



**PENGARUH VARIASI SUHU SIKLUS TERMAL TERHADAP
KEKUATAN MEKANIS KOMPOSIT *POLYESTER* SABUT
KELAPA DENGAN ADITIF *MONTMORILLONITE***

SKRIPSI

Diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat
untuk menyelesaikan Program Studi Teknik Mesin (S1)
dan mencapai gelar Sarjana Teknik

Oleh :

Iqbal Varian Sembada
141910101065

**PROGRAM STRATA 1 TEKNIK
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2018**



**PENGARUH VARIASI SUHU SIKLUS TERMAL TERHADAP
KEKUATAN MEKANIS KOMPOSIT *POLYESTER* SABUT
KELAPA DENGAN ADITIF *MONTMORILLONITE***

SKRIPSI

Diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat
untuk menyelesaikan Program Studi Teknik Mesin (S1)
dan mencapai gelar Sarjana Teknik

Oleh :

**Iqbal Varian Sembada
141910101065**

**PROGRAM STRATA 1 TEKNIK
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER**

2018

PERSEMBAHAN

Dengan segala puja dan puji syukur kepada Tuhan yang Maha Esa dan atas dukungan dan do'a dari orang – orang tercinta, akhirnya skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik dan tepat pada waktunya. Oleh karena itu, dengan rasa bangga dan bahagia saya mengucapkan syukur dan terimakasih saya kepada:

1. Papa dan Mamaku tercinta, Papa Didik Harsono dan Mama Wilis .
2. Kakak dan adikku tersayang, Ardhy,Dana, Rizal, Puri, Aldo,Faza Dan Vikto.
3. Calon mertuaku yang saya hormati.
4. Calon istriku tercinta dan tersayang, Nisrina Nur Athayya.
5. Guru-guruku dari taman kanak-kanak sampai dengan perguruan tinggi.
6. Semua dosen Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember yang senantiasa menularkan ilmunya
7. Semua teman dan tim riset material yang telah memotivasi serta mendukung penuh.
8. Almamater yang saya banggakan Fakultas Teknik Jurusan Teknik Mesin Universitas Jember.

Terimakasih yang sebesar-besarnya untuk kalian semua, akhir kata saya persembahkan skripsi ini untuk kalian semua, orang-orang yang saya sayangi. Dan semoga skripsi ini dapat bermanfaat dan berguna untuk kemajuan ilmu pengetahuan di masa yang akan datang, Aamiinnn.

MOTTO

“Barangsiapa yang memudahkan urusan orang mukmin maka Allah akan memudahkannya urusan dunia dan akhirat(H.R Muslim)”

“Knowledge is everything (Iqbal Varian Sembada)”



PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Iqbal Varian Sembada

NIM : 141910101065

Judul Skripsi : “Pengaruh Variasi Suhu Siklus Termal Terhadap Kekuatan Mekanis Komposit *Polyester* Sabut Kelapa Dengan Aditif *Montmorillonite*”

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa penulisan skripsi ini dengan judul Pengaruh Variasi Suhu Siklus Termal Terhadap Kekuatan Mekanis Komposit *Polyester* Sabut Kelapa Dengan Aditif *Montmorillonite* berdasarkan hasil penelitian, pemikiran dan pemaparan asli dari saya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya belum pernah diajukan pada insitusi manapun dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa ada tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata dikemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 5 Mei 2018

Menyatakan,

Iqbal Varian Sembada

141910101065

SKRIPSI

**PENGARUH VARIASI SUHU SIKLUS TERMAL TERHADAP
KEKUATAN MEKANIS KOMPOSIT *POLYESTER* SABUT
KELAPA DENGAN ADITIF *MONTMORILLONITE***

Oleh
Iqbal Varian Sembada
141910101065

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Mochamad Edoward Ramadhan, S.T.,M.T.

Dosen Pembimbing Anggota : Sumarji, S.T., M.T.

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Pengaruh Variasi Suhu Siklus Termal Terhadap Kekuatan Mekanis Komposit *Polyester* Sabut Kelapa Dengan Aditif *Montmorillonite*” karya Iqbal Varian Sembada telah diuji dan disahkan pada:

hari, tanggal :

tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim Penguji:

Ketua,

Sekretaris,

Hari Arbiantara, S.T.,M.T

Dr.Salahudin Junus, ST.,M.T.

NIP. 19670924 199412 1 001

NIP. 19751006 200212 1 002

Anggota I

Anggota II

Moch.Edoward R. S.T.,M.T.

Sumarji, S.T.,M.T.

NIP. 19870430 201404 1 001

NIP. 19680202 199702 1 001

Mengesahkan

Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember,

Dr. Ir. Entin Hidayah, M. UM.

NIP. 19661215 199503 2 001

RINGKASAN

Pengaruh Variasi Suhu Siklus Termal Terhadap Kekuatan Mekanis Komposit *Polyester Sabut Kelapa Dengan Aditif Montmorillonite*; Iqbal Varian Sembada, 141910101065; 2018 : Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Komposit merupakan perpaduan dari bahan yang dipilih berdasarkan kombinasi sifat fisik masing-masing material penyusun untuk menghasilkan material baru dengan sifat yang baru dibandingkan sifat material dasar sebelum dicampur dan terjadi ikatan permukaan antara masing-masing material penyusun. Dari campuran tersebut akan dihasilkan material komposit yang mempunyai sifat mekanik dan karakteristik yang berbeda dari material pembentuknya. Perkembangan penggunaan komposit menggunakan partikel *montmorillonite* saat ini terbukti dapat menambah kekuatan tarik komposit ketika terkena beban termal.

Dalam penelitian ini dilakukan pada komposit serat kelapa fraksi volume *montmorillonite* 0%, 10%,20% dan 30%. Komposit tersebut juga diberi perlakuan siklus termal pada suhu ruangan 30°C, 50 °C dan 100 °C. Kekuatan tarik tertinggi pada fraksi volume *montmorillonite* 20% pada *non* pembebanan siklus termal yaitu sebesar 20.12 MPa dan kekuatan tarik terendah pada fraksi volume *montmorillonite* 0% pada pembebanan siklus termal 100°C yaitu sebesar 5.92 MPa. Pada pengujian kekuatan *bending* didapat pada komposit fraksi volume *montmorillonite* 20% pada *non* pembebanan siklus termal yaitu sebesar 53.39 MPa dan kekuatan *bending* terendah pada fraksi volume *montmorillonite* 0% pada pembebanan siklus termal 100°C yaitu sebesar 22.57 MPa.

Penelitian ini menyimpulkan kekuatan tarik komposit dipengaruhi oleh jumlah fraksi volume *montmorillonite* dan perlakuan siklus termal. Semakin tinggi fraksi volume *montmorillonite* maka kekuatan tarik dan *bending* komposit juga semakin besar. Sedangkan semakin tinggi suhu siklus termal maka kekuatan tarik komposit akan semakin berkurang.

SUMMARY

Composite is a combination of selected materials based on the combination of physical properties of each constituent material to produce new material with new properties compared to the basic material properties before mixing and surface bonding occurs between each constituent material. From the mixture will be produced a composite material that has mechanical properties and characteristics different from the based material. The development of composite use using montmorillonite particles is now shown to increase the tensile strength of composites when exposed to thermal loads. For this composite application as panel.

In this research, coconut fiber composite fraction of montmorillonite volume 0%, 10%, 20% and 30%. The composites are also given thermal cycling treatment at room temperature 30 ° C, 50 °C and 100 °C. The highest tensile strength at 20% montmorillonite volume fraction on non thermal cycling loading is 20.12 MPa and the lowest tensile strength at 0% montmorillonite volume fraction on thermal cycling loading of 100°C is 5,92 MPa. In bending strength test obtained on composite fraction of montmorillonite volume 20% at non thermal cycling loading that is equal to 53.39 MPa and lowest bending strength at 0% montmorillonite volume fraction on thermal cycling loading of 100°C which is equal to 22.57 MPa.

This study concludes that composite tensile strength is influenced by montmorillonite volume fraction and thermal cycling treatment. The higher the montmorillonite volume fraction the tensile strength and composite bending are also greater. While the higher the thermal cycle temperature, the composite tensile strength will decrease.

PRAKATA

Segala puji syukur kehadirat Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah-Nya yang telah diberikan, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik. Shalawat serta salam semoga tetap tercurahkan kepada Nabi Muhammad SAW. Sebagai sumber inspirasi dan panutan umat manusia dalam menjalani kehidupan di dunia ini.

Skripsi yang berjudul “Pengaruh Variasi Suhu Siklus Termal Terhadap Kekuatan Mekanis Komposit *Polyester* Sabut Kelapa Dengan Aditif *Montmorillonite*” ini diajukan guna untuk memenuhi salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan Strata Satu (S1) pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember. Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan bimbingan, dukungan, dan arahan kepada penulis selama penyusunan skripsi ini khususnya kepada :

1. Kedua orangtua dan keluarga, Papa Didik dan Mama Wilis atas segala bentuk kasih sayang, do'a dan dukungan yang tak hentinya diberikan kepada saya. Kakak dan adikku tersayang, Ardhy, Dana, Rizal, Puri, Aldo, Faza Dan Vikto.
2. Bapak Moch. Edward R. S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing Utama, serta Bapak Sumarji, S.T., M.T., selaku bapak dosen pembimbing anggota yang telah bersedia untuk meluangkan waktu dalam membimbing dan mengarahkan saya selama proses penelitian dan penyusunan skripsi ini dari awal sampai akhir.
3. Bapak Hari Arbiantara, S.T., M.T. selaku bapak dosen penguji I, dan Bapak Dr. Salahudin Junus, S.T., M.T. selaku bapak dosen penguji II yang telah memberikan kritik dan saran yang sangat membangun dalam penyusunan skripsi ini.
4. Seluruh staf pengajar dosen Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember yang telah banyak memberikan ilmu, pengetahuan, dan wawasan selama saya belajar di bangku perkuliahan.
5. Segenap teman-teman teknik mesin, khususnya angkatan 2014 yang telah banyak sekali berbagi ilmu dan pengalaman selama masa perkuliahan.

7. Semua pihak yang telah membantu proses penelitian dan penyusunan skripsi ini. Penulis menyadari bahwa sebagai manusia yang tak lepas kesalahan dan kekurangan, oleh karena itu diharapkan adanya kritik, saran, dan ide yang bersifat konstruktif demi kesempurnaan karya tulis skripsi ini dan penelitian berikutnya yang berkaitan. Semoga hasil dari penelitian pada skripsi ini dapat memberikan manfaat kepada berbagai pihak.



DAFTAR ISI

COVER	Error! Bookmark not defined.
PERSEMBAHAN	iii
MOTTO	iv
PERNYATAAN	v
PENGESAHAN	vii
RINGKASAN	viii
SUMMARY	ix
PRAKATA	x
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR TABEL	xviii
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	4
1.5 Manfaat Penelitian	4
1.6 Hipotesa	4
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Komposit	5
2.2 Klasifikasi Komposit	6
2.2.1 Penguat partikel.....	7
2.2.2 Penguat Serat.....	7

2.2.3	Komposit Struktural (<i>Structural Composite</i>).....	8
2.3	Komposit Serat Alam.....	9
2.4	<i>Polyester</i>.....	10
2.5	<i>Montmorillonite</i>.....	12
2.6	Teknik <i>Manufacturing</i> Komposit.....	12
2.6.1	<i>Hand lay-up</i>	12
2.6.2	<i>Filament winding</i>	13
2.6.3	Metode vakum.....	14
2.6.4	Metode penyemprotan.....	15
2.7	Siklus Termal.....	15
2.8	Uji Mekanik Komposit.....	16
2.8.1	Pengujian Tarik.....	16
2.8.2	Pengujian <i>Bending</i>	17
2.8.3	Pengujian Makro.....	18
2.8.4	Pengujian Mikro.....	18
BAB 3.	METODE PENELITIAN.....	19
3.1	Tempat dan Waktu Penelitian.....	19
3.2	Variabel Penelitian.....	19
3.3	Alat dan Bahan.....	20
3.3.1	Alat.....	20
3.3.2	Bahan.....	20
3.4	Prosedur Penelitian.....	20
3.4.1	Langkah-langkah Pembuatan Sampel.....	20
3.4.2	Pengujian Siklus termal.....	21
3.4.3	Pengujian tarik.....	22

3.4.4	Pengujian <i>bending</i>	22
3.5	Analisa Data	22
3.6	Diagram Alir	25
3.7	Rencana Penelitian	27
BAB 4. PEMBAHASAN		28
4.1	Data Bahan Penelitian	28
4.1.1	Spesifikasi Bahan	28
4.2	Data Hasil Penelitian	28
4.2.1	Hasil Kekuatan Uji Tarik Komposit	28
4.3	Pembahasan Dan Analisa Kekuatan Tarik	34
4.3.1	Analisa pengaruh fraksi <i>volume montmorillonite</i> terhadap kekuatan tarik	34
4.3.2	Analisa Pengaruh Variasi Suhu Siklus Termal Terhadap Kekuatan Tarik.....	36
4.3.3	Analisa Makro Patahan Uji Tarik	38
4.3.4	Analisa mikro patahan uji tarik.....	42
4.3.5	Analisa Error Alat Uji Tarik	44
4.4	Pembahasan Dan Analisa Kekuatan <i>Bending</i>	45
4.4.1	Analisa Pengaruh Fraksi <i>Volume Montmorillonite</i> Terhadap Kekuatan <i>Bending</i>	45
4.4.2	Analisa Pengaruh Variasi Suhu Siklus Termal Terhadap Kekuatan <i>Bending</i>	49
4.5	Pengujian Hipotesa	51
4.5.1	Uji Hipotesa Kekuatan Tarik	51
4.5.2	Uji Hipotesa Kekuatan <i>Bending</i>	54
BAB 5. PENUTUP		57
5.1	Kesimpulan	57

5.2	Saran.....	57
	LAMPIRAN.....	61



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Jenis komposit menurut jenis penguat (Callister, 2007)	7
Gambar 2.2 <i>Particulate Composite</i> (Hartanto, 2009)	7
Gambar 2.3 <i>Fiber Composite</i> (Widiatmoko, 2016)	8
Gambar 2.4 Komposit <i>Sandwich</i> (Widiatmoko, 2016).....	8
Gambar 2.5 Komposit laminat (Widiatmoko, 2016)	9
Gambar 2.6 Serat kelapa	10
Gambar 2.7 Resin <i>polyester</i> Yukalac 157 BQTN-EX.	11
Gambar 2.8 Genteng <i>montmorillonite</i>	12
Gambar 2.9 <i>Hand Lay-Up</i>	13
Gambar 2.10 <i>Filament Winding</i>	14
Gambar 2.11 Vakum	15
Gambar 2.12 Penyemprotan.....	15
Gambar 2.13 Standar persiapan sampel uji tarik (<i>standart</i> ASTM D 3039)	17
Gambar 2.14 Pengujian <i>Bending</i> ASTM D790.....	18
Gambar 3.1 Diagram Alir	26
Gambar 4.1 Grafik Data Kekuatan Tarik Komposit Pada Variasi Fraksi Volume MMT Tanpa Perlakuan Siklus	28
Gambar 4.2 Grafik Data Kekuatan Tarik Komposit Pada Variasi Fraksi Volume MMT Perlakuan Siklus Termal Suhu 50°C	29
Gambar 4.3 Grafik Data Kekuatan Tarik Komposit Pada Variasi Fraksi Volume MMT Perlakuan Siklus Termal Suhu 100°C	30
Gambar 4.4 Grafik Data Kekuatan <i>Bending</i> Komposit Pada Variasi Fraksi Volume MMT Tanpa Perlakuan Siklus	31
Gambar 4.5 Grafik Data Kekuatan <i>Bending</i> Komposit Pada Variasi Fraksi Volume MMT Perlakuan Siklus Termal Suhu 50°C	32

Gambar 4.6 Grafik Data Kekuatan <i>Bending</i> Komposit Pada Variasi Fraksi Volume MMT Perlakuan Siklus Termal Suhu 100°C	33
Gambar 4.7 Grafik Pengaruh Variasi Fraksi <i>Volume Montmorillonite</i> Terhadap Kekuatan Tarik.....	34
Gambar 4.8 Grafik Pengaruh Variasi Suhu Siklus Termal Terhadap Kekuatan Tarik	37
Gambar 4.9 Grafik Pengaruh Variasi Suhu Siklus Terhadap Kekuatan Tarik Polimer	38
Gambar 4.10 Patahan Komposit ASTM D3039	39
Gambar 4.11 Patahan Uji Tarik Komposit Kadar MMT 0%, 10%, 20%, Dan 30% Tanpa Perlakuan Siklus Termal	40
Gambar 4.12 Patahan Uji Tarik Komposit Kadar MMT 0%, 10%, 20%, Dan 30% Pada Pembebanan Suhu Siklus Termal 50°C.....	40
Gambar 4.13 Patahan Uji Tarik Komposit Kadar MMT 0%, 10%, 20%, Dan 30% Pada Pembebanan Suhu Siklus Termal 100°C.....	41
Gambar 4.14 Foto Mikro Spesimen Uji Tarik Fraksi <i>Volume</i> 0% MMT	42
Gambar 4.15 Foto Mikro Spesimen Uji Tarik Fraksi <i>Volume</i> 10% MMT	42
Gambar 4.16 Foto Mikro Spesimen Uji Tarik Fraksi <i>Volume</i> 20% MMT	43
Gambar 4.17 Foto Mikro Spesimen Uji Tarik Fraksi <i>Volume</i> 30% MMT	43
Gambar 4.18 Grafik Pengaruh Variasi Fraksi <i>Volume Montmorillonite</i> Terhadap Kekuatan <i>Bending</i>	46
Gambar 4.19 Foto Mikro Spesimen Uji <i>Bending</i> Fraksi <i>Volume</i> 0% MMT	47
Gambar 4.20 Foto Mikro Spesimen Uji <i>Bending</i> Fraksi <i>Volume</i> 10% MMT	47
Gambar 4.21 Foto Mikro Spesimen Uji <i>Bending</i> Fraksi <i>Volume</i> 20% MMT	48
Gambar 4.22 Foto Mikro Spesimen Uji <i>Bending</i> Fraksi <i>Volume</i> 30% MMT	48
Gambar 4.23 Grafik Pengaruh Variasi Suhu Siklus Termal Terhadap Kekuatan <i>Bending</i>	50

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Sifat Mekanis Serat Sabut Kelapa (Priya, 2014).....	10
Tabel 2.2 Spesifikasi <i>Polyester Yukalac 157</i> [®] BQTN-EX (Jumalik, 2016).....	11
Tabel 2.3 <i>Geometry Spesiment</i> ASTM D3039.....	16
Tabel 3.1 Variabel Bebas	19
Tabel 3.2 ANOVA 2 Arah dengan Interaksi (Sugiyono, 2007).....	23
Tabel 3.3 Rencana Penelitian.....	27
Tabel 4.1 Pengaruh Variasi Fraksi <i>Volume Montmorillonite</i> Terhadap Kekuatan Tarik	34
Tabel 4.2 Pengaruh Variasi Suhu Siklus Termal Terhadap Kekuatan Tarik	36
Tabel 4.3 Kode Patahan Uji Tarik.....	39
Tabel 4.4 Analisis error alat uji tarik	44
Tabel 4.5 Variasi Fraksi <i>Volume Montmorillonite</i> Terhadap Kekuatan <i>Bending</i> .	45
Tabel 4.6 Pengaruh Variasi Suhu Siklus Termal Terhadap Kekuatan <i>Bending</i> ...	49
Tabel 4.7 Data Statistik ANOVA Uji Tarik.....	51
Tabel 4.8 Data Statistik ANOVA Uji <i>Bending</i>	54

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan bidang *sains* dan teknologi menyulitkan bahan konvensional seperti logam untuk memenuhi keperluan aplikasi baru. Bidang penerbangan, perkapalan, *automobile* dan industri transportasi merupakan contoh aplikasi yang memerlukan bahan-bahan yang berdensitas rendah, tahan karat, kuat dan kokoh. Material komposit merupakan material yang sangat cocok digunakan untuk mengatasi masalah tersebut. Komposit memiliki kelebihan daripada logam terutama dari segi kekuatan yang dapat direkayasa, memiliki kekuatan yang tinggi, dan tahan terhadap korosi. Bahan komposit polimer tersusun dari beberapa polimer yaitu matrik dan *reinforcement*. Pada saat ini penggunaan material komposit telah banyak digunakan di berbagai bidang misalnya pada aplikasi struktural mulai dari aplikasi otomotif, aeromodelling dan kelautan sebagai pengganti bahan konvensional (Mallick, 2007).

Pada aplikasi alat transportasi (khususnya pada pembuatan kapal), material komposit harus tahan dengan temperatur tinggi yang berasal dari mesin kapal tersebut. Selain itu, material komposit harus tahan dengan temperatur rendah ketika mesin kapal dimatikan. Hal itu merupakan suatu masalah besar dari penggunaan polimer berpenguat serat (*Fiber Reinforced Polymer/ FRP*) pada aplikasi struktur teknik. Pada temperatur antara 100-200°C, FRP akan mengalami pelunakan dan *creep* menyebabkan kekuatan mekanis turun dan pada temperatur 300-500°C, komposit polimer akan terdekomposisi, melepaskan panas dan beracun (Azwa, 2013)

Pada penelitian sebelumnya untuk metode perlakuan siklus termal diperoleh hasil pengujian *bending* pada komposit *sandwich* yang telah mengalami perlakuan siklus termal. Secara umum, tegangan *bending* komposit *sandwich* mengalami penurunan secara signifikan bersamaan dengan peningkatan temperatur dan siklus. Sebesar 35,5 MPa pada temperatur ruang 25°C dengan siklus 0x sebagai pembanding. Pada temperatur ruang 75°C dengan siklus 25x; 75x; dan 125x berturut-turut sebesar 20,9 MPa, 13,8 MPa, 11,9 MPa. Pada *temperature* ruang

125°C dengan siklus 25x, 75x, dan 125x berturut-turut sebesar 34,7 MPa, 12,4 MPa, 20,8 MPa. Pada temperatur ruang 175°C dengan siklus 25x, 75x, dan 125x berturut-turut sebesar 35,5 MPa, 27,2 MPa, 14,3 MPa (Hariyanto, 2014). Pada penelitian uji tarik komposit serat rami yang telah mengalami kenaikan suhu siklus termal mengalami penurunan kekuatan. Pada temperatur 25°C kekuatan tariknya sebesar 12 Mpa. Pada temperatur 180°C kekuatatan tariknya mengalami penurunan sebesar 6 Mpa (Abdallah, 2010).

Peningkatan suhu yang diberikan pada komposit akan menurunkan kekuatan tariknya. Pada komposit matrik *polyester* penurunan kekuatan tarik terjadi saat suhu 50°C sampai suhu di atasnya (Mouritz, 2006). Begitu pula dengan hasil pengujian *bending* pada komposit HDPE yang telah mengalami perlakuan siklus termal, tegangan *bending* komposit *sandwich* mengalami penurunan secara signifikan bersamaan dengan peningkatan temperatur dari 30°C-110°C sebesar 4,5 MPa turun menjadi 2 MPa. Pengaruh peningkatan temperatur menyebabkan tingkat pertumbuhan kegagalan delaminasi semakin besar (Karso, 2012). Kendala seperti ini dapat dikurangi dengan penambahan aditif geomaterial lempung MMT (*montmorillonite*).

Lempung MMT (*Montmorillonite*) adalah segumpal tanah liat yang plastis dan mudah dibentuk. Unsur penyusun utama lempung MMT adalah silika (SiO_2) dan alumina (Al_2O_3). Kandungan silika dan alumina memberikan sifat tahan api yang baik pada lempung MMT. Lempung MMT mempunyai kemampuan mengabsorpsi yang tinggi, memiliki sifat liat yang tinggi, berkerut jika dikeringkan dan butir-butirnya berkeping halus (Wibisono, 1998). Hasil penelitian yang dilakukan oleh *Cornell University/ National Institute of Standards and Technology* (NIST) menunjukkan bahwa komposit plastik-lempung dengan komposisi 90% : 10% (w/w), dapat mempertahankan diri dari kerusakan akibat pembakaran api sebesar 60 – 80 %. Di samping itu, karakteristik mekanik-dinamikanya meningkat dibandingkan sebelum penambahan lempung (Diharjo, 2012).

Pada penelitian sebelumnya tentang analisis termal-mekanis komposit bermatrik *polyester* dengan penguat serat kenaf dengan aditif partikel *montmorillonite* dengan tujuan meningkatkan kinerja komposit akibat paparan

panas menunjukkan bahwa penambahan *montmorillonite* meningkatkan kekuatan tarik komposit. Secara umum, semakin tinggi suhu yang dipaparkan pada komposit maka kekuatan tarik komposit *polyester* aditif *montmorillonite* menurun secara drastis mulai 100°C (Nasiruddin, 2014). Pada penelitian tentang pengaruh penambahan *montmorillonite* komposit serat bambu yang terpapar siklus termal di dapat peningkatan kekuatan tarik sebesar 16 Mpa fraksi berat 0% dan 25,09 MPa fraksi berat 30% (Setiawan, 2015).

Pada penelitian ini akan dilakukan pengaruh variasi suhu siklus termal terhadap sampel uji komposit bermatrik *polyester* berpenguat serat sabut kelapa dengan aditif partikel *montmorillonite* (serbuk genteng) dengan tujuan meningkatkan kinerja kekuatan mekanik komposit akibat paparan panas yang berubah-ubah dan pendinginan secara berulang-ulang.

1.2 Rumusan Masalah

Dari penjelasan di atas dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut :

1. Bagaimanakah pengaruh variasi suhu siklus termal komposit *polyester* sabut kelapa dengan aditif *montmorillonite* terhadap kekuatan tarik dan *bending*?
2. Bagaimanakah pengaruh variasi fraksi volume aditif *montmorillonite* pada komposit *polyester* sabut kelapa terhadap nilai kekuatan tarik dan *bending*?
3. Bagaimanakah kondisi morfologi komposit *polyester* sabut kelapa menggunakan aditif partikel *montmorillonite* setelah dilakukan pengujian tarik dan *bending* dengan perubahan variasi suhu siklus termal?

1.3 Batasan Masalah

1. Menggunakan matrik *unsaturated polyester* Yukalac 157 BQTN-ex.
2. Menggunakan serat sabut kelapa dengan fraksi volume 5% .
3. Menggunakan partikel genteng dengan ukuran 60 mesh .
4. Menggunakan metode *hand-lay up*.
5. Pengujian menggunakan metode uji tarik dan uji *bending*.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan yang diperoleh dari penelitian tentang pengaruh variasi suhu siklus termal terhadap kekuatan mekanis komposit *polyester* sabut kelapa dengan aditif *montmorillonite* antara lain :

1. Mengetahui pengaruh variasi suhu siklus termal komposit *polyester* sabut kelapa dengan aditif *montmorillonite* terhadap kekuatan tarik dan *bending*.
2. Mengetahui pengaruh variasi fraksi volume aditif *montmorillonite* pada komposit *polyester* sabut kelapa terhadap nilai kekuatan tarik dan *bending*.
3. Mengetahui kondisi morfologi komposit *polyester* sabut kelapa menggunakan aditif partikel *montmorillonite* setelah dilakukan pengujian tarik dan *bending* dengan perubahan variasi suhu siklus termal.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diperoleh dari penelitian tentang pengaruh variasi suhu siklus termal terhadap kekuatan mekanis komposit *polyester* sabut kelapa dengan aditif *montmorillonite* antara lain :

1. Memberikan informasi mengenai karakteristik komposit *polyester* sabut kelapa dengan penambahan aditif partikel *montmorillonite* akibat perubahan variasi suhu siklus termal.
2. Memberikan informasi kegunaan komposit polimer untuk bidang otomotif, transportasi, dan properti.
3. Memberikan tambahan koleksi pustaka kepada Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Jember.

1.6 Hipotesa

Hipotesa pada penelitian matrik *unsaturated polyester* dengan peningkatan suhu siklus termal maka kekuatan tarik dan *bending* menurun. Kemudian dengan penambahan partikel *montmorillonite* mengakibatkan peningkatan kekuatan karena *montmorillonite* memiliki ketahanan panas yang tinggi.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Komposit

Material merupakan bahan dasar untuk meningkatkan produksi dan standar kehidupan manusia. Material juga menjadi tonggak dalam kemajuan manusia. Manusia telah menggunakan material ribuan tahun yang lalu. Melihat dari sejarah peradapan manusia, kita menemukan bahwa akses perkembangan kehidupan manusia. Pada sudut pandang material, masyarakat manusia mengalami zaman batu, perunggu, dan besi. Dari sudut pandang tersebut, manusia mengalami peningkatan secara bertahap. Pada abad ke 20 manusia mulai mengenal material baru bernama plastik (Wang, 2010).

Seiring dengan kemajuan pesat *sains* dan teknologi *modern*, penelitian tentang material berkembang dengan signifikan. Perkembangan tersebut untuk menemukan material- material baru sesuai kebutuhan manusia. Salah satu material yang didapat dari penelitian yaitu komposit. Istilah material komposit pertama kali digunakan pada tahun 1950 dan mulai digunakan pada tahun 1960. Material komposit merupakan kombinasi dua atau lebih bahan komponen dengan sifat yang berbeda tidak hanya mempertahankan sifat utamanya, tetapi juga menunjukan karakteristik yang baru (Wang, 2010).

Material komposit terdiri dari matrik dan bahan penguat. Adapun pembagian menurut matrik yaitu (Mallick, 2007):

1. *Polymer matrix composite* (PMC) merupakan komposit berbahan dasar atau memiliki matrik berupa polimer. PMC ini menjadi bahan yang sangat ideal karena mudah untuk diproses, ringan, dan memiliki sifat mekanis yang diinginkan. Dua jenis utama polimer yang digunakan pada PMC ini adalah termoset dan termoplastik. Contoh termoset yaitu poliester dan epoxy yang secara luas dan umum digunakan pada aplikasi PMC. Sedangkan untuk jenis termoplastik yaitu nylon dan polyethylene.
2. *Metal matrix composite* (MMC) adalah komposit yang berbahan dasar logam. MMC ini memiliki keunggulan karena memiliki tahan api dan panas

yang tinggi dibanding polimer. MMC ini juga diaplikasikan pada *shipping* dan *aerospace*. Jenis matrik yang digunakan pada MMC ini adalah aluminium. Sifat utama aluminium memiliki kekerasan yang rendah. Untuk meningkatkan kekerasan biasanya ditambahkan serbuk alumina atau *silica carbida*.

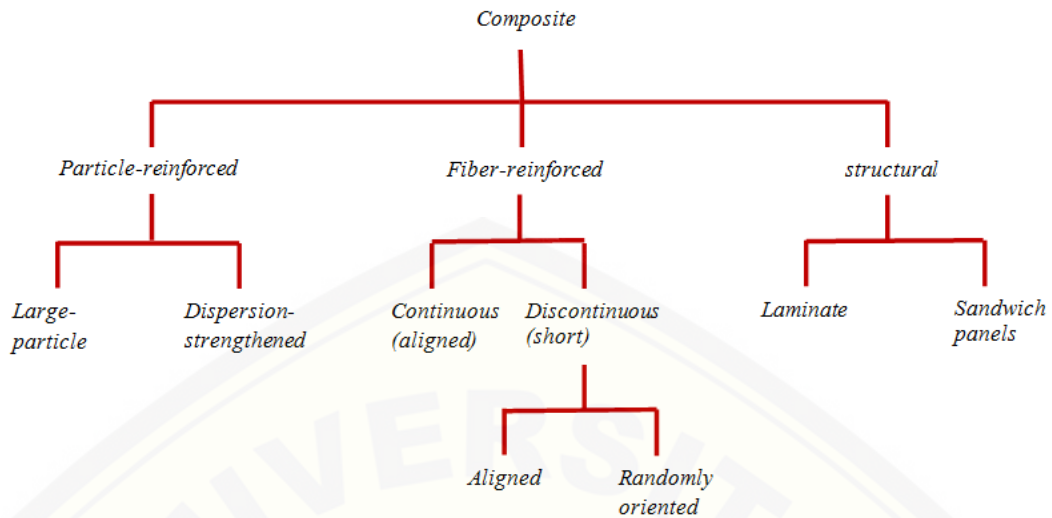
3. *Ceramic Matrix Composite* (CMC) merupakan komposit berbahan dasar keramik. Keramik dapat digambarkan sebagai bahan padat yang memiliki ikatan ion yang sangat kuat, titik lebur tinggi, ketahanan korosi baik, stabil pada suhu tinggi dan memiliki kekuatan yang tinggi. Aplikasi yang sering digunakan pada material penahan panas di atas 1500°C. Pada aplikasi mesin jet dan roket, keramik digunakan untuk melindungi logam dari semburan api supaya tidak terjadi perubahan sifat mekanis dan kimia logam tersebut.

Matrik dalam material komposit memberikan berbagai manfaat untuk melindungi serat atau penguat dari pengaruh lingkungan luar dan untuk mentransfer beban dari luar menuju penguat. Adapun bahan material penguat berupa serat kaca, serat karbon, serat alam maupun serbuk. Sedangkan manfaat penguat pada material komposit digunakan untuk memperbaiki sifat asli dari matrik komposit dan meningkatkan nilai kekuatan mekanis komposit tersebut (Firdaus, 2015).

2.2 Klasifikasi Komposit

Komposit memiliki beberapa jenis penguat atau *reinforced*. Berdasarkan penguat atau *reinforced* dibagi menjadi 3 yaitu (Callister, 2007):

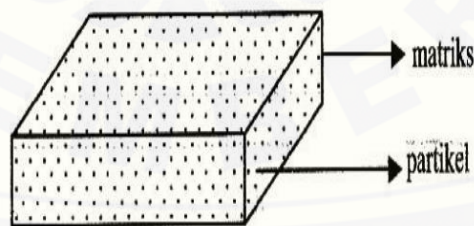
1. Partikulat, yang terdiri dari partikel .
2. *Fiber*, yang terdiri dari kontinyu dan diskontinyu (terikat dan acak).
3. Struktural, yang terdiri dari lamina dan *panel sandwich*.



Gambar 2.1 Jenis komposit menurut jenis penguat (Callister, 2007)

2.2.1 Penguat partikel

Salah satu jenis bentuk komposit adalah komposit berpenguat partikel. Kemampuan partikel untuk menjadi penguat berfungsi memberikan kekakuan atau kekerasan pada matriknya. Partikel ini menyebar secara merata pada semua matrik. Penggunaan partikel ini sangat kecil bahkan sampai berukuran mikro. Aplikasi penggunaan biasa digunakan pada *metal matrix composite* bermatrik aluminium. Pada matrik aluminium biasa digunakan serbuk alumina untuk menjadi penguat agar meningkatkan nilai kekerasan.

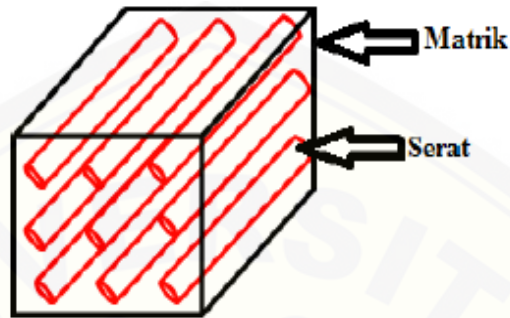


Gambar 2.2 *Particulate Composite* (Hartanto, 2009)

2.2.2 Penguat Serat

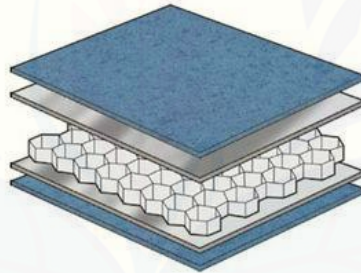
Fiber reinforced composite terdiri dari serat penguat yang tertanam dalam material matriknya. Contoh bentuk komposit serat berupa serat terputus atau serat pendek dan serat panjang. Penguat serat ini memiliki banyak aplikasi dalam bidang

automobile yaitu sebagai pembuat *body* kendaraan yang diperkuat dengan serat karbon. Selain serat karbon, serat alam juga banyak digunakan pada aplikasi penguat karena ramah lingkungan dan mudah didapat.



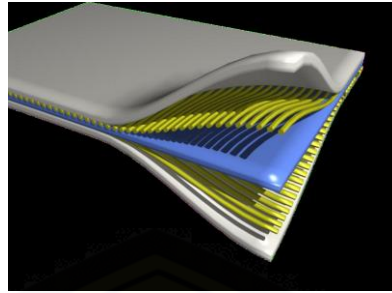
Gambar 2.3 *Fiber Composite* (Widiatmoko, 2016)

2.2.3 Komposit Struktural (*Structural Composite*).



Gambar 2.4 Komposit *Sandwich* (Widiatmoko, 2016)

Komposit berpenguat struktural memiliki ciri-ciri berlapis antar penguat dan matriknya. Pembagian komposit struktural dibagi menjadi dua yaitu komposit *sandwich* dan komposit *laminat*. Komposit *sandwich* memiliki ciri-ciri ringan karena memiliki penguat berupa *honeycomb*. *Honeycomb* sendiri mengambil ilustrasi dari rumah lebah. Aplikasi ini untuk mendapatkan densitas material yang ringan. Sedangkan komposit *sandwich* memiliki ciri-ciri penguat memiliki beberapa lapisan. Penguat yang sering digunakan dalam bentuk laminat adalah *fiber glass* dalam aplikasi *automotive* maupun perkapalan.



Gambar 2.5 Komposit laminat (Widiatmoko, 2016)

2.3 Komposit Serat Alam

Ketertarikan pada material komposit polimer yang diperkuat serat alami dengan pesat berkembang. Aplikasi industri dan penelitian tentang serat alam untuk penguat komposit polimer juga mengalami perkembangan. Tanaman seperti rami, kapas, sisal, kenaf, serat nanas, serat kelapa, serat pisang dan kayu digunakan sebagai penguat komposit. Selain mudah didapat serat alam ini juga memiliki nilai sifat mekanik yang memuaskan. (Dixit, 2017).

Serat alami dapat digunakan untuk memperkuat polimer termoset dan termoplastik. Resin termoset seperti epoxy, poliester, fenolik umumnya digunakan serat alam untuk memperkuat matriknya. Mempertimbangkan aspek ekologis serat alam sebagai penguat komposit polimer memiliki keuntungan yang banyak seperti dapat diperbaharui, murah, dapat didaur ulang, dan *biodegradable* (Tudu, 2009).

Pada berbagai jenis serat alam, serat kelapa menjadi komoditas yang sering digunakan dalam pembuatan komposit. Pohon kelapa merupakan tanaman yang indah karena memiliki berbagai kegunaan. Pohon kelapa ini sering disebut dengan pohon kehidupan. Pohon kelapa menyediakan kebutuhan dasar manusia sebagai makanan, minuman, tempat tinggal, bahan bakar, obat-obatan, bahan dekoratif dan lain-lain (Punchihewa, 1999).

Total luas kelapa dunia pada tahun 1996 diperkirakan mencapai 11 juta hektar dan sekitar 93 persen ditemukan dikawasan asia dan pasifik. Dua produsen terbesar se-Asia adalah Indonesia sebesar 3,7 juta hektar dan Filipina 3,1 juta hektar. Sedangkan untuk negara – negara pasifik seperti Papua Nugini. Untuk

kawasan Afrika, Tanzania merupakan produsen terbesar, sedangkan Brasil menjadi negara penghasil kelapa terbesar di Amerika Latin (Punchihewa, 1999).

Dari statistik penghasil kelapa di dunia sangat besar, maka kelapa sangat berperan sebagai komoditas tanaman terbesar. Untuk memanfaatkan komoditas tersebut dimanfaatkan serat kelapa sebagai penguat komposit polimer. Serat kelapa didapat dari pengolahan kulit batok kelapa yang diambil seratnya. Selain digunakan sebagai penguat komposit, serat kelapa bisa dijadikan produk tikar, keset dan kasur (Punchihewa, 1999). Pada tabel 2.1 merupakan sifat mekanis serat kelapa:



Gambar 2.6 Serat kelapa

Tabel 2.1 Sifat Mekanis Serat Sabut Kelapa (Priya, 2014)

Mechanical properties	Coconut coir fibre
Density (g/cm^3)	1.2
Elongation at break (%)	30
Tensile strength (Mpa)	175
Young Modulus (Gpa)	4-6
Water absorption (%)	130-180

2.4 Polyester

Polyester termasuk jenis polimer termoset yang banyak digunakan di dunia. Sekitar 75% penggunaan resin, *polyester* menjadi bahan yang paling sering digunakan diberbagai aplikasi komposit. Dalam berbagai aplikasi otomotif maupun

perkapalan, *polyester* digunakan sebagai *body* maupun *spare part* lain. Keuntungan menggunakan *polyester unsaturated* karena mudah dalam fabrikasinya, murah dan mudah didapat. Namun *polyester* ini tidak tahan terhadap panas yang berkelanjutan karena memiliki sifat rapuh (Saleh, 2012).

Tabel 2.2 Spesifikasi *Polyester* Yukalac 157[®] BQTN-EX (Jumalik, 2016)

Item	Satuan	Nilai Tipikal	Catatan
Berat jenis	-	1,215	25 ⁰ C
Kekerasan	-	40	Barcol/GYZJ 934-1
Suhu distorsi panas	⁰ C	70	
Penyerapan air	%	0,188	24 jam
Suhu ruangan	%	0,466	7 hari
Kekuatan Fleksural	Kg/mm ²	9,4	-
Modulus Fleksural	Kg/mm ²	300	-
Daya rentang	Kg/mm ²	5,5	-
Modulus rentang	Kg/mm ²	300	-
Elongasi	%	2,1	-



Gambar 2.7 Resin *polyester* Yukalac 157 BQTN-EX.

2.5 *Montmorillonite*

Montmorillonite atau tanah liat merah yang digunakan dalam pembuatan genteng dengan proses pembakaran. Tanah liat memiliki ciri – ciri tahan terhadap paparan panas yang tinggi. Tanah liat juga biasa digunakan untuk membuat keramik untuk aplikasi pelapis logam pada selongsong roket atau mesin jet untuk menghindari deformasi pada logam tersebut.

Montmorillonite atau lempung terbentuk dari beberapa bahan kimia alumina dan silica. Alumina merupakan jenis keramik yang mengandung aluminium. Aluminium sendiri memiliki tahan api sampai suhu 660°C . Sedangkan silica memiliki titik leleh 1710°C sehingga berfungsi sebagai material tahan api. Lempung atau *montmorillonite* memiliki sifat dapat menyerap air, butiran – butiran halus tetapi ketika terkena air akan menjadi lengket (Diharjo, 2012).



Gambar 2.8 Genteng *montmorillonite*

2.6 Teknik *Manufacturing* Komposit

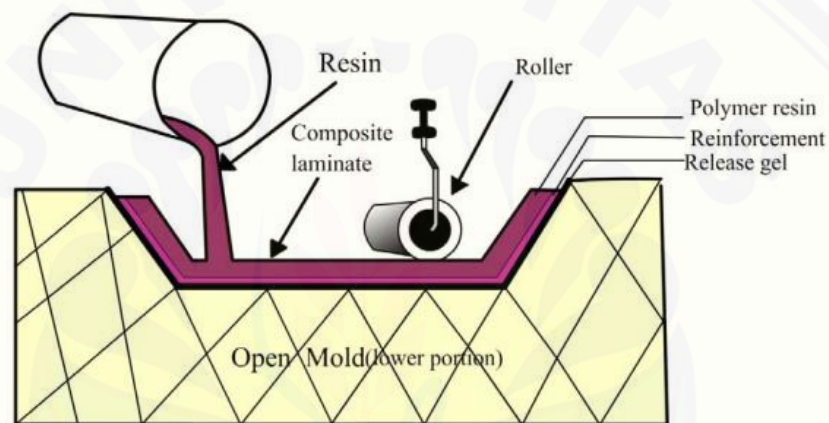
Pada pemrosesan komposit ada beberapa macam yaitu (Gibson, 2012):

2.6.1 *Hand lay-up*

Teknik *hand lay-up* merupakan metode pemrosesan komposit polimer yang sangat sederhana. Persyaratan langkah- langkah cukup sederhana dan mudah. Pertama cetakan dipersiapkan lalu lembaran plastik tipis digunakan di atas dan di bawah cetakan untuk mendapatkan permukaan akhir yang baik dan halus. Setelah itu beberapa polimer cair disebar secara merata untuk awal pembuatan. Kemudian

tutup cetakan menggunakan plastik supaya tidak ada *void* yang terjebak di dalam cetakan. Polimer yang sering digunakan pada aplikasi ini adalah polimer termoset epoxy atau poliester. Waktu *curing* pada epoxy dan poliester rata-rata selama 24 jam.

Aplikasi penggunaan metode *hand lay-up* digunakan pada aplikasi komponen pesawat terbang, otomotif dan lambung kapal. Keuntungan menggunakan *hand lay-up* ini biaya murah, mudah dalam membentuk cetakan dan tempat produksi tidak luas. Adapun kelemahannya hasil yang digunakan tidak konsisten karena tergantung kemampuan operator yang mengerjakan.

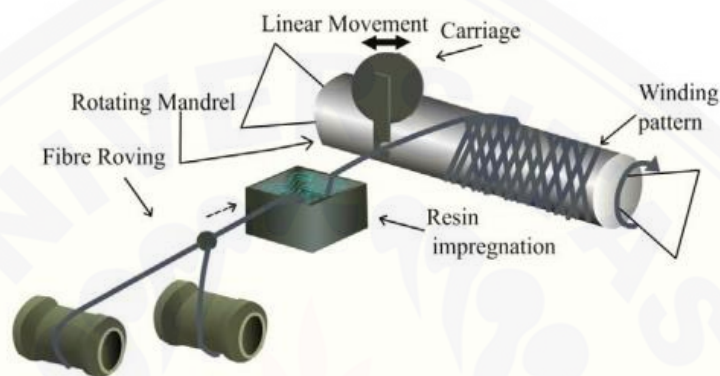


Gambar 2.9 *Hand Lay-Up*

2.6.2 *Filament winding*

Dalam pembuatan komposit polimer, *filament winding* termasuk proses yang familiar pada industri tabung bertekanan atau vessel. *Filament winding* menggunakan madrel dan tangki resin dalam pembuatannya. Tahap pembuatan pertama untaian serat dilepaskan dan dilewatkan secara terus menerus ke dalam resin tangki. Setelah melewati tangki resin, untaian serat akan melilit pada madrel yang berputar secara terkontrol dan memiliki orientasi sudut tertentu. Tarikan serat sangat berpengaruh pada porositas komposit. Tarikan serat juga harus dikontrol secara sempurna. Jika tarikan terlalu besar maka akan memutus serat sebelum masuk ke madrel. Pengeringan komposit pada *filament winding* bisa dilakukan di dalam oven atau suhu ruangan tergantung kebutuhan.

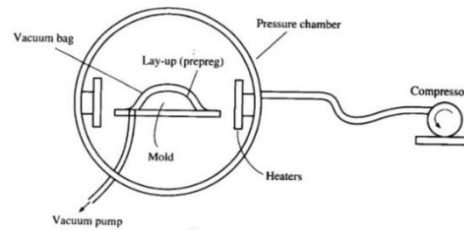
Aplikasi *filament winding* dilakukan pada industri tangki penyimpanan, saluran pipa, kapal, tabung gas dan selongsong roket. Keuntungan menggunakan *filament winding* memiliki kekuatan tekan yang tinggi, orientasi serat terkontrol secara merata, dan ukuran komponen tidak dibatasi. Sedangkan kerugian *filament winding* yaitu investasi modal relatif tinggi, tidak bisa menghasilkan produk yang memiliki kelengkungan dan arah serat tidak bisa dirubah pada lapisan yang lain.



Gambar 2.10 *Filament Winding*

2.6.3 Metode vakum

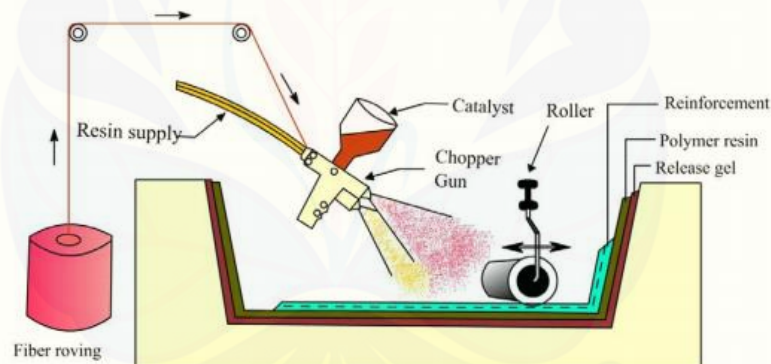
Metode vakum dalam proses pembuatan komposit sangat terkenal pada industri pembuatan *body* otomotif atau perkapalan. Metode ini menggunakan teknologi mesin vakum untuk menghisap resin agar mengalir membasahi *fiber* atau penguat. Cetakan komposit ini menggunakan dua lubang untuk lubang *inlet* dan *outlet*. Lubang *inlet* berguna untuk masuknya resin ke dalam cetakan untuk membasahi *fiber* atau penguat. Sedangkan lubang *outlet* untuk keluarnya udara dari cetakan menuju atmosfer. Kelebihan metode vakum dibanding *hand lay-up* yaitu bisa mengurangi *void* karena udara yang terjebak di dalam resin akan dibuang melalui lubang *outlet*. Kelebihan kedua yaitu untuk menghasilkan spesimen yang tipis seperti komposit *fiber carbon* pada bidang otomotif.



Gambar 2.11 Vakum

2.6.4 Metode penyemprotan

Pembuatan komposit dengan *spray up* atau penyemprotan mulai terkenal di dalam industri komposit polimer. Pembuatan komposit dengan metode ini membutuhkan mesin kompresor untuk menyemprotkan resin ke atas *fiber* di dalam cetakan. Metode ini lebih menguntungkan dibanding *hand lay-up* karena bisa mengontrol ukuran spesimen. Metode ini biasa digunakan dalam pembuatan kapal. Metode ini tidak membutuhkan tempat yang luas di banding metode vakum.



Gambar 2.12 Penyemprotan

2.7 Siklus Termal

Masalah terbesar pada komposit polimer adalah degradasi polimer atau rapuh yang disebabkan oleh siklus termal. Siklus termal merupakan perubahan cuaca atau temperatur secara terus menerus sampai membentuk suatu siklus (Hancox, 1998). Pada perubahan suhu siklus termal mempengaruhi kekuatan mekanis komposit tersebut. Pada temperature 100°C-200°C polimer berpenguat serat mengalami penurunan kekuatan mekanis (Muhammad, 2015).

2.8 Uji Mekanik Komposit

Pengujian mekanik pada penelitian ini menggunakan pengujian tarik dan *bending*. Pengujian komposit polimer menggunakan standar pengujian ASTM. Untuk pengujian tarik menggunakan ASTM D3039. Sedangkan pengujian *bending* menggunakan ASTM D790.

2.8.1 Pengujian Tarik

Tensile strength test atau uji tarik merupakan salah satu pengujian merusak atau *destructive test*. Pengujian tarik komposit ini bertujuan untuk memberikan informasi *tensile strength* komposit setelah putus. Spesimen pengujian komposit ini menggunakan spesimen berbentuk persegi panjang atau *flat strip*. Spesimen yang sudah dipotong sesuai ASTM D3039 dipasang di *grip* alat uji untuk ditarik sampai spesimen tersebut putus. Setelah putus komputer akan memberikan nilai maksimal beban yang diterima oleh spesimen tersebut.

Tabel 2.3 *Geometry Spesiment* ASTM D3039

Parameter	Requirement
Coupon Requirements:	
shape	constant rectangular cross-section
minimum length	gripping + 2 times width + gage length
specimen width	as needed ^A
specimen width tolerance	± 1 % of width
specimen thickness	as needed
specimen thickness tolerance	± 4 % of thickness
specimen flatness	flat with light finger pressure
Tab Requirements (if used):	
tab material	as needed
fiber orientation (composite tabs)	as needed
tab thickness	as needed
tab thickness variation between tabs	± 1 % tab thickness
tab bevel angle	5 to 90°, inclusive
tab step at bevel to specimen	feathered without damaging specimen

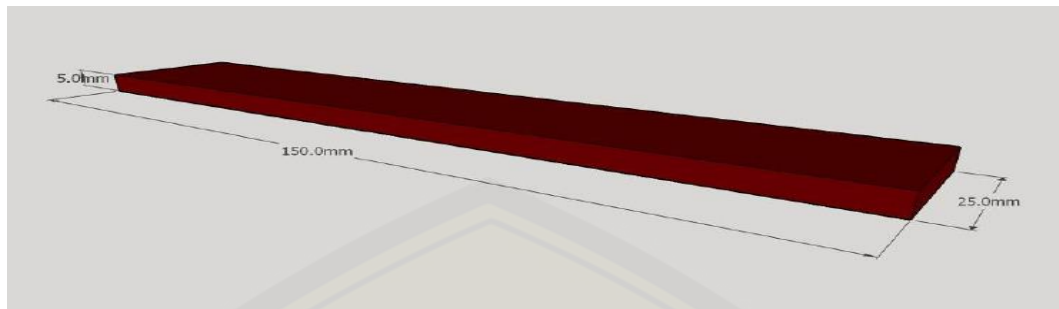
$$\sigma = \frac{F}{A} \dots \dots \dots (2.1)$$

Keterangan :

σ = Tegangan tarik (MPa)

F = Beban yang diberikan dalam arah tegak lurus pada penampang spesimen (N).

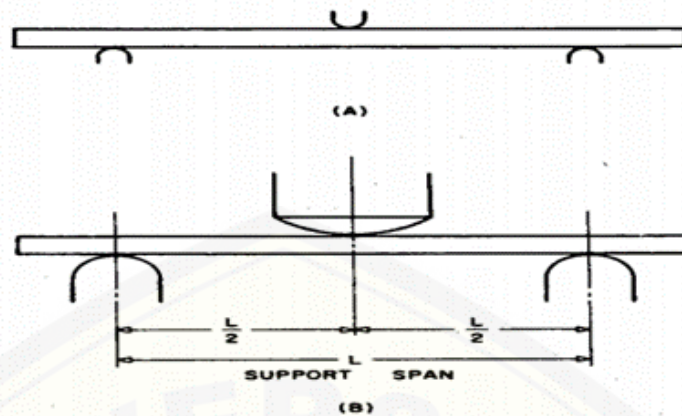
A = Luas penampang spesimen sebelum diberikan pembebanan (mm²).



Gambar 2.13 Standar persiapan sampel uji tarik (*standart* ASTM D 3039)

2.8.2 Pengujian *Bending*

Bending material testing atau pengujian *bending* merupakan pengujian kekuatan material yang bersifat merusak atau *destructive test*. Material yang di uji *bending* akan mengalami kerusakan sampe patah untuk melihat kekuatan bahan untuk menahan suatu beban. Dalam proses pengujian *bending* banyak standar yang digunakan tergantung jenis bahan atau spesimen. Pada pengujian material plastik atau komposit polimer digunakan standar ASTM D790. ASTM D790 umum digunakan dalam industri dan peneliti untuk mengukur kekuatan lentur plastik atau komposit polimer. Metode yang digunakan dalam proses uji *bending* ini memanfaatkan tiga titik yaitu 2 titik untuk *support span* atau untuk menahan material dan satu titik untuk menekan material di titik tengahnya. Prosedur penggunaannya yaitu sebuah *sample* atau spesimen plastik atau komposit polimer diletakan pada dua penyangga atau *support span*, kemudian satu titik beban menekan spesimen di tengah spesimen sampai patah. Kemudian liat hasil kekuatan tekan spesimen tersebut di *record* pengujian. Prosedur pengujian ASTM D790 dapat kita lihat pada gambar di bawah ini.

Gambar 2.14 Pengujian *Bending* ASTM D790

$$\sigma = \frac{3 PL}{2 bd^2} \dots \dots \dots (2.4)$$

Keterangan :

σ = Tegangan bending (MPa)

P = Beban (N)

L = jarak antar penyangga (*support span*) (mm)

b = Lebar dari spesimen (mm)

d = tebal (mm)

2.8.3 Pengujian Makro

Pada penelitian material sering digunakan pengujian makro untuk melihat suatu patahan setelah dilakukan uji tarik dan uji *bending*. Tujuan pengujian makro ini untuk melihat struktur patahan suatu material. Dalam penelitian ini digunakan kamera Handphone ASUS untuk melihat fenomena patahan yang terjadi setelah dilakukan pengujian tarik dan *bending*.

2.8.4 Pengujian Mikro

Pengujian mikro bertujuan untuk melihat fenomena patahan spesimen yang tidak bisa dilihat menggunakan kamera biasa. Pengujian mikro ini melihat *void*, ikatan matrik dan penguat dan pull-out. Alat yang digunakan pada pengujian mikro ini adalah *mikroskop portable*.

BAB 3. METODE PENELITIAN

Metodologi penelitian yang digunakan dalam penyusunan skripsi ini adalah metode eksperimental dan analisa.

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Pelaksanaan penelitian dilaksanakan pada Februari sampai dengan Mei 2018 di Laboratorium Uji Bahan dan Laboratorium Konversi Energi Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

3.2 Variabel Penelitian

Perhatian penelitian terletak pada pembahasan dan analisa terhadap hasil-hasil pengukuran. Variabel bebas digunakan untuk variabel yang menyebabkan atau mempengaruhi, yaitu faktor yang diukur atau dipilih oleh peneliti untuk menentukan hubungan antara fenomena yang diamati. Sedangkan variabel terikat digunakan untuk menentukan adanya pengaruh muncul atau tidak muncul, atau berubah sesuai dengan hasil penelitian.

Tabel 3.1 Variabel Bebas

Fraksi volume <i>montmorillonite</i>	0%	10%	20%	30%
Variasi suhu	(X ₀)	(X ₁)	(X ₂)	(X ₃)
Suhu Ruang 30 ^o C (W ₀)	X ₀ W ₀	X ₁ W ₀	X ₂ W ₀	X ₃ W ₀
50 ^o C (W ₁)	X ₀ W ₁	X ₁ W ₁	X ₂ W ₁	X ₃ W ₁
100 ^o C (W ₂)	X ₀ W ₂	X ₁ W ₂	X ₂ W ₂	X ₃ W ₂

Peneliti menggunakan variabel bebas dalam melakukan penelitian kondisi benda kerja jika dilakukan uji siklus termal berulang kali. Sedangkan untuk

Pengujian sifat mekanis benda kerja peneliti menggunakan variabel terikat untuk menentukan kekuatan benda terhadap pengujian tarik.

3.3 Alat dan Bahan

3.3.1 Alat

Alat yang digunakan selama penelitian ini berlangsung antara lain:

1. *Universal Machine Testing Merk ESSOM TM 113 30 kN.*
2. *Alat Uji bending*
3. *Oven pemanas*
4. *Refrigrator*
5. *Ayakan mesh 60*
6. *Cetakan Komposit dari Kaca, Plastik Astralon dan Plastisin*
7. *Penggaris*
8. *Palu*
9. *Lumpang besi*
10. *Timbangan digital*
11. *Kamera HP ASUS*
12. *Cutter dan Gunting*
13. *Gerinda Tangan*

3.3.2 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

1. *Serat sabut kelapa.*
2. *Resin polyester Yukalac BQTN –EX 157.*
3. *Partikel montmorillonite.*
4. *Katalis atau Hardener MEKP*

3.4 Prosedur Penelitian

3.4.1 Langkah-langkah Pembuatan Sampel

1. *Membuat cetakan untuk sampel pengujian tarik dan bending.*

2. Menyiapkan serat sabut kelapa dan membuat partikel *montmorillonite* dengan menumbuk genteng dengan lumpang besi lalu diayak dengan ayakan untuk mendapatkan mesh berukuran ≥ 60 .
3. Ukur dan timbang resin sesuai kebutuhan, tambahkan katalis (hardener) 1% dari volume resin, dan timbang *montmorillonite*. Kemudian campur resin, katalis dan *montmorillonite* dengan persentase sesuai dengan rencana penelitian. Aduk secara perlahan dengan hitungan pengadukan 100 kali saat pencampuran resin dan katalis, lalu aduk saat pencampuran resin-katalis dengan *montmorillonite*.
4. Letakan plastik asralon tebal ukuran 0,2 mm di atas cetakan. Kemudian tambahkan serat sabut kelapa yang sudah di potong 0,5-3 cm ke atas plastik asralon sesuai persentase fraksi volume dan diratakan di permukaan cetakan. Setelah itu tuang adonan *montmorillonite* dan resin ke dalam cetakan yang sudah diberi serat sabut kelapa sesuai persentase fraksi volume yang sudah ditentukan, batas maksimal adonan setelah diberi katalis adalah 5 menit.
5. Tutup cetakan dengan plastik astralon dan kaca. Pastikan tidak terjadi rongga udara (*void*) saat menutup cetakan.
6. Kemudian beri pemberat diatas cetakan supaya komposit tidak melengkung ketika kering.
7. Tunggu hingga satu hari, kemudian lepaskan hasil cetakan dari cetakan. Potong pada sisi kiri dan kanan yang berlebih pada komposit dengan menggunakan gerinda tangan.
8. Potong hasil cetakan sesuai standar ASTM uji tarik dan *bending* menggunakan gerinda.

3.4.2 Pengujian Siklus termal

Sebuah sampel komposit dilakukan perlakuan siklus thermal dengan meletakkan sampel ke dalam oven dengan variasi temperatur 30°C, 50°C, dan 100°C selama 10 menit. Setelah itu sampel dimasukkan ke dalam *refrigerator* (pendingin) dengan suhu 0°C selama 10 menit. Hal ini dilakukan terus menerus secara berulang-ulang dan membentuk suatu siklus. Yang disebut satu siklus thermal adalah ketika

sampel masuk ke dalam oven dan masuk lagi ke dalam *refrigerator*. Lakukan siklus tersebut sebanyak 25x.

3.4.3 Pengujian tarik

Pengujian yang dilakukan menggunakan mesin uji tarik *UNIVERSAL TESTING MACHINE* 30 TON yang ada pada Lab. Uji Bahan. Spesimen diposisikan tegak lurus dan dijepit pada kedua ujungnya. Kemudian diberi awalan tegangan serta diatur parameter mesin sebelum memulai proses penarikan. Spesimen diuji tarik dan diamati hingga spesimen putus. Setelah itu didapatkan data terkait pengujian yaitu tegangan maksimum. Adapun dimensi spesimen yang akan diuji menurut ASTM D 3039.

3.4.4 Pengujian *bending*

Pengujian ini dilakukan dengan mesin uji tekuk dimana spesimen diletakkan diantara penyangga kemudian diberikan gaya sampai spesimen patah. Setelah itu didapatkan hasil pengujian data yang telah diuji. Adapun dimensi yang akan diuji menurut ASTM D 790

3.5 Analisa Data

Analisa data dilakukan setelah diperoleh hasil pengujian morfologi, pengujian uji tarik dan *bending* dengan perlakuan variasi suhu siklus termal terhadap komposit *polyester* sabut kelapa dengan aditif *montmorillonite* ialah sebagai berikut:

1. Analisis pengaruh variasi suhu siklus termal komposit *polyester* sabut kelapa dengan aditif *montmorillonite* terhadap kekuatan tarik dan *bending*.
2. Analisis pengaruh variasi fraksi volume aditif *montmorillonite* pada komposit *polyester* sabut kelapa terhadap nilai kekuatan tarik dan *bending*
3. Analisis kondisi morfologi komposit *polyester* sabut kelapa menggunakan aditif partikel *montmorillonite* setelah dilakukan pengujian tarik dan *bending* dengan perubahan variasi suhu siklus termal.
4. Menggunakan statistik ANOVA sebagai analisa Pengaruh Variasi Suhu Siklus Termal Terhadap Kekuatan Mekanis Komposit *Polyester* Sabut Kelapa Dengan Aditif *Montmorillonite*.

Tabel 3.2 ANOVA 2 Arah dengan Interaksi (Sugiyono, 2007)

Sumber Keragaman (SK)	Jumlah Kuadrat (JK)	derajat bebas (db)	Kuadrat Tengah (KT)	f hitung	f tabel
Nilai tengah Baris	JKB	db numer1= r-1	s^2B $= KTB \frac{JKB}{r-1}$	F hitung $= \frac{KTB}{KTG}$	$\alpha =$ db numer1= db denum = f tabel =
Nilai tengah Kolom	JKK	db numer2= k-1	$s^2K = KTK =$ $\frac{JKK}{k-1}$	f hitung $= \frac{KTK}{KTG}$	$\alpha =$ db numer2= db denum = f tabel =
Interaksi [BK]	JK[BK]	db numer3= [r-1][k-1]	s^2K $=KT[BK]=$ $\frac{JK[BK]}{[r-1][k-1]}$	f hitung $= \frac{KT[BK]}{KTG}$	$\alpha =$ db numer3= db denum = f tabel =
Galat	JKG	db denumer r.k.[n-1]	$s^2G = KTG =$ $\frac{JKG}{r.k.[n-1]}$		

Total	JKT	[r.k.n] -1
-------	-----	------------

$$JKT = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^k \sum_{m=1}^n x_{ijm}^2 - \frac{T_{***}^2}{rkn}$$

$$JKB = \frac{\sum_{i=1}^r T_{i**}^2}{kn} - \frac{T_{***}^2}{rkn}$$

$$JJK = \frac{\sum_{j=1}^k T_{*j*}^2}{rn} - \frac{T_{***}^2}{rkn}$$

$$JK[BK] = \frac{\sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^k T_{ij*}^2}{n} - \frac{\sum_{i=1}^r T_{i**}^2}{kn} - \frac{\sum_{j=1}^k T_{*j*}^2}{rn} + \frac{T_{***}^2}{rkn}$$

$$JKG = JKT - JKB - JJK - JK[BK]$$

di mana :

r : banyak baris $i = 1,2,3,\dots,r$

k : banyak kolom $j = 1,2,3,\dots,k$

n : banyak ulangan $m = 1,2,3,\dots,n$

x_{ijm} : data pada baris ke-i, kolom ke-j dan ulangan ke-m

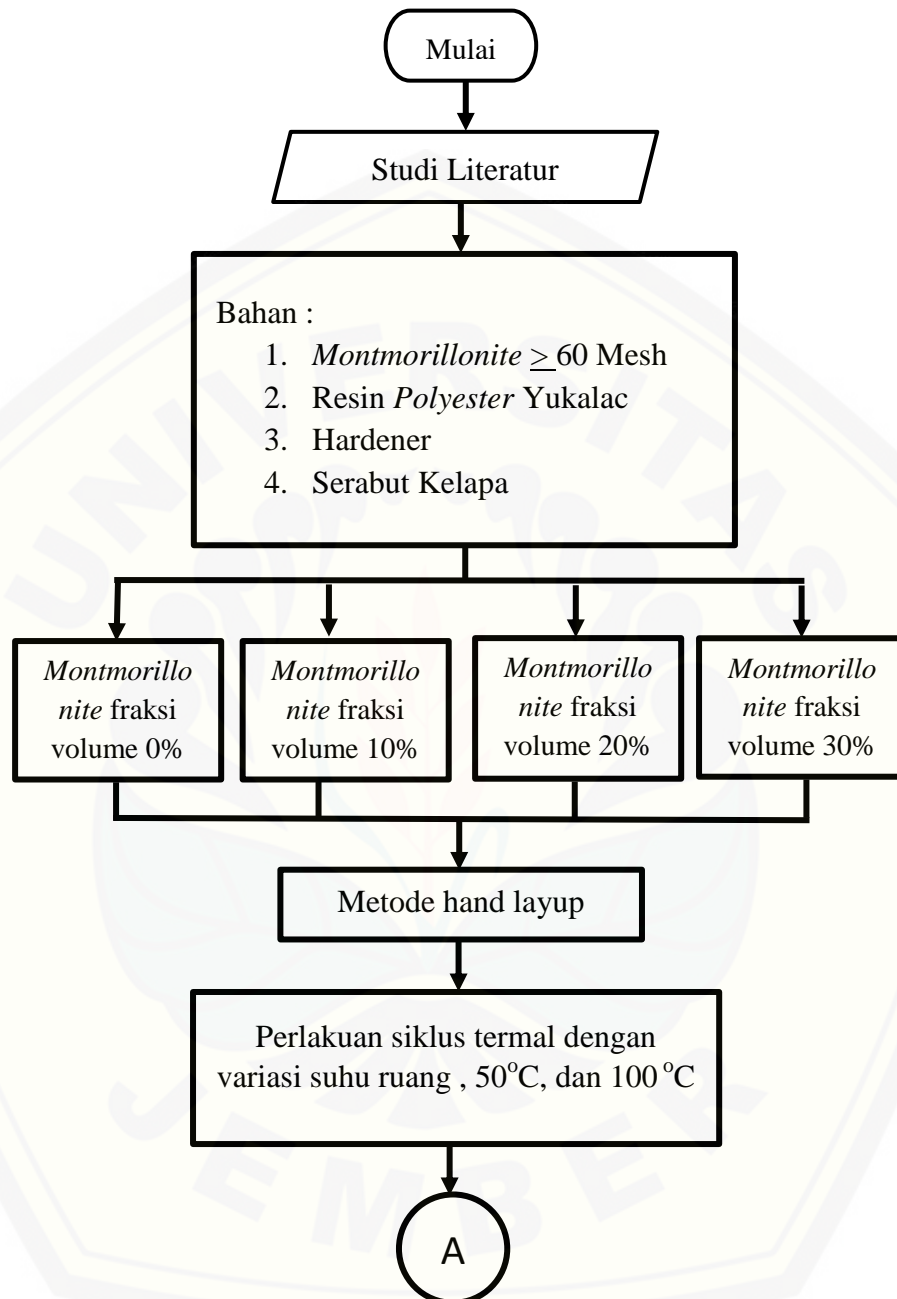
T_{i**} : Total baris ke-i

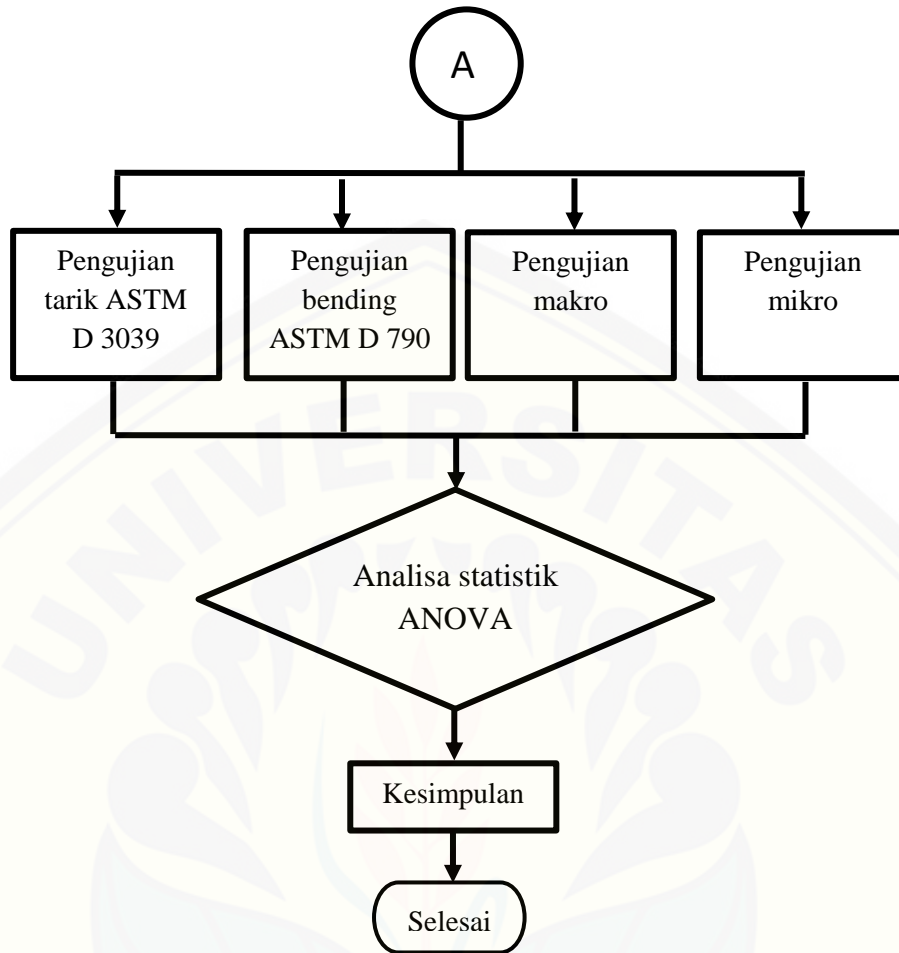
T_{*j*} : Total kolom ke-j

T_{ij*} : Total Sel di baris ke-i dan kolom ke-j

T_{***} : Total keseluruhan pengamatan

3.6 Diagram Alir





Gambar 3.1 Diagram Alir

3.7 Rencana Penelitian

Tabel 3.3 Rencana Penelitian

No	Jenis Kegiatan	Bulan 2018																			
		Januri				Februari				Maret				April				Mei			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1.	Studi literatur																				
2.	Penyusunan proposal																				
3.	Seminar proposal																				
4.	Pelaksanaan penelitian																				
5.	Pengolahan data dan analisis data																				
6.	Seminar Hasil																				
7.	Ujian akhir																				

BAB 5.PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan didapat kesimpulan sebagai berikut :

1. Peningkatan suhu siklus termal menurunkan kekuatan tarik dan *bending* komposit serat kelapa dengan aditif *montmorillonite*. Penurunan kekuatan tarik dan *bending* terjadi pada semua variasi kadar *montmorillonite* 0%, 10%, 20% dan 30%.
2. Penambahan kadar 10% dan 20% *montmorillonite* meningkatkan kekuatan tarik dan *bending* komposit *polyester* serat kelapa daripada tanpa MMT. Tetapi pada kadar 30% *montmorillonite* cenderung menurunkan kekuatan tarik dan *bending* dikarenakan ikatan antara matrik, serat kelapa dan serbuk *montmorillonite* tidak bercampur dengan merata.
3. Keadaan morfologi komposit yang telah dilakukan pengujian tarik dan *bending* pada variasi 0,10,20, dan 30 *montmorillonite* ditemukan *pull out* dan *void* pada patahan tersebut. Tetapi *void* terbanyak ditemukan pada komposit kadar 30% *montmorillonite*.
4. Pada hipotesa statistik ANOVA disimpulkan bahwa penambahan *montmorillonite* dan peningkatan suhu siklus termal terhadap kekuatan tarik dan *bending* berpengaruh signifikan ditandai dengan H_1 diterima dan H_0 ditolak.

5.2 Saran

Saran yang diberikan pada penelitian ini yaitu :

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mengetahui kekuatan impak komposit serat kelapa aditif *montmorillonite*.
2. Perlu dilakukan kajian lebih lanjut tentang kadar fraksi *volume montmorillonite* diatas 30%.

DAFTAR PUSTAKA

- Abanat, J. J. (2012). Pengaruh Fraksi Volume Serat Pelepah Gebang (*Corypha Utan Lamarck*) Terhadap Sifat Mekanik Pada Komposit Bermatrik Epoksi. *Jurnal Rekayasa Mesin*.
- Abdallah. (2010). *Study Of Mechanical And Thermomechanical Properties Of Jute/Epoxy Composite Laminate. Reinforced Plastics and Composites*, 1669-1679.
- Azwa, Z. (2013). *Thermal Degradation Study Of Kenaf Fibre/Epoxy Composites Using Thermo Gravimetric Analysis*. 256-264.
- Callister, W. D. (2007). *Materials Science*. America: John Wiley & Sons.
- Diharjo, K. (2012). Sifat Tahan Api Dan Kekuatan Bending Komposit Geopolimer: Analisis Pemilihan Jenis Partikel Geomaterial. 67-72.
- Dixit, S. (2017). *Natural Fibre Reinforced Polymer Composite Materials*. 71-78.
- Farid. (2014). Pengaruh Persentase Massa Serat Terhadap Sifat Mekanis Komposit Matriks Polipropilen Dengan Penguat Serat Ampas Tebu Pada Proses Injection Moulding.
- Farsani, R. E. (2013). *Effect of Thermal Cycling on Hardness and Impact Properties of Polymer Composite Reinforced by Basalt and Carbon Fibers*. Taylor and Francis.
- Firdaus, A. W. (2015). Pengaruh Ukuran Partikel Monmorillonite Sebagai Aditif Komposit Polyester Serat Kenaf Anyam Terhadap Sifat Mekanik Siklus Termal.
- Gibson, R. F. (2012). *Principles Of Composite Material Mechanics*. Michigan: McGraw-Hill.

- Gugun, G. (2017). Analisis Sifat Fisis Dan Mekanis Komposit Serat Gelas Berlapis. *Seminar Nasional Teknoka*.
- Hancox. (1998). *Thermal Effects On Polymer Matrix Composites: Part 1. Thermal Cycling*. Elsevier Science, 85-91.
- Hariyanto, A. (2014). Pengaruh Siklus Thermal Pada Rekayasa Bahan Komposit Sandwich Berpenguat Serat Rami Dengan Core Sekam Padi Untuk Panel Otomotif.
- Hartanto, L. (2009). Study Perlakuan Alkali Dan Fraksi Volume Serat Terhadap Kekuatan Bending, Tarik, Dan Impak Komposit Berpenguat Serat Rami Bermatrik Polyester Bqtn 157.
- Hermiansyah, M. E. (2017). Pengaruh Jumlah Fiberglass Terhadap Sifat Mekanik Dan Pengujian Bau Komposit Spent Coffee Ground Dengan Metode Vacuum Molding.
- Jones, R. M. (1999). *Mechanics Of Composite Materials*. Virginia: Taylor And Francis.
- Jumalik. (2016). Pengaruh Variasi Fraksi Volume Terhadap Kekuatan Impact Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit Bermatrix Polyester.
- Karso, T. (2012). Pengaruh Variasi Suhu Siklus Termal Terhadap Karakteristik Mekanik Komposit Hdpe–Sampah Organik. 8-13.
- Lumintang, R. C. (2011). Komposit Hibrid Polyester Berpenguat Serbuk Batang Dan Serat Sabut Kelapa. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 145-153.
- Mallick. (2007). *Fiber Reinforced Composites*. Michigan: CRC Press.
- Mouritz. (2006). *Fire Properties of Polymer Composite Materials*.
- Muhammad, R. E. (2015). Pengaruh Kadar Partikel Aditif Montmorillonite Terhadap Sifat Mekanik-Siklus Thermal Komposit Polyester Serat Kenaf Anyam.

- Nasiruddin. (2014). Analisa Termal – Mekanis Komposit Matrik Polyester Dengan Aditif Berpenguat Serat Kenaf Anyam.
- Nurudin, A. (2011). Potensi Pengembangan Komposit Berpenguat Serat Kulit Waru (*Hibiscus Tiliaceus*) Kontinyu Laminat Sebagai Material Pengganti Fiberglass Pada Pembuatan Lambung Kapal. 1-8.
- Priya, N. A. (2014). *Experimental Testing of Polymer Reinforced with Coconut Coir Fiber Composites. International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 453-460.
- Punchihewa. (1999). Coconut Post Harvest Operation. *Food Agriculture Organization Of The United Nations*.
- Saleh, H. (2012). *Polyester*. Rijeka: InTech.
- Setiawan, F. A. (2015). Pengaruh Fraksi Berat Aditif Montmorillonite Siklus Termal Terhadap Sifat Mekanik Pada Komposit Polyester Berpenguat Serat Bambu.
- Siswanto. (2011). Pengaruh Fraksi Volume dan Ukuran Partikel Komposit Polyester Resin Berpenguat Partikel Genteng Terhadap Kekuatan Tarik dan Kekuatan Bending. *Politeknosains*.
- Sugiyono. (2007). Statistik Untuk Penelitian. Bandung: Alfabeta.
- Tudu, P. (2009). *Processing And Characterization Of Natural Fiber Reinforced Polymer Composite*.
- Wang, R. (2010). *Polymer Matrix Composite And Technology*. woodhead.
- Widiatmoko, R. D. (2016). Pengaruh Fraksi Volume Terhadap Kekuatan Tarik Komposit Berpenguat Serat Kulit Batang Waru (*Hibiscus Tiliaceus*) – Resin Epoxy.

LAMPIRAN

Lampiran A

Data hasil Uji Tarik

JUMLAH SIKLUS	PENGULANGAN	KADAR MONTMORILONITE			
		0%	10%	20%	30%
suhu ruang	1	10.02	15.02	17.98	13.64
	2	10.62	15.41	19.93	13.71
	3	11.35	15.11	21.80	12.26
	4	11.40	15.47	21.02	12.45
	5	11.50	15.66	20.86	13.05
	6	12.12	15.78	20.62	13.18
	7	12.17	14.54	20.16	12.92
	8	11.28	14.91	19.50	13.42
	9	11.49	14.58	20.56	13.07
	10	11.32	16.47	18.77	12.95
50 derajat	1	8.96	13.17	15.02	9.50
	2	7.87	12.34	15.83	9.57
	3	9.21	13.57	16.26	10.06
	4	9.13	12.66	13.99	8.96
	5	8.98	13.38	14.85	10.59
	6	8.18	13.49	15.58	10.33
	7	8.42	12.67	17.08	10.12
	8	8.19	12.16	15.39	9.68
	9	10.01	12.87	15.33	10.29
	10	8.75	13.16	14.81	10.58
100 derajat	1	5.67	10.54	11.44	7.87
	2	5.27	9.22	13.02	8.46
	3	5.89	10.13	11.92	7.73
	4	6.16	9.42	12.55	8.88
	5	5.63	9.77	11.60	8.21
	6	6.21	9.70	11.86	8.58
	7	6.18	9.77	10.35	8.51
	8	5.94	10.60	12.31	7.13
	9	6.23	10.07	11.40	8.53
	10	5.98	9.55	13.30	8.36

Data Hasil Uji *Bending*

Jumlah Siklus	Pengulangan	Kadar Montmorilonite			
		0%	10%	20%	30%
Suhu Ruang	1	34.39	40.42	54.84	36.42
	2	33.11	43.88	55.52	37.81
	3	32.99	40.48	52.67	39.59
	4	35.35	40.31	54.56	38.99
	5	33.95	42.96	55.55	38.62
	6	31.89	44.57	56.08	37.99
	7	33.26	39.88	60.05	36.66
	8	33.89	42.76	53.91	41.04
	9	33.47	43.08	54.68	37.06
	10	32.00	42.47	56.01	39.47
50 Derajat	1	27.99	34.98	42.18	30.22
	2	24.67	35.46	44.82	33.26
	3	29.78	35.56	39.78	34.47
	4	27.46	37.67	43.13	29.69
	5	27.07	32.79	43.21	33.86
	6	28.83	34.95	42.18	32.34
	7	25.72	34.63	40.20	30.94
	8	29.21	30.04	42.36	33.11
	9	27.19	34.23	43.13	33.95
	10	28.62	35.79	46.75	31.89
100 Derajat	1	21.77	32.91	35.55	28.18
	2	21.62	27.82	38.43	27.66
	3	24.12	31.89	38.22	26.50
	4	21.95	29.53	35.73	29.78
	5	23.23	29.80	34.62	29.33
	6	22.39	29.38	35.79	30.31
	7	24.40	31.59	38.97	27.66
	8	22.99	29.29	36.36	28.74
	9	19.42	28.12	32.79	29.63
	10	23.85	29.59	40.17	28.17

Lampiran B

ALAT dan Bahan



Kaca cetakan



cutter

gunting



Pemotong kaca



suntikan katalis



timbangan digital



spidol hitam



montmorillonite



polyester yukalac



Katalis Mekp

Cetakan Kaca

Serat Kelapa



Alat Uji *Bending*

Alat Uji Tarik

Oven Listrik



Termostat

Lemari Pendingin

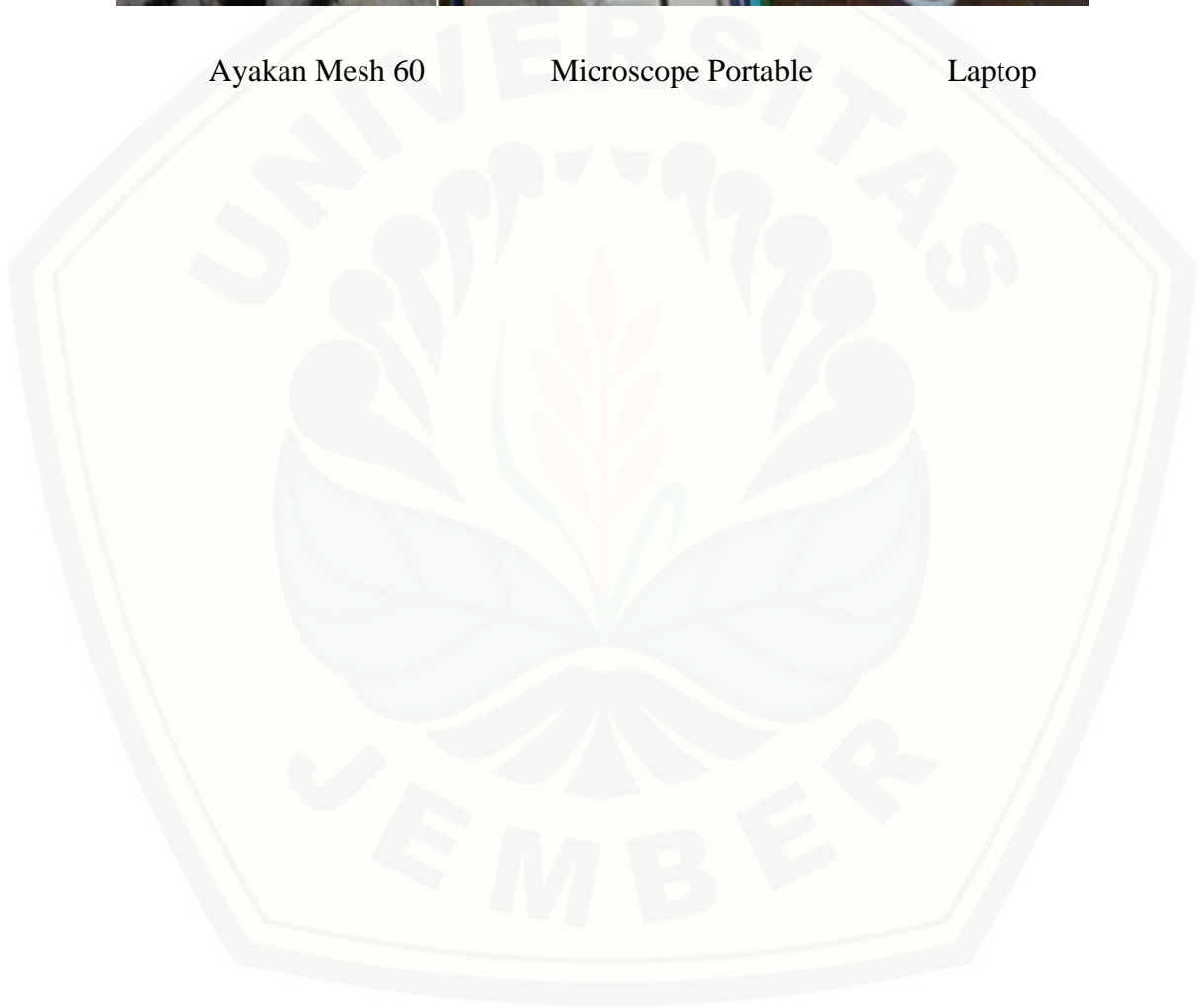
Gerinda



Ayakan Mesh 60

Microscope Portable

Laptop



Lampiran C

Tabel distribusi F

Titik Persentase Distribusi F untuk Probabilita = 0,05															
df untuk penyebut (N2)	df untuk pembilang (N1)														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
48	4.05	3.20	2.81	2.57	2.42	2.30	2.22	2.15	2.09	2.04	2.00	1.97	1.94	1.91	1.89
47	4.05	3.20	2.80	2.57	2.41	2.30	2.21	2.14	2.09	2.04	2.00	1.96	1.93	1.91	1.88
48	4.04	3.19	2.80	2.57	2.41	2.29	2.21	2.14	2.08	2.03	1.99	1.96	1.93	1.90	1.88
48	4.04	3.19	2.79	2.56	2.40	2.29	2.20	2.13	2.08	2.03	1.99	1.96	1.93	1.90	1.88
60	4.03	3.18	2.79	2.56	2.40	2.29	2.20	2.13	2.07	2.03	1.99	1.95	1.92	1.89	1.87
61	4.03	3.18	2.79	2.55	2.40	2.28	2.20	2.13	2.07	2.02	1.98	1.95	1.92	1.89	1.87
62	4.03	3.18	2.78	2.55	2.39	2.28	2.19	2.12	2.07	2.02	1.98	1.94	1.91	1.89	1.86
63	4.02	3.17	2.78	2.55	2.39	2.28	2.19	2.12	2.06	2.01	1.97	1.94	1.91	1.88	1.86
64	4.02	3.17	2.78	2.54	2.39	2.27	2.18	2.12	2.06	2.01	1.97	1.94	1.91	1.88	1.86
66	4.02	3.16	2.77	2.54	2.38	2.27	2.18	2.11	2.06	2.01	1.97	1.93	1.90	1.88	1.85
68	4.01	3.16	2.77	2.54	2.38	2.27	2.18	2.11	2.05	2.00	1.96	1.93	1.90	1.87	1.85
67	4.01	3.16	2.77	2.53	2.38	2.26	2.18	2.11	2.05	2.00	1.96	1.93	1.90	1.87	1.85
68	4.01	3.16	2.76	2.53	2.37	2.26	2.17	2.10	2.05	2.00	1.96	1.92	1.89	1.87	1.84
68	4.00	3.15	2.76	2.53	2.37	2.26	2.17	2.10	2.04	2.00	1.96	1.92	1.89	1.86	1.84
80	4.00	3.15	2.76	2.53	2.37	2.25	2.17	2.10	2.04	1.99	1.95	1.92	1.89	1.86	1.84
81	4.00	3.15	2.76	2.52	2.37	2.25	2.16	2.09	2.04	1.99	1.95	1.91	1.88	1.86	1.83
82	4.00	3.15	2.75	2.52	2.36	2.25	2.16	2.09	2.03	1.99	1.95	1.91	1.88	1.85	1.83
83	3.99	3.14	2.75	2.52	2.36	2.25	2.16	2.09	2.03	1.98	1.94	1.91	1.88	1.85	1.83
84	3.99	3.14	2.75	2.52	2.36	2.24	2.16	2.09	2.03	1.98	1.94	1.91	1.88	1.85	1.83
86	3.99	3.14	2.75	2.51	2.36	2.24	2.15	2.08	2.03	1.98	1.94	1.90	1.87	1.85	1.82
88	3.99	3.14	2.74	2.51	2.35	2.24	2.15	2.08	2.03	1.98	1.94	1.90	1.87	1.84	1.82
87	3.98	3.13	2.74	2.51	2.35	2.24	2.15	2.08	2.02	1.98	1.93	1.90	1.87	1.84	1.82
88	3.98	3.13	2.74	2.51	2.35	2.24	2.15	2.08	2.02	1.97	1.93	1.90	1.87	1.84	1.82
88	3.98	3.13	2.74	2.50	2.35	2.23	2.15	2.08	2.02	1.97	1.93	1.90	1.86	1.84	1.81
70	3.98	3.13	2.74	2.50	2.35	2.23	2.14	2.07	2.02	1.97	1.93	1.89	1.86	1.84	1.81
71	3.98	3.13	2.73	2.50	2.34	2.23	2.14	2.07	2.01	1.97	1.93	1.89	1.86	1.83	1.81
72	3.97	3.12	2.73	2.50	2.34	2.23	2.14	2.07	2.01	1.96	1.92	1.89	1.86	1.83	1.81
73	3.97	3.12	2.73	2.50	2.34	2.23	2.14	2.07	2.01	1.96	1.92	1.89	1.86	1.83	1.81
74	3.97	3.12	2.73	2.50	2.34	2.22	2.14	2.07	2.01	1.96	1.92	1.89	1.85	1.83	1.80
76	3.97	3.12	2.73	2.49	2.34	2.22	2.13	2.06	2.01	1.96	1.92	1.88	1.85	1.83	1.80
78	3.97	3.12	2.72	2.49	2.33	2.22	2.13	2.06	2.01	1.96	1.92	1.88	1.85	1.82	1.80
77	3.97	3.12	2.72	2.49	2.33	2.22	2.13	2.06	2.00	1.96	1.92	1.88	1.85	1.82	1.80
78	3.96	3.11	2.72	2.49	2.33	2.22	2.13	2.06	2.00	1.95	1.91	1.88	1.85	1.82	1.80
78	3.96	3.11	2.72	2.49	2.33	2.22	2.13	2.06	2.00	1.95	1.91	1.88	1.85	1.82	1.79
80	3.96	3.11	2.72	2.49	2.33	2.21	2.13	2.06	2.00	1.95	1.91	1.88	1.84	1.82	1.79
81	3.96	3.11	2.72	2.48	2.33	2.21	2.12	2.05	2.00	1.95	1.91	1.87	1.84	1.82	1.79
82	3.96	3.11	2.72	2.48	2.33	2.21	2.12	2.05	2.00	1.95	1.91	1.87	1.84	1.81	1.79
83	3.96	3.11	2.71	2.48	2.32	2.21	2.12	2.05	1.99	1.95	1.91	1.87	1.84	1.81	1.79
84	3.95	3.11	2.71	2.48	2.32	2.21	2.12	2.05	1.99	1.95	1.90	1.87	1.84	1.81	1.79
86	3.95	3.10	2.71	2.48	2.32	2.21	2.12	2.05	1.99	1.94	1.90	1.87	1.84	1.81	1.79
88	3.95	3.10	2.71	2.48	2.32	2.21	2.12	2.05	1.99	1.94	1.90	1.87	1.84	1.81	1.78
87	3.95	3.10	2.71	2.48	2.32	2.20	2.12	2.05	1.99	1.94	1.90	1.87	1.83	1.81	1.78
88	3.95	3.10	2.71	2.48	2.32	2.20	2.12	2.05	1.99	1.94	1.90	1.86	1.83	1.81	1.78
88	3.95	3.10	2.71	2.47	2.32	2.20	2.11	2.04	1.99	1.94	1.90	1.86	1.83	1.80	1.78
80	3.95	3.10	2.71	2.47	2.32	2.20	2.11	2.04	1.99	1.94	1.90	1.86	1.83	1.80	1.78

Titik Persentase Distribusi F untuk Probabilita = 0,05

df untuk penyebut (N2)	df untuk pembilang (N1)														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
81	3.95	3.10	2.70	2.47	2.31	2.20	2.11	2.04	1.98	1.94	1.90	1.86	1.83	1.80	1.78
82	3.94	3.10	2.70	2.47	2.31	2.20	2.11	2.04	1.98	1.94	1.89	1.86	1.83	1.80	1.78
83	3.94	3.09	2.70	2.47	2.31	2.20	2.11	2.04	1.98	1.93	1.89	1.86	1.83	1.80	1.78
84	3.94	3.09	2.70	2.47	2.31	2.20	2.11	2.04	1.98	1.93	1.89	1.86	1.83	1.80	1.77
86	3.94	3.09	2.70	2.47	2.31	2.20	2.11	2.04	1.98	1.93	1.89	1.86	1.82	1.80	1.77
88	3.94	3.09	2.70	2.47	2.31	2.19	2.11	2.04	1.98	1.93	1.89	1.85	1.82	1.80	1.77
87	3.94	3.09	2.70	2.47	2.31	2.19	2.11	2.04	1.98	1.93	1.89	1.85	1.82	1.80	1.77
88	3.94	3.09	2.70	2.46	2.31	2.19	2.10	2.03	1.98	1.93	1.89	1.85	1.82	1.79	1.77
89	3.94	3.09	2.70	2.46	2.31	2.19	2.10	2.03	1.98	1.93	1.89	1.85	1.82	1.79	1.77
100	3.94	3.09	2.70	2.46	2.31	2.19	2.10	2.03	1.97	1.93	1.89	1.85	1.82	1.79	1.77
101	3.94	3.09	2.69	2.46	2.30	2.19	2.10	2.03	1.97	1.93	1.88	1.85	1.82	1.79	1.77
102	3.93	3.09	2.69	2.46	2.30	2.19	2.10	2.03	1.97	1.92	1.88	1.85	1.82	1.79	1.77
103	3.93	3.08	2.69	2.46	2.30	2.19	2.10	2.03	1.97	1.92	1.88	1.85	1.82	1.79	1.76
104	3.93	3.08	2.69	2.46	2.30	2.19	2.10	2.03	1.97	1.92	1.88	1.85	1.82	1.79	1.76
106	3.93	3.08	2.69	2.46	2.30	2.19	2.10	2.03	1.97	1.92	1.88	1.85	1.81	1.79	1.76
108	3.93	3.08	2.69	2.46	2.30	2.19	2.10	2.03	1.97	1.92	1.88	1.84	1.81	1.79	1.76
107	3.93	3.08	2.69	2.46	2.30	2.18	2.10	2.03	1.97	1.92	1.88	1.84	1.81	1.79	1.76
108	3.93	3.08	2.69	2.46	2.30	2.18	2.10	2.03	1.97	1.92	1.88	1.84	1.81	1.78	1.76
109	3.93	3.08	2.69	2.45	2.30	2.18	2.09	2.02	1.97	1.92	1.88	1.84	1.81	1.78	1.76
110	3.93	3.08	2.69	2.45	2.30	2.18	2.09	2.02	1.97	1.92	1.88	1.84	1.81	1.78	1.76
111	3.93	3.08	2.69	2.45	2.30	2.18	2.09	2.02	1.97	1.92	1.88	1.84	1.81	1.78	1.76
112	3.93	3.08	2.69	2.45	2.30	2.18	2.09	2.02	1.96	1.92	1.88	1.84	1.81	1.78	1.76
113	3.93	3.08	2.68	2.45	2.29	2.18	2.09	2.02	1.96	1.92	1.87	1.84	1.81	1.78	1.76
114	3.92	3.08	2.68	2.45	2.29	2.18	2.09	2.02	1.96	1.91	1.87	1.84	1.81	1.78	1.75
116	3.92	3.08	2.68	2.45	2.29	2.18	2.09	2.02	1.96	1.91	1.87	1.84	1.81	1.78	1.75
118	3.92	3.07	2.68	2.45	2.29	2.18	2.09	2.02	1.96	1.91	1.87	1.84	1.81	1.78	1.75
117	3.92	3.07	2.68	2.45	2.29	2.18	2.09	2.02	1.96	1.91	1.87	1.84	1.80	1.78	1.75
118	3.92	3.07	2.68	2.45	2.29	2.18	2.09	2.02	1.96	1.91	1.87	1.84	1.80	1.78	1.75
119	3.92	3.07	2.68	2.45	2.29	2.18	2.09	2.02	1.96	1.91	1.87	1.83	1.80	1.78	1.75
120	3.92	3.07	2.68	2.45	2.29	2.18	2.09	2.02	1.96	1.91	1.87	1.83	1.80	1.78	1.75
121	3.92	3.07	2.68	2.45	2.29	2.17	2.09	2.02	1.96	1.91	1.87	1.83	1.80	1.77	1.75
122	3.92	3.07	2.68	2.45	2.29	2.17	2.09	2.02	1.96	1.91	1.87	1.83	1.80	1.77	1.75
123	3.92	3.07	2.68	2.45	2.29	2.17	2.08	2.01	1.96	1.91	1.87	1.83	1.80	1.77	1.75
124	3.92	3.07	2.68	2.44	2.29	2.17	2.08	2.01	1.96	1.91	1.87	1.83	1.80	1.77	1.75
126	3.92	3.07	2.68	2.44	2.29	2.17	2.08	2.01	1.96	1.91	1.87	1.83	1.80	1.77	1.75
128	3.92	3.07	2.68	2.44	2.29	2.17	2.08	2.01	1.95	1.91	1.87	1.83	1.80	1.77	1.75
127	3.92	3.07	2.68	2.44	2.29	2.17	2.08	2.01	1.95	1.91	1.86	1.83	1.80	1.77	1.75
128	3.92	3.07	2.68	2.44	2.29	2.17	2.08	2.01	1.95	1.91	1.86	1.83	1.80	1.77	1.75
129	3.91	3.07	2.67	2.44	2.28	2.17	2.08	2.01	1.95	1.90	1.86	1.83	1.80	1.77	1.74
130	3.91	3.07	2.67	2.44	2.28	2.17	2.08	2.01	1.95	1.90	1.86	1.83	1.80	1.77	1.74
131	3.91	3.07	2.67	2.44	2.28	2.17	2.08	2.01	1.95	1.90	1.86	1.83	1.80	1.77	1.74
132	3.91	3.06	2.67	2.44	2.28	2.17	2.08	2.01	1.95	1.90	1.86	1.83	1.79	1.77	1.74
133	3.91	3.06	2.67	2.44	2.28	2.17	2.08	2.01	1.95	1.90	1.86	1.83	1.79	1.77	1.74
134	3.91	3.06	2.67	2.44	2.28	2.17	2.08	2.01	1.95	1.90	1.86	1.83	1.79	1.77	1.74
136	3.91	3.06	2.67	2.44	2.28	2.17	2.08	2.01	1.95	1.90	1.86	1.82	1.79	1.77	1.74

Lampiran D

Standar Uji Tarik ASTM D3039

D 3039/D 3039M

equilibrium, and are of such type or geometry that the weight change of the material cannot be properly measured by weighing the specimen itself (such as a tabbed mechanical coupon), then use another traveler coupon of the same nominal thickness and appropriate size (but without tabs) to determine when equilibrium has been reached for the specimens being conditioned.

8.2 Geometry—Design of mechanical test coupons, especially those using end tabs, remains to a large extent an art rather than a science, with no industry consensus on how to approach the engineering of the gripping interface. Each major composite testing laboratory has developed gripping methods for the specific material systems and environments commonly encountered within that laboratory. Comparison of these methods shows them to differ widely, making it extremely difficult to recommend a universally useful approach or set of approaches. Because of this difficulty, definition of the geometry of the test coupon is broken down into the following three levels, which are discussed further in each appropriate section:

Purpose	Degree of Geometry Definition
8.2.1 General Requirements	Mandatory Shape and Tolerances
8.2.2 Specific Recommendations	Nonmandatory Suggested Dimensions
8.2.3 Detailed Examples	Nonmandatory Typical Practices

8.2.1 General Requirements:

8.2.1.1 Shape, Dimensions, and Tolerances—The complete list of requirements for specimen shape, dimensions, and tolerances is shown in Table 1.

8.2.1.2 Use of Tabs—Tabs are not required. The key factor in the selection of specimen tolerances and gripping methods is the successful introduction of load into the specimen and the prevention of premature failure as a result of a significant discontinuity. Therefore, determine the need to use tabs, and specification of the major tab design parameters, by the end result: acceptable failure mode and location. If acceptable failure modes occur with reasonable frequency, then there is no reason to change a given gripping method (see 11.10).

8.2.2 Specific Recommendations:

8.2.2.1 Width, Thickness, and Length—Select the specimen width and thickness to promote failure in the gage section and assure that the specimen contains a sufficient number of fibers in the cross section to be statistically representative of the bulk material. The specimen length should normally be substantially longer than the minimum requirement to minimize bending stresses caused by minor grip eccentricities. Keep the gage

section as far from the grips as reasonably possible and provide a significant amount of material under stress and therefore produce a more statistically significant result. The minimum requirements for specimen design shown in Table 1 are by themselves insufficient to create a properly dimensioned and tolerated coupon drawing. Therefore, recommendations on other important dimensions are provided for typical material configurations in Table 2. These geometries have been found by a number of testing laboratories to produce acceptable failure modes on a wide variety of material systems, but use of them does not guarantee success for every existing or future material system.

8.2.2.2 Gripping/Use of Tabs—There are many material configurations, such as multidirectional laminates, fabric-based materials, or randomly reinforced sheet-molding compounds, which can be successfully tested without tabs. However, tabs are strongly recommended when testing unidirectional materials (or strongly unidirectionally dominated laminates) to failure in the fiber direction. Tabs may also be required when testing unidirectional materials in the matrix direction to prevent gripping damage.

8.2.2.3 Tab Geometry—Recommendations on important dimensions are provided for typical material configurations in Table 2. These dimensions have been found by a number of testing laboratories to produce acceptable failure modes on a wide variety of material systems, but use of them does not guarantee success for every existing or future material system. The selection of a tab configuration that can successfully produce a gage section tensile failure is dependent upon the coupon material, coupon ply orientation, and the type of grips being used. When pressure-operated nonwedge grips are used with care, squared-off 90° tabs have been used successfully. Wedge-operated grips have been used most successfully with tabs having low bevel angles (7 to 10°) and a feathered smooth transition into the coupon. For alignment purposes, it is essential that the tabs be of matched thickness.

8.2.2.4 Friction Tabs—Tabs need not always be bonded to the material under test to be effective in introducing the load into the specimen. Friction tabs, essentially nonbonded tabs held in place by the pressure of the grip, and often used with emery cloth or some other light abrasive between the tab and the coupon, have been successfully used in some applications. In specific cases, lightly serrated wedge grips (see Note 2) have been successfully used with only emery cloth as the interface between the grip and the coupon. However, the abrasive used must be able to withstand significant compressive loads. Some types of emery cloth have been found ineffective in this application because of disintegration of the abrasive.⁹

8.2.2.5 Tab Material—The most consistently used bonded tab material has been continuous E-glass fiber-reinforced polymer matrix materials (woven or unwoven) in a [0/90]ns laminate configuration. The tab material is commonly applied at 45° to the loading direction to provide a soft interface. Other configurations that have reportedly been successfully used

TABLE 1 Tensile Specimen Geometry Requirements

Parameter	Requirement
Coupon Requirements:	
shape	constant rectangular cross-section
minimum length	gripping + 2 times width + gage length
specimen width	as needed ^a
specimen width tolerance	±1 % of width
specimen thickness	as needed
specimen thickness tolerance	±4 % of thickness
specimen flatness	flat with light finger pressure
Tab Requirements (if used):	
tab material	as needed
fiber orientation (composite tabs)	as needed
tab thickness	as needed
tab thickness variation between tabs	±1 % tab thickness
tab bevel angle	5 to 90°, inclusive
tab step at bevel to specimen	feathered without damaging specimen

^aSee 8.2.2 or Table 2 for recommendations.

⁹E-Z Flex Metalite K224 cloth, Grit 120-I, available from Norton Company, Troy, NY 12181, has been found satisfactory in this application. Other equivalent types of emery cloth should also be suitable.

Lampiran E

Standar Uji Bending ASTM D709

D 790

dimensions. The actual dimensions used in Section 4.2, Calculation, shall be measured in accordance with Test Methods D 5947.

NOTE 3—Any necessary polishing of specimens shall be done only in the lengthwise direction of the specimen.

7.2 Sheet Materials (Except Laminated Thermosetting Materials and Certain Materials Used for Electrical Insulation, Including Vulcanized Fiber and Glass Bonded Mica):

7.2.1 Materials 1.6 mm (1/16 in.) or Greater in Thickness—For flatwise tests, the depth of the specimen shall be the thickness of the material. For edgewise tests, the width of the specimen shall be the thickness of the sheet, and the depth shall not exceed the width (see Notes 4 and 5). For all tests, the support span shall be 16 (tolerance ± 1) times the depth of the beam. Specimen width shall not exceed one fourth of the support span for specimens greater than 3.2 mm (1/8 in.) in depth. Specimens 3.2 mm or less in depth shall be 12.7 mm (1/2 in.) in width. The specimen shall be long enough to allow for overhanging on each end of at least 10 % of the support span, but in no case less than 6.4 mm (1/4 in.) on each end. Overhang shall be sufficient to prevent the specimen from slipping through the supports.

NOTE 4—Whenever possible, the original surface of the sheet shall be unaltered. However, where testing machine limitations make it impossible to follow the above criterion on the unaltered sheet, one or both surfaces shall be machined to provide the desired dimensions, and the location of the specimens with reference to the total depth shall be noted. The values obtained on specimens with machined surfaces may differ from those obtained on specimens with original surfaces. Consequently, any specifications for flexural properties on thicker sheets must state whether the original surfaces are to be retained or not. When only one surface was machined, it must be stated whether the machined surface was on the tension or compression side of the beam.

NOTE 5—Edgewise tests are not applicable for sheets that are so thin that specimens meeting these requirements cannot be cut. If specimen depth exceeds the width, buckling may occur.

7.2.2 Materials Less than 1.6 mm (1/16 in.) in Thickness—The specimen shall be 50.8 mm (2 in.) long by 12.7 mm (1/2 in.) wide, tested flatwise on a 25.4-mm (1-in.) support span.

NOTE 6—Use of the formulas for simple beams cited in these test methods for calculating results presumes that beam width is small in comparison with the support span. Therefore, the formulas do not apply rigorously to these dimensions.

NOTE 7—Where machine sensitivity is such that specimens of these dimensions cannot be measured, wider specimens or shorter support spans, or both, may be used, provided the support span-to-depth ratio is at least 14 to 1. All dimensions must be stated in the report (see also Note 6).

7.3 Laminated Thermosetting Materials and Sheet and Plate Materials Used for Electrical Insulation, Including Vulcanized Fiber and Glass-Bonded Mica—For paper-base and fabric-base grades over 25.4 mm (1 in.) in nominal thickness, the specimens shall be machined on both surfaces to a depth of 25.4 mm. For glass-base and nylon-base grades, specimens over 12.7 mm (1/2 in.) in nominal depth shall be machined on both surfaces to a depth of 12.7 mm. The support span-to-depth ratio shall be chosen such that failures occur in the outer fibers of the specimens, due only to the bending moment (see Note 8). Therefore, a ratio larger than 16:1 may be necessary (32:1 or 40:1 are recommended). When laminated

materials exhibit low compressive strength perpendicular to the laminations, they shall be loaded with a large radius loading nose (up to four times the specimen depth to prevent premature damage to the outer fibers).

7.4 Molding Materials (Thermoplastics and Thermosets)—The recommended specimen for molding materials is 127 by 12.7 by 3.2 mm (5 by 1/2 by 1/8 in.) tested flatwise on a support span, resulting in a support span-to-depth ratio of 16 (tolerance ± 1). Thicker specimens should be avoided if they exhibit significant shrink marks or bubbles when molded.

7.5 High-Strength Reinforced Composites, Including Highly Orthotropic Laminates—The span-to-depth ratio shall be chosen such that failure occurs in the outer fibers of the specimens and is due only to the bending moment (see Note 8). A span-to-depth ratio larger than 16:1 may be necessary (32:1 or 40:1 are recommended). For some highly anisotropic composites, shear deformation can significantly influence modulus measurements, even at span-to-depth ratios as high as 40:1. Hence, for these materials, an increase in the span-to-depth ratio to 60:1 is recommended to eliminate shear effects when modulus data are required, it should also be noted that the flexural modulus of highly anisotropic laminates is a strong function of ply-stacking sequence and will not necessarily correlate with tensile modulus, which is not stacking-sequence dependent.

NOTE 8—As a general rule, support span-to-depth ratios of 16:1 are satisfactory when the ratio of the tensile strength to shear strength is less than 8 to 1, but the support span-to-depth ratio must be increased for composite laminates having relatively low shear strength in the plane of the laminate and relatively high tensile strength parallel to the support span.

8. Number of Test Specimens

8.1 Test at least five specimens for each sample in the case of isotropic materials or molded specimens.

8.2 For each sample of anisotropic material in sheet form, test at least five specimens for each of the following conditions. Recommended conditions are flatwise and edgewise tests on specimens cut in lengthwise and crosswise directions of the sheet. For the purposes of this test, "lengthwise" designates the principal axis of anisotropy and shall be interpreted to mean the direction of the sheet known to be stronger in flexure. "Crosswise" indicates the sheet direction known to be the weaker in flexure and shall be at 90° to the lengthwise direction.

9. Conditioning

9.1 Conditioning—Condition the test specimens at $23 \pm 2^\circ\text{C}$ ($73.4 \pm 3.6^\circ\text{F}$) and $50 \pm 5\%$ relative humidity for not less than 40 h prior to testing, in accordance with Procedure A of Practice D 618, for those tests where conditioning is required unless otherwise stated in the materials specification. In cases of disagreement, the tolerances shall be $\pm 1^\circ\text{C}$ ($\pm 1.8^\circ\text{F}$) and $\pm 2\%$ relative humidity.

9.2 Test Conditions—Conduct tests in the standard laboratory atmosphere of $23 \pm 2^\circ\text{C}$ ($73.4 \pm 3.6^\circ\text{F}$) and $50 \pm 5\%$ relative humidity, unless otherwise specified in the material specification. In cases of disagreement, the tolerances shall be $\pm 1^\circ\text{C}$ ($\pm 1.8^\circ\text{F}$) and $\pm 2\%$ relative humidity.