



**PENGARUH UKURAN PARTIKEL *MONMORILLONITE*  
SEBAGAI ADITIF KOMPOSIT *POLYESTER* SERAT KENAF  
ANYAM TERHADAP SIFAT MEKANIK SIKLUS TERMAL**

**SKRIPSI**

Oleh:

**Annas Widadtyawan Firdaus  
NIM 111910101015**

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK  
JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS JEMBER  
2015**



**PENGARUH UKURAN PARTIKEL *MONMORILLONITE*  
SEBAGAI ADITIF KOMPOSIT *POLYESTER* SERAT KENAF  
ANYAM TERHADAP SIFAT MEKANIK SIKLUS TERMAL**

**SKRIPSI**

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

Oleh:

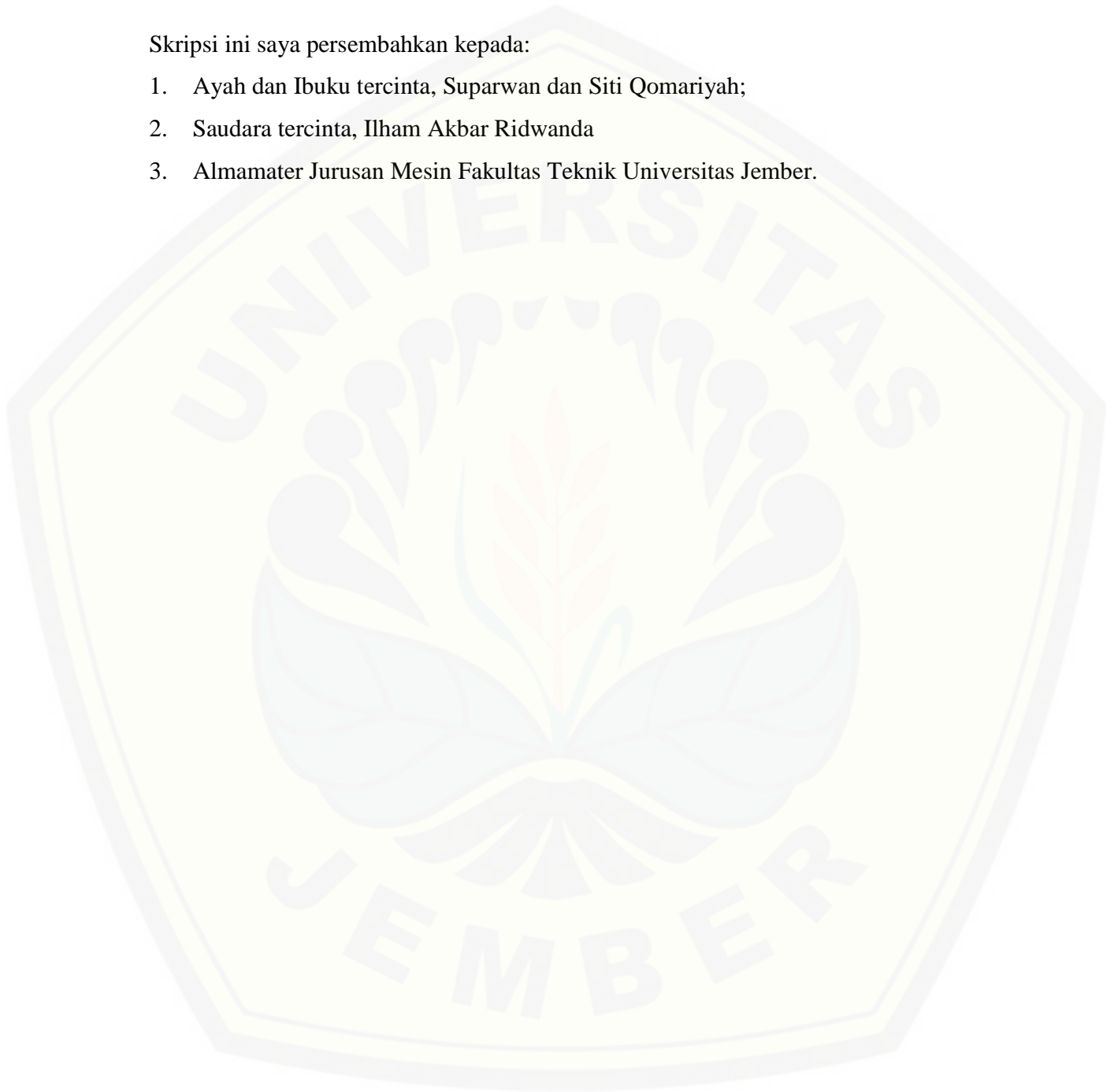
**Annas Widadtyawan Firdaus**  
**NIM 1119101015**

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK  
JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS JEMBER  
2015**

**PERSEMBAHAN**

Skripsi ini saya persembahkan kepada:

1. Ayah dan Ibuku tercinta, Suparwan dan Siti Qomariyah;
2. Saudara tercinta, Ilham Akbar Ridwanda
3. Almamater Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.



**MOTTO**

Karena sesungguhnya setelah kesulitan ada kemudahan  
(QS Al-Insyiraah: 5)\*)

Jangan jelaskan tentang dirimu kepada siapapun. Karena yang menyukaimu tidak  
butuh itu dan yang membencimu tidak percaya itu  
(Ali Bin Abi Thalib) \*\*)

Karena aku cinta pada keberanian hidup. (Soe Hok Gie)\*\*\*)

---

\*)Kementerian Agama Republik Indonesia.2006. Al-Quran danTerjemahannya

\*\*)Kementerian Agama Republik Indonesia.2006. Al-Hadist danTerjemahannya

\*\*\*)Pustaka LP3ES.2012. Soe Hok Gie, Catatan Seorang Demontran

**PERNYATAAN**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : **Annas Widadyawan Firdaus**

NIM : **111910101015**

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya tulis ilmiah yang berjudul: **Pengaruh ukuran partikel montmorillonite sebagai aditif komposit polyester serat kenaf anyam terhadap sifat mekanik siklus thermal** adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali jika disebutkan sumbernya dan belum pernah diajukan pada instansi manapun, serta 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 adanya tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik bila ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 16 Oktober 2015

Yang menyatakan,

(Annas Widadyawan F.)  
NIM. 111910101015

**SKRIPSI**

**PENGARUH UKURAN PARTIKEL *MONMORILLONITE*  
SEBAGAI ADITIF KOMPOSIT *POLYESTER* SERAT KENAF  
ANYAM TERHADAP SIFAT MEKANIK SIKLUS TERMAL**

Oleh

Annas Widadyawan Firdaus  
NIM 111910101015

Pembimbing:

Dosen Pembimbing Utama : Aris Zainul Muttaqin S.T., M.T

Dosen Pembimbing Anggota : Imam Sholahuddin S.T., M.T.

**PENGESAHAN**

Skripsi berjudul **“Pengaruh ukuran partikel montmorillonite sebagai aditif komposit polyester serat kenaf anyam terhadap sifat mekanik siklus thermal”** telah diuji dan disahkan oleh Fakultas Teknik Universitas Jember pada:

Hari, Tanggal : Jum'at 16 oktober 2015

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim penguji:

Ketua,



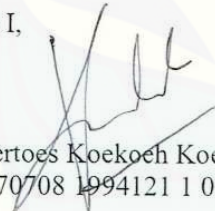
Aris Zainul Muttaqin S.T., M.T.  
NIP 19681207 199512 1 002

Sekretaris,



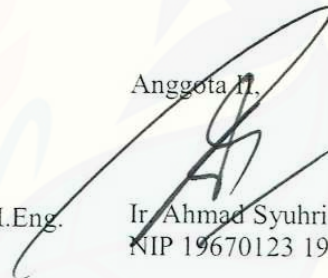
Imam Sholahuddin, S.T., M.T.  
NIP 19811029 200812 1 003

Anggota I,



Dr. Robertoes Koekoeh Koentjoro W, S.T., M.Eng.  
NIP 19670708 1994121 1 001

Anggota II,



Ir. Ahmad Syuhri, M.T  
NIP 19670123 199702 1 001

Mengesahkan  
Dekan Fakultas Teknik,

Ir. Widyono Hadi, M.T.  
NIP 19610414 198902 1 001

## RINGKASAN

**Pengaruh Ukuran Partikel Montmorillonite Sebagai Aditif Komposit Polyester Serat Kenaf Anyam Terhadap Sifat Mekanik Siklus Thermal;** Annas Widadyawan Firdaus 111910101015: Program Studi Strata Satu Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Komposit merupakan material yang dibuat dengan menggabungkan dua material atau lebih dengan skala makroskopis untuk menghasilkan suatu bahan baru yang lebih kuat. Terkait aplikasi produk komposit sebagai komponen eksterior mobil yaitu sebagai kap mobil maka suatu produk komposit tersebut akan terpapar panas dan dingin secara berulang dan berkelanjutan yang mengakibatkan siklus termal. Daya tahan dari komposit dalam menahan paparan perubahan suhu inilah yang menjadi faktor penting dalam pemilihan bahan atau material yang akan digunakan. Komposit merupakan material yang di buat dengan menggabungkan dua material atau lebih dengan skala makroskopis untuk menghasilkan suatu bahan baru.

Metodologi yang digunakan dalam penelitian kali ini adalah penggabungan antara eksperimen di lapangan dan pengkajian studi literatur dari berbagai sumber baik dari buku, jurnal maupun internet. Variabel bebas yang di gunakan adalah variasi ukuran partikel *montmorillonite* (mesh 30-40, mesh 50-60 dan mesh 80-100) dan variasi siklus termal yaitu 0 siklus, 25 siklus, 50 siklus dan 75 siklus. Metode pembuatan komposit menggunakan metode *hand layup*. Setelah proses pembuatan spesimen selesai dilakukan pengujian siklus thermal dengan waktu pemaparan selama 10 menit tiap suhu lalu dilakukan pengujian tarik sesuai dengan standart ASTM D3039.

Dari penelitian ini didapatkan kesimpulan sebagai berikut: 1) Ukuran serbuk montmorillonite yang semakin kecil yaitu pada komposit dengan ukuran mesh 80-100 dapat meningkatkan kekuatan tarik dari komposit dengan nilai kekuatan tarik sebesar 16,16 Mpa; 2) Jumlah siklus dalam pengujian siklus thermal yang semakin banyak yaitu dengan 75 siklus menyebabkan kekuatan dari komposit semakin menurun dengan



kekuatan tarik sebesar 8,89 Mpa; 3) Adanya perbedaan morfologi komposit dari ketiga jenis komposit, dimana komposit dengan ukuran mesh 80-100 memiliki struktur yang lebih halus. Sementara dari segi patahan komposit mengalami patahan jenis LAT, LIT dan AGM; 4) Serbuk *montmorillonite* dapat meningkatkan ketahanan thermal komposit akan tetapi menyebabkan kekuatannya menurun. Komposit dengan aditif *montmorillonite* berukuran mesh 50-60 dengan perlakuan 50 siklus merupakan komposit yang memiliki perpaduan yang paling baik, karena nilai kekuatan tarik dan ketahanan thermal yang seimbang.

Kata kunci: Ukuran Partikel, Montmorillonite, Kenaf, Siklus Thermal, ASTM D 3039.

## SUMMARY

**The Influence of Montmorillonite's Particle Size as an Additive Composite Polyester Kenaf Anyam's Fiber Toward the Character of Mechanical Cycle Thermal; Annas Widadtyawan Firdaus 111910101015:** course of study of bachelor degree of mechanical engineering department, the faculty of mechanical engineering, Jember University.

Composite is material made by combining two material or more with scales makrokospis to produce a new material stronger. Related to the composite product as a car exterior component that is as the hood car, so a composite product will be exposed to heat and cold repeatedly and continuously that caused thermal cycle. The endurance of composite in enduring the changing of temperature became the important factor in material selection and the material that are used. Composite is a material which is used by combining two materials or more with mikrokospis scales to produce a new material.

Methodology used in this research was the combination between experiments in field and the assessment of literature study from various sources such as books, journal and internet. Free variable that is used was the variation size of particles Montmorillonite (mesh 30-40, mesh 50-60 and mesh 80-100) and the variation thermal cycle, that is 0 cycle, 25 cycle, 50 cycle and 75 cycle. The method of composite construction was used of hand layup method. After the process of making specimens was done, there was the thermal cycle testing with the expose time about 10 minutes for each temperature. Then, there was the tensile test in accordance with the ASTM D3039 standart.

From this research, it can be concluded, as follows: 1) The montmorillonite powder which is became more small that is from the composite with the size of 80-100 mesh, it can increased the pull strength of the composite with the pull strength value in the amount of 16,16 Mpa; 2) The great amount of cycle in the cycle thermal testing that is with the 75 cycles caused the composite strength become more decreased with

the pull strength at about 8,89 Mpa; 3) There was the differences in morphology composite from the three kinds of composite, where the composite with the size of 80-100 mesh has smooth structure. While, in the terms of fault composite was experienced the kind of fault such as LAT, LIT, and AGM; 4) The montmorillonite powder can improved the endurance of thermal composite, but it can caused the decreasing of the pull strength. Composite with additive montmorillonite in the size of 50-60 mesh with the treatment of 50 cycles was the composite which has the best combination, because the value of the pull strength and the thermal strength was balanced.

Keywords: Particle size, Montmorillonite, Kenaf, thermal cycle, ASTM D 3039.

## PRAKATA

Puji syukur Alhamdulillah ke hadirat Allah SWT karena atas rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Pengaruh ukuran partikel montmorillonite sebagai aditif komposit polyester serat kenaf anyam terhadap sifat mekanik siklus thermal”. Skripsi ini disusun untuk melengkapi tugas akhir dan memenuhi syarat untuk menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Banyak sekali pihak yang telah membantu penulis, untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada:

1. Bapak Aris Zaiunul Muttaqin, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing utama dan Imam Sholehudin., S.T., M.T., selaku dosen pembimbing anggota yang telah meluangkan waktu, ide-ide, dan ilmu dalam penyusunan skripsi ini;
2. Bapak Dr. Robertoes Koekoeh Koentjoro. W., S.T., M.Eng. selaku dosen penguji 1 dan bapak Ir. Ahmad Syuhri., M.T., selaku dosen penguji 2 yang telah memberikan saran dalam pengerjaan skripsi ini;
3. Ibuku tercinta Siti Qomariyah, Ayahku tercinta Suparwan yang tidak pernah lelah untuk memberikan kasih sayang dan doanya serta pengorbanannya demi terselesaikannya skripsi ini;
4. Saudara, Ilham Akbar Ridwanda yang telah menjadi motivasiku, inspirasiku, semangatku hingga skripsi ini terselesaikan.
5. Partner hidupku Dianita Ajeng Rachmadillah yang selalu memberikan semangat, motivasi, tempatku berbagi cerita, berkeluh kesah dan senang susah kita jalani bersama;
6. Seluruh teman seangkatan Teknik Mesin 2011 Pemi, Arif war, Adam Malik, Arisyabana, Risky Erizal, Wildan Triyanto, Abid, Lutfi, Doni, Ihsan, Irsyad, Hagar, Agus, Agung W, Agung cilik, Farihen, Rudin, Rofik, Arif H, Novan, Sofyan L, Sofyan gundul, Angga, Yohanes, Mirza, Mar'iy, Sigit, Hendri, Niko, Yurike, Ikawati, Dayu, Amril dan yang lainnya merupakan teman-teman yang

terbaik, yang memberikan arti kekompakan dan hangatnya kebersamaan  
*Solidarity Forever*;

7. Semua saudara seperjuangan di kosan sadewa 88, Yudhi, Ma'ruf, Hendra, Joko, Mas Dian, Ari, Ade, Rudi dan para sesepuh alumni kosan sadewa 88.
8. Semua pihak yang tidak dapat saya sebutkan satu-persatu.

Apabila dalam skripsi ini masih ada kesalahan penulis siap menerima kritik dan saran yang bersifat membangun sehingga karya ini dapat menjadi lebih baik. Akhir kata, penulis berharap semoga skripsi ini bermanfaat.

Jember, 11 Agustus 2015

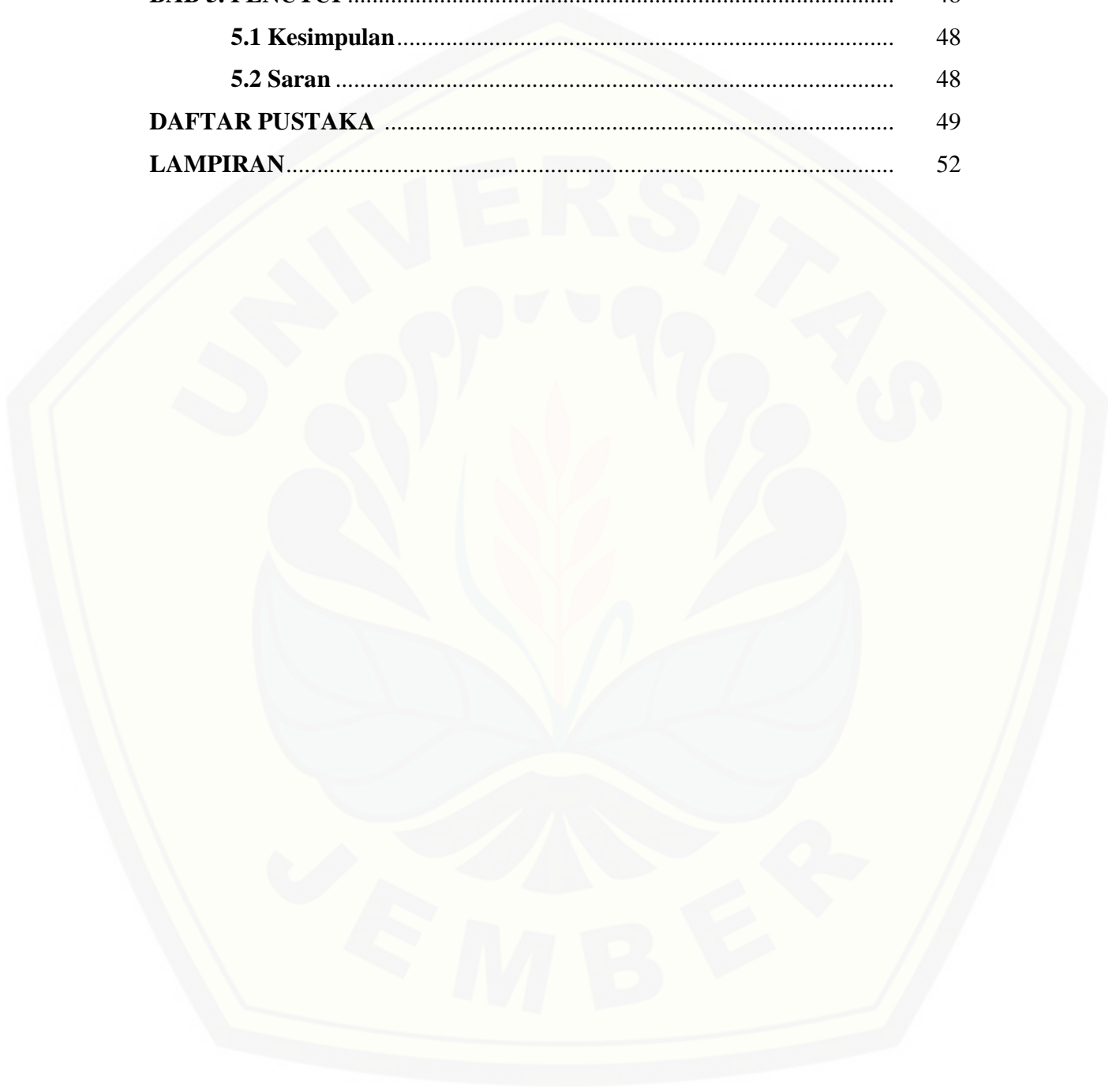
Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>PERSEMBAHAN</b> .....	ii
<b>HALAMAN MOTTO</b> .....	iii
<b>PERNYATAAN</b> .....	iv
<b>HALAMAN PEMBIMBINGAN</b> .....	v
<b>PENGESAHAN</b> .....	vi
<b>RINGKASAN</b> .....	vii
<b>PRAKATA</b> .....	xi
<b>DAFTAR ISI</b> .....	xiii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xvi
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xvii
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xviii
<b>BAB 1. PENDAHULUAN</b> .....	1
<b>1.1 Latar Belakang</b> .....	1
<b>1.2 Rumusan Masalah</b> .....	3
<b>1.3 Batasan Masalah</b> .....	4
<b>1.4 Tujuan dan Manfaat</b> .....	4
<b>BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	6
<b>2.1 Definisi Komposit</b> .....	6
<b>2.2 Komposit Matrik Polimer</b> .....	11
2.2.1 Tujuan dibentuknya Komposit Matrik Polymer .....	11
2.2.2 Kelebihan Bahan komposit Matrik Polimer .....	11
<b>2.3 Resin Polyester</b> .....	12
<b>2.4 Serat Kenaf</b> .....	14
<b>2.5 Montmorillonite (Serbuk Genteng)</b> .....	16
<b>2.6 Pengujian Komposit</b> .....	19
2.6.1 Pengujian Tarik Material Komposit .....	19

2.6.2 Pengujian Thermal (siklus thermal) .....	21
<b>2.7 Pengujian Morfologi.....</b>	<b>23</b>
<b>2.8 Hipotesa.....</b>	<b>24</b>
<b>BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>25</b>
<b>3.1 Tempat dan Waktu Penelitian .....</b>	<b>25</b>
<b>3.2 Alat dan Bahan Penelitian .....</b>	<b>25</b>
<b>3.3 Pelaksanaan Penelitian .....</b>	<b>26</b>
3.1.1 Penetapan Variabel terikat dan Variabel Bebas .....	26
<b>3.4 Metodologi Penelitian .....</b>	<b>26</b>
3.4.1 Langkah-Langkah Pembuatan Sampel .....	26
3.4.2 Langkah-langkah Pengujian Sampel .....	27
3.4.2.1 Siklus Thermal .....	27
3.4.2.2 Uji Tarik .....	28
<b>3.5 Analisa Data.....</b>	<b>28</b>
<b>3.6 Diagram Alir Penelitian.....</b>	<b>30</b>
<b>3.7 Rencana Jadwal Penelitian.....</b>	<b>31</b>
<b>BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>32</b>
<b>4.1 Data Hasil Pengujian.....</b>	<b>32</b>
<b>4.2 Pembahasan.....</b>	<b>35</b>
4.2.1 Analisa Pengaruh Ukuran Partikel Montmorillonite terhadap Kekuatan Tarik .....	35
4.2.2 Analisa Pengaruh Variasi Jumlah siklus Terhadap Kekuatan Tarik .....	38
4.2.3 Analisa Kondisi Morfologi.....	41
4.2.4 Analisa Pengaruh Ukuran Partikel MMT dan Jumlah Siklus Terhadap Kekuatan Tarik .....	45

<b>BAB 5. PENUTUP</b> .....	48
<b>5.1 Kesimpulan</b> .....	48
<b>5.2 Saran</b> .....	48
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	49
<b>LAMPIRAN</b> .....	52





**DAFTAR TABEL**

	Halaman
2.1 Sifat Mekanik Polyester.....	14
2.2 Sifat Fisik dari Serat Kenaf .....	15
2.3 Rangkuman Hasil Penelitian Serat Kenaf dengan Perlakuan Panas.....	16
2.4 Kandungan Utama Unsur Serbuk Genteng Sokka.....	17
2.5 Kondisi Suhu saat Pengujian Siklus Thermal.....	22
2.6 Waktu Pemaparan Pada Saat Pengujian .....	22
2.7 Kode Kegagalan Uji Tarik .....	23
3.1 Jadwal Penelitian .....	31
4.1 Perhitungan Persentase Komposisi Komposit.....	32

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
2.1 Komposisi Komposit .....	7
2.2 Kegagalan Panas pada Laminate .....	10
2.3 Grafik Pengaruh Kenaikan Suhu terhadap Kekuatan Tarik .....	10
2.4 Resin Polyester .....	13
2.5 Tanaman Kenaf, Benang/Serat Kenaf dan Kenaf Anyam .....	15
2.6 Standart Persiapan Sampel Uji Tarik.....	20
3.1 Diagram Alir Penelitian .....	30
4.1 Proses Perlakuan Siklus Thermal .....	33
4.2 Grafik Nilai Kekuatan Tarik Komposit .....	34
4.3 Letak Patahan dan Proses Pataha Komposit.....	36
4.4 Pull Out pada Ptahan Komposit.....	37
4.5 Mikrostruktur Thermosett Ketika Suhu Panas dan Dingin .....	39
4.6 Perbedaan Komposit Berpenambah MMT dan Tanpa MMT.....	40
4.7 Morfologi Komposit pada Masing-Masing Ukuran Partikel.....	41
4.8 Tampak Samping Komposit pada 0 Siklus.....	42
4.9 Tampak Samping Komposit pada 25 Siklus.....	42
4.10 Tampak Samping Komposit pada 50 Siklus.....	43
4.11 Tampak Samping Komposit pada 75 Siklus.....	43
4.12 Morfologi Komposit Tanpa MMT setelah Siklus Thermal.....	44
4.13 Analisa Patahan Menurut ASTM D 3039.....	44
4.14 Grafik Tentang Hubungan Ukuran Partikel dan Jumlah Siklus .....	45
4.15 Grafik Pengaruh Uuran Partikel dan Jumlah Siklus Terhadap Kekuatan Tarik .....	46

## BAB 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Perkembangan dan rekayasa material dewasa ini sangat pesat. Perkembangan material tersebut merupakan salah satu upaya dalam menekan penghematan penggunaan energi dan bahan bakar. Konstruksi yang terbuat dari logam memiliki beban menjadi berat, hal tersebut berpengaruh pada berbagai hal yaitu mahalnya material, kesulitan produksi, dan berdampak borosnya energi. Material komposit merupakan material yang banyak dikembangkan dan penggunaannya telah meluas dalam berbagai sektor industri dan rumah tangga. Menurut Diharjo (2005), komposit merupakan material yang dibuat dengan menggabungkan dua material atau lebih dengan skala makroskopis untuk menghasilkan suatu bahan baru yang lebih kuat. Di dalam dunia industri, kata komposit dalam pengertian bahan komposit berarti terdiri dari dua atau lebih bahan yang berbeda yang digabung atau dicampur menjadi satu.

Penggunaan komposit saat ini tidak hanya berkembang pada produk (*indoor*), tapi juga berkembang untuk penggunaan diluar ruangan (*outdoor*). Serat alam banyak digunakan sebagai penguat komposit dengan berbagai keunggulan, diantaranya sebagai pengganti serat buatan, harga murah, mampu meredam suara, ramah lingkungan, mempunyai densitas rendah, dan kemampuan mekanik tinggi, yang dapat memenuhi kebutuhan industri (Wijoyo, dkk, 2013). Salah satu faktor pendukung tingginya produksi serat kenaf ialah masa tanam yang pendek (4 bulan) dan tahan di ladang marginal. Menurut Diharjo, dkk (2008) ada empat propinsi di Indonesia yang memiliki potensi untuk pengembangan budidaya tanaman kenaf, salah satunya adalah propinsi Jawa Timur.

Teknologi komposit geopolimer merupakan terobosan teknologi yang menjanjikan bagi masa depan dunia perindustrian. Teknologi geopolimer memiliki keunggulan dalam kemampuannya menghasilkan *binder* kinerja tinggi untuk berbagai

sumber aluminosilikat. Sumber aluminosilikat yang dimaksud adalah *silica* dan *alumina* yang dominan terdapat pada geomaterial genteng Sokka/lempung MMT. Geomaterial lempung MMT adalah segumpal tanah liat yang plastis dan mudah dibentuk. Unsur penyusun utama lempung MMT adalah *silica* ( $\text{SiO}_2$ ) dan *alumina* ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ). Kandungan *silika* dan *alumina* memberikan sifat tahan api yang baik pada lempung MMT (Diharjo, *dkk.*, 2013)

Terkait dengan aplikasi komposit sebagai panel, interior maupun eksterior mobil atau aplikasi khusus lainnya sebagai isolator panas misalnya gantungan lampu, sifat hambatan panas menjadi sangat penting untuk dikaji. Daya tahan terhadap termal serta kekuatan yang baik akan memberikan waktu yang lebih lama pada material untuk mempertahankan diri dari kegagalan panas. Hasil riset 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%. Genteng merupakan produk keramik dari tanah liat/lempung yang memiliki kandungan 54,59%  $\text{SiO}_2$  dan 19,92%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Lempung ini dapat dikategorikan sebagai *montmorillonite* karena mempunyai kemampuan mengadsorpsi tinggi, sifat liat yang tinggi, berkerut jika dikeringkan dan butirannya berkeping halus. Kedua senyawa tersebut merupakan bahan geomaterial yang mampu meningkatkan ketahanan panas dan kekuatan komposit. Unsur lain yang terkandung ( $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  dan  $\text{TiO}_2$ ) juga dapat meningkatkan tahan panas (Diharjo, *dkk.*, 2013).

Pada penelitian sebelumnya, perlakuan durasi termal terhadap kekuatan tarik serat kenaf didapatkan nilai kekuatan tarik menurun dari 120 MPa ke 40 MPa pada temperatur dari  $20^\circ\text{C}$  ke  $100^\circ\text{C}$  serta durasi waktu 8 dan 24 jam (Khalid, *dkk.*, 2011). Penelitian serupa pada rentang suhu yang berbeda  $110^\circ\text{C}$  hingga  $190^\circ\text{C}$  dengan variasi waktu 3-9 jam didapatkan kekuatan tarik antara 43,2 MPa sampai 52,5 MPa (Du, *dkk.*, 2008). Begitu pula dengan perlakuan termal mekanis pada komposit kenaf menunjukkan penurunan pada Modulus sisa-nya dari  $310^9$  Pa hingga 0 Pa (Kuroda,

2009). Hasil penelitian menunjukkan bahwa pengujian pada komposit telah mengalami perlakuan siklus thermal. Secara umum, komposit mengalami penurunan secara signifikan bersamaan dengan peningkatan temperatur dan siklus. Defleksi pada komposit mengalami peningkatan secara signifikan bersamaan dengan peningkatan temperatur dan peningkatan siklus. Pengaruh peningkatan temperatur dan peningkatan siklus mampu menyebabkan tingkat pertumbuhan kegagalan delaminasi semakin besar (Hariyanto, dkk.,2011).

Pada penelitian ini akan dilakukan Analisa terhadap ukuran partikel *montmorillonite* sebagai aditif komposit *polyester* serat kenaf anyam dengan pengujian sifat mekanis termalsiklik yang bertujuan untuk meningkatkan kinerja komposit akibat paparan panas. Keterbatasan kekuatan komposit matrik polimer terhadap efek temperatur serta kemampuan partikel *montmorillonite* dalam menghambat laju pemanasan akan menjadi topik penelitian yang menarik dengan menghubungkan sifat keduanya.

## 1.2 Rumusan Masalah

Dari penjelasan diatas dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut:

1. Bagaimanakah pengaruh variasi ukuran partikel aditif *montmorillonite* pada komposit matrik *polyester* berpenguat serat kenaf terhadap nilai kekuatan tariknyanya ?
2. Bagaimanakah pengaruh siklus thermal terhadap kekuatan tarik komposit matrik *polyester* berpenguat serat kenaf menggunakan aditif partikel *montmorillonite* ?
3. Bagaimanakah kondisi morfologi komposit matrik *polyester* berpenguat serat kenaf menggunakan aditif partikel *montmorillonite* setelah dilakukan pengujian tarik dengan perubahan siklus temperatur ?

### 1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. *Polyester* yang digunakan merupakan produk Yukalac 157 BQTN-E.
2. Serat yang digunakan adalah satu lapisan serat jenis kenaf berbentuk anyam orientasi 45°/135°
3. Variasi ukuran partikel *montmorillonite* berasal dari limbah genteng dengan ukuran mesh antara 30-40, ukuran mesh 50-60 dan ukuran mesh 80-100. Dengan menggunakan fraksi berat aditif 40 %.
4. Variasi siklus thermal pengujian siklus thermal: suhu ruang, 100 ° C dan 0° C sebanyak 0, 25, 50, 75 dengan waktu pemaparan 10 menit.
5. Standar uji sifat mekanis komposit matrik polimer menggunakan ASTM D3039 untuk uji tarik.
6. Proses pembuatan sampel menggunakan metode *hand-layup*.

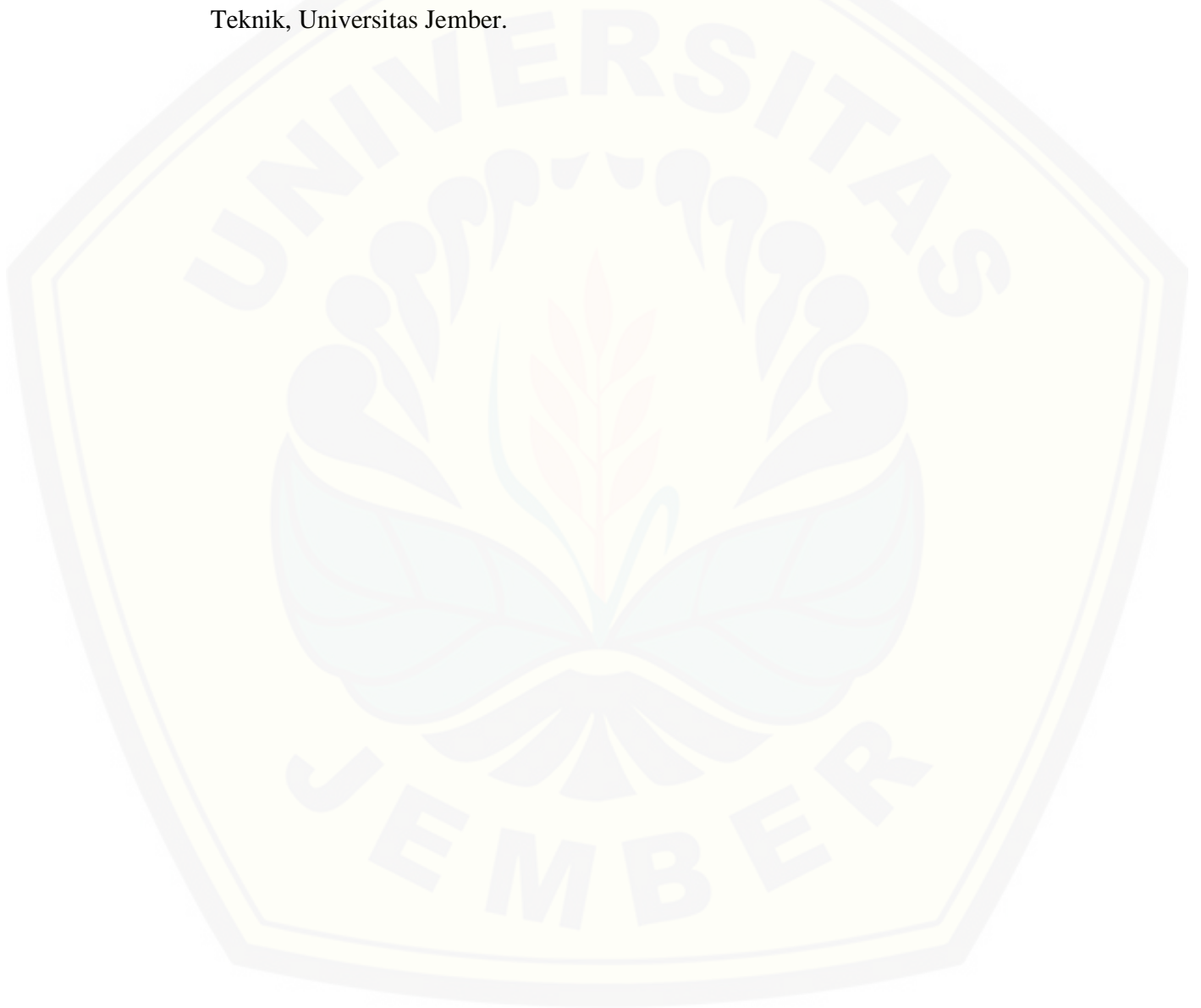
### 1.4 Tujuan dan Manfaat

Adapun tujuan dari penelitian ini ialah:

1. Untuk mengetahui pengaruh variasi ukuran partikel aditif *montmorillonite* pada komposit matrik *polyester* berpenguat serat kenaf terhadap nilai kekuatan tarik.
2. Untuk mengetahui pengaruh variasi siklus thermal terhadap kekuatan tarik komposit matrik *polyester* berpenguat serat kenaf menggunakan aditif partikel *montmorillonite*.
3. Untuk mengetahui kondisi morfologi komposit matrik *polyester* berpenguat serat kenaf anyam menggunakan aditif *montmorillonite* sebelum dan sesudah pengujian.

Sedangkan manfaat yang diperoleh dari penulisan karya ilmiah ini adalah:

1. Memberikan informasi mengenai karakteristik siklus thermal komposit matrik *polyester* berpenguat serat kenaf anyam dengan penambahan aditif partikel *montmorillonite*.
2. Memberikan tambahan materi pustaka kepada Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Jember.



## BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

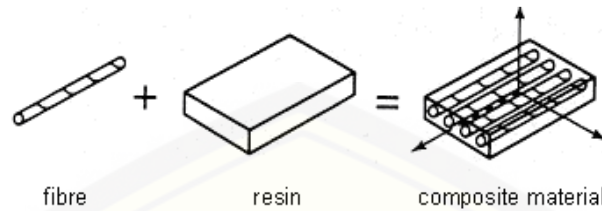
### 2.1 Definisi Komposit

Material komposit didefinisikan sebagai kombinasi antara dua material atau lebih yang berbeda bentuk, komposisi kimia, dan tidak saling melarutkan dimana material yang satu berperan sebagai penguat dan yang lainnya sebagai pengikat serta dapat dilihat perbedaannya secara makroskopis. Komposit disusun dari dua komponen yaitu matriks atau resin dan reinforcement atau penguat atau ada juga yang menyebut filler. Filler ini nanti akan berfungsi sebagai penguat berupa partikel atau serat yang menerima distribusi tegangan dari komposit (Yunus, 2011). Matriks secara ideal seharusnya berfungsi sebagai penyelubung serat dari kerusakan antar serat berupa abrasi, pelindung terhadap lingkungan (serangan zat kimia, kelembaban), pendukung dan menginfiltrasi serat, transfer beban antar serat, dan perekat serta tetap stabil secara fisika dan kimia setelah proses manufaktur. Matriks dapat berbentuk logam, keramik, maupun polimer.

Komposit dibentuk dari dua jenis material yang berbeda, yaitu :

1. Penguat (*reinforcement*), yang mempunyai sifat kurang elastis (ductile) tetapi lebih kaku serta lebih kuat.
2. Matriks, diartikan sebagai material pengikat antar serat atau partikel. Matriks berfungsi sebagai penahan, pelindung, pembagi serta mempengaruhi penampilan dari suatu material. Umumnya lebih ductile tetapi mempunyai kekuatan dan kekakuan yang lebih rendah.





Gambar 2.1 Komposisi Komposit (Sentosa, 2015)

Komposit polimer mulai fenomenal sejak tahun 1960-an dan sekarang telah berkembang pada aplikasi pesawat terbang, pesawat antariksa, perahu, kapal, mobil otomotif, infrastruktur sipil, peralatan olahraga dan produk konsumen. Penggunaan komposit diberbagai bidang tergantung pada karakteristik fisik, termal, kimia dan mekanisnya. Kelebihan komposit terhadap berbagai paduan logam diantaranya ringan, kekakuan spesifik yang tinggi dan kekuatan spesifik, ketahanan lelah yang baik, tahan korosi, isolasi panas, perambatan panas yang rendah.

Secara garis besar material komposit dapat ditinjau dari matriknya (Schwanrtz Mel, 1996 ) yaitu :

a. Metal Matric Composite (Komposit Matrik Logam)

Komposit matrik logam merupakan gabungan dari sekurang-kurangnya dua jenis material, dimana salah satunya adalah logam sebagai material induk (matrik) dan material kedua sebagai pengikat. Biasanya matrik dari logam paduan (metal alloy) yang diperkuat dengan serat kontinyu, whisker (serat-seratnya pendek yang berbentuk kristal tunggal), atau partikel, keramik oksida, karbida dan nitrida karena komposit ini menggunakan metal sebagai matrik, maka komposit jenis ini memiliki ketahanan yang tinggi terhadap temperatur, tetapi memiliki berat yang tinggi.

b. Ceramic Matric Composite (Komposit Matrik Keramik)

Komposit matrik keramik merupakan gabungan material dua fasa dengan satu fasa dimana material dua fasa berfungsi sebagai penguat dan material satu fasa bertindak sebagai matrik. Pada umumnya serat penguatnya dapat berupa serat kontinyu, diskontinyu, ataupun berbentuk partikel yang tersusun dari bahan keramik ataupun grafit. Komposit ini memiliki ketahanan temperatur 16-45 °C.

c. Polymer Matrix Composite (Komposit Matrik Polimer)

Komposit matrik polimer terdiri dari serat sintetis atau serat alam sebagai penguat dan matriknya dari bahan polimer seperti *polyester*, *epoxy*, *polyimide* dll. Serat penguat memiliki kekuatan dan modulus yang tinggi, sedangkan matriks untuk melindungi serat dari lingkungan luar dan sebagai bahan pengikat antar serat penguat.

Masalah besar dari penggunaan Polimer berpenguat serat (*Fiber Reinforced Polymer/ FRP*) pada aplikasi struktur teknik adalah derajat dari ketahanan panas dan keterbatasan informasi sifat material tersebut ketika mengalami pemanasan. Pada suhu yang lebih rendah diantara 100°-200°C, FRP akan mengalami pelunakan, *creep* dan terdistorsi menyebabkan kegagalan ketika mengalami pembebanan struktur ketika 300°-500° C, matriks polimer terdekomposisi, melepaskan panas dan gas beracun (Yousif, 2013). Penelitian mengenai sifat Termal-mekanis pada komposit silanized-enaf/polystyrene dengan menggunakan metode DMA (Dynamic Mechanical Thermal Analysis). Dengan pemberian *coupling agent methacryloypropyltriethoysilane* mulai dari 5-15% dan tanpa pemberian *coupling agent* serta *polystyrene* murni (PS). Hasilnya, modulus sisa tertinggi terdapat pada pemberian CA 15% yaitu sebesar 3 GPa pada suhu 50° C lalu cenderung menurun pada suhu setelahnya hingga modulus terendah yaitu 0 GPa terletak pada suhu 140 C. Nilai terendah didapatkan pada PS dengan modulus sisa sebesar 1 GPa pada suhu 50° C lalu cenderung menurun pada suhu setelahnya hingga modulus terendah yaitu 0 GPa terletak pada suhu 130° C (Kuroda, 2009).

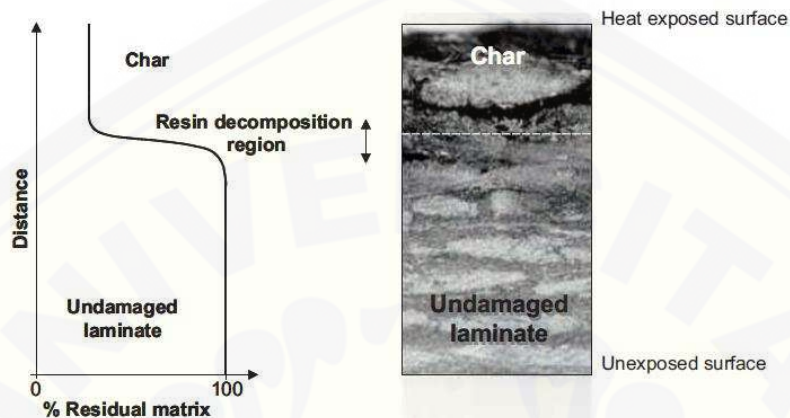
Sifat hambatan panas bahan komposit sangat dibutuhkan untuk aplikasinya sebagai isolator termal. Penggunaan material partikel tahan panas pada komposit diharapkan dapat cmeningkatkan hambatan termal. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan kandungan partikel montmorillonite mampu meningkatkan hambatan panas komposit matrik bisphenolic. Pada kadar partikel 10% dan 50% (v/v), komposit secara berurutan memiliki hambatan panas  $0,80710^{-2}$  K/W dan  $0,93910^{-2}$

K/W. Hambatan panas untuk komposit dengan ukuran partikel 125-177  $\mu\text{m}$  dan  $< 74 \mu\text{m}$  masing-masing adalah  $0,72510^{-2}$  K/W dan  $0,88810^{-2}$  K/W. Penelitian menunjukkan bahwa peningkatan kandungan partikel dan pengecilan ukuran partikel mampu meningkatkan hambatan panas komposit. Komposit ini sangat berpotensi digunakan sebagai isolator panas untuk berbagai aplikasi (Diharjo, dkk., 2013). Namun, pada umumnya matriks komposit berasal dari bahan organik tidak dapat bekerja pada paparan suhu diatas  $200^{\circ}\text{C}$  (Tran Doang Hung, 2011).

Secara umum, kegagalan panas mengakibatkan *laminata* menjadi bentuk arang, melunak dan degradasi pada matriks dan fiber organik, delaminasi dan pecahnya matriks. Gambar 2.2 dibawah menunjukkan gambaran mengenai ketebalan komposit yang telah dipanasi hingga menjadi arang pada salah satu sisinya dan dampak yang terlihat terjadi di berbagai wilayah pada material. Permukaan panas terkena langsung panas pada wilayah pertama sehingga dekomposisi termal menjadi arang, yang terlihat lapisan hitam pada gambar. Isi polimer pada wilayah ini adalah diabaikan karena matriks seluruhnya terdegradasi dan berbagai residu material organik telah memadat menjadi arang. Dibawah wilayah arang yang merupakan daerah tipis disebut daerah dekomposisi dimana matriks polimer telah dipanasi yang diatas reaksi temperatur dekomposisi tetapi dibawah temperatur bentuk arang. Pada daerah ini matriks secara parsial terdegradasi, umumnya dengan pemotongan rantai menjadi molekul fragmen berat yang itu sangat berat untuk menguap.

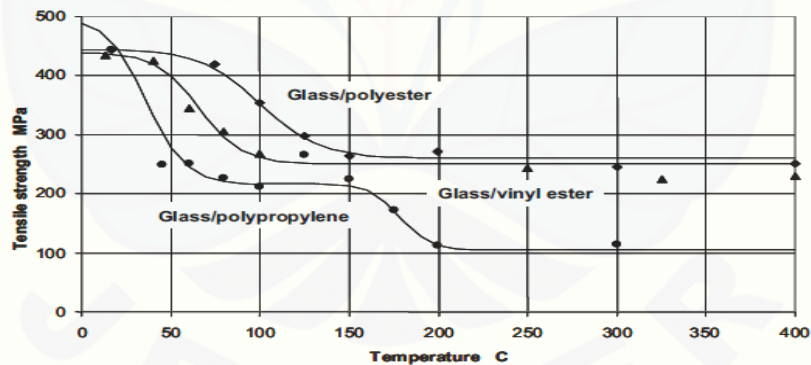
Bagaimanapun juga, proses dekomposisi tidaklah sempurna dan oleh karena itu matriks tidak dikurangi menjadi arang dan gas pembakaran. Di bawah wilayah dekomposisi, komposit termasuk delaminasi yang retak di antara lapisan dan retak matriks yang baik dalam lapisan. Daerah terdekat permukaan dingin pada laminata tidak terpengaruh panas karena temperatur terlalu rendah untuk menyebabkan berbagai pelunakan atau dekomposisi pada matriks. Dengan menambah waktu pembakaran, wilayah dekomposisi dan wilayah arang bertambah secara progresif pada permukaan

yang tidak terkena panas sebelumnya dan secepatnya matriks polimer secara sempurna menjadi arang (Mouritz, dkk., 2006).



Gambar 2.2 Kegagalan panas pada laminate menunjukkan perbedaan wilayah kerusakan (Mouritz, dkk., 2006).

Pengukuran kekuatan tarik saat komposit dipanasi hingga 400° C pada tiga tipe dari laminate anyam: glass/vinyl ester, glass/polyester dan glass/polypropylene (Mouritz, dkk., 2006).



Gambar 2.3 Grafik pengaruh kenaikan suhu terhadap kekuatan tarik pada laminate glass/vinylester, glass/polyester dan glass/polypropylene (Mouritz, dkk., 2006).

## 2.2 Komposit Matrik Polimer

Komposit matriks polimer merupakan teknologi komposit yang paling dikenal dan sering digunakan. Terdiri dari polimer (*epoxy, polyester, urethane*) kemudian diperkuat dengan fiber yang berdiameter kecil (grafit, aramids, boron serta serat alam).

### 2.2.1 Tujuan dibentuknya Komposit Matrik Polimer

Berikut ini adalah tujuan dibentuknya komposit matrik polimer, yaitu sebagai berikut:

- a. Mempermudah desain yang sulit pada proses manufaktur
- b. Memperbaiki sifat mekanik dan sifat spesifik tertentu
- c. Keleluasaan dalam bentuk atau desain yang dapat menghemat biaya secara ekonomis dan menjadikan bahan lebih ringan

### 2.2.2 Kelebihan Bahan Komposit Matrik Polimer

Bahan komposit matrik polimer mempunyai beberapa kelebihan dibandingkan dengan bahan konvensional seperti logam. Kelebihan tersebut pada umumnya dapat dilihat dari beberapa aspek penting dalam beberapa sifat mekanikal dan fisikal, yaitu sebagai berikut:

- a. Kelemahan logam yang terlihat jelas adalah rintangan terhadap korosi, terutama produk kebutuhan sehari-hari. Kecenderungan komponen logam untuk mengalami korosi menyebabkan biaya pembuatan yang tinggi. Sebaliknya, bahan komposit mempunyai rintangan terhadap korosi yang baik.
- b. Bahan komposit mempunyai massa jenis yang jauh lebih rendah dibanding dengan bahan konvensional. Ini memberikan implikasi yang penting dalam konteks penggunaan karena komposit akan mempunyai kekuatan dan kekakuan spesifik lebih tinggi dari bahan konvensional.
- c. Dalam industri angkasa lepas terdapat kecenderungan untuk menggantikan komponen yang terbuat dari logam dengan komposit karena telah terbukti komposit

- mempunyai rintangan terhadap fatigue yang baik terutama komposit yang menggunakan serat karbon.
- d. Bahan komposit mempunyai kelebihan dari segi versatility (berdaya guna) yaitu produk yang mempunyai gabungan sifat-sifat yang menarik yang dapat dihasilkan dengan mengubah sesuai jenis matriks dan serat yang digunakan.
  - e. Perbandingan kekuatan dan berat yang menguntungkan
  - f. Koefisien pemuaian yang rendah
  - g. Mudah diproses (dibentuk)

### 2.3 Resin Polyester

Resin *polyester* (Yukalac 157 BQTN-E) digunakan sebagai bahan matriks dengan sifat densitas  $1,215 \text{ g/cm}^3$ , titik leleh  $170^\circ\text{C}$  dengan serapan air 0,118% (24 jam), tensile strength  $5,5 \text{ kg/mm}^2$  dan perpanjangan putus 1,6% (Mashuri, 2007). *Polyester* ini merupakan jenis *Ortho-phthalic* resin dan sangat populer di bidang pembuatan kapal di Indonesia. Bidang aplikasi lainnya antara lain: tangki, alat saniter, ornamen dan lain-lain. YUKALAC® 157 BQTN-E ber-sertifikat LR Register & FDA (Justus, 2011). *Ortho-phthalic resin* dapat bekerja dengan baik pada suhu sedang hingga rendah dan sering digunakan karena harganya yang murah (Pepper, 2012).

Jenis dari resin *polyester* yang digunakan sebagai matriks komposit adalah tipe yang tidak jenuh (*unsaturated polyester*) yang merupakan termoset yang dapat mengalami pengerasan (*curing*) dari fasa cair menjadi fasa padat saat mendapat perlakuan yang tepat. Berbeda dengan tipe polister jenuh (*saturated polyester*) seperti Terylene, yang tidak bisa mengalami *curing* dengan cara seperti ini. Oleh karena itu merupakan hal yang biasa untuk menyebut resin *polyester* tidak jenuh (*Unsaturated Polyester*) dengan hanya menyebutnya sebagai resin *polyester*, pada gambar 2.4 dapat dilihat bentuk kemasan resin *polyester*.



Gambar 2.4 Resin *Polyester* Yukalac 157 BQTN-E ([http:// YUKALAC®](http://YUKALAC®)  
*UNSATURATED POLYESTER RESIN 157 BQTN-E Chemicals - Waytodeal.com*)

*Polyester* memiliki sifat-sifat sebagai berikut:

1. Suhu deformasi termal *polyester* lebih rendah jika dibandingkan dengan resin termoset lainnya, karena *polyester* banyak mengandung monomer stiren
2. Memiliki ketahanan panas kira-kira 110-140° C
3. Relatif tahan terhadap asam kecuali asam pengoksid, tetapi lemah terhadap alkali.
4. Mudah mengembang dalam pelarut yang melarutkan polimer stiren
5. Ketahanan terhadap cuaca sangat baik, khususnya terhadap kelembaban dan sinar UV

Menurut Bramantyo (2008) Ada beberapa hal yang perlu diperhatikan jika akan menggunakan resin *polyester*, yaitu:

1. Waktu pengerjaan yang terbatas, karena akan cepat mengeras jika didiamkan terlalu lama.
2. Shrinkage (penyusutan volume) yang relatif tinggi pada saat pengerasan
3. Mengeluarkan emisi gas styrene dalam kadar yang tinggi, sehingga dapat membahayakan kesehatan.

Tabel 2.1 Sifat Mekanik *Polyester* Seri Yukalac 157 BQTN-E

Sifat mekanik	Satuan	Nilai Tipikal	Catatan
Berat Jenis	-	1,215	25°C
Kekerasan	-	40	
Suhu distorsi panas	°C	70	
Penyerapan air	%	0,188	24 jam
Suhu ruang	%	0,466	7 hari
Kekuatan Fleksural	Kg/mm <sup>2</sup>	9,4	-
Modulus Fleksural	Kg/mm <sup>2</sup>	300	-
Daya rentang	Kg/mm <sup>2</sup>	5,5	-
Modulus rentang	Kg/mm <sup>2</sup>	300	-
Elongasi	%	2,1	-

Sumber: Justus, 2001 dalam nurmalita, 2010)

#### 2.4 Serat Kenaf

Kenaf (*Hibiscus cannabinus*, L. family Malvaceae) adalah tanaman tahunan yang dapat tumbuh dibawah kondisi cuaca yang beragam .Tanaman ini tumbuh lebih dari tiga meter selama tiga bulan pada kondisi lingkungan yang sedang diameter tangkai 25-51 mm. Tanaman dikotil ini memiliki tiga lapis yaitu kulit, inti, dan non ferrous *cell* (Aji,dkk; 2009). Ada delapan pabrik yang membutuhkan bahan baku serat kenaf untuk pembuatan karung goni, keistimewaan tanaman kenaf dapat tumbuh dalam keadaan tergenang atau banjir sehingga mendaat ulukan tanaman primadona di lahan banir atau binorowo, pada waktu banir bila tanaman semusim mati tinggal tanaman kenaf yang memberikan keuntungan pada petani.

Pada saat ini masih ada pengembangan tanaman kenaf di lahan banjir Lamongan seratnya dibeli oleh PT ABA sebuah perusahaan Jepang yang mempunyai pabrik pembuat interior mobil khususnya doortrim di Purwodadi Pasuruan (Sastrosupadi, 2006).





Gambar 2.5 Tanaman kenaf, benang/serat kenaf dan serat kenaf yang telah dianyam.

Tabel 2.2 Sifat fisik dari serat kenaf (Osman,dkk., 2012)

Fiber	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Tensile strength (MPa)	Young modulus (MPa)	Fiber diameter (mm)	Fiber length (mm)
Serat kenaf	1,04-1,5	110-930	4,3-53	0,24-0,14	1-60

Tabel 2.3 Rangkuman hasil penelitian serat kenaf dengan perlakuan panas.

Serat	Temperature (°C)	Pemanasan (jam)	Kekuatan Tarik (MPa)	Referensi
Kenaf	110-190	3	220-160	(Du.dkk., 2008)
		6	175-50	
		9	150-75	
Kenaf	20	8-24	125-110	(Khalid,dkk., 2011)
	50	8-24	105-70	
	100	8-24	60-40	

## 2.5 Montmorillonite (Serbuk Genteng)

Genteng merupakan produk keramik dari tanah liat/lempung yang memiliki kandungan 54,59% SiO<sub>2</sub> dan 19,92% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Lempung ini dapat dikategorikan sebagai Montmorillonite karena mempunyai kemampuan mengadsorpsi tinggi, sifat liat yang tinggi, berkerut jika dikeringkan dan butirannya berkeping halus. Kedua senyawa tersebut merupakan bahan geomaterial yang mampu meningkatkan ketahanan panas dan kekuatan komposit. Kedua kandungan tersebut menghambat adanya perambatan api (flame resistance). Flame resistance merupakan komponen atau kombinasi komponen yang dapat menghambat nyala bila ditambahkan pada suatu kandungan sehingga dihasilkan suatu material yang memiliki kemampuan hambat nyala. (Diharjo, dkk.,2013).

Pada penggunaan montmorillonite (MMT) modifikasi filler pada komposit *polyester* berpenguat kenaf dapat meningkatkan sifat mekanis sebesar 10% atau lebih. Sedangkan penambahan MMT tanpa modifikasi meningkatkan kekuatan tariknya

dibandingkan dengan tipe yang lain seperti *trimethyl ammonium bromide-montmorillonite* dan *alkyl dimethyl benzyl ammonium-montmorillonite* (Sreenivasan, dkk, 2012).

Penambahan tanah liat pada polyamide-6, PA-6, (4,7%) menuju sifat mekanis superior dan pemanasan temperatur distorsi bertambah menjadi 152°C, dimana 87°C lebih tinggi dibandingkan PA-6 murni (Mouritz, dkk., 2006).

Tabel 2.4 Kandungan unsur utama serbukgenteng Sokka berdasarkan hasil uji RF

Formula	Konsentrasi	Dominan
SiO <sub>2</sub>	54,59%	Si
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19,62%	Al
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13,39%	Fe
CaO	3,55%	Ca
MgO	3,03%	Mg
K <sub>2</sub> O	2,25%	K
TiO <sub>2</sub>	1,40%	Ti
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,69%	P
So <sub>3</sub>	0,37%	S
Cl	0,35%	Cl

Sumber: Diharjo dkk, 2013

Hasil RF menunjukkan beberapa kandungan utama dari serbuk genteng Sokka. Kandungan yang dominan pada serbuk genteng Sokka adalah  $\text{SiO}_2$  dan  $\text{Al}_2\text{O}_3$  dengan konsentrasi kandungan 54,59% dan 19,62%. Kedua kandungan tersebut dapat menghambat adanya perambatan api (*flame resistance*). *Flame resistance* merupakan komponen atau kombinasi komponen yang dapat menghambat nyala bila ditambahkan pada suatu kandungan sehingga dihasilkan suatu material yang memiliki kemampuan hambat nyala.

Ukuran partikel *montmorillonite*, bentuk dan distribusi ukuran serbuk mempengaruhi karakter dan sifat fisis dari benda yang dimampatkan. Serbuk dibuat menurut sifatnya antara lain:

#### 1. Ukuran Partikel

Ukuran partikel haruslah tidak terlalu panjang dan tidak terlalu pendek. Partikel yang terlalu panjang tidak menunjukkan struktur yang diinginkan yang sering menjadi alasan dalam memilih rute serbuk. Partikel yang terlalu kecil juga sulit ditangani dan cenderung menumpul. Metode untuk menentukan ukuran partikel antara lain dengan pengayakan atau pengukuran mikroskopik. Ukuran partikel juga berpengaruh pada distribusi partikel, semakin kecil partikel kemungkinan terdistribusi secara merata lebih besar, sehingga pada proses pencampuran akan diperoleh distribusi yang homogen. Kehomogenan campuran menentukan kualitas ikatan komposit, karena selama proses kompaksi gaya tekan yang diberikan akan terdistribusi secara merata. Ikatan antar partikel dalam material komposit salah satunya disebabkan karena adanya interlocking antar partikel yang dipengaruhi oleh bentuk partikel yang digunakan.

#### 2. Bentuk Partikel

Bentuk dan ukuran partikel memegang peranan penting dalam menentukan kualitas ikatan material komposit. Semakin kecil ukuran partikel yang berikatan maka kualitas ikatannya semakin baik, karena semakin luas kontak permukaan antar partikel. Bentuk partikel serbuk tergantung pada cara pembuatannya, dapat bulat, tidak teratur, dendritik, pipih atau bersudut tajam.

### 3. Sebaran Ukuran Partikel

Dianalisis dengan melewati serbuk melalui serangkaian saringan dari ukuran lubang yang dikurangi secara berangsur-angsur (peningkatan jumlah lubang persatuan luas). Fraksi partikel- partikel yang melewati saringan tertentu diberikan dalam presentase (biasanya % berat). Ukuran saringan dinyatakan dalam jumlah mesh (untuk jumlah mesh 50 atau lebih, diameter partikel dalam millimeter, adalah 15 dibagi dengan jumlah mesh). Dengan sebaran ukuran partikel ditentukan jumlah partikel dari setiap ukuran standar dalam serbuk tersebut. Pengaruh sebaran terhadap mampu alir, berta jenis semu dan porositas produk cukup besar. Sebaran tidak dapat diubah tanpa mempengaruhi ukuran benda tekan.

### 4. Mampu Alir

Mampu alir merupakan karakteristik yang menggambarkan alir serbuk dan kemampuan memenuhi ruang cetak. Dapat digambarkan sebagai laju alir melalui suatu celah tertentu.

### 5. Sifat Kimia

Sifat kimia menyangkut dengan kemurnian serbuk, jumlah oksida yang diperbolehkan dan kadar elemen lainnya. Pada pencampuran serbuk diharapkan tidak terjadi reaksi kimia antara matrik dan penguat.

### 6. Kompresibilitas

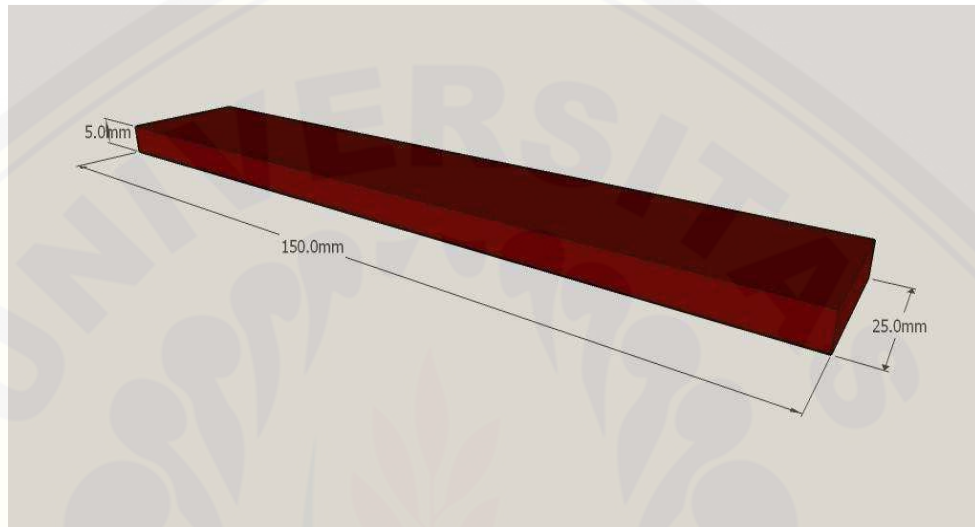
Kompresibilitas adalah perbandingan volum serbuk dengan volume benda yang ditekan. Nilai ini berbeda-beda dan dipengaruhi oleh distribusi ukuran dan bentuk butir, kekuatan tekan tergantung pada kompresibilitas.

## 2.6 Pengujian Komposit

### 2.6.1 Pengujian Tarik Material Komposit

ASTM D 3039 merupakan standard pengujian sifat tarik pada Komposit bermatrik polimer. Material komposit terbatas pada serat kontinyu maupun serat diskontinyu dengan laminate yang seimbang dan simetris. Metode pengujiannya

dengan menggunakan sebuah flat strip tipis yang berbentuk persegi panjang dengan penampang dipasang pegangan dan beban yang tetap. Kekuatan ultimate material dapat ditentukan dari beban maksimum dilakukan sebelum kegagalan. Metode pengujian ini bertujuan untuk mendapatkan kekuatan tarik ultimate.



Gambar 2.6 Standar persiapan sampel uji ASTM D 3039.

Perhitungan ultimate tensile strength menggunakan persamaan dibawah ini:

$$\sigma_{tu} = F_{ma} / A_0 \quad (2.1)$$

$$\sigma_i = P_i / A \quad (2.2)$$

dimana:

$\sigma_{tu}$  = kekuatan tarik ultimate MPa [psi];

$F_{ma}$  = beban maksimum sebelum kegagalan, N [lbf];

$\sigma_i$  = tegangan tarik pada data yang ke-, MPa [psi];

$P_i$  = beban pada data yang ke-, N [lbf];

$A_0$  = luasan seksi silang rata-rata dari lebar tebal,  $\text{mm}^2$  [ $\text{in}^2$ ], sebesar  $125 \text{ mm}^2$

### 2.6.2 Pengujian Termal (Siklus thermal)

Siklus termal adalah proses pembuatan alternatif pendinginan dan pemanasan bahan untuk meningkatkan kekuatan dan kinerja. Proses ini menyebabkan apa yang dikenal sebagai reorganisasi molekul, mengoptimalkan struktur molekul bahan dan membuatnya lebih padat dan lebih seragam. Kebanyakan cacat manufaktur mikroskopis seperti celah dan kantong dikeluarkan selama proses ini, dengan demikian meningkatkan umur panjang dan stres kualitas bantalan. Bagian logam mengalami perlakuan siklus termal juga kurang rentan untuk menderita kegagalan kelelahan logam yang disebabkan oleh kerusakan internal.

Meskipun siklus termal adalah proses yang efektif pada beberapa jenis bahan termasuk komposit, keramik, dan plastik, hal ini paling sering dikaitkan dengan efek menguntungkan pada bagian logam. Untuk sebagian logam maupun material banyak terdapat kekurangan pada sifat mekanik maupun sifat thermalnya. Salah satu cara paling efektif untuk menghilangkan sejumlah besar kekurangan ini adalah proses siklus termal. Proses ini melibatkan pendinginan atau pemanasan berulang kali, dan kemudian memungkinkan untuk kembali ke suhu lingkungan.

Juga dikenal sebagai lanjutan *cryogenics*, proses modulasi suhu memiliki efek pengetatan atau pengaturan struktur molekul bagian dan menghapus banyak, jika tidak semua, dari kekurangan mikroskopis. Tidak adanya rongga internal dan retak meminimalkan kemungkinan berkembang korosi internal sehingga memberikan bagian ditingkatkan stres penanganan dan kualitas kehidupan pelayanan. Sebuah keuntungan tambahan dari padat, struktur kristal yang lebih seragam di bagian logam penghapusan daerah pemanasan yang tidak merata atau hotspot yang menjamin karakteristik pendinginan optimal. Penghapusan kelemahan internal yang juga membuat bagian yang lebih tahan terhadap getaran dan resonansi yang selanjutnya meningkatkan ketahanan terhadap kelelahan material.

Tabel 2.4 Kondisi suhu saat pengujian siklus thermal

Test Condition	Nominal Ts(min) (°C) with Tolerances	Nominal Ts(max) (°C) with Tolerances
A	-55(+0, -10)	+85(+10, -0)
B	-55(+0, -10)	+125(+15, -0)
C	-65(+0, -10)	+150(+15, -0)
G	-40(+0, -10)	+125(+15, -0)
H	-55(+0, -10)	+150(+15, -0)
I	-40(+0, -10)	+115(+15, -0)
J	-0(+0, -10)	+100(+15, -0)
K	-0(+0, -10)	+125(+15, -0)
L	-55(+0, -10)	+110(+15, -0)
M	-40(+0, -10)	+150(+15, -0)

Sumber: JEDEC Solid State Technology Association

Table 2.5 Waktu pemaparan pada saat pengujian

Soak Mode	Minimum Soak Time at Soak Temperature(max) & Soak Temperature(min) (minutes)
1	1
2	2
3	10
4	15

Sumber: JEDEC Solid State Technology Association

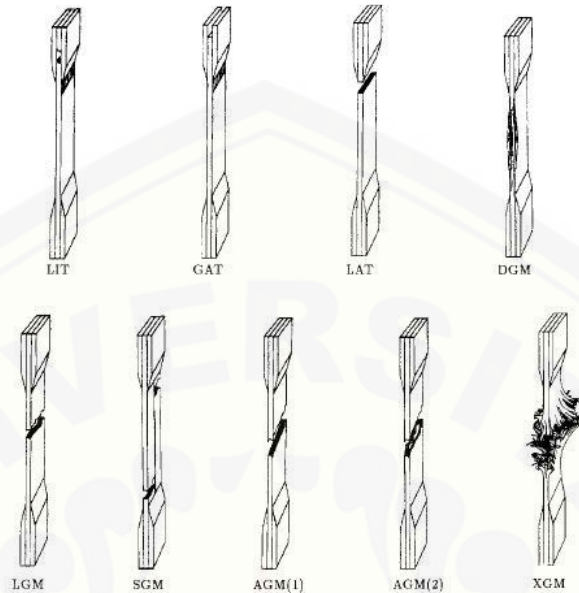


## 2.7 Pengujian Morfologi

Pengujian morfologi menggunakan foto makro dengan kamera biasa 5 MP. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan tampilan tentang cacat yang terjadi akibat perlakuan termal mekanis. Berikut kode kegagalan pada komposit berikut contohnya berdasarkan ASTM D 3039:

Tabel 2.6 Kode Kegagalan Uji Tarik

Karakter Pertama		Karakter Kedua		Karakter Ketiga	
Tipe Kegagalan	Kode	Luas Kegagalan	Kode	Lokasi Kegagalan	Kode
Sudut	A	Didalam Grip/cekam	I	Bawah	B
Pengelupasan Lapisan	D	Pada Grip/cekam	A	Atas	T
Grip/cekam	G	< 1 W dari grip/cekam	W	Kiri	L
Sejajar dengan Cekam	L	Terukur	G	Kanan	R
Berbagai Jenis	M(yz)	Beberapa tempat	M	Tengah	M
Memanjang	S	Berbagai macam	V	Berbagai macam	V
Eksplorisif	X	Tidak diketahui	U	Tidak diketahui	U
Lain-lain	O				



Gambar 2.9 Bentuk Patahan Komposit (Sumber: ASTM D 3039)

## 2.8 Hipotesa

Hipotesa yang dibuat pada penelitian ini sebagai berikut:

- 2.8.1 Variasi ukuran partikel MMT pada spesimen menyebabkan perubahan pada kekuatan tariknya, semakin besar ukuran partikel (ukuran mesh 30-40) maka semakin rendah kekuatan tarik karena susunan partikelnya yang semakin renggang akan tetapi semakin kecil ukuran partikel MMT (ukuran mesh 80-100) kekuatan tariknya lebih besar karena susunan partikelnya yang semakin rapat.
- 2.8.2 Banyaknya siklus thermal yang dilakukan pada spesimen dapat mempengaruhi kekuatan mekanik dari komposit. Hal ini disebabkan karena spesimen mengalami kelelahan thermal akibat terkena temperatur yang berubah ubah secara berulang-ulang.

### **BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN**

Penelitian ini menggunakan metode penelitian kuantitatif dan deskriptif. Penelitian kuantitatif menekankan analisisnya pada data-data numerik. Dengan metode kuantitatif akan diperoleh signifikansi perbedaan kelompok atau signifikansi hubungan antar variabel yang diteliti. Sedangkan penelitian deskriptif melakukan analisis hanya sampai pada taraf deskripsi yaitu menganalisis dan menyajikan fakta secara sistematis sehingga dapat lebih mudah untuk dipahami dan disimpulkan (Dharminto, 2014).

#### **3.1 Tempat dan Waktu Penelitian**

Pelaksanaan penelitian dilaksanakan pada bulan April 2015 hingga bulan Juni 2015 di Laboratorium Uji Bahan Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik, Universitas Jember.

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

Alat yang digunakan selama penelitian ini berlangsung antara lain:

1. Universal Machine Testing Merk ESSOM TM 113 30 kN.
2. Mikrowave (pemanas) Merk Kirin KBO-90M Oven Elektrik
3. Gelas ukur 100 ml
4. *Refrigator* (suhu rendah) Merk Natioanal NR-S14C
5. Ayakan (mesh) ukuran 30-40,50-60, 80-100
6. Cetakan Komposit dari Kaca, Plastik Astralon, Plastisin dan Margarin.
7. Penggaris
8. Palu dan *lumpang besi*,
9. Timbangan digital
10. Kamera 5 MP
11. Pencekam khusus komposit polimer
12. *Cutter* dan Gunting

### 13. Gerinda Tangan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini antar lain:

1. Serat kenaf anyam.
2. Resin *polyester* Yukalac BQTN –E 157.
3. Partikel *montmorillonite*.
4. Hardener

### 3.3 Pelaksanaan Penelitian

#### 3.3.1 Penetapan Variabel Terikat dan Variabel Bebas

Pada penelitian ini terdapat banyak variabel proses atau faktor yang berpengaruh terhadap proses pembuatan komposit *polyester* serat kenaf. Dalam hal ini terdapat dua jenis variabel yaitu meliputi:

##### 1. Variabel Terikat

Variabel terikat adalah variabel yang dipengaruhi oleh variabel prediktor, peneliti tidak dapat mengendalikan besar kecilnya variabel terikat. Dalam penelitian ini yang merupakan variabel terikat adalah kekuatan tarik.

##### 2. Variabel Bebas

Merupakan variabel yang besarnya dapat ditentukan dan dikendalikan berdasarkan pertimbangan tertentu demi tujuan dari penelitian. Terdapat banyak variabel yang dapat dikendalikan dalam proses pembuatan komposit *polyester* aditif MMT dengan serat kenaf. Dalam penelitian ini dipilih faktor kendali yang di duga memberikan pengaruh signifikan terhadap sifat mekanik dan termal, dimana faktor tersebut adalah variasi ukuran partikel serbuk MMT.

### 3.4 Metodologi Penelitian

#### 3.4.1 Langkah-Langkah Pembuatan Sampel

1. Mempersiapkan cetakan kaca, serta alat pendukung untuk membuat sampel.
2. Menghancurkan partikel genteng, menumbuk dengan luMPang besi lalu menyeleksi serbuk dengan ayakan (mesh berukuran 30, 40, 50, 60, 80, 100).

3. Memotong serat kenaf anyam sesuai dimensi ASTM D 3039 sebanyak sampel yang dibutuhkan yaitu dengan dimensi 25 mm x 150 mm per cetakan sampel untuk uji tarik.
4. Mengukur dan menimbang resin sesuai kebutuhan, menambahkan katalis (hardener) 1%, dan menimbang montmorillonite. Kemudian mencampur resin, katalis dan montmorillonite dengan persentase sesuai 40 % MMT. Mengaduk secara perlahan dengan hitungan pengadukan 100 kali saat pencampuran resin dan katalis, lalu di aduk 60 kali saat pencampuran resin-katalis dengan montmorillonite. Campuran resin, katalis dan *montmorillonite* selanjutnya disebut sebagai larutan campuran matriks.
5. Melapisi cetakan dengan margarin secukupnya pada permukaan pinggiran cetakan kacanya agar memudahkan pelepasannya nanti, kemudian tuangkan larutan campuran matriks pada cetakan hingga terisi setinggi 3 mm, lalu letakkan serat kenaf anyam diatas larutan campuran matriks, setelah itu tambahkan lagi campuran ke dalam cetakan. Kemudian menutup cetakan dengan plastik astralon. Pastikan tidak terjadi rongga udara (void) saat menutup cetakan.
6. Menunggu hingga setengah hari, kemudian lepaskan hasil cetakan dari cetakan. Memotong pada sisi kiri dan kanan yang berlebih pada komposit dengan menggunakan gerinda tangan. Kemudian, memberikan pemberat kepada sampel uji selama 3 hari untuk menghindari komposit mengalami lengkungan.

### 3.4.2 Langkah-Langkah Pengujian Sampel

#### 3.4.2.1 Siklus thermal

Sebuah sampel komposit dilakukan perlakuan siklus thermal dengan meletakkan sampel di suhu ruang yang diasumsikan konstan pada suhu 25° C terlebih dahulu selama 10 menit kemudian dimasukkan kedalam oven dengan temperatur 100° C selama 10 menit. Setelah itu sampel di didinginkan kembali pada suhu 25° C selama

10 menit, lalu dimasukkan kedalam *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 dari suhu ruang masuk kedalam oven kemudian dikembalikan ke suhu ruang dan masuk lagi kedalam *refrigerator*. Pengujian siklus ini dilakukan sebanyak 0, 25, 50, dan 75 dengan waktu penahanan masing-masing 10 menit. Waktu penahanan 10 menit pada masing-masing suhu bertujuan untuk homogenisasi termal pada spesimen dan untuk analisa material ketika penahanan terjadi di suhu ruang.

#### 3.4.2.2 Uji Tarik

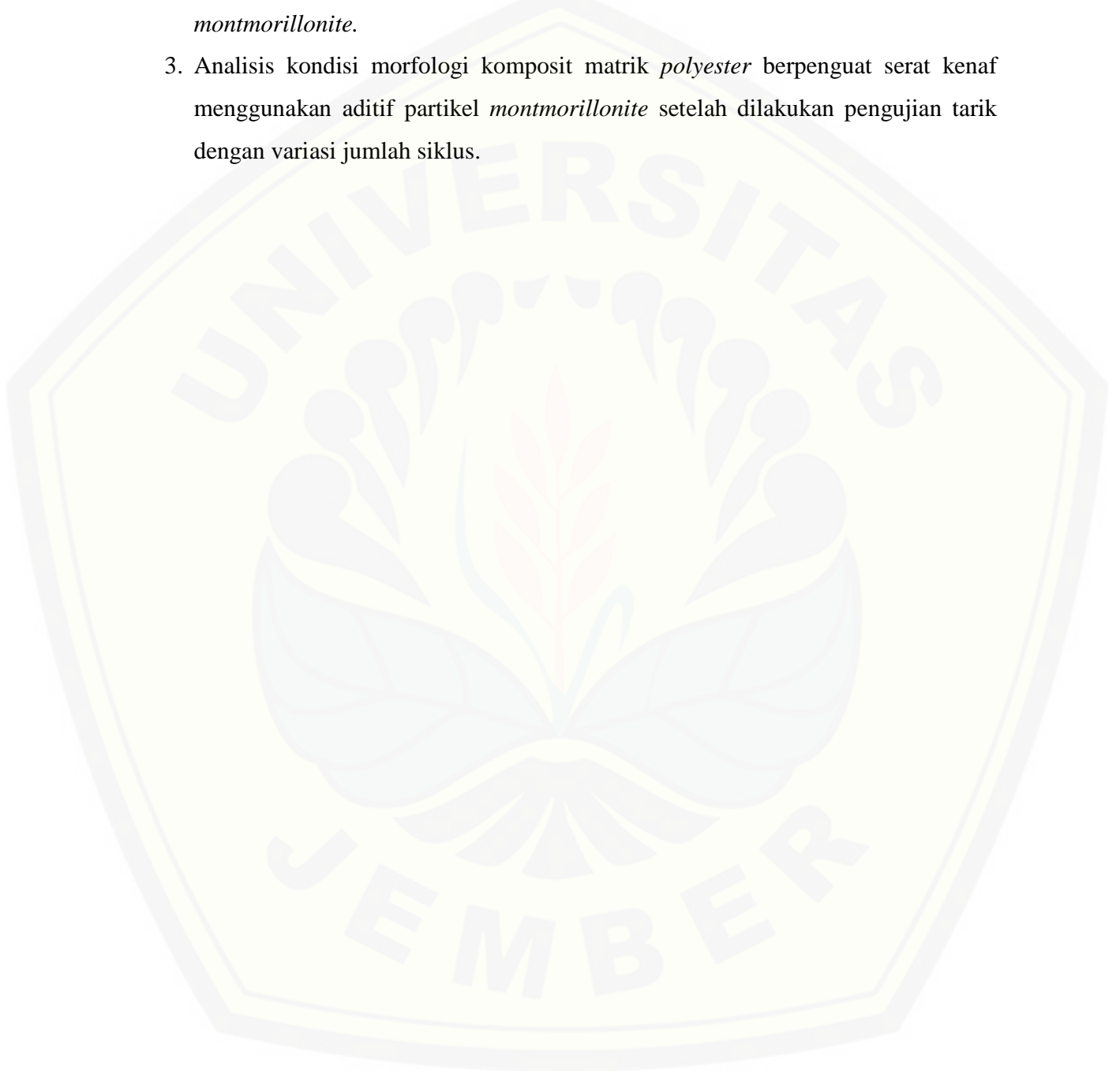
Spesimen dilakukan uji tarik dengan menggunakan mesin uji tarik sesuai standar ASTM D3039. Percobaan ini dilakukan dengan memberikan beban tarik pada benda uji secara perlahan-lahan sampai patah. Peristiwa yang dialami oleh benda uji adalah perubahan bentuk, dalam arah aliran memanjang yang berbanding lurus dengan penambahan gaya. Deformasi pada tingkat ini disebut deformasi elastis. Proses pengujian minimal dilakukan oleh dua orang, orang pertama memegang pencekam sedangkan yang lainnya mengungkit tuas untuk menarik spesimen uji. Selama proses, melakukan perekaman uji tarik dengan kamera. Kemudian menyimpan rekaman video tersebut untuk diolah datanya dengan bantuan aplikasi dan Microsoft excel (untuk membuat grafik).

### 3.5 Analisa Data

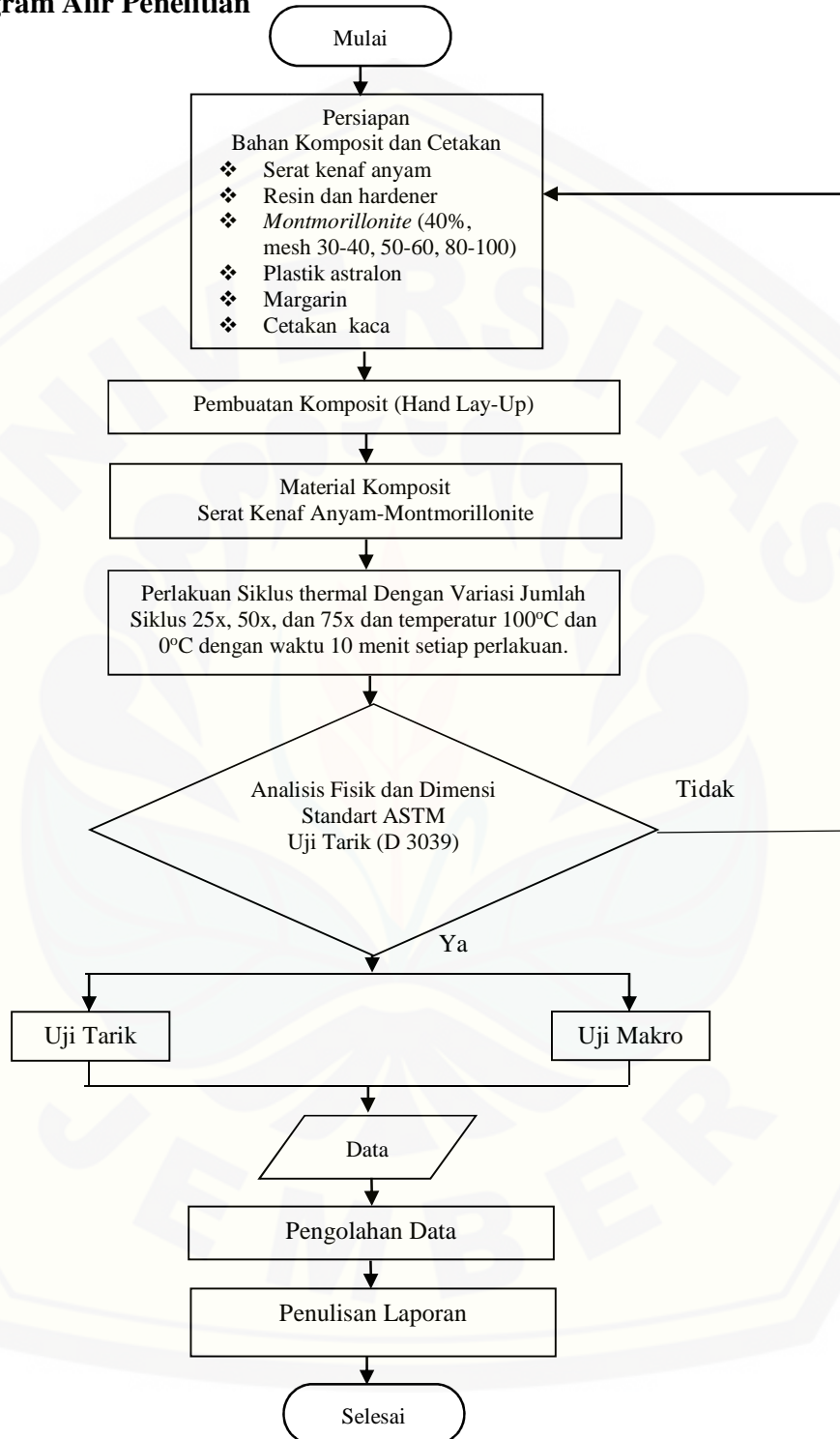
Analisa data dilakukan setelah diperoleh hasil pengujian morfologi dan pengujian tarik dengan perlakuan siklus thermal terhadap komposit *polyester* kenaf-*montmorillonite* ialah sebagai berikut:

1. Analisis pengaruh ukuran partikel pada komposit matrik *polyester* berpenguat serat kenaf dengan aditif *montmorillonite* terhadap nilai kekuatan tarik.

2. Analisis pengaruh banyaknya siklus yang dilakukan terhadap kekuatan tarik komposit matrik *polyester* berpenguat serat kenaf menggunakan aditif partikel *montmorillonite*.
3. Analisis kondisi morfologi komposit matrik *polyester* berpenguat serat kenaf menggunakan aditif partikel *montmorillonite* setelah dilakukan pengujian tarik dengan variasi jumlah siklus.



3.6 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian





## BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Data Hasil Pengujian

Proses pembuatan komposit dilakukan dengan metode *hand layup* menggunakan cetakan kaca yang disusun dengan ukuran 170 mm x 30 mm x 5 mm. Dalam proses pembuatan komposit digunakan perhitungan fraksi volume dimana persentase komposisi komposit untuk variasi ukuran mesh 30-40, 50-60, 80-100 di berlakukan secara sama. Dengan persentase 50% resin, 40% serbuk montmorillonite dan 10% serat. Dan didapatkan perhitungan untuk komposisi campuran komposit yang ditunjukkan pada table 4.1

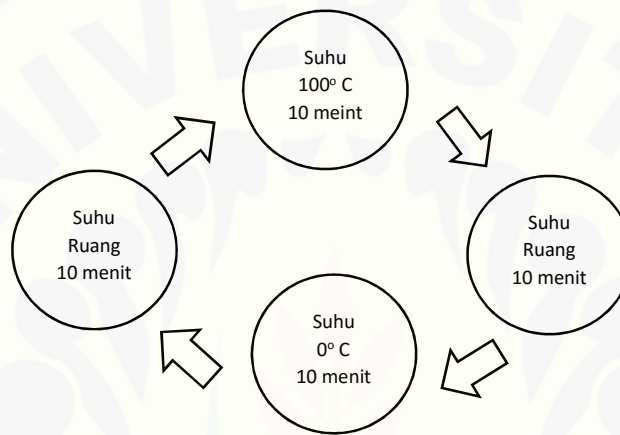
Tabel 4.1 Perhitungan persentase komposisi komposit

No	Massa Serat (g)	Massa Polyester (g)	Massa MMT (g)	Massa komposit (g)
1	2,1 gr	11,53 gr	20,4 gr	34,03 gr

Setelah proses pencetakan spesimen selesai kemudian dilakukan proses finishing menggunakan gerinda tangan untuk memotong sisi-sisi spesimen menyesuaikan standart ukuran pengujian tarik ASTM D 3039 dengan besaran dimensi 15mm x 2,5mm x 0,5mm.

Data yang diperoleh dari penelitian didapatkan dari pengujian thermal mekanis yang dilakukan pada spesimen. Prosedur pengujian thermal dan mekanis yang dilakukan antara lain dengan memasukkan spesimen ke dalam simulasi alat pengujian siklus thermal dengan menggunakan *microwave* untuk suhu 100° C serta *freezer* untuk suhu 0°C lalu mesin uji tarik universal machine testing merk ESSOM TM 113 kapasitas 30 kN di laboratorium Uji Bahan Teknik Mesin Universitas Jember.

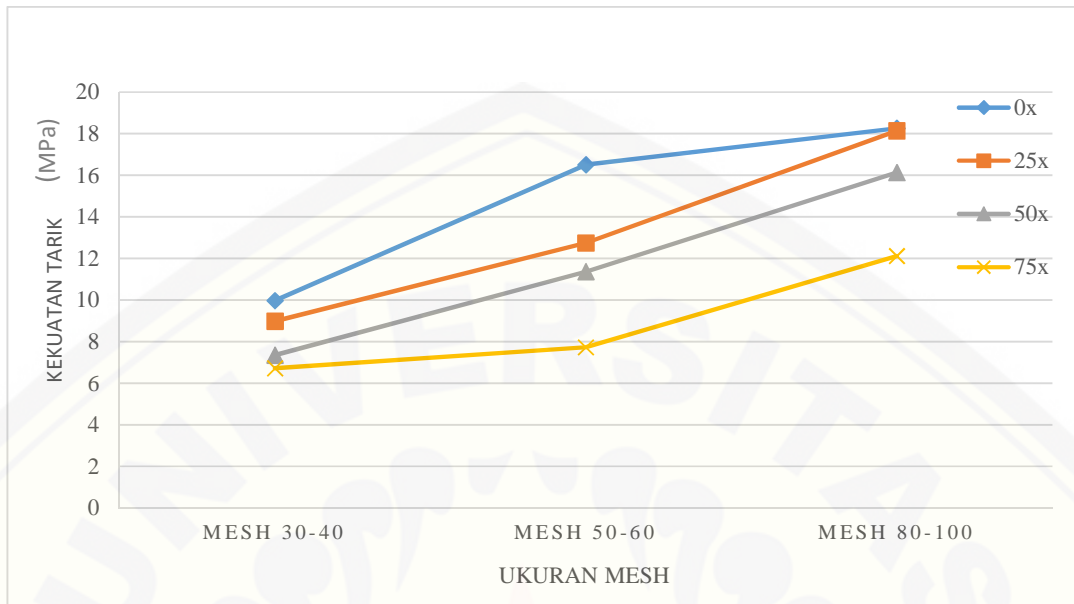
Sampel uji yang digunakan ialah komposit polyester-kenaf anyam aditif montmorillonite dengan variasi ukuran partikel montmorillonite ukuran mesh 30-40, mesh 50-60, dan ukuran mesh 80-100. Dalam pengujian siklus termal dilakukan pemaparan panas selama 10 menit pada suhu  $100^{\circ}\text{C}$ , pemaparan suhu dingin selama 10 menit pada suhu  $0^{\circ}\text{C}$  dan suhu ruangan selama 10 menit seperti yang di jelaskan pada gambar 4.1.



Gambar 4.1 Proses perlakuan siklus thermal

Perlakuan perubahan suhu tersebut dilakukan secara berulang-ulang sehingga membentuk sebuah siklus thermal dengan variasi siklus yaitu 25, 50, dan 75 siklus. Sementara pengujian tarik dilakukan ketika spesimen selesai dilakukan pengujian siklus thermal. Dimana dalam melakukan pengujian tarik spesimen di jepit menggunakan pencekam khusus yang digunakan untuk pengujian komposit. Untuk pengujian tarik spesimen dibuat dimensinya berdasarkan standart ASTM D3039 dengan ukuran  $15 \times 2,5 \times 0,5$  mm.

Setelah selesai melakukan pengujian tarik, kemudian dilakukan perhitungan nilai kekuatan tarik. Dengan menggunakan persamaan 2.1. Dari kedua pengujian yang dilakukan pada komposit yaitu pengujian siklus thermal dan pengujian tarik didapatkan grafik sebagai berikut ini :



Gambar 4.2 Grafik nilai kekuatan tarik komposit

Berdasarkan grafik 4.2 dapat dilihat bahwa kekuatan tarik semakin meningkat seiring dengan semakin kecilnya ukuran partikel MMT. Nilai kekuatan tarik pada 0 siklus semakin naik dari 9,98 MPa pada mesh 30-40 hingga 18,26 MPa pada mesh 80-100. Pada 25 siklus nilai kekuatannya sebesar 8,98 MPa pada mesh 30-40 dan meningkat sampai dengan 18,14 MPa pada mesh 80-100. Kekuatan tarik pada siklus yang ke 50 juga menunjukkan peningkatan dari 7,35 MPa pada ukuran mesh 30-40 sampai dengan 16,13 MPa pada ukuran mesh 80-100. Peningkatan juga terjadi pada siklus yang ke 75 dimana nilai kekuatan meningkat dari 6,72 MPa pada ukuran mesh yang ke 30-40 sampai dengan 12,11 MPa pada ukuran mesh 80-100.

Dalam hipotesa, dikatakan bahwa ukuran partikel MMT yang semakin kecil menyebabkan peningkatan kekuatan tarik dari komposit. Hal ini terbukti dari hasil penelitian yang dilakukan bahwa pada ukuran partikel mesh 80-100 kekuatannya lebih baik daripada komposit dengan ukuran partikel MMT mesh 30-40. Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Daulay dkk, 2014

Sementara semakin besar siklus thermal yang diterima oleh komposit maka kekuatan tariknya akan semakin menurun. Pada komposit dengan ukuran mesh 30-40 kekuatan tarik semakin turun seiring dengan semakin banyaknya siklus yang diterima komposit. Dengan penurunan dari 9,98 MPa pada 0 siklus, dan 6,72 MPa pada siklus yang ke 75. Pada komposit dengan ukuran mesh 50-60 dapat dilihat bahwa nilai kekuatan pada 0 siklus sebesar 14,00 MPa dan terus menurun hingga siklus yang ke 75 dengan nilai kekuatan tarik sebesar 7,85 MPa. Sedangkan pada komposit dengan ukuran mesh 80-100 nilai kekuatan tarik pada 0 siklus sebesar 18,26 dan terus menurun pada nilai kekuatan sebesar 12,11 MPa di siklus yang ke 75.

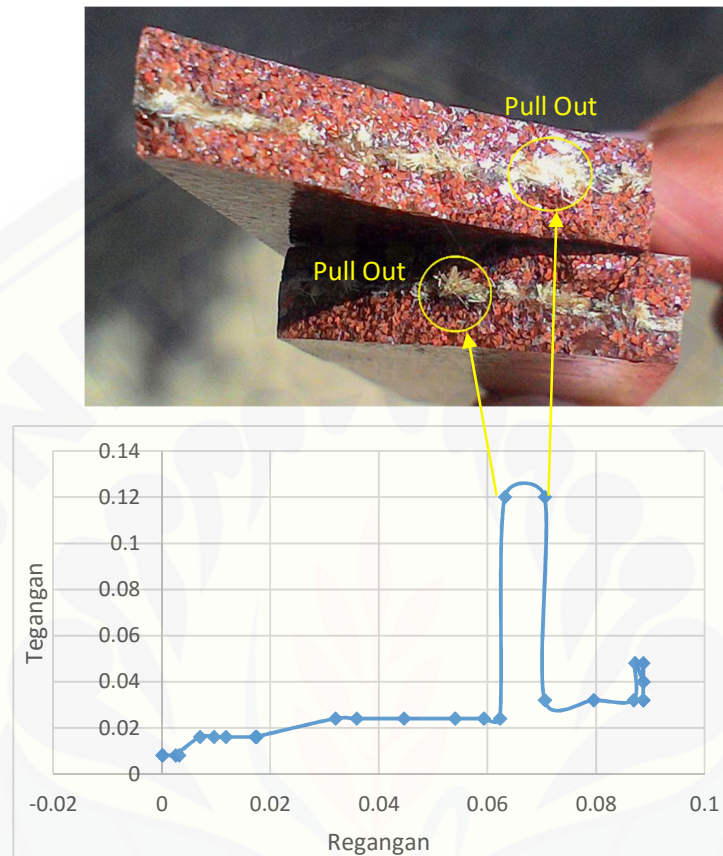
Secara umum, komposit mengalami peningkatan kekuatan seiring dengan semakin kecilnya ukuran partikel MMT pada setiap siklus yang diberikan. Hal ini disebabkan karena semakin kecil ukuran partikel maka ikatan antara matrik, serat dan serbuk MMT semakin kuat.

## **4.2 Pembahasan**

### **4.2.1 Analisa Pengaruh Ukuran Partikel Montmorillonite Terhadap Kekuatan Tarik**

Semakin kecil ukuran partikel MMT, maka kekuatan tariknya semakin meningkat. Ukuran butir kecil mengakibatkan semakin besarnya luasan area partikel yang akan diikat oleh matrik. Distribusi ukuran partikel sangat menentukan kemampuan partikel dalam mengisi ruang kosong antar partikel untuk mencapai volume terpadat dan pada akhirnya akan menentukan besarnya porositas dan kekuatan. (Diharjo dkk, 2013)

Penurunan kekuatan tarik dari komposit disebabkan juga karena beberapa kegagalan yang terjadi pada komposit tersebut dalam menahan beban saat pengujian tarik. Dimana tidak semua ikatan yang terjadi antara matrik, serat dan montmorillonite dapat terikat dengan baik. Gambar 4.3 menunjukkan letak patahan dan proses kegagalan komposit pada saat dilakukan pengujian tarik.



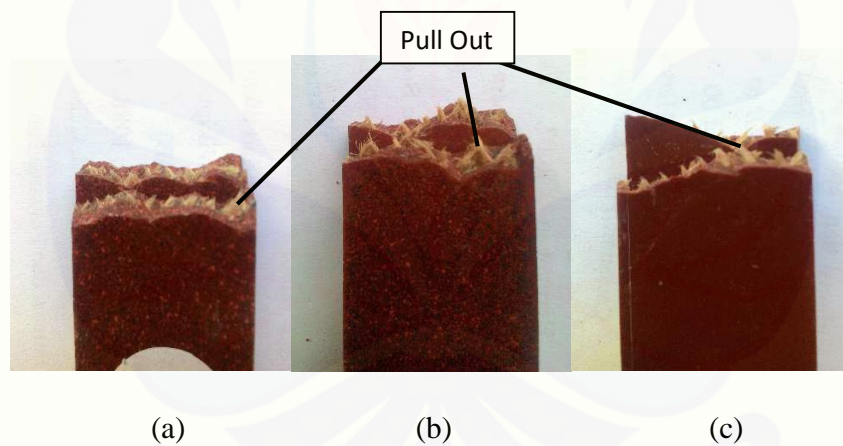
Gambar 4.3 Letak patahan dan proses patahan komposit pada pengujian tarik

Pada gambar 4.3 menunjukkan proses terjadinya patahan pada saat pengujian tarik dilakukan. Proses patahan dari komposit dimulai dari sisi kiri, dimana pada sisi kiri inilah titik atau bagian terlemah dari komposit. Terlihat pada grafik tegangan-regangan dari pengujian tarik bahwa pada bagian atau titik tersebut memiliki kekuatan yang lemah. Karena dengan beban atau tegangan yang kecil pada bagian tersebut sudah mengalami kegagalan. Dari morfologi komposit juga menunjukkan bahwa pada sisi itu tidak adanya *pull out* dari serat yang menunjukkan bahwa sisi atau bagian itulah yang paling lemah dan menjadi awal patahan saat pengujian tarik dilakukan. Hal ini disebabkan oleh ikatan antara matrik dan serat tidak dapat mengikat secara sempurna dan tidak dapat mempertahankan dari kegagalan ketika diberikan beban tarik. Terlihat

dari bentuk patahan yang terjadi pada sisi tersebut yaitu tidak adanya *pull out* serat, yang disebabkan serat pengikat komposit sangat getas sehingga nilai kekuatannya menurun.

Sementara titik maksimum atau bagian terkuat dari komposit yaitu pada *pull out* yang terjadi pada patahan komposit. Terlihat dari grafik teganga-regangan dari pengujian tarik bahwa *pull out* serat menunjukkan nilai tegangan atau beban maksimum dari komposit saat pengujian tarik. Dengan adanya *pull out* tersebut, menunjukkan bahwa pada saat pengujian tarik dilakukan, ikatan antara serat dan matrik mencoba menahan beban tarik yang diberikan dan hal ini meningkatkan kekuatan tarik dari komposit tersebut.

Turunnya kekuatan tarik dari komposit juga tidak terlepas dari ukuran partikel MMT sebagai aditif. Secara keseluruhan kekuatan tarik dari komposit menurun seiring dengan semakin besar ukuran partikel MMT.



Gambar 4.4 *Pull out* pada patahan komposit: (a) ukuran mesh 30-40, (b) ukuran mesh 50-60, (c) ukuran mesh 80-100

Dari gambar 4.4 diketahui bahwa adanya perbedaan *pull out* pada komposit dengan variasi ukuran partikel MMT. Dimana pada komposit dengan ukuran partikel MMT 30-40 *pull out* dari serat lebih pendek dibandingkan dengan ukuran mesh 50-60 dan 80-100 dan komposit dengan ukuran mesh 80-100 *pull out* dari serat lebih panjang

daripada komposit dengan ukuran mesh 50-60. Hal ini menunjukkan bahwa semakin kecil ukuran partikel ikatan antara matrik, serat dan MMT semakin kuat dan lebih mampu menahan beban tarik yang diberikan pada saat pengujian tarik.

#### 4.2.2 Analisa Pengaruh Variasi Jumlah Siklus Terhadap Kekuatan Tarik

Berdasarkan gambar 4.2 tentang grafik kekuatan tarik dari komposit, didapatkan hasil bahwa banyaknya jumlah siklus yang dilakukan dalam pengujian siklus thermal berpengaruh terhadap kekuatan tarik dari komposit. Dimana dalam grafik tersebut ditunjukkan angka kekuatan tarik yang semakin menurun seiring semakin banyaknya jumlah siklus yang dilakukan.

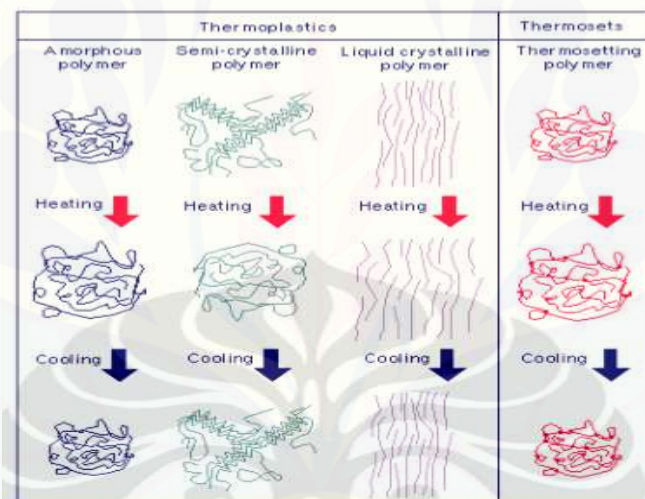
Dalam hipotesa, dikatakan bahwa semakin banyak siklus termal yang dilakukan maka sifat mekanik dari material akan semakin menurun. Hasil penelitian berbanding lurus dimana secara garis besar angka uji tarik menunjukkan penurunan. Penurunan kekuatan material dimulai dari siklus ke 25, 50 dan 75, dimana kekuatan tarik menurun dibawah kekuatan tarik dari spesimen kontrol yaitu spesimen yang diberi perlakuan 0 siklus hal tersebut sejalan dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Hariyanto, 2014.

Perubahan temperatur yang berubah-ubah akan mengakibatkan *thermal fatigue* atau kelelahan material akibat termal. *Thermal fatigue* merupakan kelelahan atau kegagalan panas yang disebabkan oleh perubahan suhu panas dan dingin, sehingga terjadi gejala-gejala kerusakan pada material seperti timbulnya crack (Moubray, D. 1976) . Beberapa faktor yang menyebabkan kelelahan thermal ini adalah temperatur yang tinggi, serta banyaknya proses pendinginan dan pemanasan. Salah satu kelemahan bahan polimer adalah tidak tahan panas, hal ini disebabkan apabila temperatur berubah, pergerakan molekul karena peningkatan suhu akan mengubah ikatan molekul atau struktur molekul tersebut.



Polyester merupakan polimer jenis thermosetting. Polimer thermosetting adalah polimer yang bersifat kenyal dan menjadi fase lunak ketika dipanaskan, tetapi setelah dingin tidak dapat dicairkan kembali. Jika pecah, polimer tersebut tidak dapat disambungkan kembali dengan pemanasan. Dengan semakin banyak siklus yang dilakukan saat pengujian siklus thermal penurunan kekuatan tarik terjadi saat siklus semakin banyak dilakukan maka terjadi pecahnya ikatan antar polimer. Dengan demikian kekuatannya juga semakin menurun.

Penurunan kekuatan ini dikarenakan efek dari pemberian panas yang menyebabkan ukuran dari suatu benda menjadi membesar atau memanjang sehingga merusak ikatan antar bahan pada komposit.



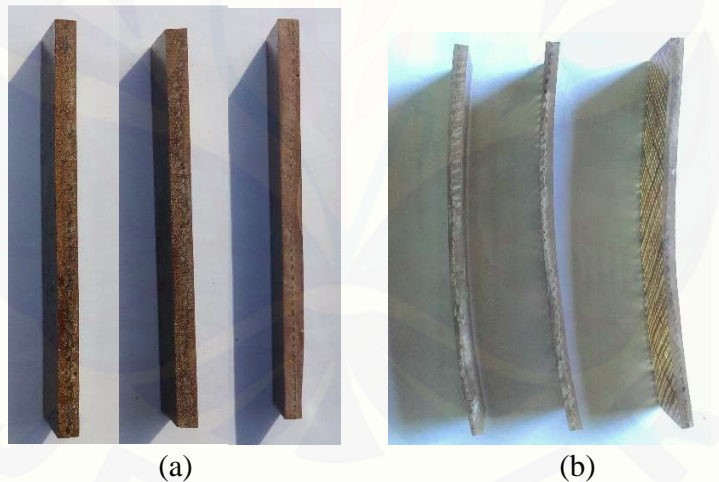
Gambar 4.5 Mikrosrtuktur thermoset ketika terkena suhu panas dan suhu dingin

(Sumber: Rizqi, 2008).

Dari gambar 4.5 tentang mikrostruktur thermoset ketika dipanaskan dan didinginkan terlihat bahwa ketika terkena suhu panas maka struktur dari thermoset memuai ataupun bertambah panjang. Perbedaan muai antara resin, MMT dan serat menyebabkan ikatan komposit menjadi melemah dan kekuatan tarik menurun. Penurunan kekuatan ini dikarenakan efek dari pemberian panas yang menyebabkan ukuran dari suatu benda menjadi membesar atau memanjang sehingga merusak ikatan antar bahan pada komposit. Secara garis besar komposit mengalami penurunan

kekuatan tarik seiring dengan bertambahnya siklus dikarenakan perubahan struktur dari matrik ketika dipanaskan dan didinginkan sehingga menyebabkan kerusakan ikatan antara matrik, MMT dan juga serat.

Secara keseluruhan komposit dengan berpenambah MMT memiliki kekuatan yang lebih kecil dibandingkan dengan komposit yang tidak berpenambah MMT di setiap siklus yang diberikan. Merujuk dari penelitian yang dilakukan oleh Erizal R, 2015, data yang diperoleh dari komposit yang tidak berpenambah MMT memiliki kekuatan tarik yang lebih besar dibandingkan dengan komposit yang berpenambah MMT. Hal ini dikarenakan serbuk MMT membuat kekuatan tarik komposit menurun dan membuat material lebih getas, akan tetapi komposit dengan berpenambah MMT lebih memiliki daya tahan terhadap thermal yang lebih baik. Hal ini ditunjukkan dengan perubahan bentuk komposit tanpa MMT pada saat diberikan perlakuan siklus thermal dengan mengalami lengkungan yang lebih signifikan, sementara komposit dengan berpenambah MMT tidak mengalami lengkungan yang signifikan.

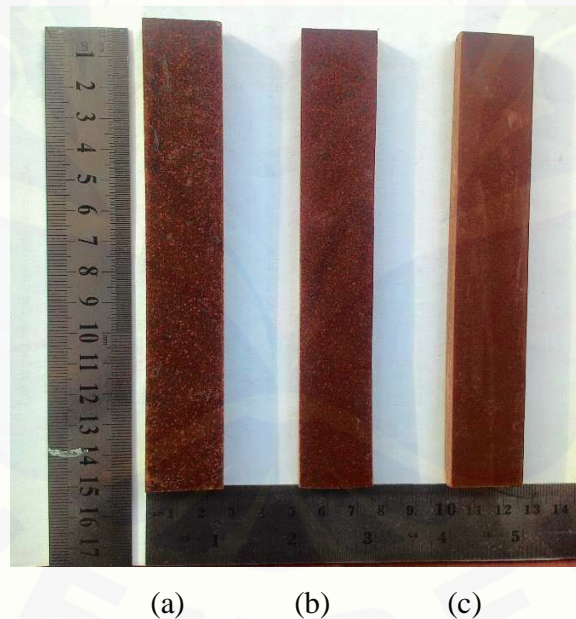


Gambar 4.6 Perbedaan komposit berpenambah MMT dan tidak berpenambah MMT ; (a) komposit berpenambah MMT, (b) komposit tanpa penambah MMT

#### 4.2.3 Analisa Kondisi Morfologi Komposit

Dari hasil penelitian yang sudah dilakukan baik setelah spesimen jadi maupun setelah selesai pengujian, didapatkan kondisi morfologi dengan melakukan uji makro. Uji makro sangat penting untuk dikaji karena dari sinilah kita bisa mengetahui kondisi material beserta sebab dan akibat yang ditimbulkan dari hasil penelitian. Hal yang dibahas dalam uji morfologi ini, yaitu perbedaan morfologi antara komposit dengan ukuran mesh 30-40, 50-60 dan 80-100, pada setiap pengujian yang dilakukan.

Pengujian makro dilakukan setelah spesimen jadi dan selesai dilakukan proses finishing lalu setelah dilakukan pengujian thermal siklus dan setelah dilakukan pengujian tarik. Nampak perbedaan secara mendasar dari komposit pada setiap ukuran mesh, gambar 4.7 menunjukkan adanya perbedaan struktur secara kasat mata dari masing-masing komposit.



Gambar 4.7 Morfologi komposit pada masing-masing ukuran partikel : (a) mesh 30-40 (b) mesh 50-60 (c) mesh 80-100

Secara sekilas nampak adanya perbedaan pada gambar 4.7 dimana pada ukuran mesh 30-40 memiliki tampilan struktur yang lebih kasar dibanding dengan komposit dengan ukuran mesh 50-60 dan 80-100. Hal ini disebabkan ukuran serbuk pada mesh

30-40 lebih besar dibandingkan dengan komposit dengan ukuran mesh 50-60 dan 80-100. Sementara untuk kondisi morfologi setelah pengujian siklus thermal menunjukkan bahwa tidak begitu banyak perbedaan yang terjadi dari spesimen sebelum dan sesudah pengujian siklus thermal pada ukuran mesh 80-100. Akan tetapi spesimen dengan ukuran mesh 50-60 dan 30-40 mengalami sedikit lengkungan pada siklus yang ke 75. Ini di karenakan pada spesimen dengan ukuran mesh 80-100 memiliki luasan dan jumlah serbuk MMT yang lebih banyak sehingga lebih mampu menahan panas.



(a) (b) (c)

Gambar 4.8 Tampak samping morfologi spesimen pada 0 siklus, (a) komposit mesh 30-40, (b) komposit ukuran mesh 50-60, (c) komposit ukuran mesh 80-100



(a) (b) (c)

Gambar 4.9 Tampak samping morfologi spesimen pada 25 siklus, (a) komposit mesh 30-40, (b) komposit ukuran mesh 50-60, (c) komposit ukuran mesh 80-100



(a) (b) (c)

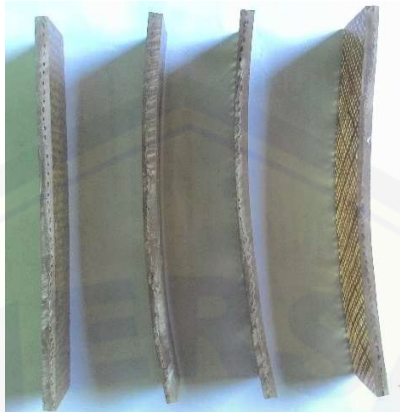
Gambar 4.10 Tampak samping morfologi spesimen pada 50 siklus, (a) komposit mesh 30-40, (b) komposit ukuran mesh 50-60, (c) komposit ukuran mesh 80-100



(a) (b) (c)

Gambar 4.11 Tampak samping morfologi spesimen pada 75 siklus, (a) komposit mesh 30-40, (b) komposit ukuran mesh 50-60, (c) komposit ukuran mesh 80-100

Apabila dibandingkan dengan komposit yang tidak berpenambah MMT komposit dengan komposit yang berpenambah MMT, komposit dengan berpenambah MMT lebih tahan terhadap siklus yang diberikan. Ini terlihat pada gambar 4.12 tentang kondisi morfologi komposit tanpa MMT.



Gambar 4.12 Morfologi komposit tanpa penambah MMT setelah diberikan siklus thermal (sumber:Erizal, R.2015)

Ada beberapa jenis patahan yang terjadi, dalam melakukan analisa morfologi jenis patahan digunakan standart ASTM D 3039 untuk uji tarik.



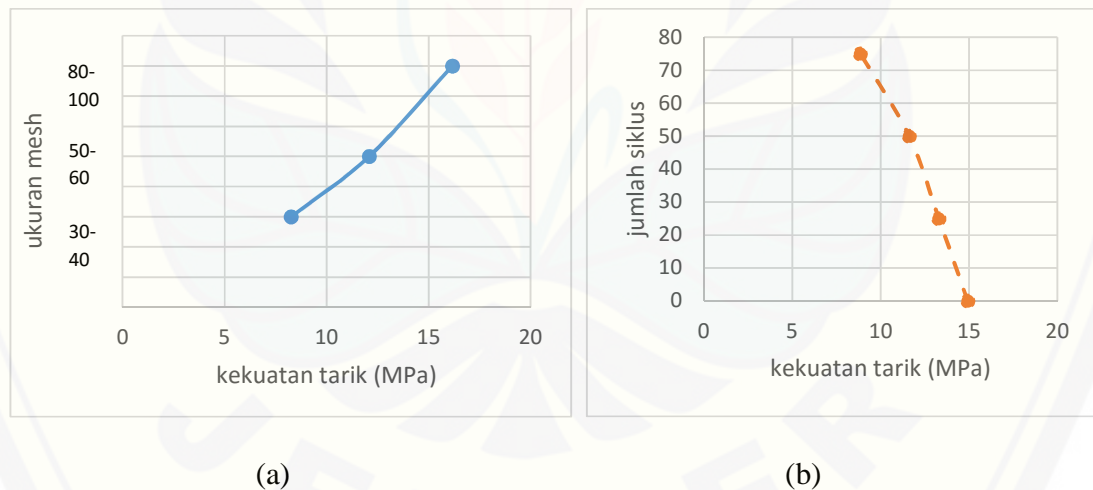
Gambar 4.13 Analisa bentuk patahan menurut ASTM D 3039 pada komposit mesh 30-40, 50-60 dan 80-100.

Dari gambar diatas, terdapat beberapa kode huruf yang perlu kita pahami. Huruf pertama menunjukkan tipe kegagalan dari komposit, huruf kedua menunjukkan letak area kegagalan dari material tersebut sedangkan huruf yang ketiga menjelaskan tentang posisi kegagalan (lihat tabel 2.6). Dari kiri dapat kita lihat bahwa pada gambar terdapat

kode LIT yang berarti komposit mengalami kegagalan tipe lateral dengan luasan di dalam grid atau cekam dan lokasinya berada di atas. Sedangkan untuk kode LAT menunjukkan bahwa komposit gagal secara lateral pada cekam dan terletak pada lokasi atas. Untuk kode AGM menunjukkan bahwa komposit patah membentuk sudut pada gage dan terletak pada area tengah. Ketiga jenis patahan itulah yang terjadi pada spesiemen saat pengujian tarik.

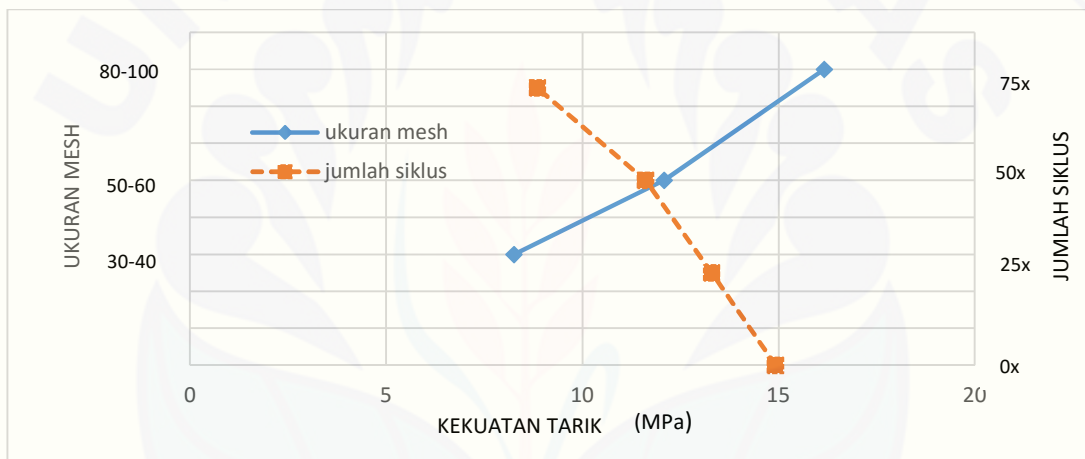
Adanya perbedaan jenis patahan yang terjadi pada komposit ini disebabkan oleh tersebarnya konsentrasi tegangan secara acak di seluruh titik sampel. Dan perpatahan terjadi dimulai dari titik terlemah dari komposit. Hal ini menyebabkan tidak seragamnya bentuk patahan yang terjadi pada setiap komposit baik pada komposit dengan ukuran mesh 30-40, 50-60 maupun 80-100.

#### 4.2.4 Analisa Pengaruh Ukuran Partikel Montmorillonite dan Jumlah Siklus Terhadap Kekuatan Tarik Komposit



Gambar 4.14 Grafik tentang hubungan ukuran partikel dan jumlah siklus; (a) hubungan ukuran partikel terhadap kekuatan tarik, (b) hubungan jumlah siklus terhadap kekuatan tarik

Dalam mencari hubungan antara pengaruh ukuran partikel MMT dan banyaknya jumlah siklus yang diberikan pada saat pengujian komposit. Dibuat grafik tentang pengaruh ukuran partikel dan jumlah siklus thermal seperti yang ditunjukkan oleh gambar 4.14. Dari gambar tersebut terlihat bahwa semakin besar ukuran partikel maka semakin naik kekuatannya sementara semakin banyak jumlah siklus yang diberikan maka semakin turun kekuatannya. Untuk mencari titik temu atau pertemuan antara kedua garis yang menunjukkan tentang pengaruh ukuran partikel dan jumlah siklus maka dibuat grafik untuk menunjukkan persilangan kekuatan dan titik pertemuan antara kedua variable tersebut.



Gambar 4.15 Grafik pengaruh ukuran partikel dan jumlah siklus terhadap komposit

Dari gambar 4.15 tentang pengaruh ukuran partikel dan jumlah siklus didapatkan bahwa komposit dengan kekuatan tarik dan ketahanan terhadap siklus thermal yang terbaik adalah komposit dengan ukuran serbuk montmorillonite dengan mesh 50-60 dengan perlakuan siklus thermal sebanyak 50 siklus. Hal ini dikarenakan pada titik tersebut kekuatan tarik dan ketahanan thermal komposit seimbang. Dengan demikian dari penelitian ini didapatkan sifat dan paduan yang paling baik adalah komposit dengan ukuran montmorillonite mesh 50-60 dengan perlakuan siklus thermal sebanyak 50 siklus.



Hal ini menunjukkan bahwa komposit dengan kekuatan tarik yang tinggi belum tentu memiliki ketahanan terhadap siklus thermal yang baik, begitupun sebaliknya komposit dengan kekuatan tarik yang rendah belum tentu memiliki ketahanan thermal yang rendah pula. Ini dikarenakan adanya serbuk *montmorillonite* sebagai aditif dalam pembuatan komposit. Partikel *montmorillonite* ditambahkan dengan tujuan untuk meningkatkan ketahanan thermal pada komposit. Akan tetapi dengan adanya serbuk *montmorillonite* tersebut mengakibatkan kekuatan tarik dari komposit menjadi menurun.



## BAB 5. PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Dari pembahasan yang telah dilakukan, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Komposit dengan ukuran mesh montmorillonite 80-100 memiliki kekuatan tarik yang paling baik pada setiap jumlah siklus.
2. Komposit dengan jumlah siklus 75 siklus memiliki kekuatan tarik paling rendah pada masing-masing ukuran mesh.
3. Adanya perbedaan morfologi komposit dari ketiga jenis komposit, dimana komposit dengan ukuran mesh 80-100 memiliki struktur yang lebih halus. Sementara dari segi patahan komposit mengalami patahan jenis LAT, LIT dan AGM.
4. Komposit dengan aditif montmorillonite berukuran mesh 50-60 dengan perlakuan 50 siklus merupakan komposit yang memiliki perpaduan yang paling optimal, karena nilai kekuatan tarik dan ketahanan thermal yang seimbang.

### 5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan dari penelitian ini adalah:

1. Perlu adanya penelitian lebih lanjut mengenai pengaruh siklus termal terhadap sifat mekanis dengan menggunakan alat uji yang lebih baik dan waktu pemaparan yang lebih lama.
2. Penelitian tentang komposit berbasis serat kenaf anyam dan berpenambah montmorillonite perlu dikembangkan mengingat potensi dari kedua bahan yang cukup baik untuk pembuatan rekayasa material komposit.

## DAFTAR PUSTAKA

- Aji, I. S., S. M. Sapuan, E. S. Zainudin, dan K. Abdan. 2009. *Kenaf Fibres as Reinforcement for Polymeric Composite a Review*. International Journal of Mechanical and Materials Engineering (IJMME). 4. 239-248.
- Annual Book of ASTM Standards D 3309. 1990. *Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Material*, American Society for Testing and Material. Philadelphia, PA.
- Bramantyo, Amar. 2008. *Pengaruh Kosentrasi Serat Rami Terhadap Sifat Mekanik Material Komposit Poliester – Serat Alam*. Teknik metalurgi, Jakarta
- Daulay, A, S., Fachry, W., Halimatuddahlia. 2014. *Pengaruh ukuran Partikel Dan Komposisi Terhadap Sifat Kekuatan Bentur Komposit epoksi Berpengisi Serat Daun Nanas*. Jurnal Teknik Kimia USU. Sumatera Utara
- Dharminto. (2015). Metode Penelitian dan Penelitian Sampel. Retrieved 22 maret 2015, from [http://eprints.undip.ac.id/5613/1/METODE\\_PENELITIAN\\_-\\_dharminto.pdf](http://eprints.undip.ac.id/5613/1/METODE_PENELITIAN_-_dharminto.pdf)
- Diharjo K. 2005. *Pengaruh Perlakuan Alkali terhadap Sifat Tarik Bahan Komposit Serat Rami-Polyester*, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret, Surakarta.
- Diharjo, K., dan B. K. R. A. P. T. A. R. Andhika. 2013. *Pengaruh Kandungan dan Ukuran Serbuk Genteng Sokka terhadap Ketahanan Bakar Komposit Geopolimer*. Jurnal Rekayasa Mesin. 4. 27-34.
- Diharjo, K., dan Santoso. 2008. *Pengaruh Orientasi Anyaman dan Density Kenaf cak Terhadap Kekuatan Tarik Bahan Komposit Berpenguat Serat Kenaf Anyam dan Acak*. Paper presented at the Prosiding Seminar Nasional Teknoin, Yogyakarta.
- Du, Y., J. Zhang, dan Y. A. Xue. 2008. *Temperature-duration Effects on Tensile Properties of Kenaf Bast Fiber Bundles*. Forest Product Journal. 58. 59-65.
- Erizal, R. 2015. *Pengaruh Kadar Partikel Montmorillonite Terhadap sifat Mekanik-Siklus Thermal Komposit Polyester Serat Kenaf Anyam*. Skripsi Universitas Jember. Jember
- Hariyanto, A dan Diharjo, K. 2011. *Rekayasa Dan Mufaktur Bahan Komposit Sandwich Berpenguat Serat Rami Dengan Core Limbah Sekam Padi Untuk*

*Panel Interior Otomotif Dan Rumah Hunian*. Ringkasan Penelitian Hibah Bersaing. Surakarta

- Jedec Standard. 2000. *Temperature Cycling*. Jedec Solid State Technology Association. USA
- Khalid, N. H. A., J. M. Yatim, dan W. A. W. A. Rahman. (2011). *Temperature Effect on Tensile Properties of Kenaf Bast Fiber*. Paper presented at the Proceeding of 10th International Annual Symposium, Permai Hotel Kuala Terengganu, Kuala Terengganu.
- Khalid, N. H. A., J. M. Yatim, dan W. A. W. A. Rahman. (2011). *Temperature Effect*
- Kuroda, Y. X. S. K. K. H. T. K. S. 2009. *Thermomechanical Properties of the Silanized-Kenaf Polystyrene Composites*. Express Polymer Letters. 3. 657664.
- Mouritz, A. P., dan A. G. Gibson. 2006. *Fire Properties of Polymer Composite Materials*. Vol. 143
- Mowbray, D. F., Spera, D. A. 1976. *Thermal Fatigue Of Material and Components*. American Society for Testing and Material. United States
- Nasiruddin. 2014. *Analisis Termal-Mekanis Komposit Matrik Polyester Dengan Aditif Partikel Montmorillonite Berpenguat Serat Kenaf Anyam*. Skripsi Universitas Jember. Jember.
- on Tensile Properties of Kenaf Bast Fiber*. Paper presented at the Proceeding of 10th International Annual Symposium, Permai Hotel Kuala Terengganu, Kuala Terengganu
- Osman, E., A. Vakhguel, S. Mutasher, dan I. Sbaski. 2012. *Effect of Water Absorbtion on Tensile Properties of Kenaf Fiber Reinforced Unsaturated Polyester Composite*. Sunaree J.Sci Technol. 20. 183-195.
- Rizqi, F. 2008. *Pengaruh Waktu Pemanasan*. Skripsi Universitas Indonesia.
- Sastrosupadi, Adji. 1995. *Rancangan Percobaan Praktis Untuk Bidang Pertanian*. Yogyakarta: KANISIUS.
- Scott, P. 2003. What Is Thermal Cycling. <http://www.wisegeek.com/what-is-thermal-cycling.htm> [20 Maret 2015]
- Sentosa A. 2015. *Pengaruh Variasi Fraksi Volume Filler Terhadap Peningkatan Kekuatan Impak Dan Bending Komposit Sandwich Polyester Berpenguat Serat Kebaf Anyam*. Skripsi Universitas Jember. Jember.
- Siswanto., dan Sarwono. E. W. R., Setyawan. A., Setiabudi. H. D. 2013. *Perubahan Sifat Lentur Komposit High Density Polyethelene (HDPE) Terhadap*

- Pengaruh Fraksi Volum Pengisi Serbuk Genteng Limbah. Angkasa. 5. 155-158*
- Sreenivasan, S., S. Sulaiman, B. T. H. T. Baharudin, M. K. A. Ariffin, dan K. Abdan. 2012. *Recent Developments of Kenaf Fiber Reinforced Thermoset Composites A Review.*
- Sutrisno. 2013. *Kajian Sifat Mekanik Komposit Geomaterial Limbah Serbuk Genteng Dan Serat Karbon. Agri-tek. 4. 37-44.*
- Tran Doang Hung, P. L., Dora Kroisova, Oleg Bortnovsky, Nguyen Thang Xiem. 2011. *New generation of geopolymer composite for fire resistance: InTech.*
- Wijoyo dan Achmad Nurhidayat. 2013. *Kajian Ketangguhan Impak Komposit Sandwich Serat Aren-Polyester Dengan Core Gedebog Pohon Pisang. Prosiding Simposium Nasional RAPI XII FT UMS Surakarta*
- Yunus, S. (2011). *Komposit Proses, Fabrikasi dan Aplikasi Jember: Jember University Press*

LAMPIRAN

1. Tabel data hasil pengujian tarik

Ukuran mesh	Jumlah siklus	Kekuatan tarik (Mpa)			Rata-rata
		Sampel 1	Sampel 2	Sampel 3	
80-100	0x	19,39	15,63	19,77	18,2633
	25x	10,73	23,53	20,15	18,1367
	50x	9,6	12,99	25,79	16,1267
	75x	12,99	11,49	11,86	12,1133
50-60	0x	17,51	17,13	14,88	16,5067
	25x	18,26	12,99	6,97	12,74
	50x	10,73	9,6	13,75	11,36
	75x	12,62	5,09	5,46	7,72333
30-40	0x	9,23	9,23	11,49	9,98333
	25x	11,49	6,97	8,48	8,98
	50x	6,59	7,35	8,1	7,34667
	75x	5,46	9,6	5,09	6,71667

2. Tabel data pengaruh ukuran partikel MMT dan jumlah siklus terhadap kekuatan tarik (gambar 4.14)

Jumlah siklus	mesh 30-40	mesh 50-60	mesh 80-100	Rata-rata (MPa)
0x	9,98	16,51	18,26	14,92
25x	8,98	12,74	18,14	13,29
50x	7,35	11,36	16,13	11,61
75x	6,72	7,72	12,11	8,85
Rata-rata (MPa)	8,26	12,08	16,16	

3. Gambar sampel uji sebelum siklus thermal



(a) Mesh 30-40 0x siklus



(b) Mesh 30-40 25x siklus



(c) mesh 30-40 50x siklus



(d) mesh 30-40 75x siklus



(e) mesh 50-60 0x siklus



(f) mesh 50-60 25x siklus



(g) mesh 50-60 50x siklus



(h) mesh 50-60 75x siklus





(i) Mesh 80-100 0x siklus



(j) mesh 80-100 25x siklus



(k) mesh 80-100 50x siklus

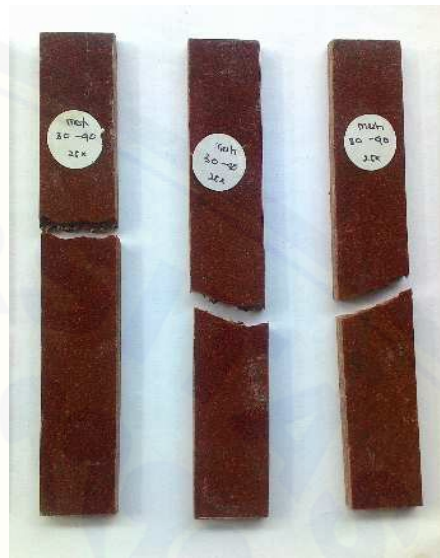


(l) mesh 80-100 75x siklus

4. Gambar sampel spesimen setelah pengujian siklus thermal dan uji tarik



(a) Mesh 30-40 0x siklus



(b) Mesh 30-40 25x siklus



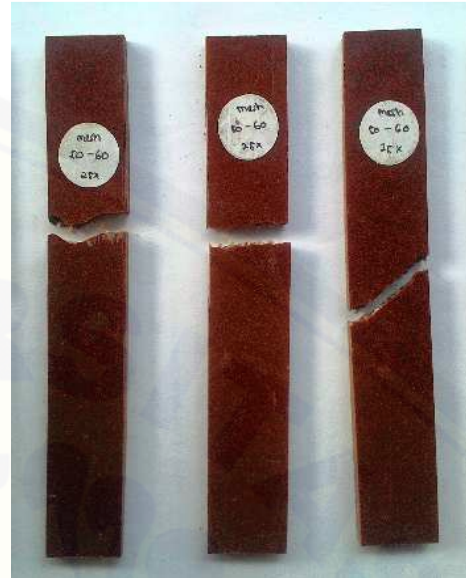
(c) Mesh 30-40 50x siklus



(d) Mesh 30-40 75x siklus



(e) Mesh 50-60 0x siklus



(f) Mesh 50-60 25x siklus



(g) Mesh 50-60 75x siklus



(h) Mesh 50-60 75x siklus



(i) Mesh 80-100 0x siklus



(j) Mesh 80-100 25x siklus

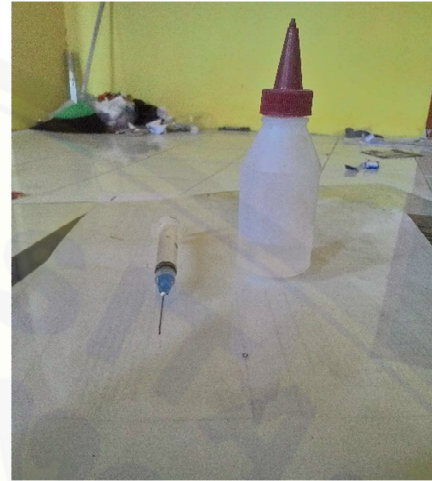


(j) Mesh 80-100 50x siklus

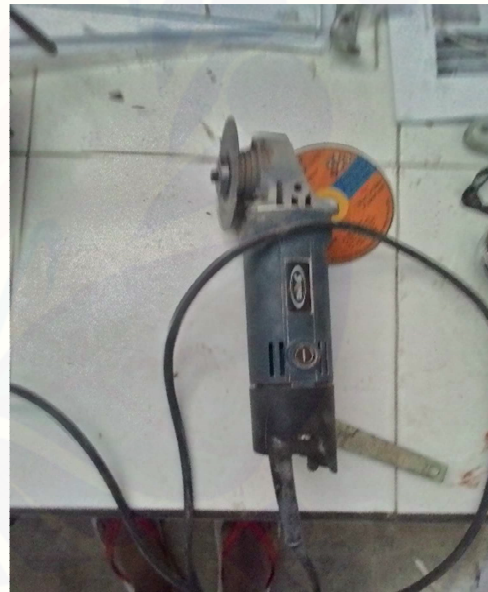


(k) Mesh 80-100 75x siklus

5. Alat dan bahan













## Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials<sup>1</sup>

This standard is issued under the fixed designation D 3039/D 3039M; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reappraisal. A superscript epsilon ( $\epsilon$ ) indicates an editorial change since the last revision or reappraisal.

*This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.*

### 1. Scope

1.1 This test method determines the in-plane tensile properties of polymer matrix composite materials reinforced by high-modulus fibers. The composite material forms are limited to continuous fiber or discontinuous fiber-reinforced composites in which the laminate is balanced and symmetric with respect to the test direction.

1.2 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

1.3 The values stated in either SI units or inch-pound units are to be regarded separately as standard. Within the text, the inch-pound units are shown in brackets. The values stated in each system are not exact equivalents; therefore, each system must be used independently of the other. Combining values from the two systems may result in nonconformance with the standard.

### 2. Referenced Documents

#### 2.1 ASTM Standards:

- D 792 Test Methods for Density and Specific Gravity (Relative Density) of Plastics by Displacement<sup>2</sup>
- D 883 Terminology Relating to Plastics<sup>2</sup>
- D 2584 Test Method for Ignition Loss of Cured Reinforced Resins<sup>3</sup>
- D 2734 Test Method for Void Content of Reinforced Plastics<sup>3</sup>
- D 3171 Test Methods for Constituent Content of Composites Materials<sup>4</sup>
- D 3878 Terminology for Composite Materials<sup>4</sup>
- D 5229/D 5229M Test Method for Moisture Absorption Properties and Equilibrium Conditioning of Polymer Matrix Composite Materials<sup>4</sup>

- E 4 Practices for Force Verification of Testing Machines<sup>5</sup>
- E 6 Terminology Relating to Methods of Mechanical Testing<sup>5</sup>
- E 83 Practice for Verification and Classification of Extensometers<sup>5</sup>
- E 111 Test Method for Young's Modulus, Tangent Modulus, and Chord Modulus<sup>5</sup>
- E 122 Practice for Choice of Sample Size to Estimate a Measure of Quality for a Lot or Process<sup>6</sup>
- E 132 Test Method for Poisson's Ratio at Room Temperature<sup>5</sup>
- E 177 Practice for Use of the Terms Precision and Bias in ASTM Test Methods<sup>6</sup>
- E 251 Test Methods for Performance Characteristics of Metallic Bonded Resistance Strain Gages<sup>5</sup>
- E 456 Terminology Relating to Quality and Statistics<sup>6</sup>
- E 691 Practice for Conducting an Interlaboratory Study to Determine the Precision of a Test Method<sup>6</sup>
- E 1012 Practice for Verification of Specimen Alignment Under Tensile Loading<sup>5</sup>
- E 1237 Guide for Installing Bonded Resistance Strain Gages<sup>5</sup>

### 3. Terminology

3.1 *Definitions*—Terminology D 3878 defines terms relating to high-modulus fibers and their composites. Terminology D 883 defines terms relating to plastics. Terminology E 6 defines terms relating to mechanical testing. Terminology E 456 and Practice E 177 define terms relating to statistics. In the event of a conflict between terms, Terminology D 3878 shall have precedence over the other standards.

#### 3.2 *Definitions of Terms Specific to This Standard:*

NOTE—If the term represents a physical quantity, its analytical dimensions are stated immediately following the term (or letter symbol) in fundamental dimension form, using the following ASTM standard symbology for fundamental dimensions, shown within square brackets:  $[M]$  for mass,  $[L]$  for length,  $[T]$  for time,  $[\Theta]$  for thermodynamic temperature, and  $[nd]$  for nondimensional quantities. Use of these symbols is restricted to analytical dimensions when used with square

<sup>1</sup> This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee D-30 on Composite Materials and is the direct responsibility of Subcommittee D30.04 on Lamina and Laminate Test Methods.

Current edition approved April 10, 2000. Published July 2000. Originally published as D 3039 – 71T. Last previous edition D 3039 – 95a.

<sup>2</sup> *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 08.01.

<sup>3</sup> *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 08.02.

<sup>4</sup> *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 15.03.

<sup>5</sup> *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 03.01.

<sup>6</sup> *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 14.02.

brackets, as the symbols may have other definitions when used without the brackets.

3.2.1 *nominal value, n*—a value, existing in name only, assigned to a measurable property for the purpose of convenient designation. Tolerances may be applied to a nominal value to define an acceptable range for the property.

3.2.2 *transition region, n*—a strain region of a stress-strain or strain-strain curve over which a significant change in the slope of the curve occurs within a small strain range.

3.2.3 *transition strain,  $\epsilon^{transition}$  [nd], n*—the strain value at the mid range of the transition region between the two essentially linear portions of a bilinear stress-strain or strain-strain curve.

3.2.3.1 *Discussion*—Many filamentary composite materials show essentially bilinear behavior during loading, such as seen in plots of either longitudinal stress versus longitudinal strain or transverse strain versus long longitudinal strain. There are varying physical reasons for the existence of a transition region. Common examples include: matrix cracking under tensile loading and ply delamination.

3.3 *Symbols:*

3.3.1 *A*—minimum cross-sectional area of a coupon.

3.3.2 *B<sub>y</sub>*—percent bending for a uniaxial coupon of rectangular cross section about y axis of the specimen (about the narrow direction).

3.3.3 *B<sub>z</sub>*—percent bending for a uniaxial coupon of rectangular cross section about z axis of the specimen (about the wide direction).

3.3.4 *CV*—coefficient of variation statistic of a sample population for a given property (in percent).

3.3.5 *E*—modulus of elasticity in the test direction.

3.3.6 *F<sup>tu</sup>*—ultimate tensile strength in the test direction.

3.3.7 *F<sup>su</sup>*—ultimate shear strength in the test direction.

3.3.8 *h*—coupon thickness.

3.3.9 *L<sub>g</sub>*—extensometer gage length.

3.3.10 *L<sub>min</sub>*—minimum required bonded tab length.

3.3.11 *n*—number of coupons per sample population.

3.3.12 *P*—load carried by test coupon.

3.3.13 *P<sup>f</sup>*—load carried by test coupon at failure.

3.3.14 *P<sup>max</sup>*—maximum load carried by test coupon before failure.

3.3.15 *s<sub>n-1</sub>*—standard deviation statistic of a sample population for a given property.

3.3.16 *w*—coupon width.

3.3.17 *x<sub>i</sub>*—test result for an individual coupon from the sample population for a given property.

3.3.18  $\bar{x}$ —mean or average (estimate of mean) of a sample population for a given property.

3.3.19  $\delta$ —extensional displacement.

3.3.20  $\epsilon$ —general symbol for strain, whether normal strain or shear strain.

3.3.21  $\epsilon$ —indicated normal strain from strain transducer or extensometer.

3.3.22  $\sigma$ —normal stress.

3.3.23  $\nu$ —Poisson's ratio.

#### 4. Summary of Test Method

4.1 A thin flat strip of material having a constant rectangular cross section is mounted in the grips of a mechanical testing

machine and monotonically loaded in tension while recording load. The ultimate strength of the material can be determined from the maximum load carried before failure. If the coupon strain is monitored with strain or displacement transducers then the stress-strain response of the material can be determined, from which the ultimate tensile strain, tensile modulus of elasticity, Poisson's ratio, and transition strain can be derived.

#### 5. Significance and Use

5.1 This test method is designed to produce tensile property data for material specifications, research and development, quality assurance, and structural design and analysis. Factors that influence the tensile response and should therefore be reported include the following: material, methods of material preparation and lay-up, specimen stacking sequence, specimen preparation, specimen conditioning, environment of testing, specimen alignment and gripping, speed of testing, time at temperature, void content, and volume percent reinforcement. Properties, in the test direction, which may be obtained from this test method include the following:

5.1.1 Ultimate tensile strength,

5.1.2 Ultimate tensile strain,

5.1.3 Tensile chord modulus of elasticity,

5.1.4 Poisson's ratio, and

5.1.5 Transition strain.

#### 6. Interferences

6.1 *Material and Specimen Preparation*—Poor material fabrication practices, lack of control of fiber alignment, and damage induced by improper coupon machining are known causes of high material data scatter in composites.

6.2 *Gripping*—A high percentage of grip-induced failures, especially when combined with high material data scatter, is an indicator of specimen gripping problems. Specimen gripping methods are discussed further in 7.2.4, 8.2, and 11.5.

6.3 *System Alignment*—Excessive bending will cause premature failure, as well as highly inaccurate modulus of elasticity determination. Every effort should be made to eliminate excess bending from the test system. Bending may occur as a result of misaligned grips or from specimens themselves if improperly installed in the grips or out-of-tolerance caused by poor specimen preparation. If there is any doubt as to the alignment inherent in a given test machine, then the alignment should be checked as discussed in 7.2.5.

6.4 *Edge Effects in Angle Ply Laminates*—Premature failure and lower stiffnesses are observed as a result of edge softening in laminates containing off-axis plies. Because of this, the strength and modulus for angle ply laminates can be drastically underestimated. For quasi-isotropic laminates containing significant 0° plies, the effect is not as significant.

#### 7. Apparatus

7.1 *Micrometers*—A micrometer with a 4- to 5-mm [0.16- to 0.20-in] nominal diameter double-ball interface shall be used to measure the thickness of the specimen. A micrometer with a flat anvil interface shall be used to measure the width of the specimen. The accuracy of the instruments shall be suitable for reading to within 1 % of the sample width and thickness. For typical specimen geometries, an instrument with an accuracy of  $\pm 2.5 \mu\text{m}$  [ $\pm 0.0001$  in.] is adequate for thickness

measurement, while an instrument with an accuracy of  $\pm 25 \mu\text{m}$  [ $\pm 0.001 \text{ in.}$ ] is adequate for width measurement.

**7.2 Testing Machine**—The testing machine shall be in conformance with Practices E 4 and shall satisfy the following requirements:

**7.2.1 Testing Machine Heads**—The testing machine shall have both an essentially stationary head and a movable head.

**7.2.2 Drive Mechanism**—The testing machine drive mechanism shall be capable of imparting to the movable head a controlled velocity with respect to the stationary head. The velocity of the movable head shall be capable of being regulated as specified in 11.3.

**7.2.3 Load Indicator**—The testing machine load-sensing device shall be capable of indicating the total load being carried by the test specimen. This device shall be essentially free from inertia lag at the specified rate of testing and shall indicate the load with an accuracy over the load range(s) of interest of within  $\pm 1\%$  of the indicated value. The load range(s) of interest may be fairly low for modulus evaluation, much higher for strength evaluation, or both, as required.

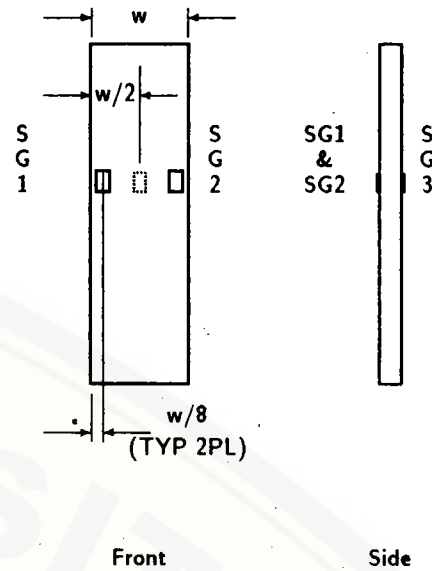
**NOTE 1**—Obtaining precision load data over a large range of interest in the same test, such as when both elastic modulus and ultimate load are being determined, place extreme requirements on the load cell and its calibration. For some equipment, a special calibration may be required. For some combinations of material and load cell, simultaneous precision measurement of both elastic modulus and ultimate strength may not be possible and measurement of modulus and strength may have to be performed in separate tests using a different load cell range for each test.

**7.2.4 Grips**—Each head of the testing machine shall carry one grip for holding the test specimen so that the direction of load applied to the specimen is coincident with the longitudinal axis of the specimen. The grips shall apply sufficient lateral pressure to prevent slippage between the grip face and the coupon. If tabs are used the grips should be long enough that they overhang the beveled portion of the tab by approximately 10 to 15 mm [0.5 in.]. It is highly desirable to use grips that are rotationally self-aligning to minimize bending stresses in the coupon.

**NOTE 2**—Grip surfaces that are lightly serrated, approximately 1 serration/mm [25 serrations/in.], have been found satisfactory for use in wedge-action grips when kept clean and sharp; coarse serrations may produce grip-induced failures in untabbed coupons. Smooth gripping surfaces have been used successfully with either hydraulic grips or an emery cloth interface, or both.

**7.2.5 System Alignment**—Poor system alignment can be a major contributor to premature failure, to elastic property data scatter, or both. Practice E 1012 describes bending evaluation guidelines and describes potential sources of misalignment during tensile testing. In addition to Practice E 1012, the degree of bending in a tensile system can also be evaluated using the following related procedure. Specimen bending is considered separately in 11.6.1.

**7.2.5.1** A rectangular alignment coupon, preferably similar in size and stiffness to the test specimen of interest, is instrumented with a minimum of three longitudinal strain gages of similar type, two on the front face across the width and one on the back face of the specimen, as shown in Fig. 1. Any difference in indicated strain between these gages during loading provides a measure of the amount of bending in the



**FIG. 1** Gage Locations for System Alignment Check Coupon

thickness plane ( $B_y$ ) and width plane ( $B_z$ ) of the coupon. The strain gage location should normally be located in the middle of the coupon gage section (if modulus determination is a concern), near a grip (if premature grip failures are a problem), or any combination of these areas.

**7.2.5.2** When evaluating system alignment, it is advisable to perform the alignment check with the same coupon inserted in each of the four possible installation permutations (described relative to the initial position): initial (top-front facing observer), rotated back to front only (top back facing observer), rotated end for end only (bottom front facing observer), and rotated both front to back and end to end (bottom back facing observer). These four data sets provide an indication of whether the bending is due to the system itself or to tolerance in the alignment check coupon or gaging.

**7.2.5.3** The zero strain point may be taken either before gripping or after gripping. The strain response of the alignment coupon is subsequently monitored during the gripping process, the tensile loading process, or both. Eq 1-3 use these indicated strains to calculate the ratio of the percentage of bending strain to average extensional strain for each bending plane of the alignment coupon and the total percent bending,  $B_{\text{total}}$ . Plotting percent bending versus axial average strain is useful in understanding trends in the bending behavior of the system.

**7.2.5.4** Problems with failures during gripping would be reason to examine bending strains during the gripping process in the location near the grip. Concern over modulus data scatter would be reason to evaluate bending strains over the modulus evaluation load range for the typical transducer location. Excessive failures near the grips would be reason to evaluate bending strains near the grip at high loading levels. While the maximum advisable amount of system misalignment is material and location dependent, good testing practice is generally able to limit percent bending to a range of 3 to 5% at moderate strain levels ( $>1000 \mu\epsilon$ ). A system showing excessive bending for the given application should be readjusted or modified.

$$B_y = \frac{\epsilon_{\text{ave}} - \epsilon_3}{\epsilon_{\text{ave}}} \times 100 \quad (1)$$

$$B_z = \frac{4/3 (\epsilon_2 - \epsilon_1)}{\epsilon_{ave}} \times 100 \quad (2)$$

where:

$B_y$  = percent bending about system y axis (about the narrow plane), as calculated by Eq 1, %;

$B_z$  = percent bending about system z axis (about the wide plane), as calculated by Eq 2, %;

$\epsilon_1, \epsilon_2, \text{ and } \epsilon_3$  = indicated longitudinal strains displayed by Gages 1, 2, and 3, respectively, of Fig. 1,  $\mu\epsilon$ ; and

$\epsilon_{ave}$  =  $(|\epsilon_1 + \epsilon_2|)/2 + |\epsilon_3|/2$ .

The total bending component is:

$$B_{total} = |B_y| + |B_z| \quad (3)$$

**7.3 Strain-Indicating Device**—Load-strain data, if required, shall be determined by means of either a strain transducer or an extensometer. Attachment of the strain-indicating device to the coupon shall not cause damage to the specimen surface. If Poisson's ratio is to be determined, the specimen shall be instrumented to measure strain in both longitudinal and lateral directions. If the modulus of elasticity is to be determined, the longitudinal strain should be simultaneously measured on opposite faces of the specimen to allow for a correction as a result of any bending of the specimen (see 11.6 for further guidance).

**7.3.1 Bonded Resistance Strain Gage Selection**—Strain gage selection is a compromise based on the type of material. An active gage length of 6 mm [0.25 in.] is recommended for most materials. Active gage lengths should not be less than 3 mm [0.125 in.].<sup>7</sup> Gage calibration certification shall comply with Test Methods E 251. When testing woven fabric laminates, gage selection should consider the use of an active gage length that is at least as great as the characteristic repeating unit of the weave. Some guidelines on the use of strain gages on composites follow. A general reference on the subject is Tuttle and Brinson.<sup>8</sup>

**7.3.1.1 Surface preparation of fiber-reinforced composites** in accordance with Practice E 1237 can penetrate the matrix material and cause damage to the reinforcing fibers resulting in improper coupon failures. Reinforcing fibers should not be exposed or damaged during the surface preparation process. The strain gage manufacturer should be consulted regarding surface preparation guidelines and recommended bonding agents for composites pending the development of a set of standard practices for strain gage installation surface preparation of fiber-reinforced composite materials.

**7.3.1.2** Consideration should be given to the selection of gages having larger resistances to reduce heating effects on low-conductivity materials. Resistances of 350  $\Omega$  or higher are preferred. Additional consideration should be given to the use

<sup>7</sup> A typical gage would have a 0.25-in. active gage length, 350- $\Omega$  resistance, a strain rating of 3% or better, and the appropriate environmental resistance and thermal coefficient.

<sup>8</sup> Tuttle, M. E. and Brinson, H. F., "Resistance-Foil Strain-Gage Technology as Applied to Composite Materials," *Experimental Mechanics*, Vol 24, No. 1, March 1984; pp. 54-65; errata noted in Vol 26, No. 2, June 1986, pp. 153-154.

of the minimum possible gage excitation voltage consistent with the desired accuracy (1 to 2 V is recommended) to reduce further the power consumed by the gage. Heating of the coupon by the gage may affect the performance of the material directly, or it may affect the indicated strain as a result of a difference between the gage temperature compensation factor and the coefficient of thermal expansion of the coupon material.

**7.3.1.3** Consideration of some form of temperature compensation is recommended, even when testing at standard laboratory atmosphere. Temperature compensation is required when testing in nonambient temperature environments.

**7.3.1.4** Consideration should be given to the transverse sensitivity of the selected strain gage. The strain gage manufacturer should be consulted for recommendations on transverse sensitivity corrections and effects on composites. This is particularly important for a transversely mounted gage used to determine Poisson's ratio, as discussed in Note 11.

**7.3.2 Extensometers**—For most purposes, the extensometer gage length should be in the range of 10 to 50 mm [0.5 to 2.0 in.]. Extensometers shall satisfy, at a minimum, Practice E 83, Class B-1 requirements for the strain range of interest and shall be calibrated over that strain range in accordance with Practice E 83. For extremely stiff materials, or for measurement of transverse strains, the fixed error allowed by Class B-1 extensometers may be significant, in which case Class A extensometers should be considered. The extensometer shall be essentially free of inertia lag at the specified speed of testing, and the weight of the extensometer should not induce bending strains greater than those allowed in 6.3.

**NOTE 3**—It is generally less difficult to perform strain calibration on extensometers of longer gage length as less precision in displacement is required of the extensometer calibration device.

**7.4 Conditioning Chamber**—When conditioning materials at nonlaboratory environments, a temperature/vaporlevel-controlled environmental conditioning chamber is required that shall be capable of maintaining the required temperature to within  $\pm 3^\circ\text{C}$  [ $\pm 5^\circ\text{F}$ ] and the required relative vapor level to within  $\pm 3\%$ . Chamber conditions shall be monitored either on an automated continuous basis or on a manual basis at regular intervals.

**7.5 Environmental Test Chamber**—An environmental test chamber is required for test environments other than ambient testing laboratory conditions. This chamber shall be capable of maintaining the gage section of the test specimen at the required test environment during the mechanical test.

## 8. Sampling and Test Specimens

**8.1 Sampling**—Test at least five specimens per test condition unless valid results can be gained through the use of fewer specimens, such as in the case of a designed experiment. For statistically significant data, the procedures outlined in Practice E 122 should be consulted. Report the method of sampling.

**NOTE 4**—If specimens are to undergo environmental conditioning to 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 <i>General Requirements</i>	Mandatory Shape and Tolerances
8.2.2 <i>Specific Recommendations</i>	Nonmandatory Suggested Dimensions
8.2.3 <i>Detailed Examples</i>	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 toleranced 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.<sup>9</sup>

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]<sub>n</sub>s 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 have incorporated steel tabs or tabs made of the same material as is being tested.

8.2.2.6 *Bonded Tab Length*—When using bonded tabs, estimate the minimum suggested tab length for bonded tabs by

TABLE 1 Tensile Specimen Geometry Requirements

Parameter	Requirement
<b>Coupon Requirements:</b>	
shape	constant rectangular cross-section
minimum length	gripping + 2 times width + gage length
specimen width	as needed <sup>A</sup>
specimen width tolerance	±1 % of width
specimen thickness	as needed
specimen thickness tolerance	±4 % of thickness
specimen flatness	flat with light finger pressure
<b>Tab Requirements (if used):</b>	
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

<sup>A</sup>See 8.2.2 or Table 2 for recommendations.

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



TABLE 2 Tensile Specimen Geometry Recommendations<sup>A</sup>

Fiber Orientation	Width, mm [in.]	Overall Length, mm [in.]	Thickness, mm [in.]	Tab Length, mm [in.]	Tab Thickness, mm [in.]	Tab Bevel Angle, °
0° unidirectional	15 [0.5]	250 [10.0]	1.0 [0.040]	56 [2.25]	1.5 [0.062]	7 or 90
90° unidirectional	25 [1.0]	175 [ 7.0]	2.0 [0.080]	25 [1.0]	1.5 [0.062]	90
balanced and symmetric	25 [1.0]	250 [10.0]	2.5 [0.100]	emery cloth	—	—
random-discontinuous	25 [1.0]	250 [10.0]	2.5 [0.100]	emery cloth	—	—

<sup>A</sup>Dimensions in this table and the tolerances of Fig. 2 or Fig. 3 are recommendations only and may be varied so long as the requirements of Table 1 are met.

the following simple equation. As this equation does not account for the peaking stresses that are known to exist at the ends of bonded joints. The tab length calculated by this equation should normally be increased by some factor to reduce the chances of joint failure:

$$L_{\min} = F^{tu}h/2F^{su} \quad (4)$$

where:

- $L_{\min}$  = minimum required bonded tab length, mm [in.];
- $F^{tu}$  = ultimate tensile strength of coupon material, MPa [psi];
- $h$  = coupon thickness, mm [in.]; and
- $F^{su}$  = ultimate shear strength of adhesive, coupon material, or tab material (whichever is lowest), MPa [psi].

8.2.2.7 *Bonded Tab Adhesive*—Any high-elongation (tough) adhesive system that meets the environmental requirements may be used when bonding tabs to the material under test. A uniform bondline of minimum thickness is desirable to reduce undesirable stresses in the assembly.

8.2.3 *Detailed Examples*—The minimum requirements for specimen design discussed in 8.2.1 are by themselves insufficient to create a properly dimensioned and toleranced coupon drawing. Dimensionally toleranced specimen drawings for both tabbed and untabbed forms are shown as examples in Fig. 2 (SI) and Fig. 3 (inch-pound). The tolerances on these drawings are fixed, but satisfy the requirements of Table 1 for all of the recommended configurations of Table 2. For a specific configuration, the tolerances on Fig. 2 and Fig. 3 might be able to be relaxed.

8.3 *Specimen Preparation:*

8.3.1 *Panel Fabrication*—Control of fiber alignment is critical. Improper fiber alignment will reduce the measured properties. Erratic fiber alignment will also increase the coefficient of variation. The specimen preparation method shall be reported.

8.3.2 *Machining Methods*—Specimen preparation is extremely important for this specimen. Mold the specimens individually to avoid edge and cutting effects or cut from them plates. If they are cut from plates, take precautions to avoid notches, undercuts, rough or uneven surfaces, or delaminations caused by inappropriate machining methods. Obtain final dimensions by water-lubricated precision sawing, milling, or grinding. The use of diamond tooling has been found to be extremely effective for many material systems. Edges should be flat and parallel within the specified tolerances.

8.3.3 *Labeling*—Label the coupons so that they will be distinct from each other and traceable back to the raw material and in a manner that will both be unaffected by the test and not influence the test.

9. Calibration

9.1 The accuracy of all measuring equipment shall have certified calibrations that are current at the time of use of the equipment.

10. Conditioning

10.1 *Standard Conditioning Procedure*—Unless a different environment is specified as part of the experiment, condition the test specimens in accordance with Procedure C of Test Method D 5229/D 5229M and store and test at standard laboratory atmosphere (23 ± 3°C [73 ± 5°F] and 50 ± 10 % relative humidity).

11. Procedure

11.1 *Parameters To Be Specified Before Test:*

11.1.1 The tension specimen sampling method, coupon type and geometry, and conditioning travelers (if required).

11.1.2 The tensile properties and data reporting format desired.

NOTE 5—Determine specific material property, accuracy, and data reporting requirements before test for proper selection of instrumentation and data-recording equipment. Estimate operating stress and strain levels to aid in transducer selection, calibration of equipment, and determination of equipment settings.

11.1.3 The environmental conditioning test parameters.

11.1.4 If performed, the sampling method, coupon geometry, and test parameters used to determine density and reinforcement volume.

11.2 *General Instructions:*

11.2.1 Report any deviations from this test method, whether intentional or inadvertent.

11.2.2 If specific gravity, density, reinforcement volume, or void volume are to be reported, then obtain these samples from the same panels being tension tested. Specific gravity and density may be evaluated by means of Test Methods D 792. Volume percent of the constituents may be evaluated by one of the matrix digestion procedures of Test Method D 3171, or, for certain reinforcement materials such as glass and ceramics, by the matrix burn-off technique of Test Method D 2584. The void content equations of Test Methods D 2734 are applicable to both Test Method D 2584 and the matrix digestion procedures.

11.2.3 Following final specimen machining and any conditioning, but before the tension testing, determine the specimen area as  $A = w \times h$ , at three places in the gage section, and report the area as the average of these three determinations to the accuracy in 7.1. Record the average area in units of mm<sup>2</sup> (in.<sup>2</sup>).

11.3 *Speed of Testing*—Set the speed of testing to effect a nearly constant strain rate in the gage section. If strain control



DRAWING NOTES:

1. INTERPRET DRAWING IN ACCORDANCE WITH ANSI Y14.5M-1982, SUBJECT TO THE FOLLOWING:
2. ALL DIMENSIONS IN MILLIMETRES WITH DECIMAL TOLERANCES AS FOLLOWS:  
NO DECIMAL | .X | .XX  
 $\pm 3$  |  $\pm 1$  |  $\pm .3$
3. ALL ANGLES HAVE TOLERANCE OF  $\pm .5^\circ$ .
4. PLY ORIENTATION DIRECTION TOLERANCE RELATIVE TO [-A-] WITHIN  $\pm .5^\circ$ .
5. FINISH ON MACHINED EDGES NOT TO EXCEED  $1.6\sqrt{\quad}$  (SYMBOLY IN ACCORDANCE WITH ASA B46.1, WITH ROUGHNESS HEIGHT IN MICROMETRES.)
6. VALUES TO BE PROVIDED FOR THE FOLLOWING, SUBJECT TO ANY RANGES SHOWN ON THE FIELD OF DRAWING: MATERIAL, LAY-UP, PLY ORIENTATION REFERENCE RELATIVE TO [-A-], OVERALL LENGTH, GAGE LENGTH, COUPON THICKNESS, TAB MATERIAL, TAB THICKNESS, TAB LENGTH, TAB BEVEL ANGLE, TAB ADHESIVE.
7. NO ADHESIVE BUILDUP ALLOWED IN THIS AREA.

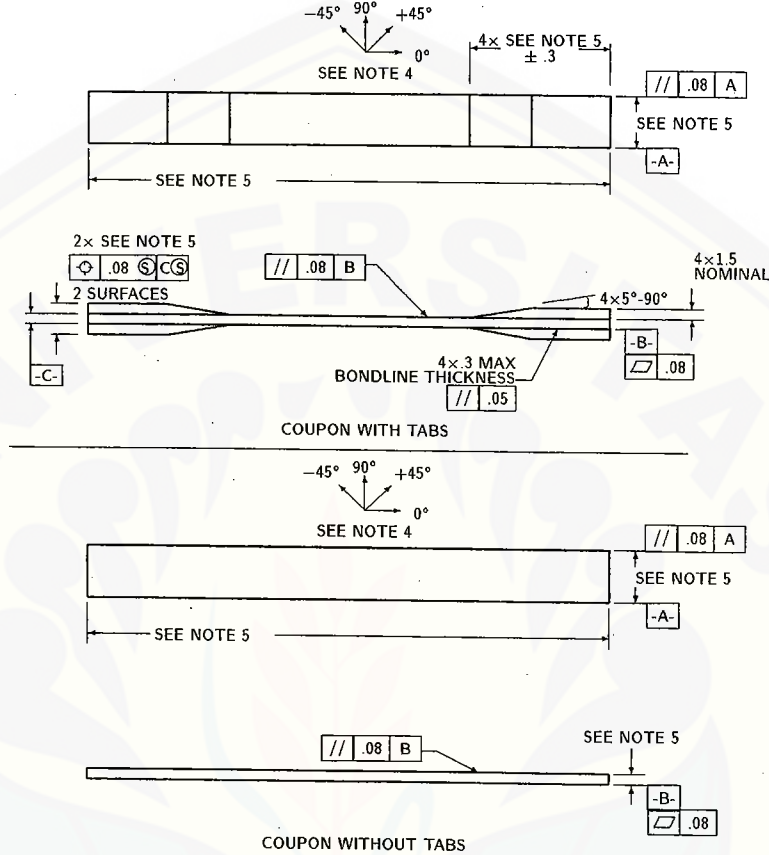


FIG. 2 Tension Test Specimen Drawing (SI)

is not available on the testing machine, this may be approximated by repeated monitoring and adjusting of the rate of load application to maintain a nearly constant strain rate, as measured by strain transducer response versus time. The strain rate should be selected so as to produce failure within 1 to 10 min. If the ultimate strain of the material cannot be reasonably estimated, initial trials should be conducted using standard speeds until the ultimate strain of the material and the compliance of the system are known, and the strain rate can be adjusted. The suggested standard speeds are:

11.3.1 *Strain-Controlled Tests*—A standard strain rate of  $0.01 \text{ min}^{-1}$ .

11.3.2 *Constant Head-Speed Tests*—A standard head displacement rate of  $2 \text{ mm/min}$  [ $0.05 \text{ in./min}$ ].

NOTE 6—Use of a fixed head speed in testing machine systems with a high compliance may result in a strain rate that is much lower than required. Use of wedge grips can cause extreme compliance in the system, especially when using compliant tab materials. In some such cases, actual strain rates 10 to 50 times lower than estimated by head speeds have been observed.

11.4 *Test Environment*—Condition the specimen to the de-

sired moisture profile and, if possible, test under the same conditioning fluid exposure level. However, cases such as elevated temperature testing of a moist specimen place unrealistic requirements on the capabilities of common testing machine environmental chambers. In such cases, the mechanical test environment may need to be modified, for example, by testing at elevated temperature with no fluid exposure control, but with a specified limit on time to failure from withdrawal from the conditioning chamber. Modifications to the test environment shall be recorded.

11.4.1 Store the specimen in the conditioned environment until test time, if the testing area environment is different than the conditioning environment.

11.5 *Specimen Insertion*—Place the specimen in the grips of the testing machine, taking care to align the long axis of the gripped specimen with the test direction. Tighten the grips, recording the pressure used on pressure controllable (hydraulic or pneumatic) grips.

NOTE 7—The ends of the grip jaws on wedge-type grips should be even with each other following insertion to avoid inducing a bending moment

DRAWING NOTES:

1. INTERPRET DRAWING IN ACCORDANCE WITH ANSI Y14.5M-1982, SUBJECT TO THE FOLLOWING:
2. ALL DIMENSIONS IN INCHES WITH DECIMAL TOLERANCES AS FOLLOWS:  

.X	.XX	.XXX
±.1	±.03	±.01
3. ALL ANGLES HAVE TOLERANCE OF ±.5°.
4. PLY ORIENTATION DIRECTION TOLERANCE RELATIVE TO [-A-] WITHIN ±.5°.
5. FINISH ON MACHINED EDGES NOT TO EXCEED 64√ (SYMBOLGY IN ACCORDANCE WITH ASA B46.1, WITH ROUGHNESS HEIGHT IN MICROINCHES.)
5. VALUES TO BE PROVIDED FOR THE FOLLOWING, SUBJECT TO ANY RANGES SHOWN ON THE FIELD OF DRAWING: MATERIAL, LAY-UP, PLY ORIENTATION REFERENCE RELATIVE TO [-A-], OVERALL LENGTH, GAGE LENGTH, COUPON THICKNESS, TAB MATERIAL, TAB THICKNESS, TAB LENGTH, TAB BEVEL ANGLE, TAB ADHESIVE.
6. NO ADHESIVE BUILDUP ALLOWED IN THIS AREA.

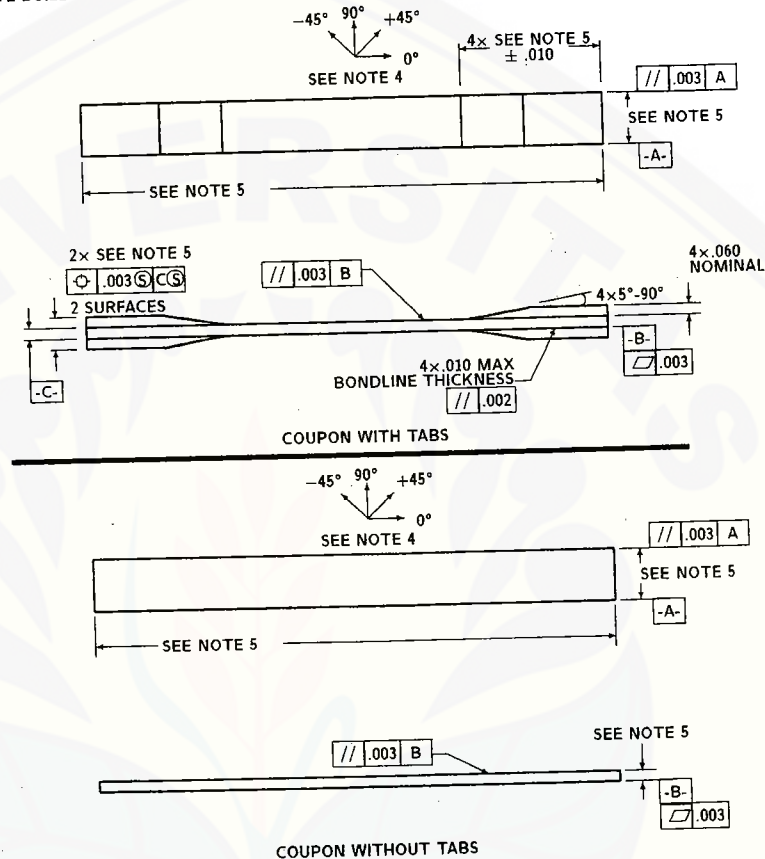


FIG. 3 Tension Test Specimen Drawing (inch-pound)

that results in premature failure of the specimen at the grip. When using untabbed specimens, a folded strip of medium grade (80 to 150 grit) emery cloth between the specimen faces and the grip jaws (grit-side toward specimen) provides a nonslip grip on the specimen without jaw serration damage to the surface of the specimen. When using tabbed specimens, insert the coupon so that the grip jaws extend approximately 10 to 15 mm [0.5 in.] past the beginning of the tapered portion of the tab. Coupons having tabs that extend beyond the grips are prone to failure at the tab ends because of excessive interlaminar stresses.

**11.6 Transducer Installation**—If strain response is to be determined attach the strain-indication transducer(s) to the specimen, symmetrically about the mid-span, mid-width location. Attach the strain-recording instrumentation to the transducers on the specimen.

**11.6.1** When determining modulus of elasticity, it is recommended that at least one specimen per like sample be evaluated with back-to-back axial transducers to evaluate the percent bending, using Eq 5, at the average axial strain checkpoint value (the mid range of the appropriate chord modulus strain range) shown in Table 3. A single transducer can be used if the percent bending is no more than 3%. When bending is greater

TABLE 3 Specimen Alignment and Chord Modulus Calculation Strain Ranges

Tensile Chord Modulus Calculation Longitudinal Strain Range		Longitudinal Strain Checkpoint for Bending
Start Point $\mu\epsilon^A$	End Point $\mu\epsilon$	$\mu\epsilon$
1000 <sup>B</sup>	3000	2000

<sup>A</sup>1000  $\mu\epsilon$  = 0.001 absolute strain.

<sup>B</sup>This strain range is to be contained in the lower half of the stress/strain curve. For materials that fail below 6000  $\mu\epsilon$ , a strain range of 25 to 50% of ultimate is recommended.

than 3% averaged strains from back-to-back transducers like kind are recommended.

$$B_y = \frac{|\epsilon_f - \epsilon_b|}{|\epsilon_f + \epsilon_b|}$$

where:

- $\epsilon_f$  = indicated strain from front transducer,  $\mu\epsilon$ ;
- $\epsilon_b$  = indicated strain from back transducer,  $\mu\epsilon$ ; and
- $B_y$  = percent bending in specimen.

**11.7 Loading**—Apply the load to the specimen at



specified rate until failure, while recording data.

11.8 *Data Recording*—Record load versus strain (or transducer displacement) continuously or at frequent regular intervals. If a transition region or initial ply failures are noted, record the load, strain, and mode of damage at such points. If the specimen is to be failed, record the maximum load, the failure load, and the strain (or transducer displacement) at, or as near as possible to, the moment of rupture.

NOTE 8—Other valuable data that can be useful in understanding testing anomalies and gripping or specimen slipping problems includes load versus head displacement data and load versus time data.

11.9 *Failure Mode*—Record the mode and location of failure of the specimen. Choose, if possible, a standard description using the three-part failure mode code that is shown in Fig. 4.

11.10 *Grip/Tab Failures*—Reexamine the means of load introduction into the material if a significant fraction of failures in a sample population occur within one specimen width of the tab or grip. Factors considered should include the tab alignment, tab material, tab angle, tab adhesive, grip type, grip pressure, and grip alignment.

## 12. Calculation

12.1 *Tensile Stress/Tensile Strength*—Calculate the ultimate tensile strength using Eq 6 and report the results to three significant figures. If the tensile modulus is to be calculated, determine the tensile stress at each required data point using Eq 7.

$$F^{tu} = P^{max}/A \quad (6)$$

$$\sigma_i = P_i/A \quad (7)$$

where:

$F^{tu}$  = ultimate tensile strength, MPa [psi];

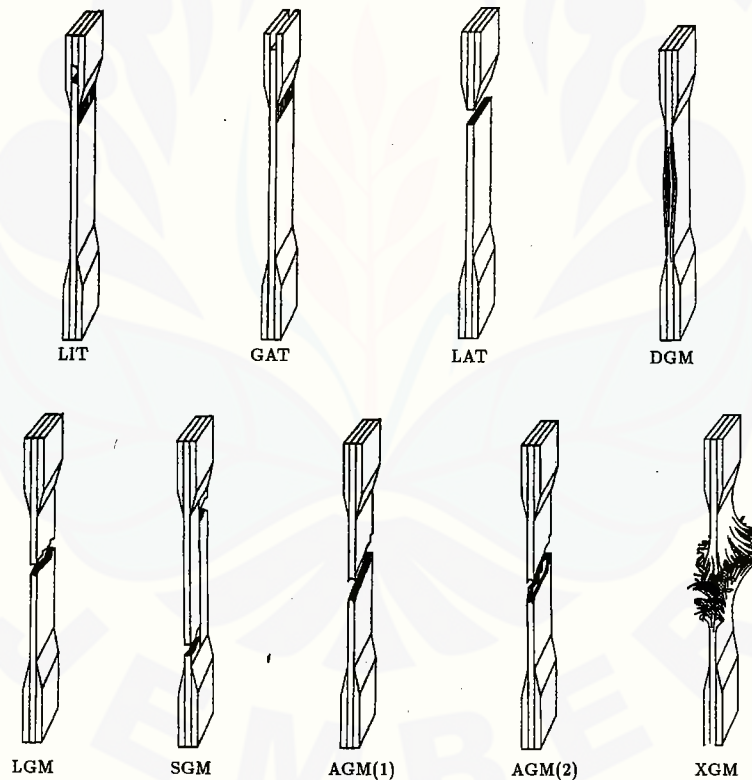
$P^{max}$  = maximum load before failure, N [lbf];

$\sigma_i$  = tensile stress at  $i$ th data point, MPa [psi];

$P_i$  = load at  $i$ th data point, N [lbf]; and

$A$  = average cross-sectional area from 11.2.3,  $mm^2[in.^2]$ .

12.2 *Tensile Strain/Ultimate Tensile Strain*—If tensile modulus or ultimate tensile strain is to be calculated, and material response is being determined by an extensometer, determine the tensile strain from the indicated displacement at each required data point using Eq 8 and report the results to



First Character	
Failure Type	Code
Angled edge Delamination	A
Grip/tab	G
Lateral	L
Multi-mode	M(xyz)
long. Splitting	S
Explosive	X
Other	O

Second Character	
Failure Area	Code
Inside grip/tab	I
At grip/tab	A
<1W from grip/tab	W
Gage	G
Multiple areas	M
Various	V
Unknown	U

Third Character	
Failure Location	Code
Bottom	B
Top	T
Left	L
Right	R
Middle	M
Various	V
Unknown	U

FIG. 4 Tensile Test Failure Codes/Typical Modes

three significant figures.

$$\epsilon_i = \delta_i / L_g \quad (8)$$

where:

- $\epsilon_i$  = tensile strain at *i*th data point,  $\mu\epsilon$ ;
- $\delta_i$  = extensometer displacement at *i*th data point, mm [in.];  
and
- $L_g$  = extensometer gage length, mm [in.].

12.3 Tensile Modulus of Elasticity:

NOTE 9—To minimize potential effects of bending it is recommended that the strain data used for modulus of elasticity determination be the average of the indicated strains from each side of the specimen, as discussed in 7.3 and 11.6.

12.3.1 Tensile Chord Modulus of Elasticity—Select the appropriate chord modulus strain range from Table 3. Calculate the tensile chord modulus of elasticity from the stress-strain data using Eq 9. If data is not available at the exact strain range end points (as often occurs with digital data), use the closest available data point. Report the tensile chord modulus of elasticity to three significant figures. Also report the strain range used in the calculation. A graphical example of chord modulus is shown in Fig. 5.

12.3.1.1 The tabulated strain ranges should only be used for materials that do not exhibit a transition region (a significant change in the slope of the stress-strain curve) within the given strain range. If a transition region occurs within the recommended strain range, then a more suitable strain range shall be used and reported.

$$E^{\text{chord}} = \Delta\sigma / \Delta\epsilon \quad (9)$$

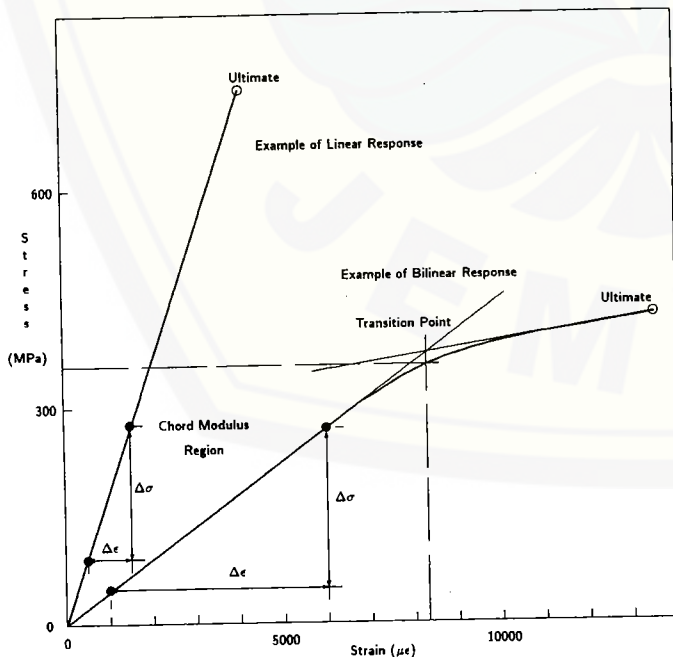


FIG. 5 Typical Tensile Stress-Strain Curves

where:

- $E^{\text{chord}}$  = tensile chord modulus of elasticity, GPa [psi];
- $\Delta\sigma$  = difference in applied tensile stress between the two strain points of Table 3, MPa [psi]; and
- $\Delta\epsilon$  = difference between the two strain points of Table 3 (nominally 0.002).

12.3.2 Tensile Modulus of Elasticity (Other Definitions)—Other definitions of elastic modulus may be evaluated and reported at the user's discretion. If such data is generated and reported, report also the definition used, the strain range used, and the results to three significant figures. Test Method E 111 provides additional guidance in the determination of modulus of elasticity.

NOTE 10—An example of another modulus definition is the secondary chord modulus of elasticity for materials that exhibit essentially bilinear stress-strain behavior. An example of secondary chord modulus is shown in Fig. 5.

12.4 Poisson's Ratio:

NOTE 11—If bonded resistance strain gages are being used, the error produced by the transverse sensitivity effect on the transverse gage will generally be much larger for composites than for metals. An accurate measurement of Poisson's ratio requires correction for this effect. The strain gage manufacturer should be contacted for information on the use of correction factors for transverse sensitivity.

12.4.1 Poisson's Ratio By Chord Method—Select the appropriate chord modulus longitudinal strain range from Table 3. Determine (by plotting or otherwise) the transverse strain (measured perpendicular to the applied load),  $\epsilon_t$ , at each of the two longitudinal strains (measured parallel to the applied load),  $\epsilon_l$ , strain range end points. If data is not available at the exact strain range end points (as often occurs with digital data), use the closest available data point. Calculate Poisson's ratio by Eq 10 and report to three significant figures. Also report the strain range used.

$$\nu = -\Delta\epsilon_t / \Delta\epsilon_l \quad (10)$$

where:

- $\nu$  = Poisson's ratio;
- $\Delta\epsilon_t$  = difference in lateral strain between the two longitudinal strain points of Table 3,  $\mu\epsilon$ ; and
- $\Delta\epsilon_l$  = difference between the two longitudinal strain points of Table 3 (nominally either 0.001, 0.002, or 0.005).

12.4.2 Tensile Poisson's Ratio (Other Definitions)—Other definitions of Poisson's ratio may be evaluated and reported at the user's direction. If such data is generated and reported, report also the definition used, the strain range used, and the results to three significant figures. Test Method E 132 provides additional guidance in the determination of Poisson's ratio.

12.5 Transition Strain—Where applicable, determine the transition strain from either the bilinear longitudinal stress versus longitudinal strain curve or the bilinear transverse strain versus longitudinal strain curve. Create a best linear fit or chord line for each of the two linear regions and extend the lines until they intersect. Determine to three significant digits the longitudinal strain that corresponds to the intersection point and record this value as the transition strain. Report also the method of linear fit (if used) and the strain ranges over which the linear fit or chord lines were determined. A graphical



example of transition strain is shown in Fig. 5.

12.6 *Statistics*—For each series of tests calculate the average value, standard deviation and coefficient of variation (in percent) for each property determined:

$$\bar{x} = (\sum_{i=1}^n x_i)/n \quad (11)$$

$$s_{n-1} = \sqrt{(\sum_{i=1}^n x_i^2 - n\bar{x}^2)/(n-1)} \quad (12)$$

$$CV = 100 \times s_{n-1}/\bar{x} \quad (13)$$

where:

- $\bar{x}$  = sample mean (average);
- $s_{n-1}$  = sample standard deviation;
- CV = sample coefficient of variation, in percent;
- $n$  = number of specimens; and
- $x_i$  = measured or derived property.

### 13. Report

13.1 Report the following information, or references pointing to other documentation containing this information, to the maximum extent applicable (reporting of items beyond the control of a given testing laboratory, such as might occur with material details or panel fabrication parameters, shall be the responsibility of the requestor):

13.1.1 The revision level or date of issue of this test method.

13.1.2 The date(s) and location(s) of the test.

13.1.3 The name(s) of the test operator(s).

13.1.4 Any variations to this test method, anomalies noticed during testing, or equipment problems occurring during testing.

13.1.5 Identification of the material tested including: material specification, material type, material designation, manufacturer, manufacturer's lot or batch number, source (if not from manufacturer), date of certification, expiration of certification, filament diameter, tow or yarn filament count and twist, sizing, form or weave, fiber areal weight, matrix type, prepreg matrix content, and prepreg volatiles content.

13.1.6 Description of the fabrication steps used to prepare the laminate including: fabrication start date, fabrication end date, process specification, cure cycle, consolidation method, and a description of the equipment used.

13.1.7 Ply orientation stacking sequence of the laminate.

13.1.8 If requested, report density, volume percent reinforcement, and void content test methods, specimen sampling method and geometries, test parameters, and test results.

13.1.9 Average ply thickness of the material.

13.1.10 Results of any nondestructive evaluation tests.

13.1.11 Method of preparing the test specimen, including specimen labeling scheme and method, specimen geometry, sampling method, coupon cutting method, identification of tab geometry, tab material, and tab adhesive used.

13.1.12 Calibration dates and methods for all measurement and test equipment.

13.1.13 Type of test machine, grips, jaws, grip pressure, alignment results, and data acquisition sampling rate and equipment type.

13.1.14 Results of system alignment evaluations, if any such were done.

13.1.15 Dimensions of each test specimen.

13.1.16 Conditioning parameters and results, use of travelers and traveler geometry, and the procedure used if other than that specified in the test method.

13.1.17 Relative humidity and temperature of the testing laboratory.

13.1.18 Environment of the test machine environmental chamber (if used) and soak time at environment.

13.1.19 Number of specimens tested.

13.1.20 Speed of testing.

13.1.21 Transducer placement on the specimen and transducer type for each transducer used.

13.1.22 If strain gages were used, the type, resistance, size, gage factor, temperature compensation method, transverse sensitivity, lead-wire resistance, and any correction factors used.

13.1.23 Stress-strain curves and tabulated data of stress versus strain for each specimen.

13.1.24 Percent bending results for each specimen so evaluated.

13.1.25 Individual strengths and average value, standard deviation, and coefficient of variation (in percent) for the population. Note if the failure load was less than the maximum load before failure.

13.1.26 Individual strains at failure and the average value, standard deviation, and coefficient of variation (in percent) for the population.

13.1.27 Strain range used for chord modulus and Poisson's ratio determination.

13.1.28 If another definition of modulus of elasticity is used in addition to chord modulus, describe the method used, the resulting correlation coefficient (if applicable), and the strain range used for the evaluation.

13.1.29 Individual values of modulus of elasticity, and the average value, standard deviation, and coefficient of variation (in percent) for the population.

13.1.30 If another definition of Poisson's ratio is used in addition to the chordwise definition, describe the method used, the resulting correlation coefficient (if applicable), and the strain range used for the evaluation.

13.1.31 Individual values of Poisson's ratio, and the average value, standard deviation, and coefficient of variation (in percent) for the population.

13.1.32 If transition strain is determined, the method of linear fit (if used) and the strain ranges over which the linear fit or chord lines were determined.

13.1.33 Individual values of transition strain (if applicable), and the average value, standard deviation, and coefficient of variation (in percent) for the population.

13.1.34 Failure mode and location of failure for each specimen.

### 14. Precision and Bias

14.1 *Precision:*

14.1.1 The precision and bias of tension test strength and modulus measurements depend on strict adherence to the Test Method D 3039/D 3039M and are influenced by mechanical and material factors, specimen preparation, and measurement errors.

14.1.2 Mechanical factors that can affect the test results



include: the physical characteristics of the testing machine (stiffness, damping, and mass), accuracy of loading and displacement/strain measurement, speed of loading, alignment of test specimen with applied load, parallelism of the grips, grip pressure, and type of load control (displacement, strain, or load).

14.1.3 Material factors that can affect test results include: material quality and representativeness, sampling scheme, and specimen preparation (dimensional accuracy, tab material, tab taper, tab adhesive, and so forth).

14.1.4 The mean tensile strength for a strain rate sensitive, glass/epoxy tape composite testing in the fiber direction was found to increase by approximately two standard deviations with decreasing time to failure tested at the limits of the recommended time to failure prescribed in Test Method D 3039/D 3039M. This result suggest that caution must be used when comparing test data obtained for strain rate sensitive composite materials tested in accordance with this standard.

14.1.5 Measurement errors arise from the use of specialized measuring instruments such as load cells, extensometers and strain gages, micrometers, data acquisition devices, and so forth.

14.1.6 Data obtained from specimens that fracture outside the gage are should be used with caution as this data may not be representative of the material. Failure in the grip region indicates the stress concentration at the tab is greater than the natural strength variation of the material in the gage section. A tapered tab, bonded with a ductile low-modulus adhesive has a relatively low-stress concentration and should result in the lowest frequency of grip failures. Low-strength bias increases with the frequency of grip failures by an amount proportional to the stress concentration at the tab.

14.1.7 An interlaboratory test program was conducted where an average of five specimens each, of six different materials and lay-up configurations, were tested by nine different laboratories.<sup>10</sup> Table 4 presents the precision statistics generated from this study as defined in Practice E 691 for tensile strength, modulus, and failure strain. All data except that for Material B (90° lay-up) was normalized with respect to an average thickness. The materials listed in Table 15 are defined as:

- A IM-6/3501-6 uni-tape (0)n
- B IM-6/3501-6 uni-tape (90)n
- C IM-6/3501-6 uni-tape (90/0)n
- F Glass/epoxy fabric (7781  
glass/Ciba R 7376 Epoxy)-  
warp aligned

G Carbon/epoxy fabric (66108  
carbon/Ciba R 6376

TABLE 4 Precision Statistics

Material	$\bar{x}$	$s \bar{x}$	$S_r$	$S_R$	$S_r/\bar{x}, \%$	$S_R/\bar{x}, \%$
Strength, ksi						
A	342.69	8.49	10.68	12.78	3.12	3.73
B	8.52	0.52	0.85	0.92	9.94	10.84
C	156.37	3.84	10.85	10.85	6.94	6.94
F	66.18	3.20	1.52	3.48	2.30	5.26
G	121.52	1.59	3.92	3.92	3.23	3.23
Modulus, Msi						
A	23.57	0.65	0.63	0.86	2.69	3.66
B	1.30	0.05	0.04	0.06	3.12	4.57
C	12.38	0.29	0.37	0.44	2.98	3.54
F	3.95	0.08	0.04	0.09	1.01	2.28
G	9.47	0.16	0.12	0.20	1.29	2.06
Failure Strain, %						
A	1.36	0.06	0.07	0.08	4.95	6.15
B	0.66	0.04	0.08	0.09	12.47	13.02
C	1.22	0.03	0.06	0.06	5.25	5.27
F	2.04	0.15	0.07	0.16	3.19	8.03
G	1.27	0.03	0.05	0.05	3.83	4.13

14.1.8 The averages of the coefficients of variation are in Table 5. The values of  $S_r/X$  and  $S_R/X$  represent the repeatability and the reproducibility coefficients of variation, respectively. These averages permit a relative comparison of the repeatability (within laboratory precision) and reproducibility (between laboratory precision) of the tension test parameters. Overall, this indicates that the failure strain measurements exhibit the least repeatability and reproducibility of all the parameters measured while modulus was found to provide the highest repeatability and reproducibility of the parameters measured.

TABLE 5 Averages of the Coefficients of Variation

Parameter	Average of $S_r/X, \%$	Average of $S_R/X, \%$
Strength	5.11	6.00
Modulus	2.22	3.22
Failure strain	5.94	7.32

14.1.9 The consistency of agreement for repeated tests of the same material is dependent on lay-up configuration, material and specimen preparation techniques, test conditions, and measurements of the tension test parameters.

14.2 *Bias*—Bias cannot be determined for this test method as no acceptable reference standard exists.

## 15. Keywords

15.1 composite materials; modulus of elasticity; Poisson's ratio; tensile properties; tensile strength

<sup>10</sup> International Harmonization of Composite Materials—Phase 1: Harmonization of ASTM D 3039/D 3039M and ISO 527-5, Final Report, ASTM Institute for Standards Research, April 1997.