan A*C (Poliol-clay).



Gambar 4.7 Pengaruh Variabel terhadap Density
Sumber: Data hasil penelitian, 2016

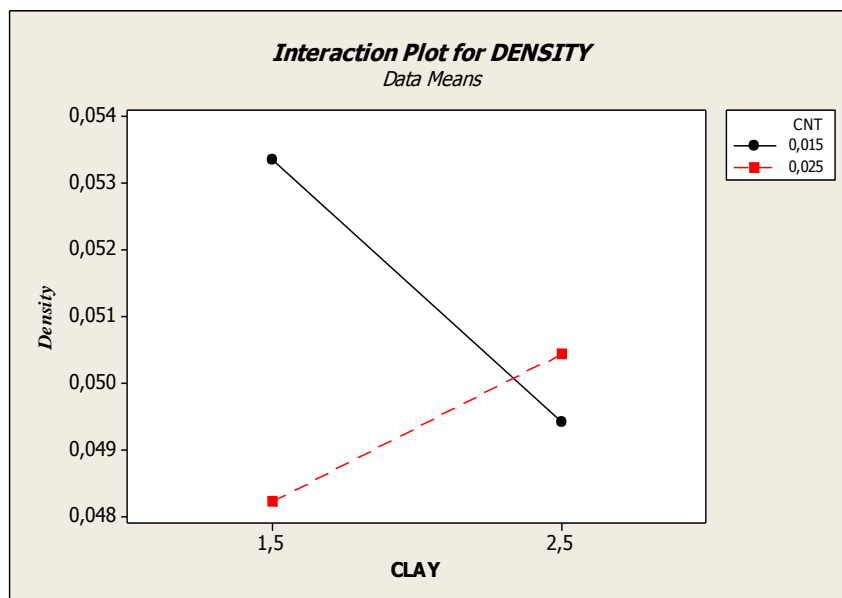
Untuk menunjang pembahasan mengenai pengaruh variabel terhadap density, disertakan gambar 4.8 gambar 4.9 dan gambar 4.10 Ditinjau dari gambar 4.8 interaksi antara polioliol dan *clay*, menunjukkan bahwa dengan polioliol dan *clay* lebih sedikit diperoleh *density* yang besar. Hal ini disebabkan karena kemungkinan distribusi *clay* pada polioliol lebih merata sehingga peran *clay* sebagai pengisi pori terdistribusi merata.[48].



Gambar 4.8 *Interaction Polyol * Clay for Density*

Sumber: Data hasil penelitian, 2016

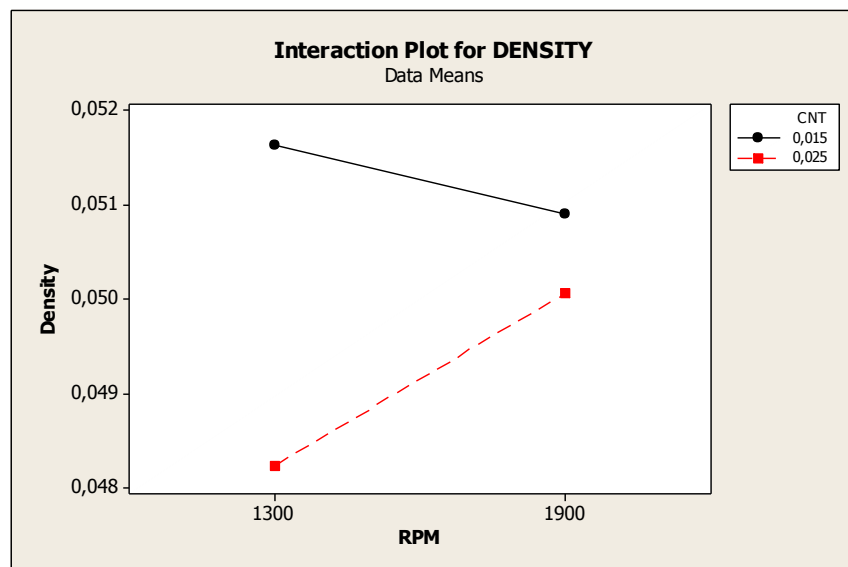
Selain itu tren yang ditunjukkan melalui interaksi CNT*Clay pada gambar 4.9 dapat diinterpretasikan bahwa penambahan CNT dan Clay dengan jumlah yang sedikit menghasilkan peningkatan *density* yang cukup signifikan. Peristiwa tersebut memungkinkan bahwa penambahan CNT dan *clay* dengan *content* yang sedikit memudahkan material tersebut terdistribusi merata pada matriks Poliuretan sehingga pori-pori Poliuretan dapat tertutupi.



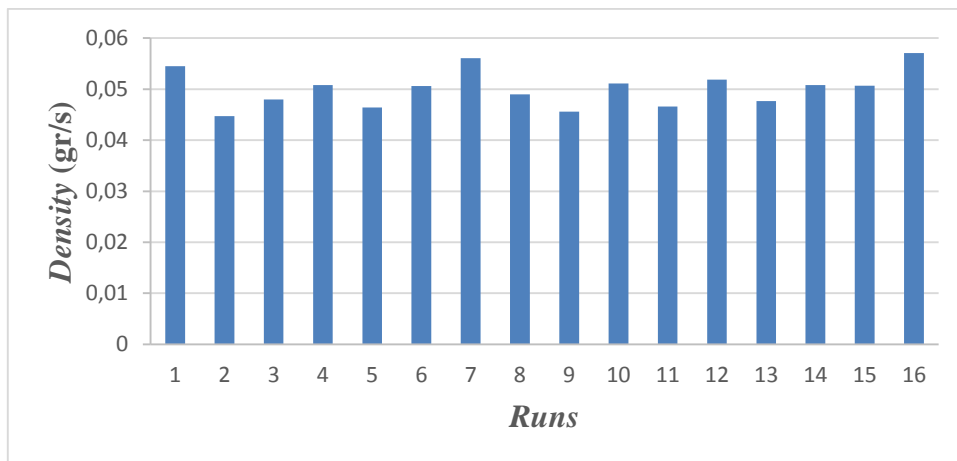
Gambar 4.9 *Intercation CNT * Clay for Density*

Sumber: Data hasil penelitian, 2016

Interaksi yang terjadi antara *CNT***RPM* terhadap *density* komposit poliuretan pada gambar 4.10 menunjukkan bahwa apabila *CNT* ditambahkan dengan *content* yang lebih sedikit dan rpm tinggi menghasilkan densitas yang kecil. Dan sebaliknya *content* *CNT* yang tinggi dengan rpm tinggi menghasilkan densitas yang besar.



Gambar 4.10 Interaction CNT * RPM for Density
 Sumber: Data hasil penelitian, 2016



Gambar 4.11 Hasil Uji Density
 Sumber: Data hasil penelitian, 2016

Dari gambar 4.11 diperoleh kesimpulan bahwa *density* paling tinggi sebesar 0,0571 gram/s terdapat pada *run* 16 dengan dengan penambahan MWCNT sebanyak 0,015 phr dan clay sebanyak 0,15 phr. Hal ini juga sesuai dengan peningkatan pada sifat mekanik diperoleh dengan kondisi yang sama.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat diambil beberapa kesimpulan, yaitu sebagai berikut:

1. Penambahan *carbon nanotube* sebanyak 0,015 phr dan *clay* sebanyak 1,5 phr terhadap komposit poliuretan menghasilkan sifat mekanik (*compressive strength* dan *hardness shore A*) paling tinggi.
2. Penambahan *carbon nanotube* sebanyak 0.025 phr dan *clay* sebanyak 2,5 phr terhadap poliuretan menghasilkan sifat laju bakar paling rendah sehingga komposit poliuretan tidak mudah terbakar.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang dilakukan, terdapat beberapa saran penelitian lanjutan yang dapat dilakukan yaitu:

1. Pendispersi nanomaterial sebaiknya dilakukan dengan alat *Probe Sonicator* agar dispersi secara merata.
2. Diharapkan pada saat preparasi sampel, alat yang digunakan untuk memotong sampel digunakan pemotong khusus *foam* agar sampel tidak banyak yang tebuang dan ukuran sampel lebih presisi.

DAFTAR PUSTAKA

- 1 Ashida, K.2007.*Polyurethane foams. In polyurethane and Related Foams. Chemistry and Technology*, ed. K.Ashida, 67-82. New York : CRC Press/Taylor & Francis.)
- 2 Autar K. Kaw. 2006. *Mechanics of Composite Materials Second Edittion*. Taylor & Francis Group, LLC.
- 3 Bal, S., & Samal, S. S. 2007. *Carbon nanotube reinforced polymer Composites. Bulletin of Materials Science*, 30(4), 379-386.
- 4 Burrman, Nicola J.2007.*Tubing Though the Nano World: Nanotube Functionalization and Practical Applications*.
- 5 Brydson, J.A.1995.*polyurethanes and Polyisocyanurates*, dalam *Plastic Materials*, Butterworth Heinemann Ltd, Oxford, 756-785
- 6 Callister, W. D., & Rethwisch, D. G.2007. *Materials science and engineering: an introduction* (Vol. 7, pp. 665-715). New York: Wiley.
- 7 Cao, G.2004. *Synthesis, properties and applications*. Imperial college press, London.
- 8 Cao, X., Lee, L. J., Widya, T. & Macosko, C.2005. *Poliuretan / clay nanocomposites foams: processing, structure and properties. Polymer*, 46 (3), 775-783
- 9 Chang, J. H., & An, Y. U. 2002. *Nanocomposites of Poliuretan with various organoclays: thermomechanical properties, morphology, and gas permeability*.Journal of Polymer Science Part B: Polymer Physics, 40 (7), 670-677.
- 10 Cheremisinoff, N. P. 1989. *Handbook of polymer science and technology* (Vol. 4). CRC Press.
- 11 Choi, W. J., Kim, S. H., Kim, Y. J., & Kim, S. C. 2004. *Synthesis of chain-extended organifier and properties of Poliuretan/clay nanocomposites. Polymer*, 45 (17), 6045-6057.
- 12 Chung, Y. S., Jeon, M. Y., & Kim, C. K. (2009). *Fabrication of nearly monodispersed silica nanoparticles by using poly (1-vinyl-2-pyrrolidinone)*. *Macromolecular research*, 17 (1), 37-43
- 13 Ciecierska, E., Jurczyk-Kowalska, M., Bazarnik, P., Gloc, M., Kulesza, M., Kowalski, M.,& Lewandowska, M. 2016. *Flammability, mechanical properties and structure of rigid polyurethane foams with different types of carbon reinforcing materials. Composite Structures*, 140, 67-76.
- 14 Crawford, R.J., 1995. *Plastic Engineering 2 nd*, Maxwell Macmilan International Editions.

- 15 Dalton, A. B., Collins, S., Muñoz, E., Razal, J. M., Ebron, V. H., Ferraris, J. P., ... & Baughman, R. H. 2003. *Super-tough carbon-nanotube fibres. Nature*,423(6941), 703-703.
- 16 Duquesne, S.; Le, B. M.; Bourbigot, S.; Delobel, R.; Camino, G.;Eling, B.; Lindsay, C.; Roels, T. *Polym Degrad Stab* 2001, 74,493.
- 17 Eaves, D. 2004. Rigid polyurethane foams. *Handbook of Polymer Foams (D. Eaves, Ed.)*, UK: Rapra Technology.
- 18 El-Fattah, M. A., El Saeed, A. M., Dardir, M. M., & El-Sockary, M. A. 2015. *Studying the effect of organo-modified nanoclay loading on the thermal stability, flame retardant, anti-corrosive and mechanical properties of polyurethane. Progress in Organic Coatings*,89, 212-219.
- 19 Engels, H. W., Pirkel, H. G., Albers, R., Albach, R. W., Krause, J., Hoffmann, A., ... & Dormish, J. 2013. *polyurethanes: versatile materials and sustainable problem solvers for today's challenges. Angewandte Chemie International Edition*, 52(36), 9422-9441.
- 20 Fernández-d Arlas, B., Rueda, L., Fernández, R., Khan, U., Coleman, J. N., Mondragon, I., & Eceiza, A. 2010. *Inverting polyurethanes synthesis: effects on nano/micro-structure and mechanical properties. Soft Materials*, 9(1), 79-93.
- 21 Frisch, H. L., Frisch, K. C., & Klempner, D. 1974. *Glass transitions of topologically interpenetrating polymer networks. Polymer Engineering & Science*, 14(9), 646-650.
- 22 Kim, B. K., Seo, J. W., & Jeong, H. M. 2003. *Morphology and properties of waterborne polyurethane/clay nanocomposites. European Polymer Journal*,39(1), 85-91.
- 23 Kim, M., Park, Y. B., Okoli, O. I., & Zhang, C. (2009). *Processing, characterization, and modeling of carbon nanotube-reinforced multiscale composites. Composites Science and Technology*, 69(3), 335-342
- 24 Krishnamurthi, B., Bharadwaj-Somaskandan, S., & Shutov, F. 2001. *Nano- and micro-fillers for polyurethane foams: effect on density and mechanical properties. In Symposium, Sep* (pp. 239-244).
- 25 Landrock, A. H. 1995. *Handbook of plastic foams: types, properties, manufacture and applications*. Elsevier.
- 26 Lefebvre, J., Bastin, B., Le Bras, M., Duquesne, S., Ritter, C., Paleja, R., & Poutch, F. 2004. *Flame spread of flexible polyurethane foam: comprehensive study. Polymer testing*, 23(3), 281-290.
- 27 Liem, T dan X.Xie.2003. *Nanoscience and Nanotechnology Inovation*,Vol.39 (3),pp8-13.
- 28 Lim, H., Kim, S. H., & Kim, B. K. 2008. *Effects of silicon surfactant in rigid polyurethane foams. Express Polym. Lett*, 2(3), 194-200.

- 29 Lobos, J., & Velankar, S. 2016. *How much do nanoparticle fillers improve the modulus and strength of polymer foams?. Journal of Cellular Plastics*, 52(1), 57-88.
- 30 Loos, M. R., Yang, J., Feke, D. L., Manas-Zloczower, I., Unal, S., & Younes, U. 2013. *Enhancement of fatigue life of polyurethane composites containing carbon nanotubes. Composites Part B: Engineering*, 44(1), 740-744.
- 31 Madaleno, L., Pyrz, R., Crosky, A., Jensen, L. R., Rauhe, J. C. M., Dolomanova, V & Norman, J. 2013. *Processing and characterization of polyurethane nanocomposite foam reinforced with montmorillonite-carbon nanotube hybrids. Composites Part A*
- 32 Mohammad Moniruzzaman and Karen I. Winey. 2006. *Polymer Nanocomposites Containing Carbon Nanotubes. Macromolecules*, 39, 5194-5205
- 33 NICHOLSON, J. W. 1997. *polyurethane. dalam The Chemistry of Polymers, 2nd ed., The Royal Society of Chemistry, Cambridge*
- 34 Njuguna, J., Michałowski, S., Pielichowski, K., Kayvantash, K., & Walton, A. C. 2011. *Fabrication, characterization and low-velocity impact testing of hybrid sandwich composites with polyurethane. Polymer Composites*, 32(1), 6-13.
- 35 Oppon, C., Hackney, P. M., Shyha, I., & Birkett, M. 2015. *Effect of Varying Mixing Ratios and Pre-Heat Temperature on the Mechanical Properties of polyurethane (PU) Foam. Procedia Engineering*, 132, 701-708.
- 36 Paramitha, S. S. 2009. *Aplikasi Pengadukan Ultrasonik dan Pemanasan Microwave untuk Memurnikan Karbon Nanotube yang disintesis dengan Metode Dekomposisi Katalitik Metana.*
- 37 Pauzi, N. N. P. N., Majid, R. A., Dzulkifli, M. H., & Yahya, M. Y. 2014. *Development of rigid bio-based polyurethane foam reinforced with nanoclay. Composites Part B: Engineering*, 67, 521-526.
- 38 Peigney, A., Laurent, C., Dobigeon, F., & Rousset, A. 1997. *Carbon nanotubes grown in situ by a novel catalytic method. Journal of materials research*, 12(03), 613-615
- 39 Peng-Cheng Maa, Naveed A. Siddiqui, Gad Marom, Jang-Kyo Kim. 2010. *Dispersion and functionalization of carbon nanotubes for polymer-based nanocomposites: A review. Composites: Part A*, 41, 1345-1367.
- 40 Pigott, K.A. 1996, *Urethan polymers*, dalam *Kirk-Othmer Encyclopedia of chemical Tecnology*, A Willey-Interscience Publication Jhon Wiley & Sons.,21,58-100.
- 41 Price, G. J. 2003. *Recent development sinsonochemical polymerisation. Ultrasonics Sonochemistry*, 10 (4), 277-283

- 42 Saha, M. C., Kabir, M. E., & Jeelani, S. 2008. *Enhancement in thermal and mechanical properties of Poliuretanan foam infused with nanoparticles. Materials Science and Engineering: A*, 479(1), 213-222
- 43 Schwartz MM., 1992. *Composite Materials Handbook*. Mc Graw - Hill Book.
- 44 Sreekumar TV, Liu T, Min BG, Guo H, Kumar S, Hauge RH, et al. *SWNT/PAN composite fibers*. *Adv Mater* 2004;16:58.
- 45 Szycher, M. (Ed.). 1999. *Szycher's handbook of polyurethane*. CRC press.
- 46 Tan, S., Abraham, T., Ference, D., & Macosko, C. W. 2011. *Rigid Poliuretanan foams from a soybean oil-based polyol*. *Polymer*, 52(13), 2840-2846.
- 47 Tate, J. S., Akinola, A. T., & Kabakov, D. 2009. *Bio-based nanocomposites: an alternative to traditional composites*.
- 48 Thirumal, M., Khastgir, D., Singha, N. K., Manjunath, B. S., & Naik, Y. P. 2008. *Effect of foam density on the properties of water blown rigid polyurethane foam*. *Journal of applied polymer science*, 108(3), 1810-1817.
- 49 Thomson, T. (2004). *Polyurethanes as specialty chemicals: principles and applications*. CRC press
- 50 W. Lertwimolnun, B. Vergnes. 2005. *Influence of compatibilizer and processing conditions on the dispersion of nanoclay* .*Polymer*, 46, 3462–3471.
- 51 Woods, G. 1990. *The ICI polyurethane Handbook*. John Wiley&Sons, 2nd ed., New York.
- 52 Widya, T., & Macosko, C. W. 2005. *Nanoclay-modified rigid Poliuretanan foam*. *Journal of Macromolecular Science, Part B: Physics*, 44(6), 897-908.
- 53 Xiong, J., Zheng, Z., Qin, X., Li, M., Li, H., & Wang, X. (2006). *The thermal and mechanical properties of a polyurethane/multi-walled carbon nanotube composite*. *Carbon*, 44(13), 2701-2707.
- 54 Xu, Z., Tang, X., & Zheng, J. (2008). *Thermal stability and flame retardancy of rigid polyurethane foams/organoclay nanocomposites*. *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, 47(11), 1136-1141.
- 55 Yao KJ, Song M, Hourston DJ, Luo DZ. 2002' .*Polymer*;43(3):1017–20.
- 56 Yu, Z., & Brus, L. (2001). *Rayleigh and Raman scattering from individual carbon nanotube bundles*. *The Journal of Physical Chemistry B*, 105(6), 1123-1134.
- 57 Zhang, L., Yilmaz, E. D., Schjødt-Thomsen, J., Rauhe, J. C., & Pyrz, R. (2011). *MWNT reinforced polyurethane foam: Processing, characterization and modelling of mechanical properties*. *Composites Science and Technology*,71(6), 877-884.

LAMPIRAN A

GAMBAR ALAT DAN BAHAN



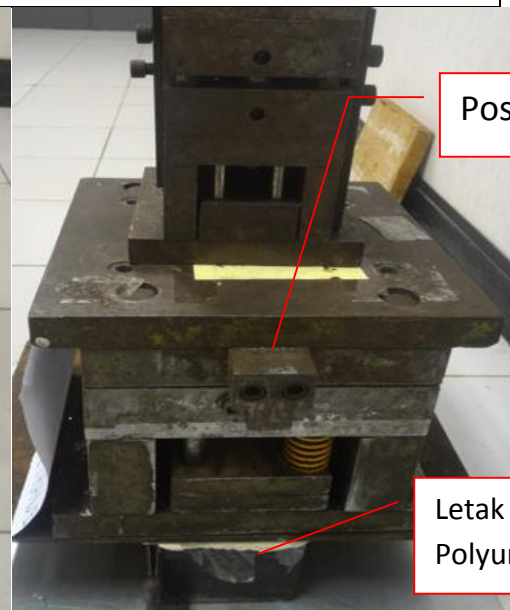
Gambar A.1 Mechanical Mixer



Gambar A.2 Sonicator



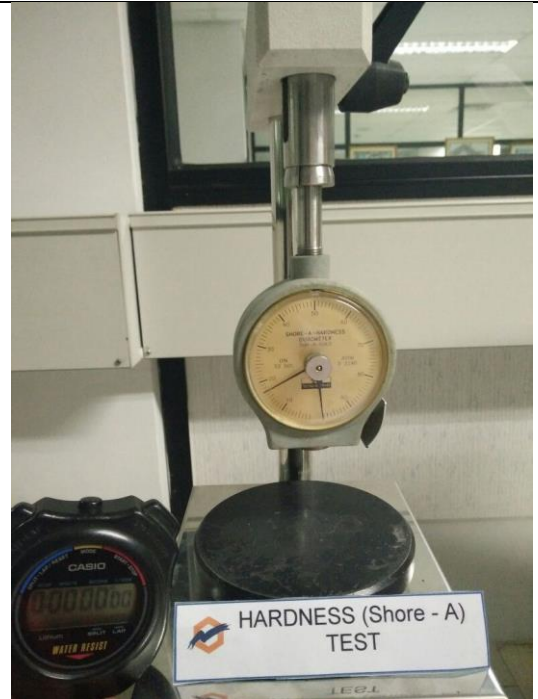
Gambar A.3 Beban Untuk Pembuatan Komposit *Polyurethane*



Gambar A.4 Susunan Pembebanan komposit *Polyurethane*



Gambar A.5 Alat Uji *Compression*



Gambar Alat Uji *Hardness (Shore-A)*



Gambar A.7 Timbangan



Gambar A.8 Alat Uji *Flammability* dengan *Burning*



**Gambar Bahan Baku Polyurethane
(Polyol dan Isocyanate)**



**Gambar Filler (MWCNT dan Clay) dan
Polyvinyl Butyral**

LAMPIRAN B

HASIL DAN DATA PERCOBAAN

Tabel Perhitungan bahan baku pembuatan Komposit *Polyurethane* dengan basis 160 Gram

RUN	POLIOL	ISOSIANAT	CNT (phr)	CLAY (phr)	RPM	POLIOL (gram)	Isosianat (gram)	CNT (gram)	CLAY (gram)
1	45	55	0,015	2,5	1300	72	88	0,024	4
2	45	55	0,015	2,5	1900	72	88	0,024	4
3	55	45	0,025	2,5	1300	88	72	0,04	4
4	45	55	0,025	2,5	1300	72	88	0,04	4
5	55	45	0,025	1,5	1300	88	72	0,04	2,4
6	45	55	0,025	1,5	1900	72	88	0,04	2,4
7	45	55	0,025	2,5	1900	72	88	0,04	4
8	55	45	0,015	2,5	1300	88	72	0,024	4
9	55	45	0,025	1,5	1900	88	72	0,04	2,4
10	45	55	0,015	1,5	1300	72	88	0,024	2,4
11	55	45	0,015	2,5	1900	88	72	0,024	4
12	45	55	0,025	1,5	1300	72	88	0,04	2,4
13	55	45	0,015	1,5	1300	88	72	0,024	2,4
14	55	45	0,015	1,5	1900	88	72	0,024	2,4
15	55	45	0,025	2,5	1900	88	72	0,04	4
16	45	55	0,015	1,5	1900	72	88	0,024	2,4

Tabel Hasil Pengujian Komposit *Polyurethane*

Run s	Polyol	CNT (phr)	Clay (rpm)	RPM (rpm)	Compressive Strength (Mpa)	Hardness (Shore A)	Burning Rate (mm/s)	Density (gr/cm ³)
1	45	0,015	2,5	1300	0,2017	5,8	214,8587	0,0545
2	45	0,015	2,5	1900	0,1766	4,6	229,5216	0,0447
3	55	0,025	2,5	1300	0,1058	3,8	253,1788	0,0480
4	45	0,025	2,5	1300	0,1713	6,3	241,0542	0,0508
5	55	0,025	1,5	1300	0,1524	4,4	246,5483	0,0464
6	45	0,025	1,5	1900	0,2517	6,9	232,6303	0,0506
7	45	0,025	2,5	1900	0,1691	3,7	262,5744	0,0561
8	55	0,015	2,5	1300	0,1153	3,5	200,5169	0,0490
9	55	0,025	1,5	1900	0,1677	4,2	263,8058	0,0456
10	45	0,015	1,5	1300	0,2182	4,4	236,7424	0,0511
11	55	0,015	2,5	1900	0,1506	2,9	215,3728	0,0466
12	45	0,025	1,5	1300	0,2595	11,2	223,1257	0,0519
13	55	0,015	1,5	1300	0,1843	2,9	230,6746	0,0477
14	55	0,015	1,5	1900	0,2082	8,7	237,6426	0,0508
15	55	0,025	2,5	1900	0,0872	0,7	197,3165	0,0507
16	45	0,015	1,5	1900	0,2757	13,9	221,3042	0,0571

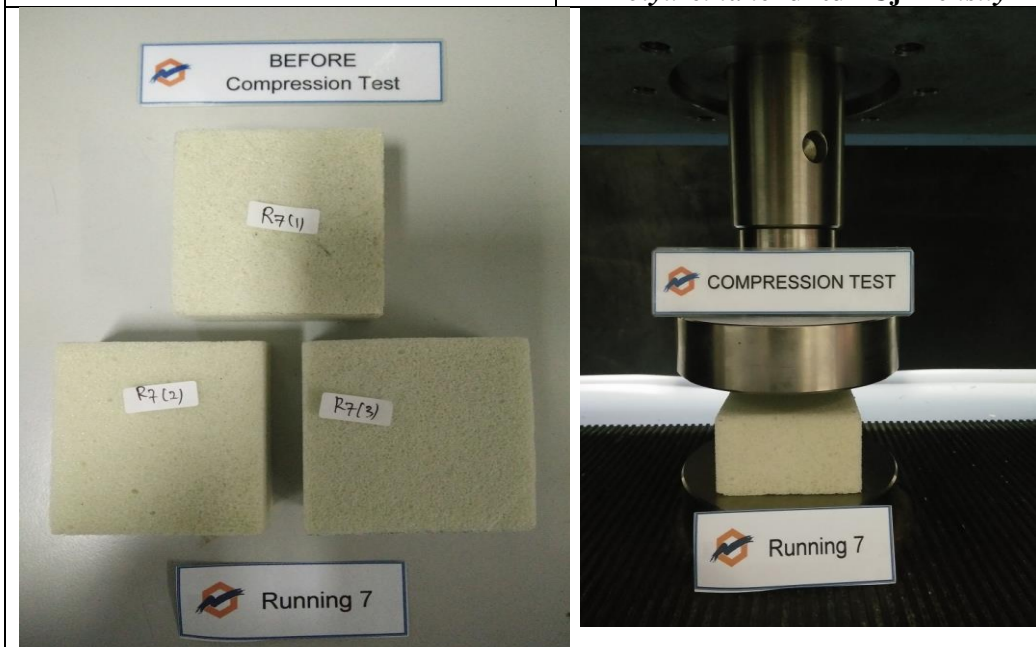
LAMPIRAN C

GAMBAR HASIL PENGAMATAN



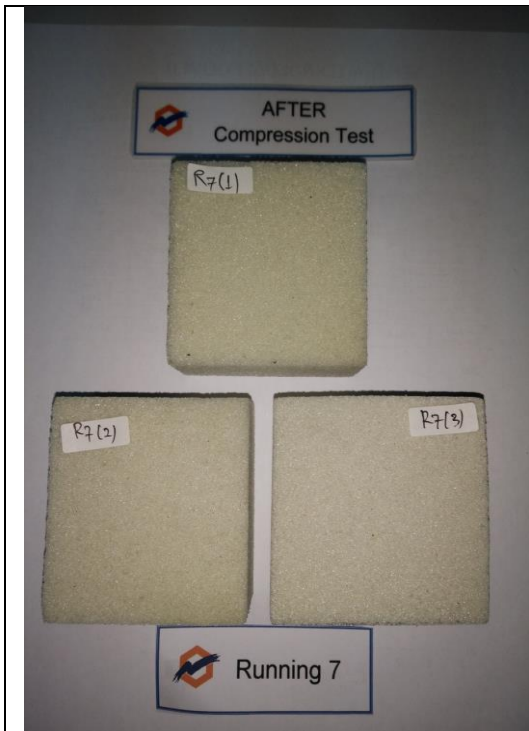
Gambar Hasil *Preliminary Research*

Gambar Sampel Komposit *Polyurethane* untuk Uji *Density*



Gambar Sampel Sebelum Uji *Compressive Strength*

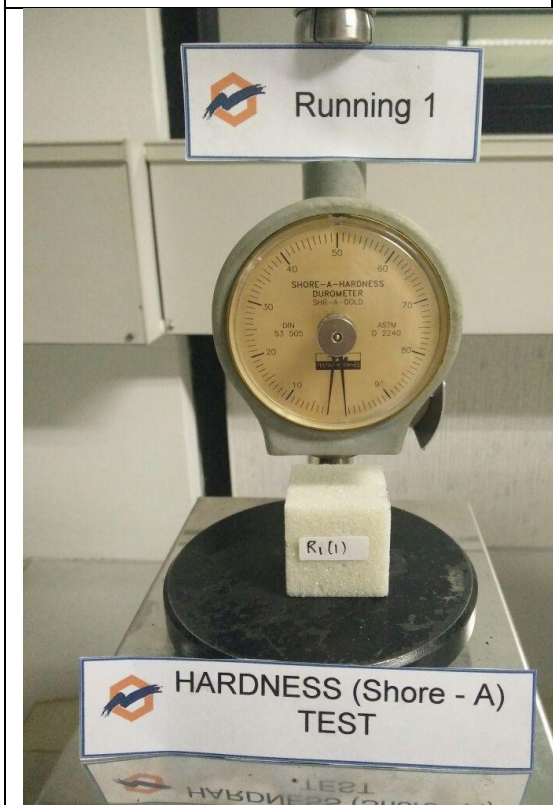
Gambar Proses Pengujian *Compressive Strength*



Gambar Sampel Setelah Uji *Compressive Strength*



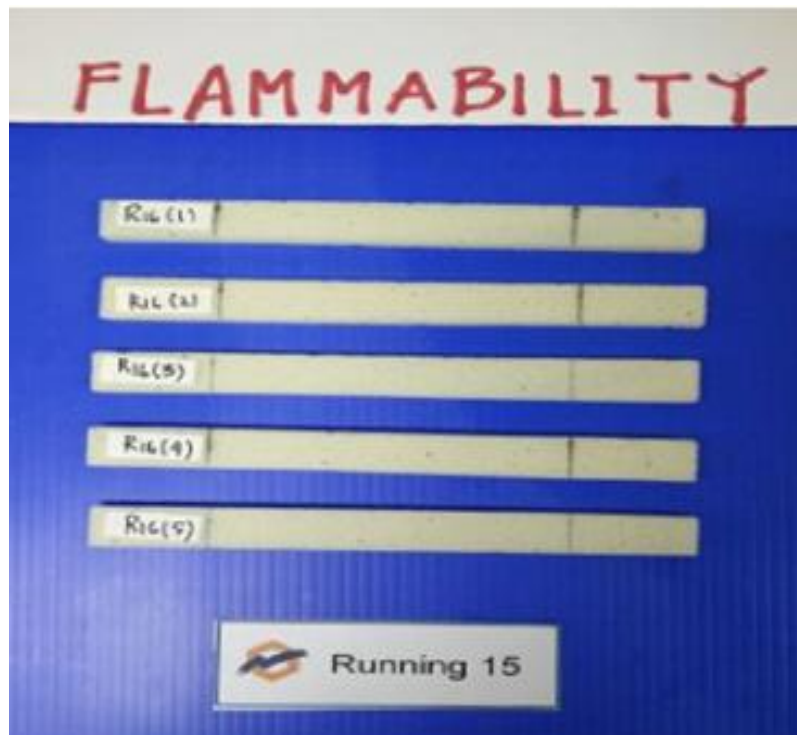
Gambar Sampel Sebelum Uji *Hardness*



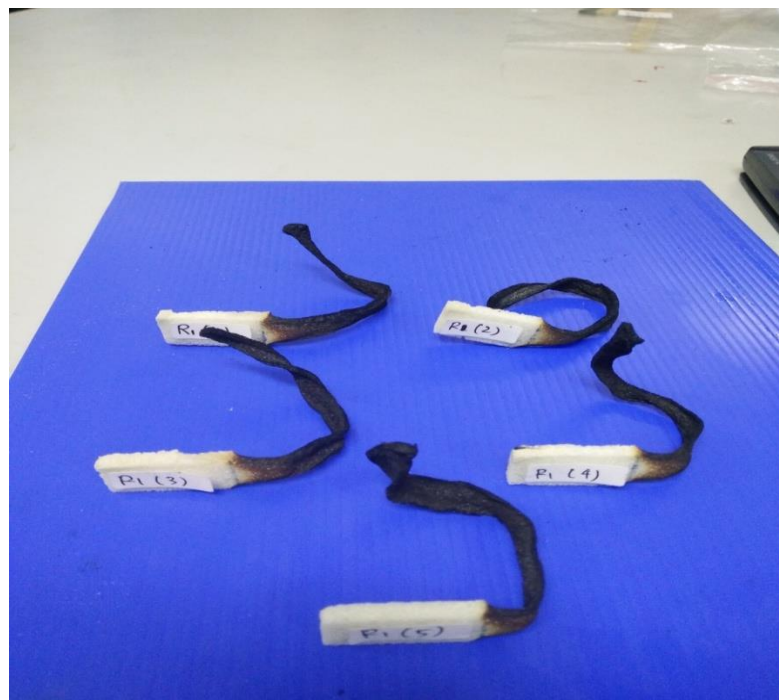
Gambar Pegujian *Hardness (Shore-A)*



Gambar Setelah Pengujian *Hardness (Shore-A)*



Gambar Sampel Sebelum Uji *Flammability*



Gambar Hasil Setelah Pengujian Komposit *Polyurethane*