

**LAPORAN TUGAS AKHIR PENELITIAN**  
**PENGARUH PENAMBAHAN *NANOCLAY* TERHADAP SIFAT**  
**MEKANIK, TAHAN BAKAR, DAN TRIBOLOGI PADA**  
**KOMPOSIT *FIBERGLASS/UNSATURATED POLYESTER***  
**SENTRA TEKNOLOGI POLIMER (STP)**  
**(11 April 2016 – 28 Juni 2016)**



**OLEH :**

**IMAM SOFGHUL V. A (1512037)**

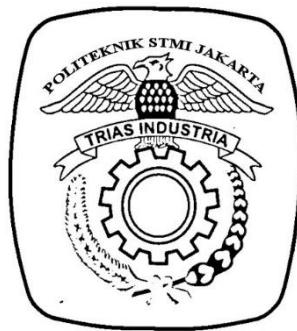
**DEBBY ARICHINTA (1512055)**

**PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA POLIMER**  
**POLITEKNIK STMI JAKARTA**  
**KEMENTERIAN PERINDUSTRIAN R.I**

**2016**

**LAPORAN TUGAS AKHIR PENELITIAN**  
**PENGARUH PENAMBAHAN *NANOCLAY* TERHADAP SIFAT**  
**MEKANIK, TAHAN BAKAR, DAN TRIBOLOGI PADA**  
**KOMPOSIT *FIBERGLASS/UNSATURATED POLYESTER***  
**SENTRA TEKNOLOGI POLIMER (STP)**  
**(11 April 2016 – 28 Juni 2016)**

Diajukan sebagai salah satu syarat akademik  
Program Studi Teknik Kimia Polimer pada Politeknik STMI Jakarta



**OLEH :**

**IMAM SOFGHUL V. A** (1512037)

**DEBBY ARICHINTA** (1512055)

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

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT karena hanya dengan limpahan rahmat, taufik dan hidayah-Nyalah penyusun dapat menyelesaikan penelitian “Pengaruh Penambahan *Nanoclay* Terhadap Sifat Mekanik, Tahan Bakar Dan Tribologi Pada Komposit *Fiberglass/Unsaturated polyester*” beserta laporannya dengan baik, serta salam semoga tercurah kepada Nabi Muhammad SAW, keluarga, sahabat dan pengikutnya hingga akhir zaman.

Dalam kesempatan ini, penyusun mengucapkan terimakasih kepada :

- Kedua orang tua beserta keluarga kami yang selalu mendoakan, mendukung dan yang selalu menyayangi kami.
- Dr. Mustofa, ST, MT., selaku Direktur Politeknik STMI Jakarta;
- Bapak Ir. Roosmariharso, MBA selaku Ketua Program Studi Teknik Kimia Polimer di Politeknik STMI Jakarta Kementerian Perindustrian Republik Indonesia.
- Bapak DR. Ir. Gatot Ibnusantosa, DEA selaku dosen pembimbing Tugas Akhir Penelitian kami yang dengan sabar membimbing kami.
- Ibu Fitria selaku Sekretaris Jurusan Teknik Kimia Polimer yang telah memberikan bantuan selama pelaksanaan Tugas Akhir penelitian ini.
- Bapak Onny Ujianto, M.Eng, selaku pembimbing di Sentra Teknologi Polimer yang telah banyak membimbing dan menuntun penyusun serta memberikan banyak ilmu yang bermanfaat selama pelaksanaan dan penyusunan laporan Tugas Akhir penelitian ini.
- Seluruh staf Sentra Teknologi Polimer yang telah banyak membimbing dan memberikan bantuan selama pelaksanaan penelitian ini terkhusus kepada bapak Hakim, bapak Dasep, bapak Taufik, bapak Singgih, bapak Fajar, bapak Ade, bapak Yurrohman, dan ibu Nurul.
- Dosen-dosen di kampus yang sudah memberikan kami ilmu dan dukungan kepada kami selama kami kuliah di Politeknik STMI Jakarta.

- Teman teman Teknik Kimia 2012 seperjuangan yang sedang menghadapi Tugas Akhir terkhusus Fighters KA-02 dan para pejuang PUSPITEK (Firman, Maxwell, Azmi, Mentari, Rafli, Yosea, Mona, Diani, Kirana, Wiku, Mutiara, Indah dan yang lainnya), serta adik-adik dan para senior yang telah membantu kami.

Kami menyadari bahwa masih terdapat kekurangan, untuk itu kami mengharapkan masukan yang bersifat membangun dari semua pihak. Semoga laporan ini dapat bermanfaat dan dapat dikembangkan pada Penelitian berikutnya.

Jakarta, Juli 2016

Penyusun

## DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	i
DAFTAR ISI .....	v
DAFTAR TABEL.....	vii
DAFTAR GAMBAR .....	viii
DAFTAR LAMPIRAN .....	ix
ABSTRAK .....	x
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah .....	3
1.4 Tujuan Penelitian .....	3
1.5 Manfaat Penelitian .....	3
1.6 Sistematika Penulisan .....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....	5
2.1 Komposit.....	5
2.2 Bahan Pembuat Komposit FRP .....	5
2.2.1 Resin <i>Thermoset</i> .....	5
2.2.2 Serat .....	9
2.3 Metode Pendispersian Nanopartikel .....	12
2.3.1 <i>Solution Mixing</i> .....	12
2.3.2 <i>Melt Blending</i> .....	12
2.3.3 <i>In Situ Polymerization</i> .....	12
2.3.4 <i>Latex Technology</i> .....	12
2.4 <i>Nanoclay</i> .....	13
2.5 Karakterisasi Komposit FRP .....	15
2.5.1 Sifat Mekanik ( <i>Modulus Young's / Tensile Test</i> ).....	15
2.5.2 Ketahanan Bakar ( <i>Flammability UL-94</i> ).....	15
2.5.3 Tribologi.....	16
2.6 Design of Experiment [44] .....	17
BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....	19
3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian.....	19
3.2 Alat dan Bahan Penelitian .....	19
3.2.1 Alat.....	19

3.2.2 Bahan .....	19
3.3 Variabel.....	19
3.3.1 Variabel Tetap .....	19
3.3.2 Variabel Berubah .....	20
3.4 Rancangan Percobaan .....	20
3.5 Skema Penelitian .....	22
3.6 Prosedur Penelitian .....	23
3.6.1 Proses Pembuatan Komposit .....	23
3.7 Pengujian.....	24
3.7.1 Uji <i>TensileModulus</i> .....	24
3.7.2 Uji <i>Flammability</i> .....	25
3.7.3 Uji Abrasi .....	25
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	26
4.1 <i>TensileModulus</i> .....	26
4.1.1 Perbandingan Nilai <i>Modulus</i> .....	27
4.2 Ketahanan Bakar.....	29
4.3 Ketahanan Abrasi.....	30
BAB V PENUTUP.....	32
5.1 Kesimpulan.....	32
5.2 Saran .....	32
DAFTAR PUSTAKA .....	34

## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Keunggulan dan Kekurangan Serat Alam.....	9
Tabel 2. 2 Perbandingan Kuat Tarik, dan Nilai <i>Modulus</i> dari Serat Alam dan E-glass ....	10
Tabel 3.1 Rancangan Percobaan Proses <i>Wet</i> .....	20
Tabel 3.2 Formula Percobaan Proses <i>Wet</i> .....	21
Tabel 3.3 Rancangan Percobaan Proses <i>Dry</i> .....	21
Tabel 3.4 Formula Percobaan Proses <i>Dry</i> .....	21
Tabel 4.1 Hasil Uji <i>Tensile Modulus (Wet Process)</i> .....	26
Tabel 4.2 Perbandingan Nilai <i>Modulus</i> .....	28
Tabel 4.3 Hasil Uji <i>Flammability</i> .....	29
Tabel 4.4 Hasil Uji <i>Abrasive</i> .....	31

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Reaksi Pembentukan <i>Epoxy</i> dari <i>Bisphenol A</i> .....	6
Gambar 2. 2 Reaksi Pembentukan <i>Phenolic Resin</i> dari <i>Resole</i> .....	7
Gambar 2. 3 Reaksi Pembentukan <i>Phenolic Resin</i> dari <i>Novolac</i> .....	7
Gambar 2. 4 Reaksi Pembentukan <i>Unsaturated Polyester</i> .....	8
Gambar 3. 1 Skema Penelitian Komposit.....	22
Gambar 3. 3 Skema <i>Dry Process</i> .....	23
Gambar 3. 2 Skema <i>Wet Process</i> .....	23
Gambar 4.1 Grafik Nilai <i>Modulus</i> ( <i>Wet Process</i> ).....	26
Gambar 4.2 Grafik Perbandingan Nilai <i>Modulus</i> .....	28
Gambar 4.3 Gambar Proses Uji <i>Flammability</i> .....	29
Gambar 4.4 Spesimen Hasil Uji <i>Flammability</i> ( <i>I: Control; Ii: Wet; Iii: Dry</i> ).....	29
Gambar 4.5 Grafik Hasil Uji <i>Flammability</i> .....	30
Gambar 4.6 Spesimen Hasil Uji <i>Abrasive</i> .....	30
Gambar 4.7 Hasil Uji <i>Abrasive</i> .....	31

## DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A.....	37
LAMPIRAN B.....	41

## ABSTRAK

Komposit *Fiber Reinforced Polymer* (FRP) merupakan salah satu komponen alternatif bahan bangunan yang saat ini banyak dikembangkan. Modifikasi FRP dengan mendispersikan nanopartikel ke dalam FRP meningkatkan sifat-sifat FRP menjadi semakin baik. Dari beberapa metode pendispersian, *solution mixing* dipilih karena prosesnya yang mudah dan sederhana. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kondisi optimum dalam mendispersikan *nanoclay* ke dalam resin *Unsaturated polyester* (UP) sebagai matriks FRP setelah itu dilakukan karakterisasi uji mekanik untuk mengetahui nilai *modulus* komposit tersebut. Pendispersian *nanoclay* menggunakan metode *solution mixing*, dan pembuatan komposit dilakukan dengan cara *hand lay-up*. Komposit dilakukan uji tensile modulus (ISO-157-4). Hasil nilai *modulus* yang tertinggi kemudian dilakukan uji lanjutan berupa *Flammability* (UL-94) dan *abrasive* (ASTM D 4060). Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa formula dan kondisi optimum pendispersian *nanoclay* dengan nilai *modulus* tertinggi didapat dari *setting* proses pada keadaan *dry* dengan level penambahan *nanoclay* sebesar 5%wt dan waktu pengadukan selama 2 menit. Besarnya kenaikan *modulus* mencapai 14,6% pada komposit dengan penambahan *nanoclay* yang *dioven* (11130 MPa) dibandingkan dengan nilai *modulus* pada resin UP murni (10240 MPa). Pengaruh penambahan *nanoclay* pada sifat ketahanan bakar pada komposit meningkat 20 detik dari komposit tanpa penambahan *nanoclay*, tetapi nilai *abrasive* pada komposit yang menggunakan *nanoclay* belum dapat ditingkatkan (0,21% keilangan massa) bila dibandingkan dengan resin murni (0,16% kehilangan massa).

**Kata kunci** : *solution mixing, nanoclay, unsaturated polyester, fiber reinforced polymer*

# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Komposit *Fiber Reinforced Polymer* (FRP) digunakan sejak akhir tahun 1970 dalam industri teknik sipil dan bangunan karena kekuatannya yang tinggi. Komposit ini biasanya digunakan sebagai pengganti kayu pada infrastruktur [1]. FRP juga digunakan untuk mengganti beton konvensional yang bersifat berat dan tebal pada bangunan. Pada negara-negara maju seperti Amerika, Inggris dan beberapa negara Eropa menggunakan komposit FRP sebagai komponen pada jembatan, komponen pada rumah dan pemukiman [2]. FRP memiliki potensi penggunaan yang tinggi sebagai komponen lantai pada bangunan. Ini dikarenakan bobot ringan yang dimiliki FRP sehingga meningkatkan kinerja struktural secara keseluruhan terutama untuk beban gempa [3]. Penggunaan FRP pada konstruksi dinilai hemat energy, aman pada proses instalasi dan pembuatannya, serta mudah dalam proses transportasi (pendistribusian) [2]. FRP memiliki kekuatan yang tinggi, bobot yang ringan, tahan kelembapan, tahan terhadap rayap [4] dan konduktivitas termal yang baik [1,2]. Komposit *Fiber Reinforced Polymer* (FRP), adalah material yang terbuat dari resin polimer sebagai matriks, biasanya resin *thermoset* atau *thermoplast* yang diperkuat dengan *fiber* (serat) sebagai *reinforcement* [4].

Resin *thermoset* dipilih karena lebih stabil terhadap panas dan ketahanan terhadap panasnya lebih baik dari resin *thermoplast* [5]. Resin *thermoset* yang dipilih adalah *unsaturated polyester* karena banyaknya penelitian dan pengembangan yang menggunakan resin tersebut. Selain itu, resin *unsaturated polyester* memiliki banyak keunggulan dibandingkan resin *thermoset* lainnya.

Serat yang sering digunakan sebagai penguat pada FRP terdiri dari dua macam serat yaitu serat alam dan serat sintetik. Serat sintetik dipilih karena kekuatan mekaniknya yang lebih baik dari serat alam [6]. Serat yang dipilih adalah *Fiberglass* sebagai *reinforcement* pada komposit FRP daripada *carbonfiber* dan *aramid* karena banyaknya keunggulan yang dimilikinya.

Peningkatan karakteristik yang ada pada FRP dapat dilakukan dengan menambahkan bahan lain seperti nanopartikel. Penambahan yang dilakukan untuk meningkatkan sifat karakteristik pada FRP hanya berjumlah sangat kecil dari total berat komposit FRP[7]. Modifikasi FRP (*FRP nanomodified*) dengan melakukan sedikit penambahan bahan lain seperti *nanoclay*[7-18]. Penambahan dapat meningkatkan beberapa sifat mekanik seperti *tensile modulus* [8, 10-13], *flammability* [9, 10], dan *wearabrasive* [15-17].

Modifikasi FRP dengan menambahkan nanopartikel, dilakukan dengan mendispersi nanopartikel ke dalam resin yang akan digunakan sebagai matriks pada FRP [7]. Metode-metode yang digunakan untuk mendispersi nanopartikel ke dalam resin polimer antara lain, *melt blending*, *in situ polymerization*, *latex technology* dan *solution mixing* [19]. *Solution mixing* dipilih karena lebih efisien dalam penggunaan material dibandingkan dengan metode *in situ polymerization* dan *latex technology*, sedangkan *melt blending* [18] digunakan pada *resin thermoplast*. Proses pendispersian dapat langsung dilakukan pada polimer yang digunakan sebagai matriks komposit [20-22].

Pemrosesan FRP secara umum dapat dilakukan dengan beberapa metode yaitu *Vacuum Assisted Resin (VAR)* [13, 16, 23], *pultrusi* [24], *resin transfer molding (RTM)* [8, 14, 15, 17, 25] dan dengan metode *hand lay-up* [7, 10, 11]. Metode *hand lay-up* dapat dilakukan secara manual [26], selain itu metode *hand lay-up* lebih murah dan dapat dilakukan untuk pembuatan bentuk komposit yang kompleks [27].

Penelitian ini bertujuan untuk mendispersikan nanopartikel pada resin dengan menggunakan metode *solution mixing* sebagai matriks pembuatan *FRP nanomodified* dengan metode *hand lay-up*. Optimasi proses pendispersian nanopartikel pada resin dilakukan dengan menggunakan eksperimental desain untuk mendapatkan formuladan kondisi yang tepat. Karakterisasi *FRP nanomodified* dilakukan dengan uji *tensile*, *flammability* dan *abrasive*. Selanjutnya, hasil yang didapat akan diaplikasikan sebagai material *skin* pelapis *core* pada panel komposit.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut dapat disimpulkan rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana formula dan kondisi optimum yang dilakukan untuk mendispersi *nanoclay* ke dalam resin *unsaturated polyester* dengan *Modulus* sebagai parameter?
2. Bagaimana pengaruh penambahan *nanoclay* ke dalam *unsaturated polyester* pada sifat tahan bakar dan tribologi komposit *fiberglass/unsaturated polyester*?

## 1.3 Batasan Masalah

Dalam penelitian ini, permasalahan dibatasi pada :

1. Proses pendispersian nanopartikel dengan menggunakan metode *solution mixing* pada *nanoclay* dengan batasan dan kondisi yang telah ditetapkan.
2. Karakterisasi yang dilakukan dari hasil dispersi *nanoclay* adalah uji *tensile* (ISO 527-4) pada komposit FRP untuk mengetahui nilai *Modulus*.
3. Karakterisasi lanjutan *flammability* UL-94 dan salah satu sifat tribologi (*abrasive*) test ASTM D-4060 dari komposit FRP terpilih.

## 1.4 Tujuan Penelitian

1. Tujuan penelitian ini adalah untuk menentukan formula dan kondisi optimum dalam proses pendispersian *nanoclay* ke dalam resin *unsaturated polyester* berdasarkan nilai *modulus* yang didapat dari hasil uji *tensile*
2. Mengetahui pengaruh penambahan *nanoclay* pada sifat tahan bakar dan tribologi komposit *fiberglass/unsaturated polyester*.

## 1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini bermanfaat untuk menemukan material alternative pembuatan komponen rumah yang bersifat ringan, kuat, dan tahan bakar.

## 1.6 Sistematika Penulisan

Bagian ini merupakan gambaran secara keseluruhan. Didalamnya terdapat lima bab yang masing-masing berkaitan erat. Adapun susunan ke lima bab tersebut sebagai berikut :

## **BAB I : PENDAHULUAN**

Bab ini berisi penjelasan mengenai latar belakang diadakannya penelitian, rumusan masalah yang akan dibahas, batasan masalah dari penelitian yang akan dilakukan, tujuan dan manfaat dari dilakukannya penelitian ini, serta penjelasan mengenai sistematika penulisan laporan penelitian.

## **BAB II : TINJAUAN PUSTAKA**

Bab ini berisi tinjauan umum mengenai resin *thermoset*, serat, *nanoclay*, metode dispersi, dan karakterisasi komposit.

## **BAB III : METODE PENELITIAN**

Bab ini berisi penjelasan tentang persiapan penelitian, diagram alir penelitian, variabel penelitian, prosedur penelitian, serta alat dan bahan yang akan digunakan dalam penelitian ini.

## **BAB IV : HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN**

Bab ini berisi data hasil pengujian, analisis data yang sudah diolah menjadi grafik, dan pembahasan terhadap hasil pengujian dan analisis data.

## **BAB V : PENUTUP**

Bab ini berisi dua bagian, kesimpulan dan saran yang telah dilakukan berdasarkan hasil yang telah didapat pada bab sebelumnya.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Komposit**

Komposit adalah material struktural yang tersusun oleh dua atau lebih kombinasi bentuk, berwujud makroskopik [28, 29]. Material penyusun komposit terdiri dari dua bentuk, satu bentuk disebut *reinforce* (penguat), satu lainnya disebut dengan *matrix* (pengisi) [28]. Komposit *fiber/serat (Fibrous Composites)* adalah komposit yang menggunakan serat sebagai penguat matriksnya [30]. Komposit *Fiber Reinforce Polymer (FRP)* adalah salahsatu komposit serat yang menggunakan resin polimer sebagai penguat.

#### **2.2 Bahan Pembuat Komposit FRP**

Matriks polimer (resin) yang digunakan pada FRP diklasifikasikan menjadi dua yaitu *thermoplast* dan *thermoset*. Polimer *thermoset* lebih sering digunakan karena ketahanannya terhadap panas yang cukup baik dibandingkan dengan *thermoplast* [29]. Selain itu, resin *thermoset* adalah resin yang sering digunakan pada industri dan dapat diproses pada suhu ruangan [31]. Komposit berbasis resin *thermoset* lebih murah dibandingkan dengan komposit berbasis resin *thermoplast*, tetapi memiliki *heat distortion* yang lebih buruk [30].

##### **2.2.1 Resin Thermoset**

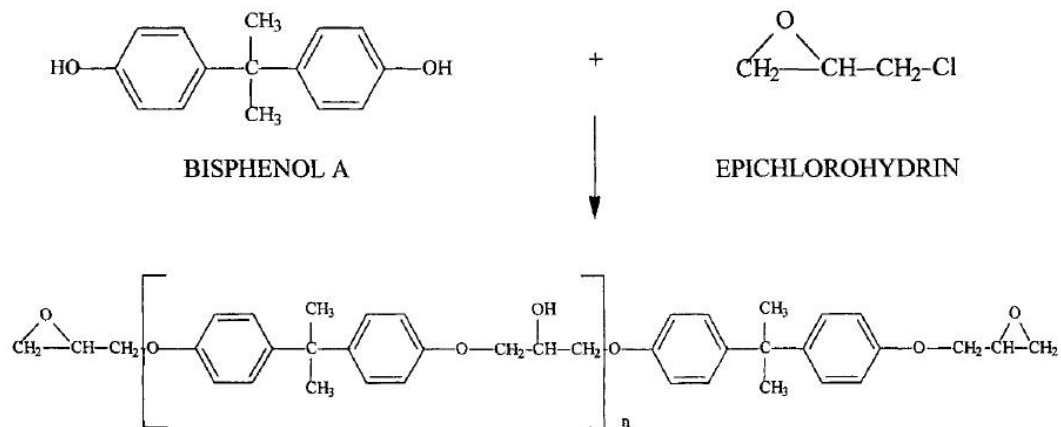
Resin *thermoset* adalah resin yang terdiri dari ikatan silang kovalen yang sangat tinggi, ikatan kovalen tersebut membuat resin ini stabil terhadap panas, tidak meleleh pada batas suhu tertentu setelah *curing* [29] dan *rigid* [30]. Akan tetapi, resin ini akan mengalami kerusakan ikatan kovalen yang dimilikinya dan tidak dapat kembali ke semula jika diberikan panas yang melebihi ketahanan pada resin [32]. Jenis resin *thermoset* yang sering digunakan adalah *epoxy* [2, 7, 10, 12, 13, 16], *phenolic formaldehyde* [33], dan *unsaturated polyester* [3, 8, 9, 11, 14, 15, 17, 23, 24, 25, 37].

##### **a) Epoxy**

*Epoxy* adalah resin adalah perpaduan atau campuran yang mengandung satu atau lebih gugus *epoxide* atau *oxirane*. *Epoxy* terdiri dari tiga jenis yaitu

*cycloaliphatic epoxy resins, epoxidized oils dan glycidated resins* [5]. Resin *epoxy* memiliki sifat mekanik sangat baik, ketahanannya terhadap air lebih baik dibanding *polyester* [31], memiliki ketahanan pada benturan, fleksibel, dan sifat elektriknya yang baik [5] tetapi harga resin *epoxy* agak lebih mahal dibanding *unsaturated polyester* [30].

Salah satu jenis dari *epoxy* adalah *bisphenol A* yang direaksikan dengan *epichlorohydrin* dengan reaksi *glycidasi* [5]. Berikut reaksi pembentukannya :



**Gambar 2. 1** Reaksi Pembentukan *Epoxy* dari *Bisphenol A*

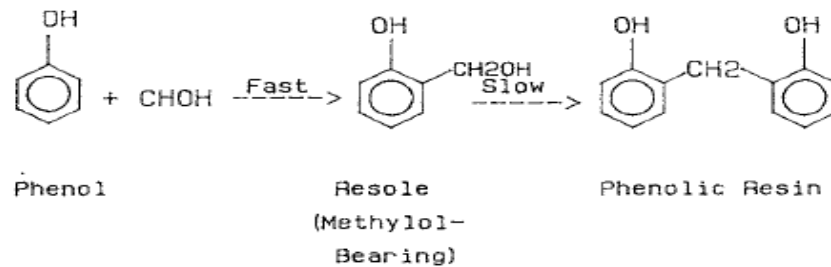
Sumber: Craver, 2000

### b) *Phenolic Formaldehyde*

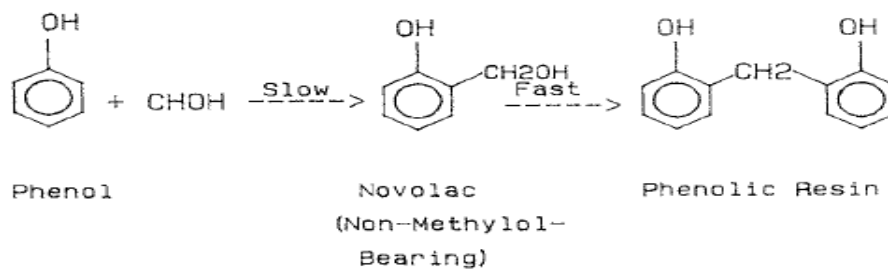
*Phenolic resin* dikenal sebagai *polymer thermosetting* yang paling tua yang sampai saat ini digunakan dibanyak industri seperti otomotif, penerbangan, bangunan dan komponen komputer. *Resin phenolic* diproduksi dari reaksi kondensasi polimer dari *phenol* dengan *aldehyde* dimana air sebagai hasil sampingnya [34]. *Phenolic* memiliki ketahanan terhadap panas dan sifat mekanik yang baik, dan tahan terhadap bahan kimia seperti lemak, asam lemah, minyak alam, produk petrokimia dan pelumas otomotif. Tetapi, harga resin ini cukup mahal, dan warnanya yang gelap [33]. *Phenolic* adalah resin yang baik ketahanannya dari api, tetapi selama proses *curing* resin memproduksi komponen *volatile* dan tidak stabil pada suhu ruangan [31].

*Phenolic* resin terbagi menjadi dua jenis yaitu *resol* dan *novolac* [33]. *Resol* adalah jenis resin *phenolic* yang memiliki masa hidup pendek yaitu kurang dari 1 tahun. Resin ini cocok digunakan untuk laminasi kayu dan kertas.

Sedangkan, *novolac* adalah jenis resin *phenolic* yang lebih stabil dibanding jenis *resol* [35]. Berikut adalah gambar reaksi pembentukan dari resin *resol* dan *novolac*.



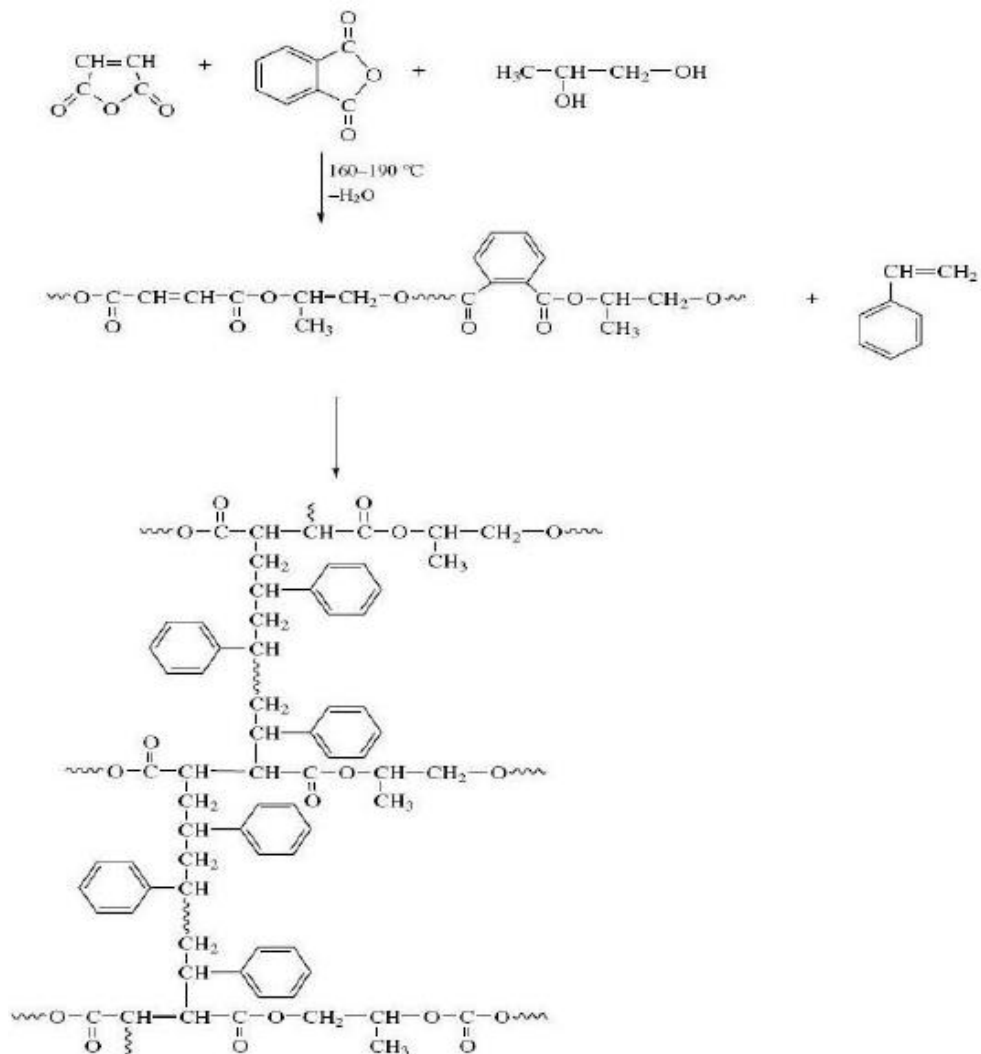
**Gambar 2. 2 Reaksi Pembentukan Phenolic Resin dari Resole**  
 Sumber: Goodman, 1998



**Gambar 2. 3 Reaksi Pembentukan Phenolic Resin dari Novolac**  
 Sumber: Goodman, 1998

c) **Unsaturated polyester**

*Polyester* diproduksi dalam volume besar sekitar 30 miliar pound pertahun di seluruh dunia. *Polyester* biasa digunakan sebagai serat, plastik komposit dan untuk aplikasi pelapisan. Resin *unsaturated polyester* adalah produk hasil reaksi kondensasi polimer dari asam tidak jenuh (*unsaturated*) atau *anhydrides* dengan diol yang telah dihilangkan gugus asamnya. Keadaan tidak jenuh dari tipe *polyester* ini bertujuan untuk membentuk ikatan silang dengan gugus *styrene* pada strukturnya.



**Gambar 2.4 Reaksi Pembentukan *Unsaturated Polyester***

Sumber: <http://dx.doi.org/10.5772/48479>

Sejak 1930, resin *unsaturated polyester* telah digunakan untuk berbagai aplikasi *thermosetting*. Resin jenis ini banyak digunakan dalam pembuatan tangki penampungan air, kolam renang, bagian pada perahu dan lainnya [36]. Resin *unsaturated polyester* adalah polimer yang sering digunakan pada pembuatan komponen komposit. Resin ini memiliki kekuatan yang baik dan ketahanannya terhadap lingkungan yang asam, namun harganya cukup murah. Reaksi *curing* pada *unsaturated polyester* bersifat eksotermis [30]. Proses *curing* terjadi karena penambahan dalam jumlah sedikit Metil Etil Ketone Peroksida (MEKP) dan atau *cobalt octoate* yang bertindak sebagai

agen initiator/katalisator [36]. *Unsaturated polyester* memiliki sifat mekanik dan elektrik yang baik, tahan terhadap cuaca dan radiasi sinar matahari, juga aman jika berkontak dengan makanan [33]. Selain itu, harga resin *unsaturated polyester* cukup murah dibanding resin lainnya [8, 14, 37].

### 2.2.2 Serat

Serat dipilih sebagai penguat pada matriks komposit karena sifat serat yang kaku, sehingga meningkatkan kekuatan pada komposit [31]. Serat ditambahkan sebagai *reinforcement* untuk meningkatkan nilai *Modulus* pada komposit, mengurangi terjadinya *creep* ketika dilakukan pembebanan pada komposit, mengurangi biaya fabrikasi dan untuk meningkatkan *Heat Deflection Temperature (HDT)* pada komposit [33]. Serat terbagi atas dua jenis serat yaitu serat alam, dan serat sintetik.

#### 2.2.2.1 Serat Alam

Serat alam merupakan serat yang paling dianggap sebagai material yang terbarukan. Serat alam didapat dengan cara membentuk tumbuhan menjadi filamen-filamen setelah dipanen [6]. Beberapa peneliti menggunakan serat alam karena harganya yang lebih murah dibanding serat sintetik [38]. Serat alam merupakan material yang potensial dan menjanjikan sebagai pengganti bahan baku yang berasal dari produk petrokimia [6]. Karena berasal dari sumber yang dapat diperbaharui, maka dapat meminimalisir emisi gas CO<sub>2</sub> yang dihasilkan selama proses produksi berlangsung. Sehingga mengurangi dampak pemanasan global yang saat dihadapi seluruh negara di dunia. Berikut ini beberapa kelebihan dan kekurangan dari serat alam [38] :

**Tabel 2. 1 Keunggulan dan Kekurangan Serat Alam**

Keunggulan	Kelemahan
1. Densitasnya rendah dan kekakuannya tinggi 2. Sumber serat dapat diperbaharui, produksinya membutuhkan energi yang sedikit, dan mengurangi emisi CO <sub>2</sub> 3. Biaya pembuatan rendah 4. Bahaya kecelakaan manufaktur rendah.	1. Ketahanannya rendah daripada serat sintetik, tapi dapat ditingkatkan dengan pengolahan pada serat 2. Menyerap uap air (kelembaban) tinggi dilingkungan sekitarnya. 3. Kekuatannya rendah 4. Sifat yang dimiliki tiap serat bervariasi

Sumber: <http://dx.doi.org/10.1016/j.compositesa.2015.08.038>

Kandungan selulosa pada serat alam sangat mempengaruhi performa (kekuatan) pada serat tersebut, serat alam yang memiliki kadar selulosa yang tinggi memiliki performa tinggi. Selain itu, beberapa faktor lainnya seperti kondisi selama penanaman, waktu ketika memanen, metode ekstraksi, pengolahan serat dan prosedur penyimpanan juga mempengaruhi nilai performa pada serat [38]. Beberapa jenis serat alam yang banyak digunakan oleh peneliti yaitu, kenaf, *jute*, *ramie*, *sisal*, abaca, *flax*, dan lainnya [6]. Berikut ini adalah perbandingan kuat tarik, dan nilai *Modulus* dari beberapa serat alam dengan salah satu serat sintetik [6].

**Tabel 2. 2 Perbandingan Kuat Tarik, dan Nilai *Modulus* dari Serat Alam dan E-glass**

Serat	Densitas (g/cm <sup>3</sup> )	Diameter (mm)	<i>Tensile Strength</i> (MPa)	Modulus Elastik (Gpa)	Perpanjangan saat putus (%)
<i>Flax</i>	1,5	40-600	345-1500	27-39	2,7-3,2
<i>Hemp</i>	1,47	25-250	550-900	38-70	1,6-4
<i>Jute</i>	1,3-1,49	25-250	393-800	13-26,5	1,16-1,5
Kenaf	1,5-1,6	2,6-4	350-930	40-53	1,6
<i>Ramie</i>	1,5-1,6	0,049	400-938	61,4-128	1,2-3,8
<i>Sisal</i>	1,45	50-200	468-700	9,4-22	3,7
<i>Curaua</i>	1,4	7-10	500-1100	11,8-30	3,7-4,3
Abaca	1,5	10-30	430-8133	31,1-33,6	2,9
<i>E-glass</i>	2,55	15-25	2000-3500	70-73	2,5-3,7

Sumber: <http://dx.doi.org/10.1016/j.compositesb.2012.07.004>

#### 2.2.2.2 Serat Sintetik

Serat sintetik lebih banyak digunakan sebagai penguat matriks pada komposit daripada serat alam yang memiliki ketahanan yang rendah, kelembabannya tinggi, kekuatan yang lebih rendah daripada serat sintetik dan membutuhkan beberapa *treatment* [38]. Jenis serat sintetik yang sering digunakan sebagai penguat pada komposit adalah *fiberglass* [1, 3, 8, 14, 24, 37], *carbonfiber* [2] dan *aramid (Kevlar)* [9, 31, 33].

##### a) *Fiberglass*

*Fiberglass* adalah serat yang dihasilkan dari mineral seperti Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO, MgO, B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dan *silica* yang dilelehkan pada kisaran suhu 1250°C [31, 30]. *Fiberglass* memiliki nilai *Modulus* elastis yang tinggi, memiliki ketahanan termal yang baik, dan densitasnya tinggi [33]. *Fiberglass* memiliki berbagai macam jenis sesuai dengan kebutuhan dalam aplikasinya. Berikut ini adalah jenis-jenis *fiberglass* dan aplikasinya :

- *E-glass* adalah jenis *fiberglass* yang paling sering digunakan, sifat yang dimiliki dari *E-glass* adalah konduktivitas elektriknya yang rendah [33, 40].
- *R- atau S-glass* adalah jenis *fiberglass* yang memiliki kekuatan mekanik yang tinggi karena kandungan *silica*-nya yang cukup banyak [31], tahan terhadap kelembaban dan suhu tinggi [39]. Digunakan pada pembuatan komponen pesawat, peralatan olahraga dan *antiballistics* (anti peluru) [33].
- *D-glass* digunakan pada peralatan elektronik karena memiliki nilai konstanta dielektrik yang rendah [33].
- *C-glass* memiliki ketahanan terhadap bahan kimia yang tinggi [40] dan tahan terhadap korosif [33].
- *A-glass* yang memiliki ketahanan terhadap basa (alkali) [40, 33].

b) *Carbon Fiber*

*Carbonfiber* dihasilkan dari *pyrolysis pitch* (*tar* batu bara atau aspal minyak bumi) dan *polyacrylonitrile (PAN)* [30], terdapat beberapa tahap dalam pembuatan *carbon fiber* yaitu oksidasi (pada kisaran suhu 200-250°C), karbonisasi (pada suhu 1000°C) dan graphitisasi (*graphitisation* pada suhu 2500-3000°C) [31]. *Carbon fiber* memiliki kuat tarik tinggi, memiliki konduktivitas termal dan dielektrik yang tinggi serta nilai *Modulusnya* yang juga tinggi [33]. Namun, *carbonfiber* memiliki ketahanan abrasi yang buruk juga mudah terserang asam [30], serta harganya yang cukup mahal karena proses pembuatannya yang menggunakan banyak energi dan suhu tinggi [33].

c) *Aramid (Kevlar)*

*Aramid* dihasilkan dari reaksi antara *poly(p-phenylene terephthalamide)* dengan asam kuat pada kisaran suhu 50-100°C [30]. Memiliki nilai *Modulus* dan uji tarik yang tinggi [31], namun *kevlar* sensitif dari serangan ultraviolet (UV) dan cuaca, kemampuan kompresinya terbatas, menyerap kelembaban dan sulit dalam proses pembuatan [33]. *Kevlar* terdiri dari dua jenis yaitu

*Kevlar 29* dan *Kevlar 49* [31, 33]. *Kevlar 29* lebih banyak digunakan sebagai komponen pembuatan kabel, tambang, komponen pelapisan dan komponen rompi anti peluru (*ballistic protection*). Sedangkan, *Kevlar 49* digunakan sebagai komponen pada penerbangan, otomotif dan kapal perang [31].

### **2.3 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:

#### **2.3.1 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* [19], mencampurkannya ke dalam polimer, dan menuangkannya ke dalam cetakan untuk dijadikan komposit [21]. Nanopartikel juga dapat dengan langsung di disperse ke dalam polimer tanpa tambahan pelarut [11].

#### **2.3.2 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 [21]. Matriks polimer yang digunakan sebagai media pendispersi adalah jenis *thermoplast* [18, 19].

#### **2.3.3 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 [19, 21].

#### **2.3.4 Latex Technology**

*Latex technology* merupakan metode lain yang digunakan sebagai alternative dalam pembuatan nanokomposit [21]. Metode ini hampir mirip seperti

metode *in situ polymerization*, perbedaannya adalah nanopartikel di dispersi terlebih dulu sebelum dicampurkan ke dalam matriks polimer [19].

#### **2.4 Nanoclay**

*Nanoclay* atau yang sering disebut *clay* merupakan grup dari mineral. Di alam, *clay* terbagi menjadi dua kelas yaitu *residualclay* dan *transported clay* (*sedimentary clay*). *Residualclay* dihasilkan dari permukaan batuan yang terkena cuaca. *Residual clay* dapat diproduksi dengan dekomposisi kimia dari batuan, pelarutan batuan, dan disintegrasi dan pelarutan pada batuan. Sedangkan *transported clay* adalah *clay* yang dipisahkan dari deposit alami yang terbentuk karena erosi dan deposit lainnya [41].

Karena ekspansi termalnya yang rendah, penambahan *nanoclay* sering diaplikasikan sebagai *flame retardant* (anti bakar) dan *heat resistant* (tahan panas) [41]. Pereira pada tahun 2008 melakukan penelitian dengan penambahan *nanoclay* pada pembuatan *nanocomposite* dengan menggunakan resin *unsaturated polyester* untuk mengetahui sifat ketahanan bakar dari *nanocomposite* tersebut [9]. Pada hasil uji bakar didapati, sampel *nanocomposite* memiliki waktu terbakar yang lebih lama dan melepaskan panas (*heat release*) lebih sedikit dibandingkan dengan sampel resin murni [9]. Perbedaan lama waktu bakar dan pelepasan panas (*heat release*) pada *nanocomposite* mengindikasikan *nanoclay* yang ditambahkan ke dalam *nanocomposite* telah terdispersi dan terinterkalasi [9]. Emrah pada tahun 2006 juga melakukan penambahan *nanoclay* pada *nanocomposite epoxy* yang dibuatnya untuk mengetahui sifat ketahanan bakar dari *nanocomposite* tersebut [10]. Telah disebutkan bahwa penambahan *nanoclay* dapat membuat *nanocomposite* lebih lama terbakar dibandingkan dengan komposit tanpa *nanoclay* [10]. Hasil yang didapat mengindikasikan bahwa *nanoclay* telah terdispersi baik di dalam resin [10]. Tang pada tahun 2013 menginvestigasi ketahanan bakar pada *nanocomposite* dengan penambahan *nanoclay* terhadap resin *unsaturated polyester* [42]. Persentase penambahan *nanoclay* significant dalam menurunkan pelepasan panas dalam uji bakar yang dilakukan pada *nanocomposite* [42]. Maka dapat disimpulkan bahwa *nanoclay*, merupakan material yang dapat meningkatkan kemampuan bakar dari suatu bahan.

Penggunaan *nanoclay* sebagai *flameretardant* dikarenakan partikel *nanoclay* yang berbentuk lapisan-lapisan melindungi permukaan resin polimer yang terbakar sehingga meningkatkan kemampuan bakar pada polymer tersebut. Lapisan-lapisan *nanoclay* yang melindungi permukaan polimer tersebut mengindikasikan bahwa *nanoclay* telah mengalami proses interkalasi dan atau tereksfoliasi pada proses pendispersian [38].

*Nanoclay* juga dapat meningkatkan sifat *tribological (wear resistance)* pada komposit karena kandungan mineral-mineral yang ada pada *nanoclay* seperti  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{ZrO}$ ,  $\text{SiC}$ , dan  $\text{Si}_3\text{N}_4$  [17]. Albidry pada tahun 2012 juga meneliti sifat *tribological* pada nanokomposit yang menggunakan *nanoclay* sebagai *wear resistance*. Hasil data menunjukkan nilai *wear* terendah didapat ketika kandungan *nanoclay* pada komposit adalah 7% wt [15]. Jawahar pada tahun 2005 melaporkan bahwa penambahan *nanoclay* pada nanokomposit dengan resin *unsaturated polyester* dapat menurunkan nilai *wear* pada komposit tersebut. Dari data didapat bahwa penurunan nilai *wear* terendah pada saat kandungan 3% wt *clay* pada komposit [17]. Lin pada tahun 2005 meneliti sifat tribologi pada nanokomposit dengan menggunakan dua *filler* berbeda yaitu *cloisite (nanoclay)* dan titanium dioksida. Jin menyatakan bahwa penambahan *nanoclay* sebagai *filler* merupakan komponen terbaik untuk meningkatkan *wear resistance* pada nanokomposit [16].

Penambahan *nanoclay* pada *unsaturated polyester* untuk FRP dapat meningkatkan nilai *tensile modulus* [8, 11-13]. Dhakal pada tahun 2006 melakukan penambahan *nanoclay* ke dalam resin *unsaturated polyester* sebesar 1% wt, 3% wt dan 5% wt, didapatkan nilai *modulus* yang terus meningkat pada setiap penambahan level [11]. Kanny pada tahun 2012, melakukan penambahan *nanoclay* sebesar 1-5% wt, dengan menggunakan resin *epoxy*, dan nilai *modulus* didapati juga terus meningkat pada setiap level penambahan *nanoclay* [13]. Namun hasil *tensile modulus* yang didapatkan Jo pada tahun 2006 dengan penambahan *nanoclay* sebesar 2, 4, 6 dan 8% wt ke dalam resin *unsaturated polyester* menunjukkan penurunan pada level 6 dan 8% wt penambahan *nanoclay*

[8]. Maka, dapat disimpulkan bahwa, penambahan *nanoclay* yang meningkatkan nilai *tensile modulus* terdapat pada level 1-5% wt.

Dengan kenaikan nilai *modulus* pada setiap penambahan *nanoclay* diasumsikan bahwa *nanoclay* telah tercampur dengan *unsaturated polyester* sehingga dapat meningkatkan sifat tahan bakar (*Flammability*) pada komposit. Dan komposit dengan nilai *modulus* tertinggi selanjutnya dipilih untuk uji *Flammability* dan uji *abrasive* untuk mengetahui besar peningkatan ketahanan *Flammability* dan *Abrasive*-nya.

## **2.5 Karakterisasi Komposit FRP**

### **2.5.1 Sifat Mekanik ( *Modulus Young's / Tensile Test* )**

Uji tarik (*Tensile Test*) adalah salah satu uji *stress-strain* mekanik yang bertujuan mengetahui kekuatan bahan terhadap gaya tarik. Pengujian tarik (*tensile test*) adalah pengujian mekanik secara statis dengan cara sampel ditarik dengan pembebanan pada kedua ujungnya dimana gaya tarik yang diberikan sebesar P (*Newton*). Tujuannya untuk mengetahui sifat-sifat mekanik tarik (kekuatan tarik) dari komposit yang diuji. Kekuatan tarik menunjukkan kemampuan untuk menerima beban atau tegangan tanpa menyebabkan komposit menjadi rusak atau putus.

### **2.5.2 Ketahanan Bakar (*Flammability UL-94*)**

UL 94 adalah standar pengujian untuk kemampuan bakar dari material plastik untuk bagian pada peralatan dan barang sehari-hari termasuk uji dalam skala kecil untuk mengevaluasi kemampuan bakar pada bahan *polymer* (plastik) yang dikendalikan dalam kondisi laboratorium. Pokok yang mendasari uji ketahanan bakar pada bahan yaitu :

- a. Besarnya jumlah bahan yang relatif,
- b. Sumber pengapian untuk bahan dapat terdiri dari api terbuka yang cukup besar atau sumber energi radiasi lain,
- c. Tes didasarkan pada pengguna akhir dari produk.

Dengan demikian tes api ditentukan dalam kode model yang sering disebut sebagai skala menengah atau tes api skala besar. Hal-hal lain yang termasuk ke dalam uji ini adalah, lama waktu dalam menahan api, karakteristik permukaan

yang terbakar pada material interior, bahan-bahan yang mudah terbakar pada ruangan seperti kasur dan *furniture*. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan bunsen sebagai sumber api yang digunakan sebagai *burner* dan diletakkan pada ujung sampel.

### 2.5.3 Tribologi

Kata Tribologi atau *tribology* berasal dari *tribos* istilah Yunani, atau menggosok. *Tribology* atau *triboscience* didefinisikan sebagai ilmu yang mempelajari tentang gesekan (*friction*), keausan (*wear*), dan interaksi permukaan yang diberi pelumasan (*lubricating*) dalam gerakan relatif, yang melibatkan energi disipasi dan kehilangan material. Penelitian *tribological* untuk meningkatkan efisiensi energi bertujuan untuk :

- a. Pengurangan bahan dan energi yang hilang karena keausan
- b. Pengurangan kehilangan energi akibat gesekan
- c. Konservasi energi dan sumber daya tak terbarukan dengan kehidupan memperpanjang siklus hidup komponen
- d. Mengurangi atau tidak menggunakan pelumas pada dua permukaan yang bergesekan dengan gaya gesek yang lemah.

Studi *tribological* telah efektif mengurangi keausan, gesekan, dan penggunaan pelumas dari permukaan yang berinteraksi dalam gerakan relatif, yang mengarah ke fungsi efisien dari komponen yang saling berinteraksi lainnya dalam proses yang berhubungan dengan energi. Hilangnya progresif materi dari permukaan komponen yang saling berinteraksi oleh keausan menyebabkan hilangnya efisiensi secara bertahap, diikuti oleh kegagalan dini pada komponen, sehingga sangat mengurangi umur pakai dari komponen.

Abrasi didefinisikan sebagai kehilangan massa dari permukaan yang bertemu karena interaksi *tribological* dalam gerakan relatif. Definisi keausan tidak termasuk kehilangan dimensi dari deformasi plastik, meskipun keausan terjadi akan tetapi tidak ada massa yang hilang. Abrasi disebabkan oleh interaksi antara dua permukaan padat yang bergerak berlawanan pada lingkungan sekitarnya. Standard uji keausan dilakukan untuk menentukan jumlah kehilangan massa yang didapatkan setelah kondisi pengujian berlangsung. Contoh standard yang

digunakan adalah ASTM International untuk uji keausan yang dirumuskan oleh subkomite di bawah Komite ASTM G-2. Hasil uji keausan dilaporkan sebagai kehilangan jumlah volume ( $\text{mm}^3$ ). Koefisien keausan {K} dihitung dari hilangnya volume, beban yang digunakan pada pengujian, jarak luncur (*sliding distance*), dan kekerasan material. Data uji standar biasanya digunakan untuk peringkat bahan sesuai dengan sifat ketahanan aus untuk jenis uji keausan yang berbeda. Karakteristik tribologi yaitu, karakteristik untuk mengetahui nilai ketahanan aus (*wear resistance*) terhadap gesekan yang terjadi pada suatu benda. Salah satu karakteristik tribologi ini dapat dilakukan dengan uji *abrasive* yang menggesekkan *abraser* secara berulang-ulang dengan kecepatan putar tertentu ke permukaan sample pada piringan yang berputar [43].

## 2.6 Design of Experiment

*Design of Experiments* (DoE) dikembangkan dan diperkenalkan oleh Sir Ronald Fisher dari *University of London* dengan studinya tentang *Agricultural Experiment* pada tahun 1930. Fisher mengembangkan teori dan metode statistika dengan menerapkan pendekatan *analysis of variance* (ANOVA) sebagai metode primernya. Dalam buku desain eksperimennya yang pertama, Fisher menunjukkan bagaimana kesimpulan yang valid dapat ditarik secara efisien dari eksperimen yang berfluktuasi secara alami seperti suhu, kondisi tanah, dan curah hujan terhadap variabel gangguan. Meskipun metode DoE yang pertama kali digunakan dalam konteks pertanian, metode ini telah diterapkan dengan sukses di militer dan industri sejak tahun 1940. [44]

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. *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. [44]

Beberapa metode DoE yang sering digunakan yaitu *Factorial Design*, *Response Surface Method*, dan *Taguchi Method*. [44]

- ***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  $f$ . Tujuan dari percobaan faktorial adalah untuk mengetahui interaksi yang terjadi dari faktor yang kita uji terhadap level yang telah ditentukan.
- ***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.
- ***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. Ketika kombinasi faktor bernilai kontinu, maka RSM ini berguna untuk mengembangkan, meningkatkan, dan mengoptimalkan variabel respon. Tujuan akhir dari RSM adalah menentukan kondisi optimal pada faktor dan level yang telah ditetapkan dalam percobaan.

## **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

### **3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian**

Penelitian ini dilakukan di laboratorium Sentra Teknologi Polimer di kawasan PUSPITEK, Tangerang Selatan. Penelitian ini dilakukan pada bulan April s.d Juni 2016.

### **3.2 Alat dan Bahan Penelitian**

#### **3.2.1 Alat**

Alat yang digunakan pada penelitian ini (dapat dilihat pada lampiran A), yaitu :

- Plat ukuran 60x60
- *Roller fiberglass*
- *Mechanical Stirrer*
- *oven*
- *Rotary saw*
- *Universal testing machine*
- *Shimadzu AGS 10 kNG*
- *Burner*
- *Taber abraser*

#### **3.2.2 Bahan**

Bahan yang digunakan pada penelitian ini, yaitu:

- *Fiberglass (woven roving 600gr)*
- *Unsaturated polyester resin (yukalac 157)*
- *Catalyst (MEKP)*
- *Nanoclay (Nanocor® I.44PT)*
- *Aceton*

### **3.3 Variabel**

#### **3.3.1 Variabel Tetap**

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

**Wet :**

- % berat *fiberglass* ukuran 25x30 cm<sup>2</sup> (40% berat komposit)
- % berat campuran resin *Unsaturated polyester/nanoclay/catalyst* (60% berat komposit)
- % berat katalis (2% berat campuran resin)

**Dry :**

- % berat *fiberglass* ukuran 30x30 cm<sup>2</sup> (40% berat komposit)
- % berat campuran resin *Unsaturated polyester/nanoclay/catalyst* (60% berat komposit)
- Kecepatan pengadukan (1000 rpm)
- % berat katalis (2% berat campuran resin)

**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.

**Wet:**

- Waktu pengadukan ( 2, 16, 30 menit)
- % berat *nanoclay* (1%, 3%, 5% berat campuran resin)
- Kecepatan pengadukan ( 250, 1000, 1750 rpm)

**Dry :**

- Waktu pengadukan (2, 30 menit)
- % berat *nanoclay* (1%, 5%)

**3.4 Rancangan Percobaan**

Pada penelitian ini menggunakan analisis pengaruh %berat *nanoclay*, waktu pengadukan, dan kecepatan pengadukan. Rancangan percobaan yang digunakan dalam penelitian ini adalah dengan menggunakan *software Minitab* dan metode yang digunakan adalah *response surface, box behnken* seperti pada tabel 3.1. Kondisi operasi diaplikasikan dengan *Design of Experiment (DoE)* yang tersusun atas 3 faktor, persentase berat *nanoclay*, kecepatan pengadukan dan waktu proses yang masing-masing terdiri dari 3 level.

**Tabel 3.1 Rancangan Percobaan Proses Wet**

Level	Kode	<i>nanoclay</i> (%berat campuran resin)	Kecepatan Pengadukan (Rpm)	Waktu Pengadukan (menit)
Min	-1	1%	250 rpm	2 menit
Mid	0	3%	1000 rpm	16 menit
Max	1	5%	1750 rpm	30 menit

Hasil rancangan percobaan dengan menggunakan *Software* Minitab 16 disajikan pada Tabel 3.2 dengan menggunakan metode *Box Behnken, Response Surface*.

**Tabel 3.2 Formula Percobaan Proses Wet**

<i>Running</i>	<i>nanoclay</i> (%berat campuran resin)	Kecepatan Pengadukan (RPM)	Waktu Pengadukan (menit)
1	1	1000	30
2	3	1000	16
3	5	1000	2
4	3	1750	30
5	5	250	16
6	1	250	16
7	5	1000	30
8	3	1750	2
9	1	1750	16
10	3	250	2
11	3	250	30
12	1	1000	2
13	5	1750	16
14	3	1000	16
15	3	1000	16

Sedangkan pada proses *dry* menggunakan 2 faktor yaitu % berat *nanoclay* dan waktu *mixing* yang masing-masing terdiri dari 2 level. Kondisi operasi didapat dari hasil signifikasi data pada kondisi *wet*.

**Tabel 3.3 Rancangan Percobaan Proses Dry**

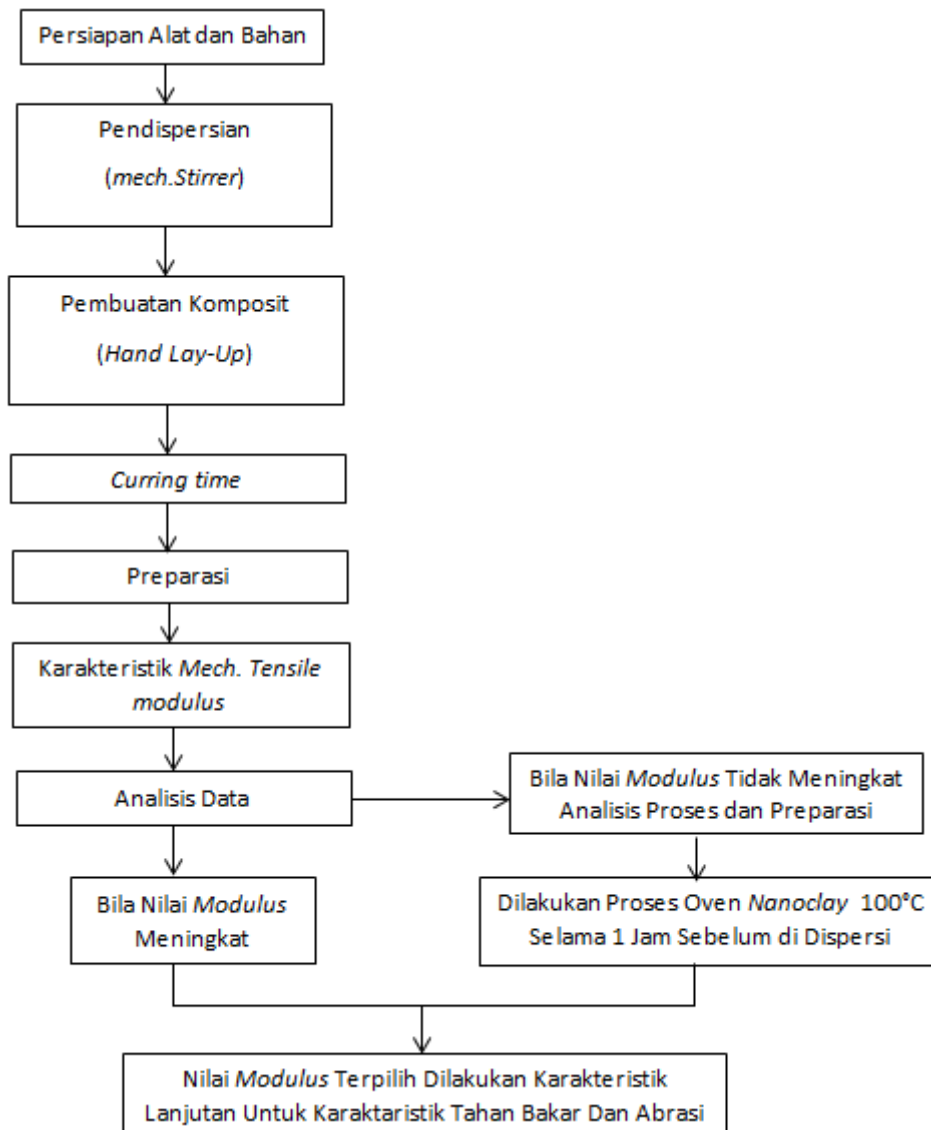
Level	<i>nanoclay</i> (%berat campuran resin)	Waktu Pengadukan (menit)
Min	1%	2
Max	5%	30

Hasil signifikasi pada kondisi *wet* digunakan untuk menyusun percobaan pada kondisi *dry* pada tabel 3.4.

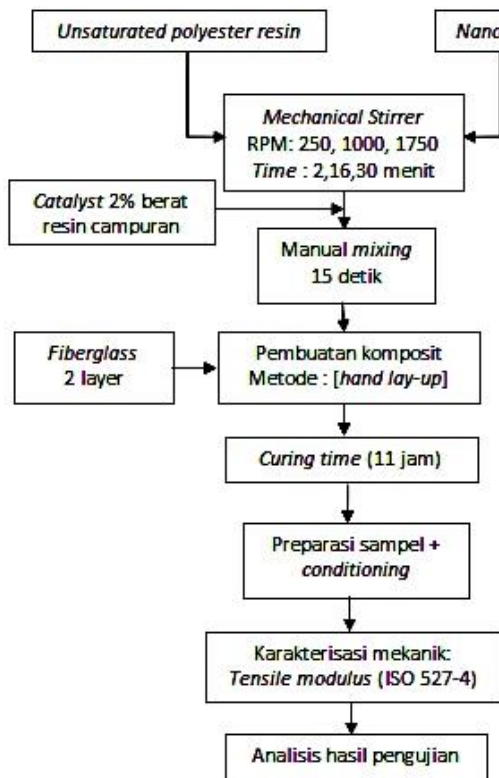
**Tabel 3.4 Formula Percobaan Proses Dry**

<i>Running</i>	<i>Nanoclay</i> (%berat campuran resin)	Kecepatan Pengadukan (RPM)	Waktu Pengadukan (menit)
1	1%	1000	2
2	1%	1000	30
3	5%	1000	2
4	5%	1000	30

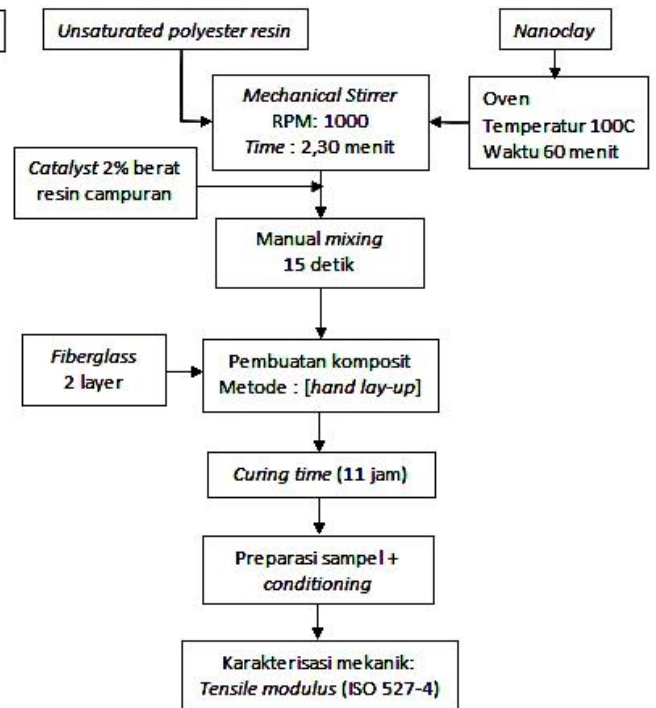
### 3.5 Skema Penelitian



Gambar 3. 1 Skema Penelitian Komposit



Gambar 3. 3 Skema Wet Process



Gambar 3. 2 Skema Dry Process

Kontrol yang dilakukan selama berlangsungnya penelitian pada laboratorium proses Sentra Teknologi Polimer adalah sebagai berikut :

- Pengaturan suhu ruangan selama proses pembuatan komposit adalah  $29 \pm 1^{\circ}\text{C}$ .
- Pengaturan *humidity* (kadar kelembaban) ruangan selama proses pembuatan  $75 \pm 2 \text{ RH}$ .
- Untuk proses *dry*, *nanoclay* yang sudah ditimbang dioven pada suhu  $100^{\circ}\text{C}$  selama 1 jam.
- Pre-mixing *nanoclay* ke dalam resin selama 30 detik.
- Penambahan hardener ke dalam resin yang telah di *mixing* selama 30 detik (timbang ulang).
- Hardener dan resin dicampurkan dengan hand *mixing* selama 15 detik.

### 3.6 Prosedur Penelitian

#### 3.6.1 Proses Pembuatan Komposit

Dalam pembuatan komposit *GFRP nanomodified* alat dan bahan harus dipersiapkan terlebih dahulu. Alat yang harus dipersiapkan antara lain, plat yang

sudah dilapisi *wax*, *mechanical stirrer* dengan *setting rpm* yang sesuai, dan *cup* untuk *mixing*, *roller*, sendok, kape yang sudah dibersihkan. Bahan-bahan yang digunakan adalah *fiberglass*, resin *unsaturated polyester*, *nanoclay* dan *catalyst (hardener)*. Bahan-bahan yang akan digunakan terlebih dahulu ditimbang sesuai dengan komposisi yang telah ditetapkan.

Selanjutnya *mechanical stirrer* sebagai alat yang digunakan pada proses pendispersian *nanoclay* ke dalam resin diatur pada kecepatan 1000 rpm. Kemudian plat yang akan dijadikan tempat pembuatan *GFRP nanomodified* dilapisi dengan *wax* untuk proses *hand lay-up*. Resin yang sudah ditimbang ditambahkan dengan *nanoclay* untuk kemudian dilakukan proses pengadukan. Proses pengadukan dilakukan pada wadah *cup*, waktu pencampuran selama 30 menit dengan 30 detik *pre-mixing* untuk menstabilkan kecepatan pengadukan 1000 rpm dengan suhu ruangan 29-30°C dan kelembaban ruangan 73-75%. Setelah resin dan *nanoclay* dimixing selama 30 menit kemudian ditambahkan *catalyst (hardener)* selama 30 detik dan diaduk secara manual menggunakan sendok selama 15 detik. Kemudian dilanjutkan dengan penuangan resin di atas *fiberglass* untuk proses *hand lay-up* dengan resin yang sudah tercampur oleh *nanoclay* menggunakan alas plat yang sudah dilapisi *wax*. Setelah seluruh resin dituangkan di atas *fiberglass*, resin diratakan ke seluruh permukaan *fiberglass*. Proses meratakan permukaan komposit selama proses *hand lay-up* menggunakan *roller* dan kape. Setelah proses *hand lay-up* selesai, komposit *GFRP nanomodified* akan mengalami proses *curing* selama +/- 11 jam. Komposit yang sudah *curing* akan dilanjut untuk proses preparasi sampel.

### **3.7 Pengujian**

#### **3.7.1 Uji Tensile Modulus**

Uji *tensile* adalah uji yang dilakukan dengan memberikan gaya penarikan pada kedua sisi specimen sampel dengan kecepatan yang ditentukan sesuai dengan *standard* uji yang digunakan untuk mengetahui berapa besar nilai *Modulus Elastis (E)* yang dimiliki dari suatu bahan. Pengujian *tensile modulus* dilakukan menggunakan *standard ISO 527-4* untuk jenis komposit laminasi. Pengujian dilakukan menggunakan alat *Universal Testing Machine SHIMADZU*

*type* AGS-10 kNG dengan kecepatan penarikan 2 mm/min. Hasil uji *tensile* dengan nilai *modulus* tertinggi diuji lebih lanjut seperti uji *Flammability* dan uji abrasi.

### 3.7.2 Uji *Flammability*

Uji *flammanility* adalah uji yang dilakukan untuk menghitung berapa lama suatu spesimen sampel dapat terbakar pada batas tertentu. Besarnya jumlah batas, dan metode pembakaran spesimen ditentukan sesuai dengan *standard* uji yang digunakan. Pengujian *Flammability* dilakukan berdasarkan *standard* uji UL-94 dengan metode *horizontal burning test*. Alat yang digunakan adalah penjepit statif dan burner yang diletakkan didalam ruang bakar (*burn chamber*).

### 3.7.3 Uji Abrasi

Pengujian abrasi ini dilakukan berdasarkan ASTM D-4060 dengan menggunakan *TABER INDUSTRIES type 5135 ABRASER (Rotary Platform Abraser)*. Uji ini bertujuan untuk menghitung berapa banyak massa yang hilang setelah dilakukan pengujian. Besar kehilangan massa didapat dari persamaan :

$$\% \text{ wt loss} = \frac{wt_1 - wt_2}{wt_1} \times 100\%$$

dimana:

wt<sub>1</sub> = massa komposit mula-mula (awal)

wt<sub>2</sub> = massa komposit setelah pengujian (ASTM D-4060)

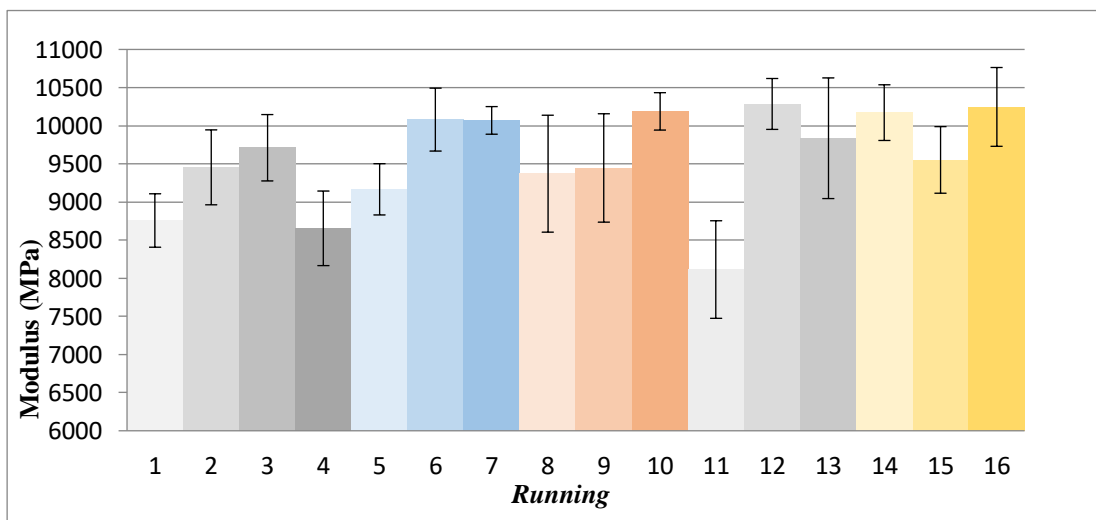
## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Tensile Modulus

Berdasarkan pengujian yang dilakukan pada alat UTM Shimadzu 10 kNG dengan menggunakan standar uji ISO 527-4, maka di dapat data sebagai berikut :

**Tabel 4.1 Hasil Uji Tensile Modulus (Wet Process)**

<i>Running</i>	NC [%wt resin campuran]	Kecepatan Pengadukan (RPM)	Waktu Pengadukan (menit)	Nilai Modulus (Mpa)
1	1	1000	30	8757
2	3	1000	16	9454
3	5	1000	2	9711
4	3	1750	30	8655
5	5	250	16	9166
6	1	250	16	10080
7	5	1000	30	10070
8	3	1750	2	9371
9	1	1750	16	9446
10	3	250	2	10190
11	3	250	30	8114
12	1	1000	2	10290
13	5	1750	16	9836
14	3	1000	16	10170
15	3	1000	16	9552
16	0	250	2	10240



**Gambar 4.1 Nilai Modulus (Wet Process)**

Dari data yang didapat, diketahui bahwa penambahan *nanoclay* pada resin yang digunakan sebagai matriks komposit dapat menaikkan nilai *Modulus* pada komposit tersebut [8, 11-13]. Lapisan silika pada layer-layer *nanoclay* mengalami proses *intercalated* atau *exfoliated* pada saat didispersikan di dalam resin menyebabkan bertambahnya kekuatan dan *Modulus* pada komposit [8, 11, 13].

Peningkatan nilai *Modulus* pada komposit dari uji *tensile* yang dilakukan tidak menunjukkan hasil seperti yang diinginkan. Dikarenakan variabel yang ada pada formula percobaan tidak saling menunjukkan keterkaitan satu sama lain. Dapat dilihat ketika parameter pengadukan dan waktu yang sama (250 rpm, 16 menit), penambahan *nanoclay* pada 1%wt memiliki nilai *Modulus* yang tinggi dibanding penambahan *nanoclay* sebesar 5%wt. Tetapi pada formula lainnya (waktu pengadukan 30 menit, dan kecepatan pengadukan 1000 rpm) dengan perbandingan persentase penambahan *nanoclay* yang sama yaitu 1%wt dan 5%wt, terjadi peningkatan nilai *Modulus* pada komposit, sehingga sulit untuk menentukan kondisi dan formula yang optimum.

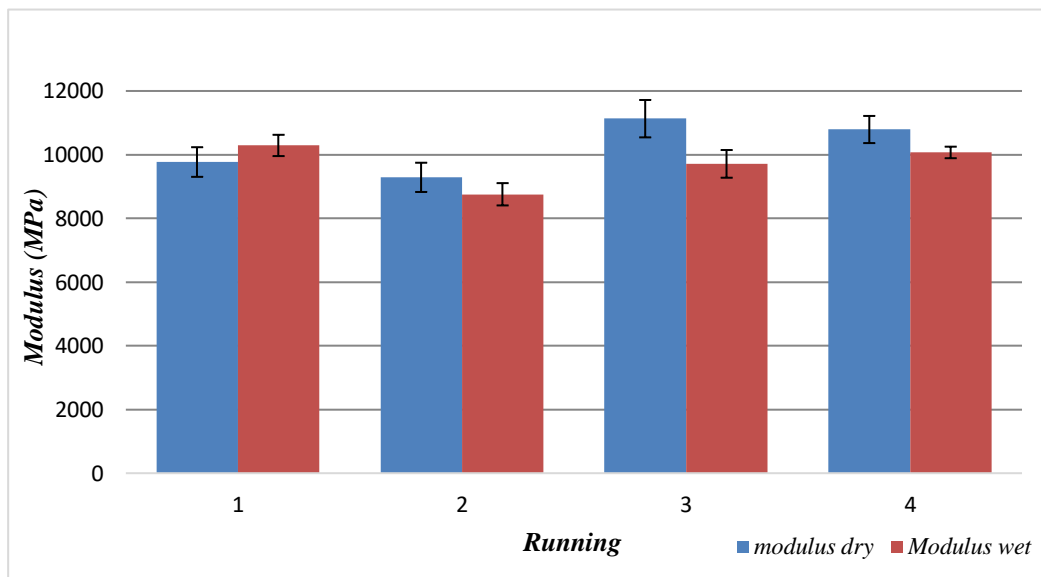
Percobaan dilakukan kembali dengan menghilangkan komponen air pada *nanoclay* terlebih dahulu (*dry process*) yang akan dicampurkan ke dalam resin seperti yang dilakukan pada penelitian sebelumnya [11, 15, 18]. *Dry Process* dilakukan untuk mengetahui apakah nilai *Modulus* pada komposit tetap mengalami kenaikan atau tidak. *Dry process* dilakukan dengan mengeringkan *nanoclay* yang akan dicampurkan terlebih dahulu ke dalam *oven* dengan temperatur pengeringan 100°C dan lama waktu pengeringan 60 menit. Pemilihan temperatur 100°C dilakukan dengan asumsi bahwa kandungan air pada *nanoclay* telah teruapkan pada temperatur tersebut.

#### **4.1.1 Perbandingan Nilai *Modulus***

Pada tabel 4.2, dapat dilihat perbedaan nilai *Modulus* pada kedua kondisi proses yang berbeda. *Nanoclay* yang dikeringkan terlebih dahulu meningkatkan nilai *Modulus* terkecuali pada waktu pengadukan 2 menit dengan persentase penambahan 1wt%, nilai *Modulus* mengalami penurunan 5,1% dari semula. Selebihnya, nilai *Modulus* meningkat masing-masing sebesar 6,06%; 14,6% dan 7,1%.

**Tabel 4.2 Perbandingan Nilai Modulus**

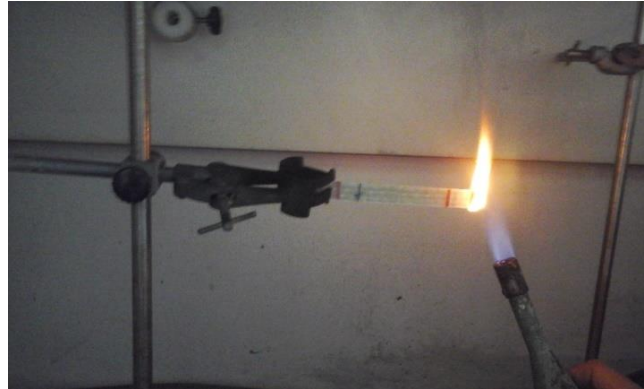
No.	<i>nanoclay</i> (%berat campuran resin)	Kecepatan Pengadukan (RPM)	Waktu Pengadukan (menit)	Nilai <i>Modulus</i> (MPa)
<i>Wet</i>				
1	1	1000	2	10290
2	1	1000	30	8757
3	5	1000	2	9711
4	5	1000	30	10070
<i>Dry</i>				
1	1	1000	2	9769
2	1	1000	30	9288
3	5	1000	2	11130
4	5	1000	30	10790



**Gambar 4.2 Perbandingan Nilai Modulus**

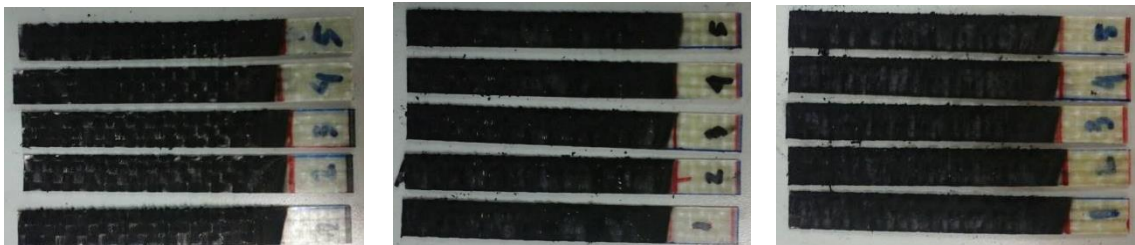
Ditinjau dari tabel tersebut bahwa proses pengeringan pada nanoclay mempengaruhi pertambahan nilai *Modulus*, karena nanoclay dapat berikatan dengan baik pada resin. Kenaikan nilai *Modulus* dipengaruhi oleh persentase pertambahan *nanoclay* dan waktu pengadukan. Kenaikan *Modulus* terbaik sebesar 14,6% didapat pada level pengadukan selama 2 menit dan penambahan *nanoclay* 5wt%. Hasil tersebut yang selanjutnya akan digunakan untuk uji *flammability* dan *wear abrasive*.

## 4.2 Ketahanan Bakar



Gambar 4.3 Proses Uji *Flammability*

Hasil uji *Flammability* yang dilakukan dengan menggunakan standar uji UL-94 dapat dilihat pada tabel 4.3. Terlihat perbedaan antara komposit yang tidak ditambahkan *nanoclay* dan yang ditambahkan. Komposit yang ditambahkan *nanoclay* memiliki ketahanan bakar yang lebih lama dibandingkan yang tidak [9,10]. Ini disebabkan karena sifat ekspansi panas pada *nanoclay* yang rendah dan kestabilan termalnya yang tinggi [41]. Kenaikan ketahanan bakar masing-masing adalah 1,8% (pada kondisi *wet*) dan 14,9% (pada kondisi *dry*).



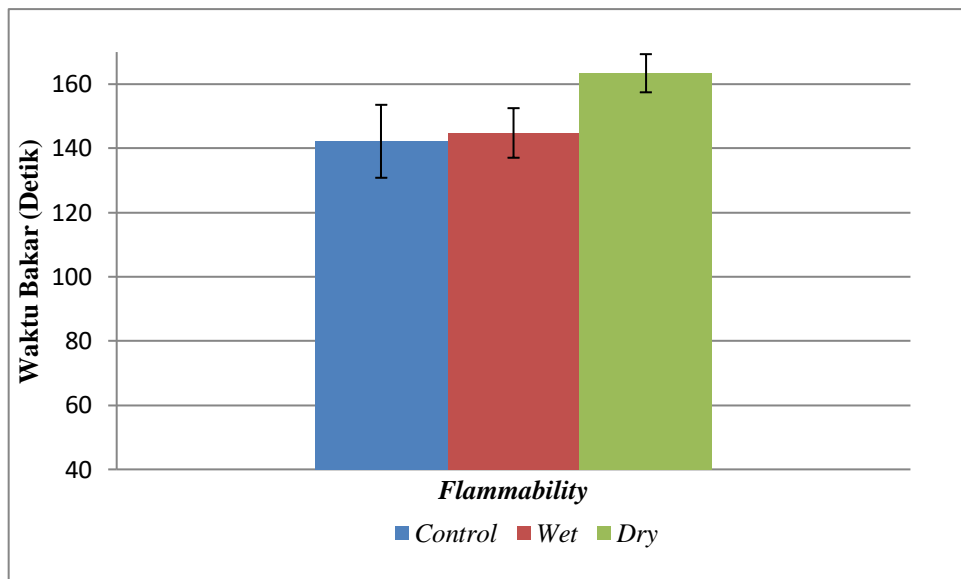
Gambar 4.4 Spesimen Hasil Uji *Flammability* (I: Control; II: Wet; III: Dry)

Tabel 4.3 Hasil Uji *Flammability*

NC	<i>Flammability</i>	<i>std. Dev</i>
Control (0%)	142,2 detik	11,4
Wet(5%)	144,8 detik	7,7
Dry(5%)	163,4 detik	5,9

Grafik IV 1 Hasil Uji *Flammability*

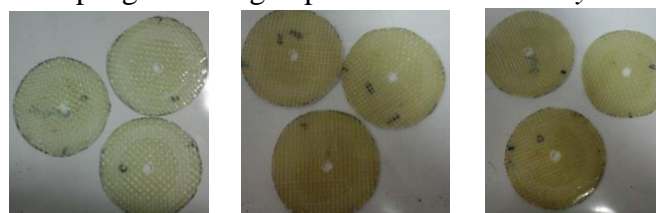
Ketahanan bakar yang dimiliki komposit ditunjukkan dengan lamanya komposit tersebut terbakar. Dapat dilihat pada tabel bahwa komposit pada proses *dry* memiliki waktu terlama untuk terbakar. Sehingga dapat mengindikasikan bahwa *nanoclay* berhasil memberikan kemampuan tahan bakar pada komposit [19].



Gambar 4.5 Hasil Uji *Flammability*

### 4.3 Ketahanan Abrasi

Hasil uji *abrasive* menggunakan alat *Taber Abraser* dengan menggunakan metode standar uji ASTM D4060 dapat dilihat pada tabel IV.4. Penambahan *nanoclay* bertujuan untuk meningkatkan ketahanan terhadap abrasi [15, 17] karena peran mineral-mineral yang ada pada *nanoclay* seperti  $TiO_2$ ,  $Al_2O_3$ ,  $SiO_2$ ,  $ZrO$ ,  $SiC$ , dan  $Si_3N_4$  [17]. Peneliti lain mengatakan bahwa *nanoclay* adalah *filler* yang paling baik yang digunakan untuk mengurangi abrasi yang terjadi [16]. Dari data yang didapat, komposit yang ditambahkan *nanoclay* belum dapat meningkatkan ketahanan abrasinya. Persentase kehilangan massa (*mass loss*) tidak banyak berpengaruh dengan penambahan *nanoclay*.

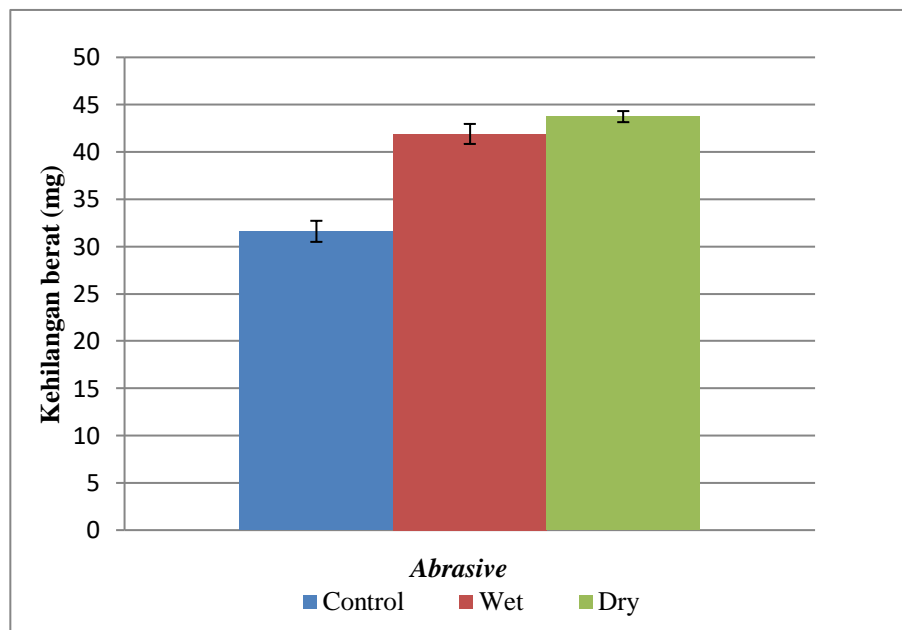


Gambar 4.6 Spesimen Hasil Uji *Abrasive*

**Tabel 4.4 Hasil Uji Abrasive**

<i>NC</i>	<i>mass loss (mg)</i>	<i>%mass loss</i>
<i>Control (0 %)</i>	31,6	0,16%
<i>Wet (5%)</i>	41,9	0,20%
<i>Dry (5 %)</i>	43,7	0,21%

Teori yang menyatakan bahwa *nanoclay* digunakan sebagai anti-wear [15-17] belum dapat dibuktikan pada hasil pengujian ini. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kehilangan massa komposit yang menambahkan *nanoclay* pada resin *unsaturated polyester* tidak banyak signifikan berpengaruh dibandingkan dengan kehilangan massa komposit yang tidak ditambahkan *nanoclay* pada resin *unsaturated polyester*.



**Gambar 4.7 Hasil Uji Abrasive**

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan penelitian yang kami lakukan, maka dapat disimpulkan :

1. Formula dan kondisi optimum pendispersian *nanoclay* adalah pada level penambahan *nanoclay* sebesar 5%wt resin campuran, waktu pengadukan 2 menit dan kecepatan pengadukan 1000 rpm dengan kondisi *nanoclay* kering (telah dioven).
2. Pengaruh penambahan *nanoclay* pada sifat tahan bakar dan tribologi komposit *fiberglass/unsaturated polyester* :
  - Sifat ketahanan bakar pada komposit meningkat 20 detik (14,9%) dibandingkan dengan komposit tanpa *nanoclay* karena silika dari *nanoclay* yang didispersi dapat melapisi resin, sehingga dapat meningkatkan sifat ketahanan bakar[41].
  - Sifat ketahanan abrasi (salah satu sifat tribologi) pada komposit belum dapat ditingkatkan dengan penambahan *nanoclay*. Besarnya persentase kehilangan massa pada komposit yang menggunakan *nanoclay* dengan proses *dry* (0,21% kehilangan massa) tidak berbeda jauh dengan komposit tanpa penambahan *nanoclay* (0,16%), dimungkinkan karena ini disebabkan dari proses pendispersian *nanoclay* yang kurang sempurna sehingga tidak terlihat kenaikan ketahanan abrasinya [17].

#### **5.2 Saran**

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

1. Bahan-bahan pembuatan komposit *nanoclay* harus disimpan dengan baik.
2. Suhu ruangan selama fabrikasi komposit *nanoclay* harus stabil.
3. Agar melakukan proses penghilangan air pada partikel *nanoclay* terlebih dahulu.
4. *Nanoclay* pada proses *dry* harus segera dicampurkan setelah keluar dari oven.
5. Pelapisan *wax* pada plat alas pembuatan komposit harus merata, karena mempengaruhi hasil permukaan komposit.

6. Pengujian sampel harus menggunakan alat yang sesuai dengan standar yang digunakan.
7. Lebih baik menggunakan pendispersan untuk membantu proses pendispersian *nanoclay*.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Awad,Ziad K., Thiru Aravinthan, Yan Zhuge, 2012, *Investigation of the free vibration behaviour of an innovative GFRP sandwich floor panel*, Construction and Building Materials, 37 209–219.
2. Gao, Y., J.Chen, Z.Zhang, D. Fox, 2013, *An advanced FRP floor panel system in buildings*, Composite Structures: 96 683–690.
3. Garrido, Mario, João R. Correia, Thomas Keller, 2016, *Effect of service temperature on the flexural creep of vacuum infused GFRP laminates used in sandwich floor panels*, Composites: Part B 90, 160-171.
4. Sepahvand, K, 2016, *Spectral stochastic finite element vibration analysis of fiber-reinforced composites with random fiber orientation*, Composite Structures, 145, 119–128.
5. Craver, C. D, Charles E. C, Jr, 2000, *Applied Polymer Science 21st Century*, United Kingdom.
6. Koronis, Georgios, Arlindo Silva, Mihail Fontul, 2013, *Green composites: A review of adequate materials for automotive applications*, Composites: Part B 44. 120–127.
7. Puggal, Shivraj, Sumit Mahajan, Novepreet Dhall, 2014, *A Study On Glass Fiber Reinforced Polymer-Clay Nanocomposites With Sandwich Structure*, International Journal of Research in Engineering and Technology, 7.
8. Jo, Byung-Wan, Seung-Kook Park, Do-Keun Kim, 2008, *Mechanical properties of nano-MMT reinforced polymer composite and polymer concrete*, Construction and Building Materials, 22, 14–20.
9. Pereira, C.M.C, M. Herrero, F.M. Labajos, A.T. Marques, V. Rives, 2009, *Preparation and properties of new flame retardant unsaturated polyester nanocomposites based on layered double hydroxides*, Polymer Degradation and Stability, 94.
10. Bozkurt Emrah, Elc in Kaya, Metin Tanoğlu, 2007, *Mechanical and thermal behavior of non-crimp glass fiber reinforced layered clay/epoxy nanocomposites*, Composites Science and Technology, 67 3394–3403.
11. Dhakal, H.N, Z.Y.Zhang, M.O.W Richardson, 2006, *Nanoindentation behaviour of layered silicate reinforced unsaturated polyester nanocomposites*, Polymer Testing, 25, 846–852.

12. Shokrieh, Mahmood M, Amir R. Kefayati , Majid Chitsazzadeh,2012, *Fabrication and mechanical properties of clay/epoxy nanocomposite and its polymer concrete*, Materials and Design, 40 443–452.
13. Kanny, K,T.P. Mohan, 2014,*Resin infusion analysis of nanoclay filled glass fiber laminates*, Composites: Part B, 58, 328–334.
14. Yuan, Li, Xiao-yan Ma, Guo-zheng Liang, Hong-xia Yan, 2007, *Fibre reinforced organic rectorite/unsaturated polyester composites*, Composites Science and Technology, 67 2311–2322.
15. Albdiry,M.T,B.F. Yousif, 2013,*Morphological structures and tribological performance of unsaturated polyester based untreated/silane-treated halloysite nanotubes*, Materials and Design, 48 68–76.
16. Lin, Jin-Chein, 2007, *Compression and wear behavior of composites filled with various nanoparticles*, Composites: Part B, 38, 79–85.
17. Jawahar, P, R. Gnanamoorthy, M. Balasubramanian, 2006,*Tribological behaviour of clay – thermoset polyester nanocomposites*, Wear, 261, 835–840.
18. Lertwimolnun, W., B. Vergnes, 2005. *Influence of compatibilizer and processing conditions on the dispersion of nanoclay in a polypropylene matrix*, Polymer, 46, 3462–3471 .
19. Maa, Peng-Cheng, 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.
20. Du, J-H., J. Bai, H-M. Cheng, 2007,*The present status and key problems of carbon nanotube based polymer composites*. eXPRESS Polymer Letters Vol.1, No.5.
21. Moniruzzaman, Mohammad and Karen I. Winey, 2006, *Polymer Nanocomposites Containing Carbon Nanotubes*, Research Gate, Macromolecules, 39, 5194-5205.
22. Haggenueller, Reto John E. Fischer, and Karen I. Winey, 2006, *Single Wall Carbon Nanotube/Polyethylene Nanocomposites: Nucleating and Templating Polyethylene Crystallites*, American Chemical Society Macromolecules, 39, 2964-2971.

23. Gu, Huang, 2009, *Behaviours of glass fibre/unsaturated polyester composites under seawater environment*, *Materials and Design*, 30, 1337–1340.
24. Sindu, S. Yu Bai, Xiao-Ling Zhao, 2014, *Adhesively bonded modular GFRP web-flange sandwich for building floor construction*, *Composite Structures*, 111, 381-392.
25. Lee, G.-W., N.-J. Lee, J. Janga, K.-J. Lee, J.-D. Nam, 2002, *Effects of surface modification on the resin-transfer moulding (RTM) of glass-fibre/unsaturated-polyester composites*, *Composites Science and Technology* 62.
26. Elkington, M., D. Bloom, C. Ward, A. Chatzimichali dan K. Potter, 2015, *Hand layup: understanding the manual process*, *Advanced Manufacturing: Polymer & Composites Science*.
27. Cairns, Douglas S. Ton D. Skramstad, and John F, 2001, *Mandell. Evaluation Of Hand Lay-Up And Resin Transfer Molding In Composite Wind Turbine Blade Structures*. American Institute of Aeronautics & Astronautics, 24.
28. Kaw, Autar K, 2006, *Mechanics of Composite Materials Second Edition*. Taylor & Francis Group, LLC.
29. Gibson, Ronald F, 1994, *Principles of Composite Material Mechanics*. United States of America. McGraw-Hill, Inc.
30. Othmer, Kirk, *Encyclopedia of Chemical Technology, Volume 7 Fourth Edition, Composite Material to Detergency*.
31. EdwardsU, K.L, 1998, *An Overview of The Technology of Fibre-Reinforced Plastics For Design Purposes*. *Materials and Design*, 19, 1-10.
32. Billmeyer, Fred W,JR, 1984, *Text Book of Polymer Science Third Edition*, A Wiley-Interscience Publication.
33. Biron, Michel, 2014, *Thermosets and Composites*, <http://dx.doi.org/10.1016/B978-1-4557-3124-4.00006-7>.
34. Fink, 2013, *Reactive Polymers Fundamentals and Applications*, <http://dx.doi.org/10.1016/B978-1-4557-3149-7.00004-8>.
35. Goodman, Sidney H, 1998, *Handbook of Thermoset Plastics, Ed. 2*, New Jersey, Nyes Publications.

36. Bharat Dholakiya, 2012, *Unsaturated polyester Resin for Specialty Applications*.
37. Segovia, F, C. Ferrer, M.D. Salvador, V. Amigó, 2001, *Influence of Processing Variables on Mechanical Characteristics of Sunlight Aged Polyester-Glass Fibre Composites*, *Polymer Degradation and Stability*, 71 179-184.
38. Pickering, K.L, M.G. Aruan Efendy, T.M. Le, 2016, *A Review of Recent Developments in Natural Fibre Composites and Their Mechanical Performance*. *Composites: Part A*. 83, 98–112.
39. Isa, M.T, A.S. Ahmed, B.O. Aderemi, R.M. Taib, I.A. Mohammed-Dabo, 2013, *Effect of Fiber Type and Combinations on The Mechanical, Physical and Thermal Stability Properties of Polyester Hybrid Composites*, *Composites: Part B* 52 217–223.
40. Wallenberger, Frederick, T. James C. Watson, and Hong Li, PPG Industries, Inc, 2001, *Glass Fibers*. ASM Handbook, Vol. 21: Composites (#06781G).
41. Faheem Uddin, 2008, *Clays, Nanoclays, and Montmorillonite Minerals*, Research Gate.
42. Hao, Tang, Zhou Xiao-Bai, Liu Xiao-Lu. *Effect of Magnesium Hydroxide on the Flame Retardant Properties of Unsaturated Polyester Resin*. *Procedia Engineering*, 52, 336-341.
43. R. Chattopadhyaya,., 2014. *Green Tribology*. ASM International.
44. D, Aninditha K. 2012. *Design of Experiments Sebagai Salah Satu Pendekatan Peningkatan Kualitas Produk di Industri Manufaktur*. <https://anindithakemala.wordpress.com/2012/03/27/design-of-experiments-sebagai-salah-satu-pendekatan-peningkatan-kualitas-produk-di-industri-manufaktur/>.

## LAMPIRANA

- **Alat Dan Bahan**



*Mechanical Stirrer*



*Rotary saw*



*Kape, sendok, dan roller fiberglass*



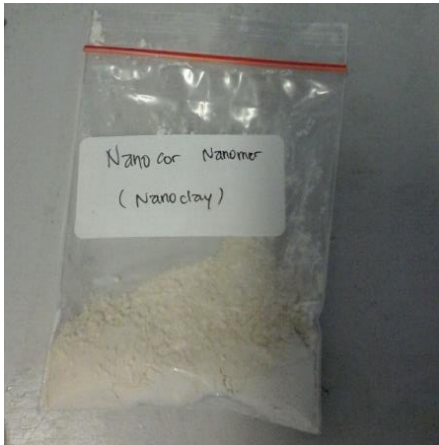
*oven*



*Spatula dan cawan*



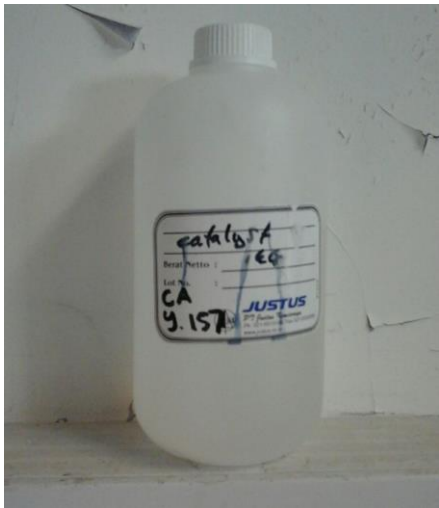
*wax*



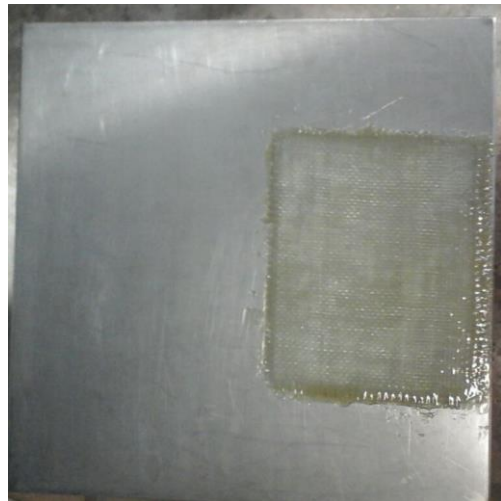
*nanoclay*



*Cup mixing*



*Catalyst MEKP*



*Plat 60x60 (alas hand lay-up)*



*Unsaturated polyester(yukalac 157)*



*Fiberglass*



*Aceton*

- **Alat Pengujian**

UTM Shimadzu 10kNG



Uji *Flammability*



Taber 5135 Abraser



## LAMPIRAN B

### Uji Tensile *Modulus* ISO-527.4

#### Proses *wet*

spesimen	<i>Modulus (MPa)</i>							
	<i>running</i> 1	<i>running</i> 2	<i>running</i> 3	<i>running</i> 4	<i>running</i> 5	<i>running</i> 6	<i>running</i> 7	<i>running</i> 8
1	8360	10310	9932	8804	8955	10600	10190	8927
2	8442	9329	10260	8224	9405	10440	10160	8625
3	8847	9355	9586	9417	9210	9867	9940	9856
4	9194	9077	9691	8252	8714	9834	10240	10470
5	8943	9199	9085	8577	9546	9662	9819	8979
rata-rata	8757,2	9454,0	9710,8	8654,8	9166,0	10080,6	10069,8	9371,4
st.dev	350,2	491,3	435,4	489,2	336,3	412,5	181,2	766,5

Spesimen	<i>Modulus (MPa)</i>							
	<i>running</i> 9	<i>running</i> 10	<i>running</i> 11	<i>running</i> 12	<i>running</i> 13	<i>running</i> 14	<i>Running</i> 15	<i>running</i> 16
1	9208	10350	8246	10730	11000	9718	8920	9671
2	9913	9821	9140	10360	10070	10140	10130	10110
3	8338	10440	7994	10030	9874	9930	9624	10480
4	9632	10080	7677	10420	9285	10580	9433	9962
5	10140	10250	7513	9887	8949	10490	9651	11010
rata-rata	9446,2	10188,2	8114,0	10285,4	9835,6	10171,6	9551,6	10246,6
st.dev	710,4	244,9	639,7	333,7	790,8	365,1	436,7	516,8

#### Proses *dry*

Spesimen	<i>Modulus (Mpa)</i>			
	<i>running</i> 1	<i>running</i> 2	<i>running</i> 3	<i>running</i> 4
1	10510	9888	11510	10370
2	9255	9319	11910	10750
3	9682	8967	10990	10520
4	9828	8727	10430	11480
5	9571	9539	10790	10810
rata-rata	9769,2	9288	11126	10786
st. Dev	464,63179	458,7276	586,9242	426,4153

Uji Flammability UL-94, horizontal burning test

*control*

No.	Ukuran Spesimen			Time	L
	Panjang	Lebar	Tebal		
	mm	mm	mm		
1	125	13,87	1,44	157	75
2	125	13,67	1,41	150	75
3	125	13,47	1,47	138	75
4	125	13,28	1,49	138	75
5	125	13,56	1,48	128	75
Rata-rata	125	13,57	1,458	142,2	75
st.dev	0	0,220341	0,032711	11,36662	0

*wet*

No.	Ukuran Spesimen			Time	L
	Panjang	Lebar	Tebal		
	mm	mm	mm		
1	125	13,9	1,46	137	75
2	125	13,18	1,45	152	75
3	125	13,69	1,5	151	75
4	125	13,5	1,52	148	75
5	125	13,27	1,48	136	75
Rata-rata	125	13,508	1,482	144,8	75
st.dev	0	0,29626	0,028636	7,726578	0

*dry*

No.	Ukuran Spesimen			Time	L
	Panjang	Lebar	Tebal		
	mm	mm	mm		
1	125	13,83	1,6	163	75
2	125	13,83	1,49	172	75
3	125	13,3	1,47	157	75
4	125	13,85	1,48	159	75
5	125	13,59	1,55	166	75
Rata-rata	125	13,68	1,518	163,4	75
st.dev	0	0,237908	0,055408	5,94138	0

Uji Abrasive ASTM D-4060

*control*

no. Spesimen	berat sebelum uji (mg)	berat sesudah uji (mg)	<i>mass loss</i> (mg)	<i>% mass loss</i>
1	20088,7	20058,3	30,4	0,1513%
2	20059,7	20027,1	32,6	0,1625%
3	19973,7	19941,9	31,8	0,1592%
rata-rata			31,6	0,1577%
<i>st.dev</i>			1,11	0,000057

*wet*

no. Spesimen	berat sebelum uji (mg)	berat sesudah uji (mg)	<i>mass loss</i> (mg)	<i>% mass loss</i>
1	20430	20387,3	42,7	0,2090%
2	20803,3	20761	42,3	0,2033%
3	21090,9	21050,2	40,7	0,1930%
rata-rata			41,9	0,2018%
<i>st.dev</i>			1,06	0,000081

*dry*

no. Spesimen	berat sebelum uji (mg)	berat sesudah uji (mg)	<i>mass loss</i> (mg)	<i>% mass loss</i>
1	20703,6	20659,2	44,4	0,2145%
2	21574	21530,7	43,3	0,2007%
3	19502,5	19459	43,5	0,2230%
rata-rata			43,7	0,2127%
<i>st.dev</i>			0,59	0,000113