



**PENGARUH FRAKSI BERAT ADITIF *MONTMORILLONITE* SIKLUS  
TERMAL TERHADAP SIFAT MEKANIK PADA KOMPOSIT POLYESTER  
BERPENGUAT SERAT BAMBU**

**SKRIPSI**

Oleh,

**Febri Anggih Setiawan  
NIM 11191010190**

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



**PENGARUH FRAKSI BERAT ADITIF *MONTMORILLONITE* SIKLUS  
TERMAL TERHADAP SIFAT MEKANIK PADA KOMPOSIT POLYESTER  
BERPENGUAT SERAT BAMBU**

**SKRIPSI**

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

Oleh,

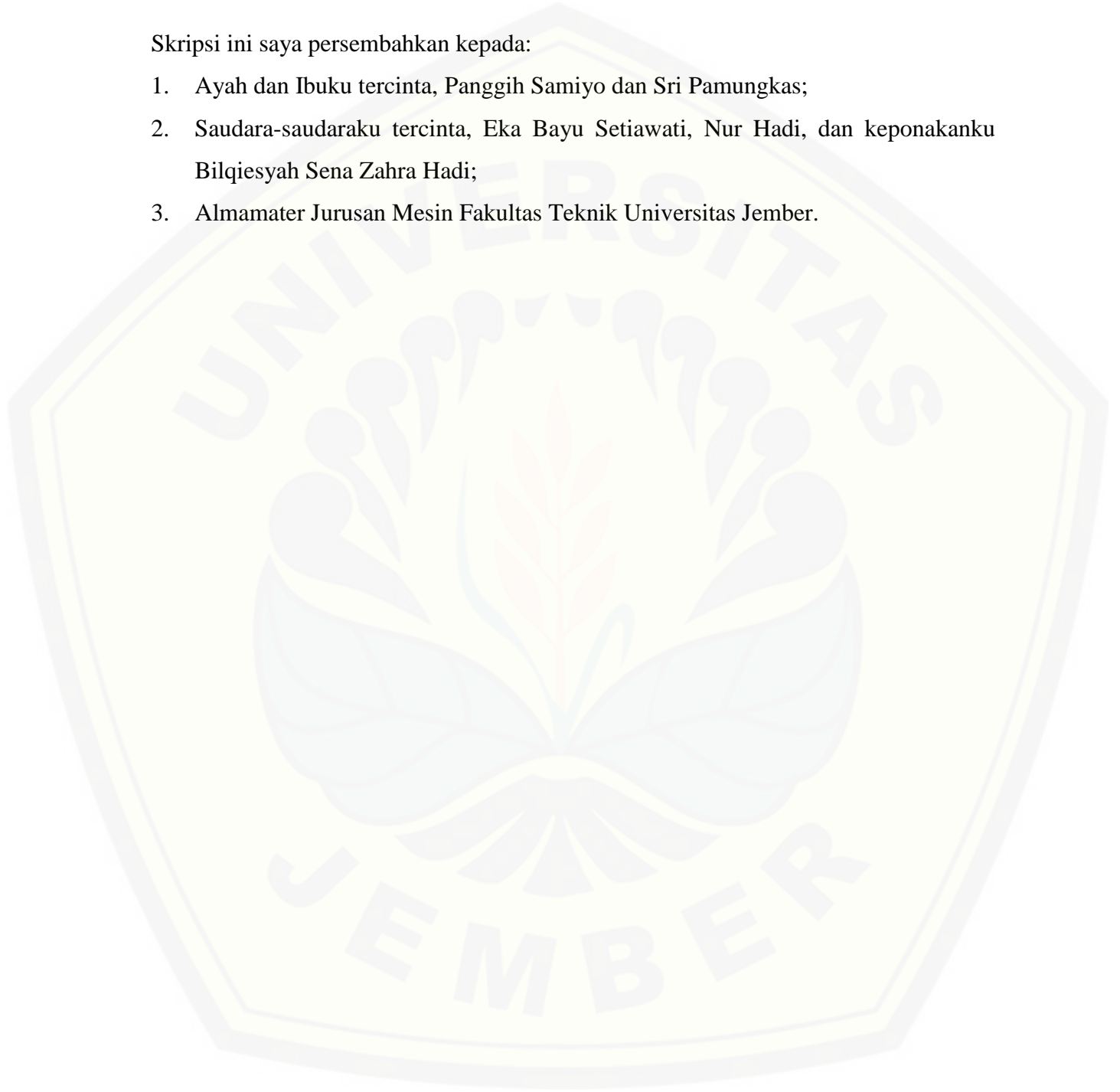
**Febri Anggih Setiawan**  
**NIM 111910101090**

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

**PERSEMBAHAN**

Skripsi ini saya persembahkan kepada:

1. Ayah dan Ibuku tercinta, Panggih Samiyo dan Sri Pamungkas;
2. Saudara-saudaraku tercinta, Eka Bayu Setiawati, Nur Hadi, dan keponakanku Bilqiesyah Sena Zahra Hadi;
3. Almamater Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.



**MOTTO**

Wahai orang-orang beriman! Mohonlah pertolongan (kepada Allah) dengan sabar dan salat. Sungguh Allah beserta orang-orang yang bersabar. (QS Al-Baqarah: 153)\*)

Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai dengan kesanggupannya.....  
(QS Al-Baqarah: 286)\*\*)

Allah tempat memintasegala sesuatu. (QS Al-Ikhlâs: 2)\*\*\*)

---

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

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

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

**PERNYATAAN**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : **Febri Anggih Setiawan**

NIM : **111910101090**

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya tulis ilmiah yang berjudul: **Pengaruh Fraksi Berat Aditif *Montmorillonite* Siklus Termal terhadap Sifat Mekanik pada Komposit Polyester berpenguat Serat Bambu** 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, 11 Agustus 2015

Yang menyatakan,

(Febri Anggih Setiawan.)  
NIM. 111910101090



**SKRIPSI**

**PENGARUH FRAKSI BERAT ADITIF *MONTMORILLONITE* SIKLUS  
TERMAL TERHADAP SIFAT MEKANIK PADA KOMPOSIT POLYESTER  
BERPENGUAT SERAT BAMBU**

Oleh.  
**Febri Anggih Setiawan**  
**NIM 111910101090**

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama:

Dr. Robertoes Koekoeh Koentjoro W., S.T., M.Eng

Dosen Pembimbing Anggota:

Dedi Dwilaksana S.T., M.T.

**PENGESAHAN**

Skripsi berjudul **“Pengaruh Fraksi Berat Aditif *Montmorillonite* Siklus Termal terhadap Sifat Mekanik pada Komposit Polyester berpenguat Serat Bambu”** telah diuji dan disahkan oleh Fakultas Teknik Universitas Jember pada:

Hari : Selasa

Tanggal : 11 Agustus 2015

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim penguji:

Ketua,

Sekretaris,

Dr. Robertoes Koekoeh Koentjoro W, S.T., M.Eng.  
NIP19670708 1994121 1 001

Dedi Dwilaksana, S.T., M.T.  
NIP19691201 199602 1 001

Anggota I,

Anggota II,

Ir. Ahmad Syuhri, M.T  
NIP19670123 199702 1 001

Santoso Mulyadi, S.T., M.T  
NIP19700228 199702 1 001

Mengesahkan  
Dekan Fakultas Teknik,

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



## RINGKASAN

**Pengaruh Fraksi Berat Aditif *Montmorillonite* Siklus Termal Terhadap Sifat Mekanik pada Komposit Polyester berpenguat Serat Bambu;** Febri Anggih Setiawan, 111910101090; 2015: 82 halaman; Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Perkembangan teknologi komposit saat ini sudah mengalami pergeseran dari bahan komposit berpenguat serat sintetis menjadi bahan komposit berpenguat serat alam. Inovasi pengembangan serat alam untuk aplikasi di bidang otomotif tidak hanya terbatas pada komponen *interior* tetapi juga bagian *eksterior* kendaraan. Serat alam khususnya bambu yang berlimpah di Indonesia sangat berpotensi untuk dikembangkan sebagai bahan teknik dengan melakukan rekayasa material komposit berpenguat serat bambu. Terkait aplikasi produk komposit sebagai komponen *interior* mobil yaitu sebagai *dashboard* mobil maka suatu produk komposit tersebut akan terpapar panas dan dingin secara berulang dan berkelanjutan yang mengakibatkan siklus termal. Daya tahan terhadap siklus termal serta kekuatan yang baik akan memberikan waktu yang lebih lama pada material untuk mempertahankan diri dari kegagalan perubahan temperature yang terus berulang-ulang. Komposit adalah bahan yang terbentuk apabila dua atau lebih komponen yang berlainan digabungkan. Secara umum, sifat-sifat komposit tersebut ditentukan oleh sifat-sifat serat, sifat-sifat resin/perekat, rasio serat terhadap resin/perekat dalam komposit (fraksi volume serat-*fibres volume fraction*), geometri dan orientasi serat pada komposit. Metodologi penelitian yang digunakan dalam penyusunan skripsi ini adalah penggabungan antara eksperimen di lapangan dan pengkajian studi literatur dari berbagai sumber baik dari buku, jurnal yang ada dipustaka maupun internet. Variabel bebas yang di gunakan adalah variasi kadar Montmorillonite (0%, 30%, 40% dan 50%) dan variasi siklus termal (25x, 50x dan 75x). Setelah dilakukan penambahan Montmorillonite selanjutnya dilakukan perlakuan siklus termal. Lalu benda di uji tarik standart ASTM D3039 dan uji impak standart ASTM D6110 untuk mengetahui kekuatan komposit. Hipotesis pada penelitian ini ialah penambahan montmorillonite pada kadar 30%, 40% dan 50% dapat meningkatkan kekuatan



mekanik komposit. Sedangkan semakin banyak jumlah siklus termal yang dilakukan maka semakin menurun kekuatan tarik dan impaknya. Kesimpulan yang dapat diambil dalam penelitian ini adalah: 1) Penambahan montmorillonite meningkatkan kekuatan tarik dan kekuatan impak komposit matrik polyester dengan aditif partikel montmorillonite berpenguat serat bambu pada kadar 30%, 40% dan 50%; 2) Dari tiga variasi kadar penambahan montmorillonite, pada kadar *montmorillonite* 40% dengan jumlah siklus termal sebanyak 25X di dapat nilai kekuatan tarik dan kekuatan impak tertinggi; 3) Secara umum, semakin banyak jumlah siklus termal yang dilakukan pada komposit maka kekuatan tarik dan kekuatan impak komposit menurun secara drastis mulai dari 25X siklus termal hingga terendah yaitu 75X siklus termal; 4) Kondisi morfologi komposit setelah dilakukan pengujian tarik dan pengujian impak semua mengalami kegagalan patah getas.

Kata Kunci: Bambu, Montmorillonite, Siklus termal, ASTM D3039, ASTM D6110

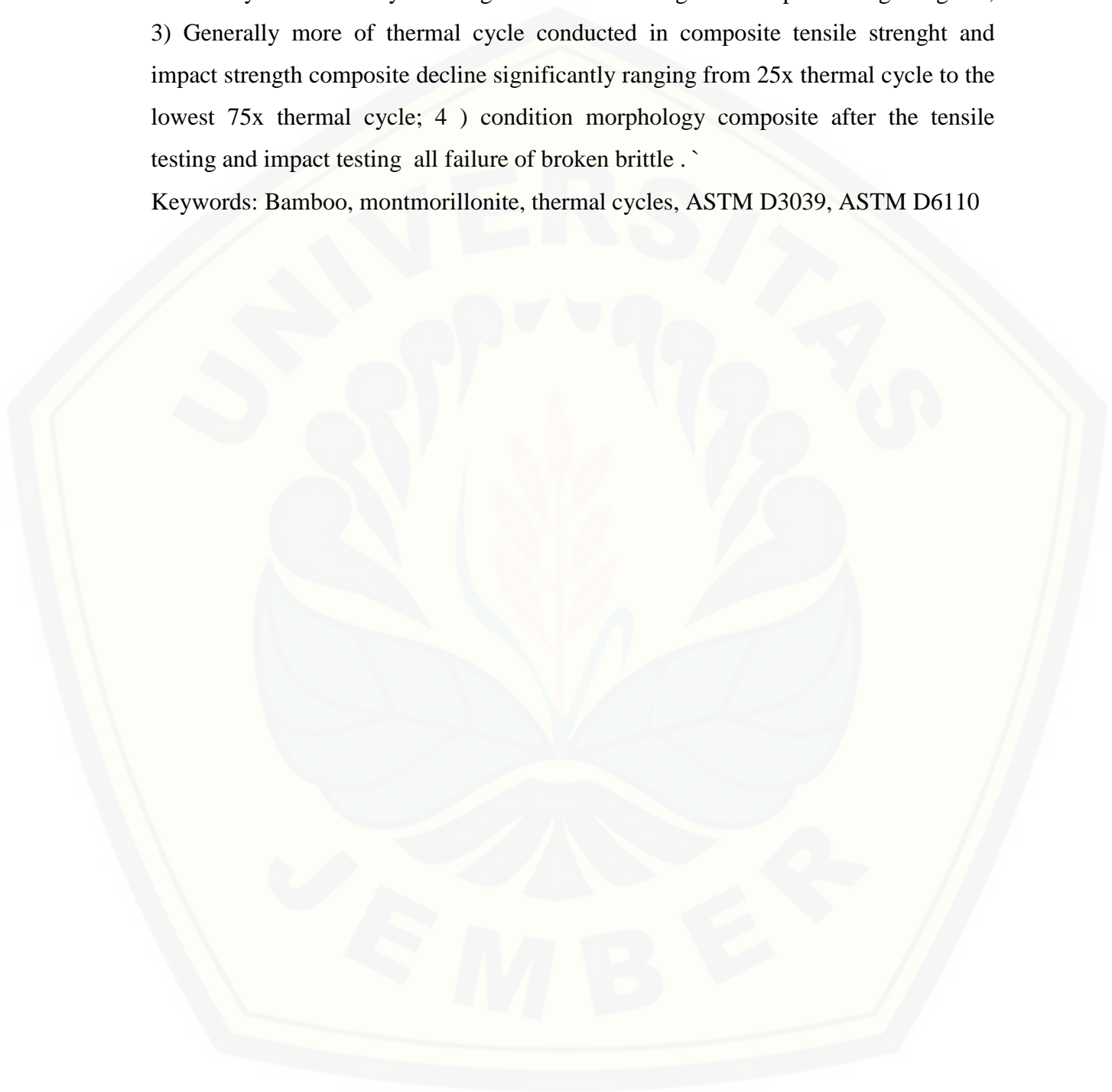
## SUMMARY

**Effect of Additives Fraction Montmorillonite Thermal Cycle on the Mechanical Properties of Polyester Bamboo Fiber Composites;** Febri Anggih Setiawan, 111910101090; 2015: 82 pages; Mechanical Engineering Department, Engineering Faculty, Jember University.

Development of technology Composite there are now change from synthetic reinforcement fiber composite become natural fiber composite. Innovation of natural fibers for application automotive not only limited to interior components but also the exterior part vehicles. Natural fibers especially bamboo are many in indonesia have a potential to be developed as a material technical with composite reinforcement bamboo fiber. Related applications composite products use for component interior car that mean dashboard and a composite products will be exposed to heat and cold repeated continue resulting in thermal cycle. Resistant of thermal cycle and forces will give a longer time in the material to defend from a failure of temperature change which continues to over and over again. The composite formed from two or more components have divergent combined. Generally , the properties of composite were chosen by the properties of fibers, the properties of an adhesive, the ratio of fibers against adhesive in composite volume ( fibre faction fraction ) volume , geometry and orientation composite fibers. The methodology this Research used of thesis affication between experiments in directed research and study from literature like various sources of books, journal from library and the internet. Independent variable use a variant of montmorillonite ( 0% , 30% , 40 % and 50% ) and variation thermal cycle ( 25x , 50x and 75x ). After addition of montmorillonite next treatment is cycle thermal. Then the speciment had done tensile test standart astm d3039 and impact test standart astm d6110 for knowing the power of composite. Hypothesis of this research is the addition of montmorillonite on the levels of 30%, 40% and 50% can increase the mechanical strength of the composite. While the more of thermal cycles conducted the tensile strength and impact strenght. A conclusion that could be take in this research is: 1) the additional montmorillonite increase of tensile strength and impact strength composite polyester with an additive montmorillonite particles

reinforcement bamboo fiber in the level of 30 % , 40 % and 50 %; 2 ) of three levels of the addition of variations montmorillonite , on levels of montmorillonite 40 % with thermal cycle in as many as 25x got the tensile strength and impact strength highest; 3) Generally more of thermal cycle conducted in composite tensile strength and impact strength composite decline significantly ranging from 25x thermal cycle to the lowest 75x thermal cycle; 4 ) condition morphology composite after the tensile testing and impact testing all failure of broken brittle . `

Keywords: Bamboo, montmorillonite, thermal cycles, ASTM D3039, ASTM D6110



## PRAKATA

Puji syukur Alhamdulillah ke hadirat Allah SWT karena atas rahmat dan hidayah-Nya shingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Pengaruh Fraksi Berat Aditif *Montmorillonite* Siklus Termal Terhadap Sifat Mekanik pada Komposit Polyester berpenguat Serat Bambu”.Skripsi ini di susun 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 Dr. Robertoes Koekoeh Koentjoro. W., S.T., M.Eng., selaku dosen pembimbing utama dan Dedi Dwilaksana., S.T., M.T., selaku dosen pembimbing anggota yang telah meluangkan waktu, ide-ide, dan ilmu dalam penyusunan skripsi ini;
2. Bapak Ir. Ahmad Syuhri., M.T., selaku dosen penguji 1 dan bapak Santoso Mulyadi., S.T., M.T., selaku dosen penguji 2 yang telah memberikan saran dalam pengerjaan skripsi ini;
3. Ibuku tercinta Sri pamungkas, Ayahku tercinta Panggih Samiyo yang tidak pernah lelah untuk memberikan kasih sayang dan doanya serta pengorbanannya demi terselesaikannya skripsi ini;
4. Saudara-saudaraku tercinta, Eka Bayu Setiawati dan Nur Hadi yang telah menjadi motivasiku, inspirasiku, semangatku hingga skripsi ini terselesaikan.
5. Keponakanku Sena yang selalu memberikan keceriaan dalam mengerjakan skripsi ini.
6. Partner hidupku Gustiviani Annisa Berlianti yang selalu memberikan semangat, tempatku berbagi cerita, dan senang susah kita jalani bersama;
7. Seluruh teman seangkatan Teknik Mesin 2011 Arisyabana, Risky Erizal, Wildan Triyanto, Abid, Lutfi, Doni, Ikhsan, Irsyad, Hegar, Agus, Agung W, Agung cilik, Farihen, Rudin, Rofik, Arif H, Novan, Sofyan L, Sofyan gundul,

Angga, Yohanes, Mirza, Mar'i, Sigit, Hendri, Niko, Anas, Dayu, Amril dan yang lainnya merupakan teman-teman yang terbaik, yang memberikan arti kekompakan dan hangatnya kebersamaan. *Solidarity Forever*;

8. Semua teman-teman ku SMANTIGDA yang ada di Univesitas Jember afla, bhakti, sigit mbable, erli, agra, aldi;
9. Semua teman-teman ku KKN yahya, septian, ayu, rikinta, aldi, gige, adit, dwika, dita dan bos panduman pak suprapto dan umi;
10. 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
HALAMAN JUDUL .....	i
PERSEMBAHAN .....	ii
HALAMAN MOTTO .....	iii
PERNYATAAN .....	iv
HALAMAN PEMBIMBINGAN .....	v
PENGESAHAN .....	vi
RINGKASAN .....	vii
PRAKATA .....	xi
DAFTAR ISI .....	xiii
DAFTAR TABEL .....	xvi
DAFTAR GAMBAR .....	xvii
DAFTAR LAMPIRAN .....	xviii
<b>BAB 1. PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
<b>1.1 Latar Belakang</b> .....	<b>1</b>
<b>1.2 Rumusan Masalah</b> .....	<b>3</b>
<b>1.3 Batasan Masalah</b> .....	<b>3</b>
<b>1.4 Tujuan dan Manfaat</b> .....	<b>4</b>
<b>BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>5</b>
<b>2.1 Material Komposit</b> .....	<b>5</b>
<b>2.2 Komposit Serat (<i>fiber composites</i>)</b> .....	<b>7</b>
<b>2.3 Komposit Serat Alam</b> .....	<b>8</b>
<b>2.4 Polyester, Serat Bambu dan <i>Montmorillonite</i></b> .....	<b>9</b>
2.4.1 Polyester .....	9
2.4.2 Serat Bambu .....	11
2.4.3 <i>Montmorillonite</i> .....	15
<b>2.5 Karakterisasi</b> .....	<b>18</b>
2.5.1 Pengujian Tarik Komposit.....	18



2.5.2 Pengujian Impak Komposit .....	20
2.5.3 Perlakuan Siklus Termal .....	23
2.5.4 Pengujian Morfologi.....	24
<b>2.6 Hipotesis .....</b>	<b>26</b>
<b>BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>27</b>
<b>3.1 Tempat dan Waktu .....</b>	<b>27</b>
<b>3.2 Variabel Penelitian .....</b>	<b>27</b>
3.2.1 Variabel Bebas .....	27
3.2.2 Variabel Terikat.....	27
3.2.3 Variabel Terkendali.....	28
<b>3.3 Alat dan Bahan Penelitian .....</b>	<b>28</b>
3.3.1 Alat .....	28
3.3.2 Bahan.....	28
<b>3.4 Pembuatan Serat Bambu .....</b>	<b>29</b>
<b>3.5 Perlakuan Larutan Alkali Serat Bambu .....</b>	<b>30</b>
<b>3.6 Pembuatan Serbuk <i>Montmorillonite</i> .....</b>	<b>30</b>
<b>3.7 Prosedur Penelitian .....</b>	<b>30</b>
3.7.1 Langkah-langkah Pembuatan Sampel .....	30
<b>3.8 Perlakuan Siklus Termal .....</b>	<b>31</b>
<b>3.9 Uji Tarik.....</b>	<b>32</b>
<b>3.10 Uji Impak .....</b>	<b>32</b>
3.10.1 Prosedur Pengujian.....	32
<b>3.11 Uji Makro.....</b>	<b>33</b>
<b>3.12 Analisa Data.....</b>	<b>33</b>
<b>3.13 Diagram Alir Penelitian.....</b>	<b>34</b>
<b>3.14 Penyajian Data Uji Tarik .....</b>	<b>36</b>
<b>3.15 Penyajian Data Uji Impak.....</b>	<b>37</b>

<b>BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....	38
<b>4.1 Data Hasil Penelitian</b> .....	38
4.1.1 Data Spesifikasi Bahan .....	38
4.1.2 Data Perhitungan Komposisi Komposit .....	38
<b>4.2 Pembahasan</b> .....	39
4.2.1 Hasil Data Pengujian Tarik .....	39
4.2.2 Analisa Variasi Fraksi MMT Terhadap Uji Tarik .....	40
4.2.3 Analisa Variasi Siklus Termal Terhadap Uji Tarik .....	41
4.2.4 Data Hasil Uji Impak .....	42
4.2.5 Analisa Variasi Fraksi MMT Terhadap Uji Impak .....	42
4.2.6 Analisa Variasi Siklus Termal Terhadap Uji Impak .....	44
<b>4.3 Hasil Pengamatan Makro</b> .....	45
4.3.1 Hasil Pengamatan Makro Uji Tarik .....	45
4.3.2 Analisis Patahan Uji Impak .....	50
<b>4.4 Pengujian Hipotesis</b> .....	54
4.4.1 Pengujian Hipotesis Uji Tarik .....	54
4.4.2 Pengujian Hipotesis Uji Impak .....	55
<b>BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN</b> .....	58
<b>5.1 Kesimpulan</b> .....	58
<b>5.2 Saran</b> .....	58
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	59
<b>LAMPIRAN</b> .....	63

**DAFTAR TABEL**

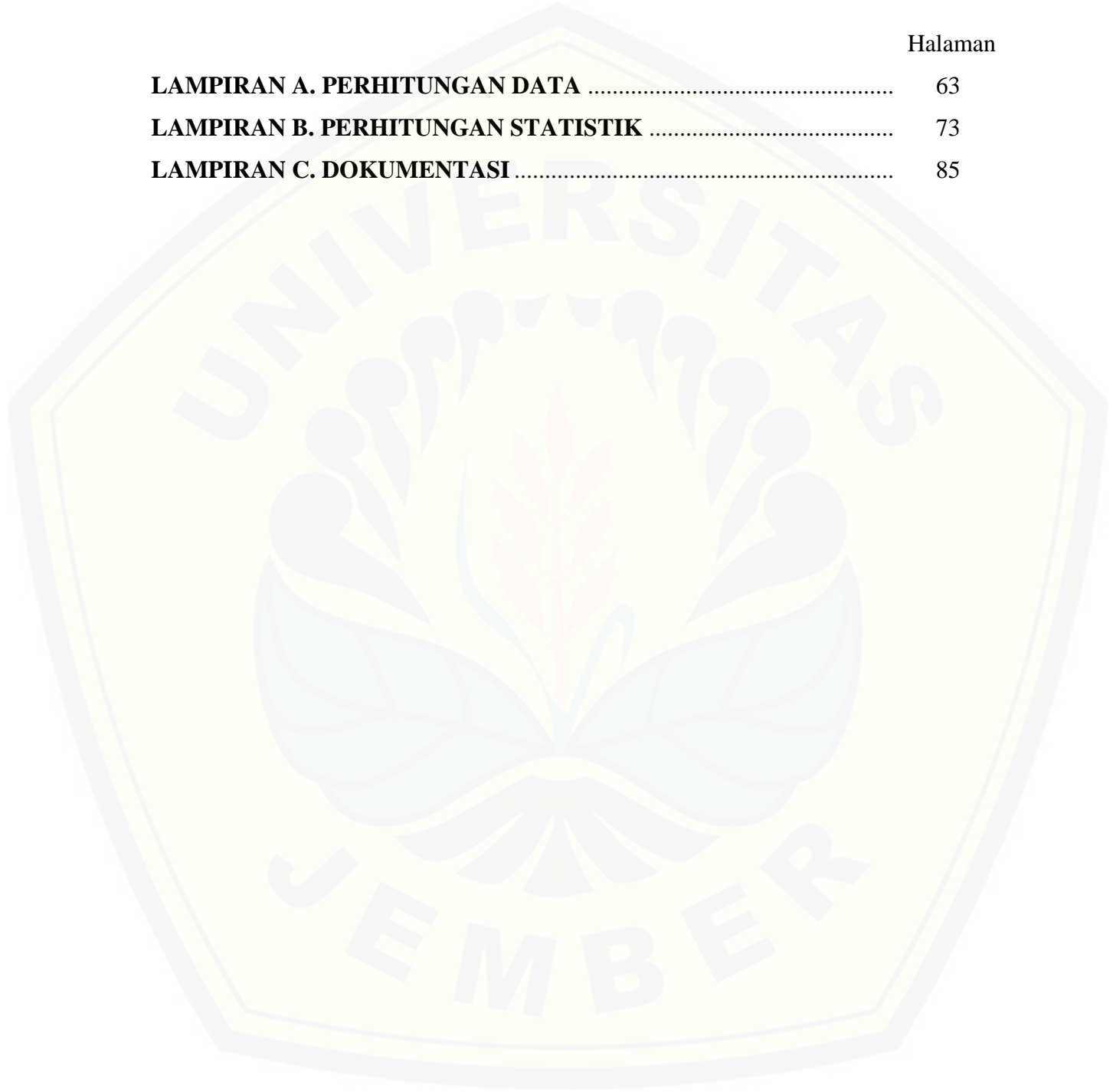
	Halaman
2.1 Sifat Mekanik Polyester.....	11
2.2 Tegangan Tarik Bambu Kering Oven.....	11
2.3 Tegangan Tarik Bambu Kering Oven Tanpa Nodia.....	12
2.4 Kadar Air Bambu Petung.....	14
2.5 Kerapatan Bambu petung .....	14
2.6 Hasil Pengujian Sifat Mekanis Bambu Petung.....	14
2.7 Hasil Pengujian Kekuatan Tarik Genteng Sokka .....	17
2.8 Spesimen Geometri yang Dibutuhkan.....	19
2.9 Spesimen Geometri yang Direkomendasikan.....	19
2.10 Standart Perlakuan Siklus Termal .....	23
2.11 Kondisi Soaking .....	23
2.12 Kode Kegagalan UjiTarik.....	25
3.1 Variasi Penelitian.....	27
3.2 Data Hasil Pengujian Tarik.....	36
3.3 Data Hasil Pengujian Impak .....	37
4.1 Hasil Perhitungan Komposisi Komposit .....	39
4.2 Kode Jenis Patahan ASTM D3039 .....	45
4.3 Daftar ANAVA Untuk Kekuatan Tarik.....	54
4.4 Daftar ANAVA Untuk Kekuatan Impak .....	56

**DAFTAR GAMBAR**

	Halaman
2.1 Klasifikasi Komposit berdasarkan Materi Penguat ( <i>Reinforcement</i> ) ....	6
2.2 Jenis Komposit Serat .....	8
2.3 Resin Polyester .....	10
2.4 Diagram Tegangan Regangan Bambu dan Baja .....	12
2.5 Gambar Skematik Struktur MMT dan Struktur Atom.....	16
2.6 Standart Persiapan Sampel Uji Tarik.....	18
2.7 Spesimen Pengujian Impak.....	20
2.8 Skematik Peralatan Pengujian Impak da Spesimen Uji.....	22
2.9 Proses Perlakuan Siklus Termal .....	24
2.10 Bentuk Patahan Komposit .....	25
3.1 Diagram Alir Penelitian .....	35
4.1 Grafik Hubungan Nilai Kekuatan Tarik dengan Kadar MMT .....	40
4.2 Grafik Hubungan Nilai Kekuatan Tarik dengan Siklus termal .....	41
4.3 Grafik Hubungan Nilai Kekuatan Impak dengan Kadar MMT.....	42
4.4 Grafik Hubungan Nilai Kekuatan Impak dengan Siklus Termal.....	44
4.5 Bentuk dan Kode Patahan Uji Tarik ASTM D3039 .....	46
4.6 Hasil Patahan uji Tarik pada Siklus Termal 25X .....	47
4.7 Hasil Patahan Uji Tarik pada Siklus Termal 50X .....	48
4.8 Hasil Patahan Uji Tarik pada Siklus Termal 75X .....	49
4.9 Bentuk Patahan Uji Impak pada Siklus Termal 25X .....	51
4.10 Bentuk Patahan Uji Impak pada Siklus Termal 50X .....	52
4.11 Bentuk Patahan Uji Impak pada Siklus Termal 75X .....	53

**DAFTAR LAMPIRAN**

	Halaman
<b>LAMPIRAN A. PERHITUNGAN DATA .....</b>	63
<b>LAMPIRAN B. PERHITUNGAN STATISTIK .....</b>	73
<b>LAMPIRAN C. DOKUMENTASI .....</b>	85





## BAB 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi komposit saat ini sudah mengalami pergeseran dari bahan komposit berpenguat serat sintetis menjadi bahan komposit berpenguat serat alam. Inovasi pengembangan serat alam untuk aplikasi di bidang otomotif tidak hanya terbatas pada komponen *interior* tetapi juga bagian *eksterior* kendaraan (Peijs, 2002 dan Naught, 2000 dalam Putradi, 2011). Serat alam telah menjadi salah satu alternatif penguat komposit polimer yang mendapat perhatian khusus dengan kelebihan materi yang ringan, tidak mudah abrasi dalam pemrosesannya, ramah lingkungan serta terbarukan (Issac, 2012).

Komposit adalah bahan yang terbentuk apabila dua atau lebih komponen yang berlainan digabungkan. Secara umum, sifat-sifat komposit tersebut ditentukan oleh sifat-sifat serat, sifat-sifat resin/perekat, rasio serat terhadap resin/perekat dalam komposit (*fraksi volume serat-fibre volume fraction*), geometri dan orientasi serat pada komposit. Kestabilan panas dalam sistem komposit yang menggunakan pengisi dari serat alam dan termoplastik sebagai matriks ditentukan oleh beberapa faktor yaitu suhu, rasio antar pengisi dan matriks, dispersi dan ikatan serat dengan matriks. (Onggo, dkk., 2005).

Indonesia adalah salah satu negara terkaya dalam hal keanekaragaman hayati. Kondisi iklim tropis berperan besar dalam menentukan spesies-spesies tumbuhan apa saja yang dapat hidup di hutan Indonesia. Salah satu tumbuhan yang tumbuh baik dalam kondisi iklim Indonesia adalah bambu. Keberadaan bambu di Indonesia membentang dari rawa-rawa hingga ke dataran tinggi 2500 m di atas permukaan laut. 135 spesies dari total 1250 spesies bambu dunia berada di Indonesia (Widjaja, 1995 dalam Kadir, 2014). Serat alam khususnya bambu yang berlimpah di Indonesia sangat berpotensi untuk dikembangkan sebagai bahan teknik dengan melakukan rekayasa material komposit berpenguat serat bambu. Penelitian (Morisco, 1996 dalam Rochman, 2004) menunjukkan bahwa kekuatan tarik pada beberapa jenis bambu dapat melebihi kekuatan tarik baja lunak, seperti



kuat tarik bambu Petung dapat mencapai 291 MPa. Sementara memperoleh hasil bahwa tegangan tarik bambu Wulung dapat mencapai 254 MPa, tegangan tekan 46 MPa dan tegangan geser 7,5 MPa. Menurut (Darwis, 2010) sifat mekanik bambu Petung sebagai berikut kekuatan tarik rata-rata 222,9 MPa, kekuatan tekan sejajar serat cukup tinggi yaitu 117,6 MPa dan kuatan geser bambu relatif rendah yaitu 8,68 MPa.

Terkait aplikasi produk komposit sebagai komponen *interior* mobil yaitu sebagai *dashboard* mobil maka suatu produk komposit tersebut akan terpapar panas dan dingin secara berulang dan berkelanjutan yang mengakibatkan siklus termal. Hal itu akan terus berlanjut yang berakibat pada kekuatan mekanik dan umur dari produk komposit tersebut. Daya tahan terhadap siklus termal serta kekuatan yang baik akan memberikan waktu yang lebih lama pada material untuk mempertahankan diri dari kegagalan perubahan temperature yang terus berulang-ulang. 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 mengabsorpsi 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 ini akan dilakukan pengaruh siklus termal terhadap sampel uji komposit bermatrik polyester berpenguat serat bambu dengan aditif partikel *montmorillonite* (serbuk genteng) dengan tujuan meningkatkan kinerja kekuatan mekanik komposit akibat paparan panas dan dingin secara berulang-ulang. Keterbatasan kekuatan komposit matrik polimer terhadap efek temperatur serta kemampuan partikel *montmorillonite* dalam menghambat laju perubahan

temperatur akan menjadi topik penelitian yang menarik dengan menghubungkan sifat keduanya.

## 1.2 Rumusan Masalah

Dari penjelasan diatas dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut:

1. Pengaruh variasi fraksi berat aditif *montmorillonite* pada komposit matrik polyester berpenguat serat bambu terhadap nilai kekuatan tarik dan kekuatan impak.
2. Pengaruh variasi jumlah siklus termal terhadap sifat mekanik pada komposit matrik polyester berpenguat serat bambu menggunakan aditif partikel *montmorillonite*.
3. Kondisi morfologi komposit matrik polyester berpenguat serat bambu menggunakan aditif partikel *montmorillonite* setelah dilakukan pengujian tarik dan pengujian impak.

## 1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Polyester yang digunakan merupakan produk Yukalac 157 BQTN-EX.
2. Serat bambu yang digunakan adalah jenis Bambu Petung yang berasal dari daerah Rogojampi Banyuwangi
3. Serat yang digunakan adalah satu lapisan serat jenis bambu berbentuk acak (*Chopped fiber composite*).
4. Aditif partikel *montmorillonite* berasal dari limbah genteng dengan fraksi berat 30%, 40%, 50%.
5. Variasi pengujian siklus termal yaitu 25x, 50x dan 75x dengan suhu awal sampel  $\pm 27^{\circ}\text{C}$  yaitu suhu lingkungan lalu suhu dinaikan perlahan hingga mencapai suhu  $100^{\circ}\text{C}$  ditahan hingga 10 menit setelah itu suhu diturunkan perlahan hingga suhu  $\pm 27^{\circ}\text{C}$  setelah itu diturunkan hingga suhu  $0^{\circ}\text{C}$  dan di tahan 10 menit, setelah itu dilakukan pengulangan hingga terbentuk siklus termal.
6. Standar uji tarik komposit matrik polimer menggunakan ASTM D3039.
7. Standar uji impak komposit matrik polimer menggunakan ASTM D6110.

#### 1.4 Tujuan dan Manfaat

Adapun tujuan dari penelitian ini ialah:

1. Untuk mengetahui pengaruh variasi fraksi berat aditif *montmorillonite* pada komposit matrik polyester berpenguat serat bambu terhadap nilai kekuatan tarik dan kekuatan impak.
2. Untuk mengetahui pengaruh variasi siklus termal terhadap kekuatan tarik dan kekuatan impak komposit matrik polyester berpenguat serat bambu dengan penambahan aditif *montmorillonite*.
3. Untuk mengetahui kondisi morfologi secara makro pada komposit matrik polyester berpenguat serat bambu dengan zat aditif *montmorillonite* setelah dilakukan pengujian tarik dan pengujian impak.

Sedangkan manfaat yang diperoleh dari penulisan karya ilmiah ini adalah:

1. Memberikan informasi mengenai karakteristik siklus termal Komposit Matrik Polyester berpenguat Serat bambu dengan penambahan zat aditif Partikel *Montmorillonite*.
2. Sebagai rujukan pustaka untuk peneliti.

## BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Material Komposit

Material komposit di definisikan 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).

Pada umumnya bentuk dasar suatu bahan komposit adalah tunggal dimana merupakan susunan dari paling tidak terdapat dua unsur yang bekerja bersama untuk menghasilkan sifat-sifat bahan yang berbeda terhadap sifat-sifat unsur bahan penyusunnya. Dalam prakteknya komposit terdiri dari suatu bahan utama (matriks - matriks) dan suatu jenis penguatan (*reinforcement*) yang ditambahkan untuk meningkatkan kekuatan dan kekakuan matrik. Penguatan ini biasanya dalam bentuk serat (*fibres, fibers*). Beberapa faktor yang mempengaruhi *Fiber Matriks Composite* antara lain:

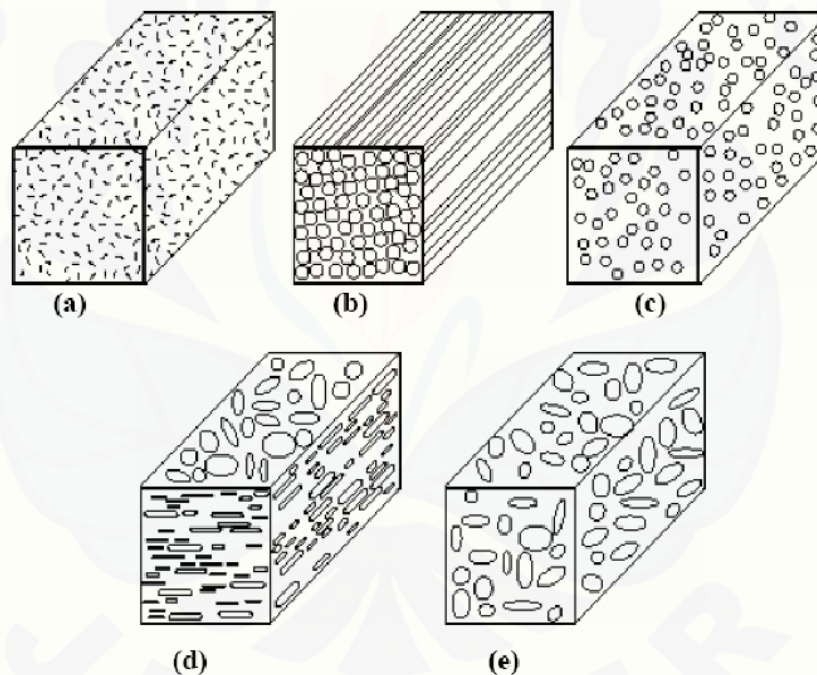
1. Jenis serat, serat digunakan untuk dapat memperbaiki sifat dan struktur matrik, mampu menjadi bahan penguat matrik pada komposit untuk menahan gaya yang terjadi.
2. Orientasi serat, menentukan kekuatan mekanik komposit yang mempengaruhi kinerja komposit tersebut.
3. Panjang serat, sangat berpengaruh terhadap kekuatan dimana serat panjang lebih kuat dibandingkan serat pendek.
4. Bentuk serat, pada umumnya semakin kecil diameter serat akan menghasilkan kekuatan komposit yang semakin tinggi.
5. Jenis matrik, matrik berfungsi sebagai pengikat serat menjadi sebuah unit struktur, melindungi dari kerusakan eksternal, meneruskan atau memindahkan



beban eksternal pada bidang geser antara serat dan matrik.

6. Ikatan serat-matrik, keberadaan *void* dalam komposit akan mengurangi kekuatan komposit yang disebabkan ikatan *interfacial* antara matrik dan serat yang kurang besar.
7. Katalis/pengeras, digunakan untuk membantu proses pengeringan *resin* dan serat dalam komposit (setyawan, 2012).

Komposit merupakan gabungan dari resin (matriks) dengan penguat yang bisa berupa Random fiber, continous fiber, Partikel sebagai penguat, Serpihan sebagai penguat, Filler sebagai penguat Jenis-jenis komposit tersebut dapat dilihat pada gambar 2.1 dibawah ini :



Gambar 2.1 klasifikasi komposit berdasarkan materi penguat (*reinforcement*), yaitu (a) Random fiber, (b) continous fiber, (c) Partikel sebagai penguat, (d) serpihan sebagai penguat, (e) Filler sebagai penguat (Bramantyo, 2008).

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).

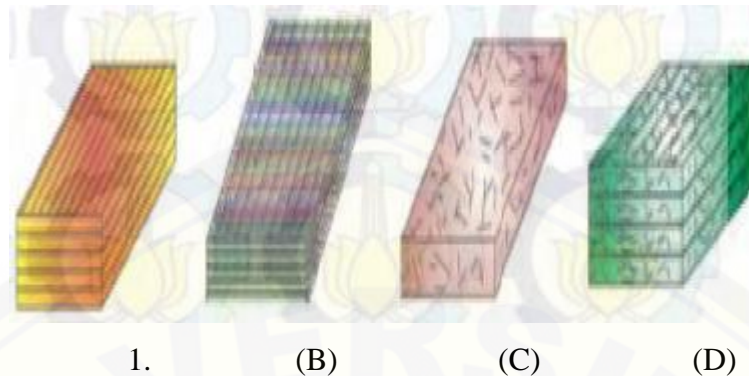
## 2.2 Komposit serat (*fiber composites*)

Komposit serat adalah komposit yang terdiri dari serat dan matriks. Fungsi utama dari serat adalah sebagai penopang kekuatan dari komposit, sehingga tinggi rendahnya kekuatan komposit sangat tergantung dari serat yang digunakan, karena tegangan yang dikenakan pada komposit mulanya diterima oleh matrik akan diteruskan kepada serat, sehingga serat akan menahan beban sampai beban maksimum. Oleh karena itu serat harus mempunyai tegangan tarik dan modulus elastisitas yang lebih tinggi daripada matrik penyusun komposit. Pemilihan serat atau penguat penyusun pada komposit juga harus mempertimbangkan beberapa hal salah satunya harga. Hal ini penting karena sebagai pertimbangan bila akan digunakan pada skala produksi besar.

Jenis komposit serat terbagi menjadi 4 macam yaitu

1. *Continuous fiber composite* (komposit diperkuat dengan serat kontinue),
2. *Woven fiber composite* (komposit diperkuat dengan serat anyaman),
3. *Chopped fiber composite* (komposit diperkuat serat pendek/acak),
4. *Hybrid composite* (komposit diperkuat serat kontinyu dan serat acak).





Gambar 2.2 Jenis komposit serat (a) *Continuous fiber composite* , (b) *Woven fiber composite*, (c) *Chopped fiber composite*, (d) *Hybrid composite* (Purwanto dan Lizda, 2010).

### 2.3 Komposit Serat Alam

Setelah diketemukannya berbagai macam serat sintesis yang dibuat secara kimiawi, kini para ilmuwan berlomba-lomba beralih melakukan penelitian pada serat alam. Para ilmuwan mulai meneliti sifat-sifat alami dan melakukan uji mekanis terhadap serat-serat alam yang ada. Penelitian dilakukan setelah diketahui kelemahan-kelemahan yang terdapat pada serat sintesis, yaitu diantaranya; harganya yang relatif mahal, tidak dapat terdegradasi secara alami, beracun dan jumlahnya yang terbatas. Oleh karena itu para ilmuwan berusaha meneliti dan menemukan serat alam pengganti serat sintesis yang memiliki sifat antara lain; mudah didapatkan, dapat terurai secara alami, harganya yang murah dan tidak beracun, namun memiliki kekuatan mekanis yang sama atau lebih baik dari serat sintesis.

Pada komposit, serat merupakan komponen utama selain matriks, sehingga komposisi antara serat dan matriks merupakan faktor penting dalam menentukan karakteristik kekuatan komposit yang akan dihasilkan. Perbandingan tersebut dapat ditunjukkan dalam bentuk fraksi volume serat. (Hariyanto, 2011) dalam penelitiannya dengan serat kenaf membuktikan, semakin besar fraksi volume maka semakin besar juga kekuatan tariknya, tetapi hasilnya yang lain yaitu dengan serat rayon

membuktikan ada kalanya juga kekuatan tarik turun walaupun fraksi volume meningkat, hal ini dikarenakan apabila fraksi matriks yang terlalu kecil mengakibatkan ikatan matriks dengan serat berkurang juga.

Selain memiliki keuntungan secara ekonomis dan pelestarian terhadap lingkungan, serat alam disisi lain juga memiliki potensi yang besar karena beberapa penelitian serat alam memiliki potensi yang bisa disejajarkan dengan serat sintetis. Bahkan untuk material tertentu serat alam dapat mengungguli serat sintesis.

## **2.4 Polyester, Serat Bambu dan Montmorillonite**

### **2.4.1 Polyester**

Resin poliester merupakan resin yang paling banyak digunakan dalam berbagai aplikasi yang menggunakan resin termoset, baik itu secara terpisah maupun dalam bentuk material komposit. Walaupun secara mekanik, sifat mekanik yang dimiliki oleh poliester tidaklah terlalu baik atau hanya sedang – sedang saja. Hal ini karena resin ini mudah didapat, harga relatif terjangkau serta yang terpenting adalah mudah dalam proses fabrikasinya.

Resin yang dipilih untuk penelitian ini adalah *Unsaturated polyester resin* YUKALAC 157 BQTN-EX. Resin ini secara khusus cocok untuk proses manufaktur FRP dengan *hand lay up* dan *spray up molding*. Jenis dari resin poliester 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 poliester jenuh (*saturated polyester*) seperti Terylene, yang tidak bisa mengalami curing dengan cara seperti ini.

Oleh karena itu merupakan hal yang biasa untuk menyebut resin poliester tidak jenuh (*Unsaturated Polyester*) dengan hanya menyebutnya sebagai resin poliester, pada gambar 2.3 dapat dilihat bentuk kemasan resin poliester.



Gambar 2.3 Resin Polyester (Yukalac 157 BQTN-EX)

Poliester memiliki sifat-sifat sebagai berikut:

1. Suhu deformasi termal poliester lebih rendah jika dibandingkan dengan resin termoset lainnya, karena polyester banyak mengandung monomer stiren.
2. Memiliki ketahanan panas kira-kira 110-140<sup>o</sup> 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 :

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

Tabel 2.1 Sifat Mekanik Polyester Seri Yukalac 157 BQTN-EX

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

(Justus, 2011)

#### 2.4.2 Serat Bambu

Bambu merupakan tanaman jenis rumput-rumputan dengan rongga dan ruas di batangnya. bambu memiliki banyak tipe dan di Indonesia sendiri tanaman bambu banyak di temui. Berdasarkan penelitian terdahulu yang dilakukan oleh (Morisco, 1999) menunjukkan hasil sebagai berikut:

Tabel 2.2 Tegangan tarik bambu kering oven

Jenis bamboo	Tegangan tarik (Mpa)	
	Tanpa Nodia	Dengan Nodia
Ori	291	128
Petung	190	116
Wulung	166	147
Tutul	216	74

(Morisco, 1999)

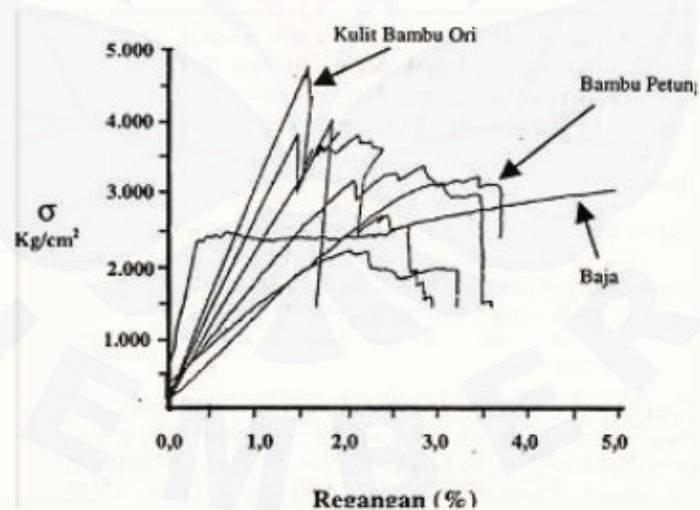


Tabel 2.3 Tegangan tarik bambu tanpa nodia kering oven

Jenis bamboo	Tegangan tarik (Mpa)	
	Bagian dalam	Bagian luar
Ori	164	417
Petung	97	287
Wulung	96	237
Tutul	146	286

(Morisco, 1999)

Penelitian tentang bambu juga dilakukan oleh (Morisco, 1999). Penelitian ini didorong oleh kenyataan bahwa kuat tarik bambu sangat tinggi, sedangkan dalam praktek kekuatan ini belum dimanfaatkan karena belum adanya metode penyambungan bambu yang dapat menghasilkan sambungan dengan kekuatan yang memadai. Dengan membandingkan pada kekuatan baja, hasil dari pengujian menunjukkan bahwa kekuatan bambu jenis ori cukup tinggi yaitu hampir mencapai 500 Mpa (sekitar 2 kali tegangan leleh baja). Pada perbandingan dengan bambu jenis petung, kekuatan tarik rata-rata juga lebih tinggi dari tegangan leleh baja.



Gambar 2.4 Diagram tegangan-regangan bambu dan baja (Morisco, 1999)

(Taufik, dkk., 2013) melakukan penelitian tentang kekuatan pada serat kulit bambu apus. Dari hasil pada sebuah pengujian specimen uji menunjukkan bahwa



kekuatan tarik pada spesimen resin murni sebesar 2,11 MPa. Hasil pengujian yang lain menunjukkan bahwa kekuatan tarik maksimum pada komposit polimer dengan serat bambu dengan komposisi 10% 15% dan 20% berturut-turut adalah 38,11 MPa, 55,8 MPa dan 86,01 MPa. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa penambahan serat pada komposit sangat berpengaruh pada kekuatan tariknya.

Pada sebuah penelitian komposit dengan serat bambu yang dilakukan oleh (Taurista, dkk., 2006) menunjukkan bahwa kekuatan tarik terbesar dimiliki oleh komposit dengan lebar serat 5 mm dengan nilai kekuatan tarik sebesar 16,806 Kg/mm<sup>2</sup>. Regangan tarik terbesar dimiliki komposit dengan lebar serat 5 mm dengan nilai Regangan sebesar 0,012%. Modulus elastisitas tarik terbesar dimiliki komposit dengan lebar serat 5 mm dengan nilai sebesar 1421,129 kg/mm<sup>2</sup>. Kekuatan bending terbesar dimiliki oleh komposit dengan lebar serat 5 mm dengan nilai 17,60533 kg/mm<sup>2</sup>. Hasil-hasil ini sudah memenuhi syarat untuk aplikasi material kulit kapal, sesuai standar BKI (Biro Klasifikasi Indonesia).

(Diharjo, 2006) melakukan sebuah pengamatan visual untuk menyelidiki mekanisme perpatahan pada komposit serat rami, yang sebelumnya direndam di dalam larutan alkali (5% NaOH) dengan waktu yang berbeda. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa komposit yang diperkuat serat rami dengan perlakuan 5% NaOH selama 2 jam memiliki kekuatan tarik dan regangan terbesar 190,27 Mpa, tarik 0,44% regangan).

Bambu yang digunakan pada penelitian ini adalah jenis bambu petung dengan nama latin *Dendrocalamus sp.* Bambu jenis ini mempunyai rumpun agak rapat, dapat tumbuh di dataran rendah sampai pegunungan dengan ketinggian 2000 m di atas permukaan air laut. Pertumbuhan cukup baik khususnya untuk daerah yang tidak terlalu kering. Warna kulit batang hijau kekuning-kuningan, batang dapat mencapai panjang 10-14 m, panjang ruas berkisar antara 40–60 cm, diameter 6–15 cm, dan tebal dinding 10-15 mm (Morisco, 1999).

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan oleh (Oka, 2005) bambu petung memiliki sifat fisis dan mekanis sebagai berikut :

Tabel 2.4 Kadar Air Bambu Petung

No.	Kode Benda uji	Ukuran Penampang			Volume (cm <sup>3</sup> )	Berat		Kadar Air (%)
		Lebar (cm)	Tinggi (cm)	Panjang (cm)		Awal (gram)	Akhir (gram)	
1.	FBP-1	2,027	0,871	2,325	4,1048	2,88	2,54	13,39
2.	FBP-2	1,971	0,903	2,263	4,0277	2,87	2,56	12,11
3.	FBP-3	1,927	1,091	2,290	4,8144	3,81	3,39	12,40
Rerata								12,63

(Oka, 2005)

Tabel 2.5 Kerapatan Bambu Petung

No.	Kode Benda Uji	Ukuran Penampang			Volume (cm <sup>3</sup> )	Berat		Kerapatan (gr/cm <sup>3</sup> )
		Lebar (cm)	Tinggi (cm)	Panjang (cm)		Awal (gram)	Akhir (gram)	
1.	FBP-1	1,827	0,771	2,125	2,993	2,96	2,42	0,808
2.	FBP-2	1,571	0,803	2,063	2,603	2,64	2,28	0,876
3.	FBP-3	1,627	0,901	2,090	3,064	3,12	2,36	0,770
Rerata								0,818

(Oka, 2005)

Tabel 2.6 Hasil Pengujian Sifat Mekanis Bambu Petung

No. Benda Uji	Sifat Mekanis					
	Tekan // (F <sub>c</sub> ) (MPa)	Tekan ⊥ (F <sub>c⊥</sub> ) (MPa)	Tarik // (F <sub>t</sub> ) (MPa)	Geser // (F <sub>v</sub> ) (MPa)	Lentur (F <sub>b</sub> ) (MPa)	Elastisitas (E <sub>w</sub> ) (MPa)
1.	50,11	45,11	421,44	8,06	110,79	15099,406
2.	41,80	46,74	409,51	6,98	98,38	11394,589
3.	58,06	61,33	375,58	7,83	177,23	14744,994
Rerata	50,29	51,06	402,18	7,62	128,80	13746,330

(Oka, 2005)

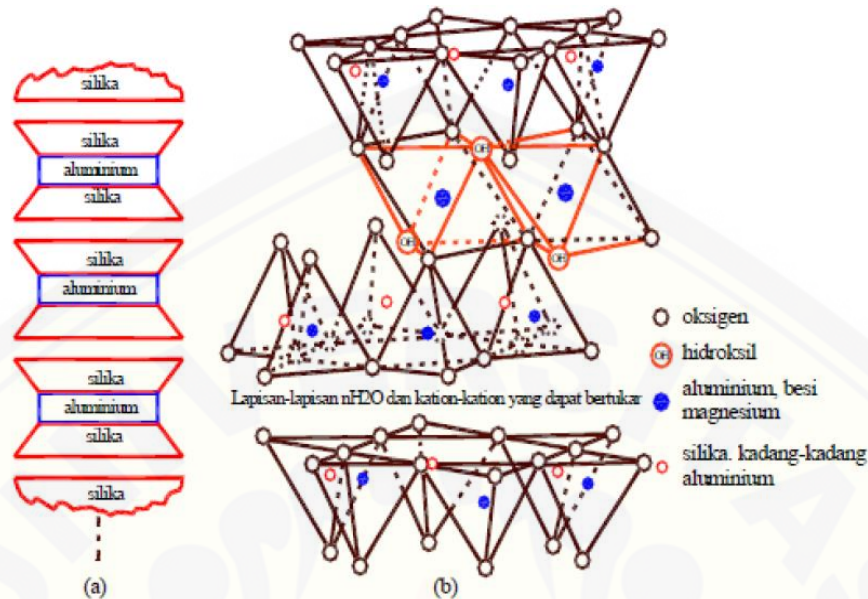
Bambu betung memiliki nilai MOR sebesar 1,236 kg/cm<sup>2</sup> untuk bagian buku dan bagian tanpa buku sebesar 2,065 kg/cm<sup>2</sup>, MOE pada buku 103 kg/cm<sup>2</sup> dan tanpa buku 216 kg/cm<sup>2</sup>, dan keteguhan tekan pada buku dan tanpa buku adalah sebesar 548

kg/cm<sup>2</sup> dan 587 kg/cm<sup>2</sup>. Sifat mekanis bambu tanpa buku lebih besar dibandingkan bambu dengan bukunya.

Pengujian keteguhan lentur (Modulus of Elasticity) dan keteguhan patah (Modulus of Rupture) bertujuan untuk mencari nilai keteguhan lentur. Besarnya nilai MOE menandakan bahwa suatu bahan bersifat kaku (susah dilenturkan), sedangkan MOR adalah nilai pembebanan lentur maksimal yang menyebabkan contoh uji patah.

#### 2.4.3 *Montmorillonite*

Perkembangan teknologi dapat dilakukan dengan rekayasa material, salah satunya pada pembuatan komposit. Pembuatan polimer komposit dilakukan dengan memadukan dua material yang berbeda sehingga dapat meningkatkan sifat mekanik dari material tersebut. *Montmorillonite* atau bentonit merupakan mineral aluminosilikat (*Al-silikat*) yang banyak digunakan sebagai bahan baku untuk pembuatan berbagai produk di berbagai industri, salah satunya sebagai katalis, penyangga katalis (*catalyst support*), dan juga sebagai *reinforcement*. Ketebalan setiap lapisan *montmorillonite* sekitar 0,96 nm, tiap dimensi permukaan pada umumnya 300-600 nm, sedangkan *d-spacing* 1,2 – 1,5 nm (Utracki dan Kama, 2002 dalam Berleany, 2011). Agar sifat bahan pengisi kompatibel dengan matrix polimer, ukuran partikel suatu bahan pengisi sangat berpengaruh, dimana ukuran partikel suatu bahan pengisi yang kecil dapat meningkatkan derajat penguatan polimer dibanding dengan ukuran yang lebih besar, demikian juga semakin kecil ukuran partikel semakin tinggi antara bahan pengisi dengan matrix polimer. Pada penggunaan *montmorillonite* (MMT) modifikasi filler pada komposit berpenguat kenaf dapat meningkatkan sifat mekanis sebesar 10% atau lebih. Sedangkan penambahan MMT tanpa modifikasi meningkatkan kekuatan tariknya dibandingkan dengan tipe yang lain seperti *trymethyl ammonium bromidemontmorillonite* 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).



Gambar 2.5(a). Diagram Skematik Struktur *Montmorillonite* dan (b). Struktur Atom *Montmorillonite* (Mitchell, 1976 dalam Sutrisno, 2013)

*Montmorillonite*, disebut juga dengan *smectit*, adalah mineral yang dibentuk oleh dua buah lembaran silika dan satu lembaran aluminium (*gibbsite*) (Gambar 2.5 a). lembaran oktahedra terletak di antara dua lembaran silika dengan ujung tetrahedral tercampur dengan hidroksil dari lembaran oktahedra untuk membentuk satu lapisan tunggal (Gambar 2.5 b) (Mitchell, 1976 dalam Sutrisno, 2013).

Sifat hambatan panas bahan komposit sangat dibutuhkan untuk aplikasinya sebagai isolator termal. Penggunaan material partikel tahan panas pada komposit diharapkan dapat meningkatkan 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  $0,807 \times 10^{-2}$  K/W dan  $0,939 \times 10^{-2}$  K/W. Hambatan panas untuk komposit dengan ukuran partikel 125-177  $\mu\text{m}$  dan  $< 74 \mu\text{m}$  masing-masing adalah  $0,725 \times 10^{-2}$  K/W dan  $0,888 \times 10^{-2}$  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 matrik komposit berasal dari bahan organik tidak dapat bekerja pada paparan suhu diatas 200°C (Hung, 2011).

Pada penelitian sebelumnya dengan menambahkan zat aditif montmorillonite pada material komposit dapat mengubah sifat mekanik dari material komposit tersebut. Semakin tinggi persentase fraksi berat MMT, maka kekuatan tariknya semakin meningkat. Hal ini disebabkan oleh adanya penguatan dari partikel MMT dan serat kenaf meskipun nilai kekuatan tarik komposit fraksi berat 10%, 20% dan 30% masih berada dibawah kekuatan komposit fraksi berat 0% (tanpa aditif MMT). Partikel montmorillonite bekerja dengan baik pada penambahan fraksi berat sebesar 40%. Pada fraksi berat 40% inilah, ikatan antara penguat dan pengikat melebihi dari kekuatan komposit tanpa aditif MMT (Nasiruddin, 2014).

Dalam penelitian ini MMT dihasilkan dari meterial yang berasal dari genteng Sokka yang dihaluskan dengan ditumbuk menggunakan alu.

Kekuatan tarik komposit serat karbon serbuk genteng Sokka dengan variasi orientasi ditunjukkan pada tabel dibawah.

Tabel 2.7 Hasil pengujian kekuatan tarik genteng sokka (Sutrisno, 2013)

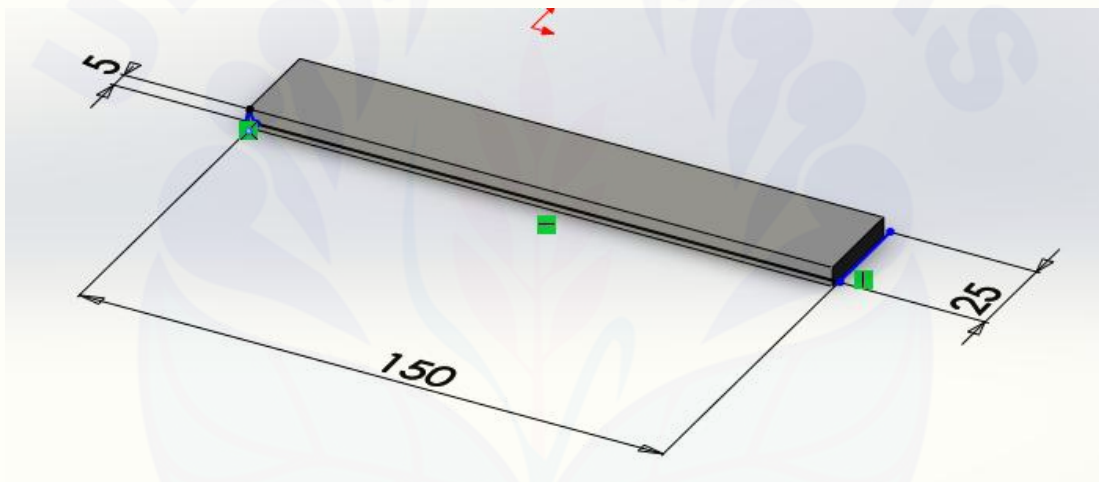
Jumlah Laminat	Tegangan Tarik (MPa)		Modulus Elastisitas (GPa)		Regangan (mm/mm)	
	Orientasi (0/90°)	Orientasi (45/45°)	Orientasi (0/90°)	Orientasi (45/45°)	Orientasi (0/90°)	Orientasi (45/45°)
4 (16% S. Karbon, 24% SGS)	152,26	80,67	4,57	3,66	0,043	0,052
6 (24% S. Karbon, 16% SGS)	229,85	115,60	6,34	3,98	0,046	0,069
8 (32% S. Karbon, 8% SGS)	328,64	135,05	7,33	4,01	0,059	0,080
6 (40% S. Karbon, 0% SGS)	434,95	168,14	7,66	4,25	0,074	0,108



## 2.5 Karakterisasi

### 2.5.1 Pengujian tarik material komposit

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 *laminat* 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 tarik (*standart* ASTM D 3039)

Tabel 2.8 Spesimen geometri yang dibutuhkan

Parameter	Kebutuhan
<i>Spesifikasi :</i>	
Bentuk	Constant rectangular cross-section
Panjang minimal	Gripping + 2 times width + gage length
Lebar spesimen	As needed
Toleransi lebar spesimen	± 1% dari lebar
Ketebalan spesimen	As needed
Toleransi ketebalan spesimen	± 4% dari tebal
Kerataan specimen	Flat with light finger pressure

Tabel 2.9 Geometri spesimen yang direkomendasikan

Fiber orientation	Width (mm)	Overall length (mm)	Thickness (mm)	Tab Length (mm)	Tab Thickness (mm)	Tab Bevel Angle
0° unidirectional	15	250	1.0	56	1.5	7 or 90
90° unidirectional	25	175	2.0	25	1.5	90
Balanced & symmetric	25	250	2.5	Emery cloth	-	-
<b>Random- discontinuous</b>	<b>25</b>	<b>250</b>	<b>2.5</b>	<b>Emery cloth</b>	-	-

Perhitungan *ultimate tensile strength* menggunakan persamaan dibawah ini:

$$\sigma_{tu} = F_{max} / A_0$$

$$\sigma_i = P_i / A$$

dimana :

$\sigma_{tu}$  = kekuatan tarik ultimate (MPa)

$F_{max}$  = beban maksimum sebelum kegagalan (N)

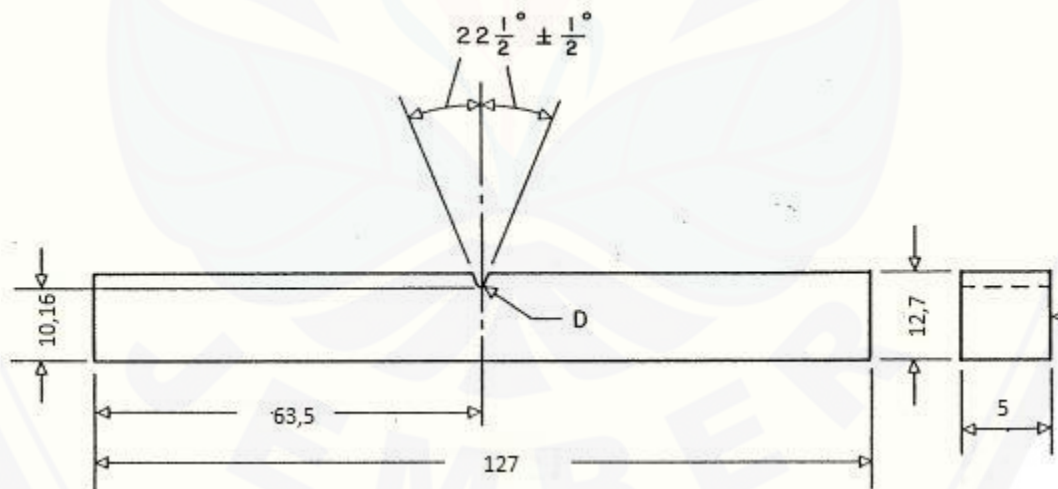
$\sigma_i$  = tegangan tarik pada data yang ke-, (Mpa)

$P_i$  = beban pada data yang ke-, (N)

$A_o$  = luasan seksi silang rata-rata dari lebar x tebal,  $mm^2$ , sebesar  $125 mm^2$

### 2.5.2 Pengujian Impak material komposit

Pengujian *impact* bertujuan untuk mengukur berapa energi yang dapat diserap suatu material sampai material tersebut patah. Pengujian *impact* merupakan respon terhadap beban kejut atau beban tiba-tiba (beban *impact*). Dalam pengujian *impact* terdiri dari dua teknik pengujian standar yaitu *Charpy* dan *Izod*. Pada pengujian standar *Charpy* dan *Izod*, dirancang dan masih digunakan untuk mengukur energi *impact* yang juga dikenal dengan ketangguhan takik (Calliester, 2007 dalam Sentosa, 2014).



Gambar 2.7 spesimen pengujian Impak ASTM D6110

Spesimen *Charpy* berbentuk batang dengan penampang lintang bujur sangkar diberi takikan V oleh proses permesinan dan Mesin pengujian *impact* diperlihatkan secara skematik pada (gambar 2.8). Beban didapatkan dari tumbukan oleh palu

pendulum yang dilepas dari posisi ketinggian  $h$ . Spesimen diposisikan di dasar. Ketika dilepas, ujung pisau pada palu pendulum akan menabrak dan mematahkan spesimen di takikannya yang bekerja sebagai titik konsentrasi tegangan untuk pukulan *impact* kecepatan tinggi.

Palu pendulum akan melanjutkan ayunan untuk mencapai ketinggian maksimum  $h'$  yang lebih rendah dari  $h$ . Energi yang diserap dihitung dari perbedaan  $h'$  dan  $h$  ( $mgh - mgh'$ ), adalah ukuran dari energi impact. Posisi simpangan lengan pendulum terhadap garis vertikal sebelum dibenturkan adalah  $\alpha$  dan posisi lengan pendulum terhadap garis vertikal setelah membentur spesimen adalah  $\beta$ . Dengan mengetahui besarnya energi potensial yang diserap oleh material maka kekuatan impak benda uji dapat dihitung :

$$\begin{aligned} E_{\text{serap}} &= \text{energi awal } (E_p) - \text{energi akhir } (E_m) - \text{Energi Rugi} \\ &= (m.g.h - m.g.h') - (m.g.h - m.g.h') \\ &= m.g.(R-R\cos \alpha) - m.g.(R- R.\cos \beta) - m.g.(R-R\cos \alpha') - m.g.(R- \\ &\quad R.\cos \beta') \end{aligned}$$

$$E_{\text{srp}} = mg.R.(\cos \beta - \cos \alpha) - mg.R.(\cos \beta' - \cos \alpha')$$

dimana :

$E_{\text{srp}}$  : energi serap (J)

$m$  : berat pendulum (kg)

$g$  : percepatan gravitasi ( $m/s^2$ )

$R$  : panjang lengan (m)

$\alpha$  : sudut pendulum sebelum diayunkan

$\beta$  : sudut ayunan pendulum setelah mematahkan spesimen

Harga impact dapat dihitung dengan:

$$HI = E_{\text{srp}} / A_0$$

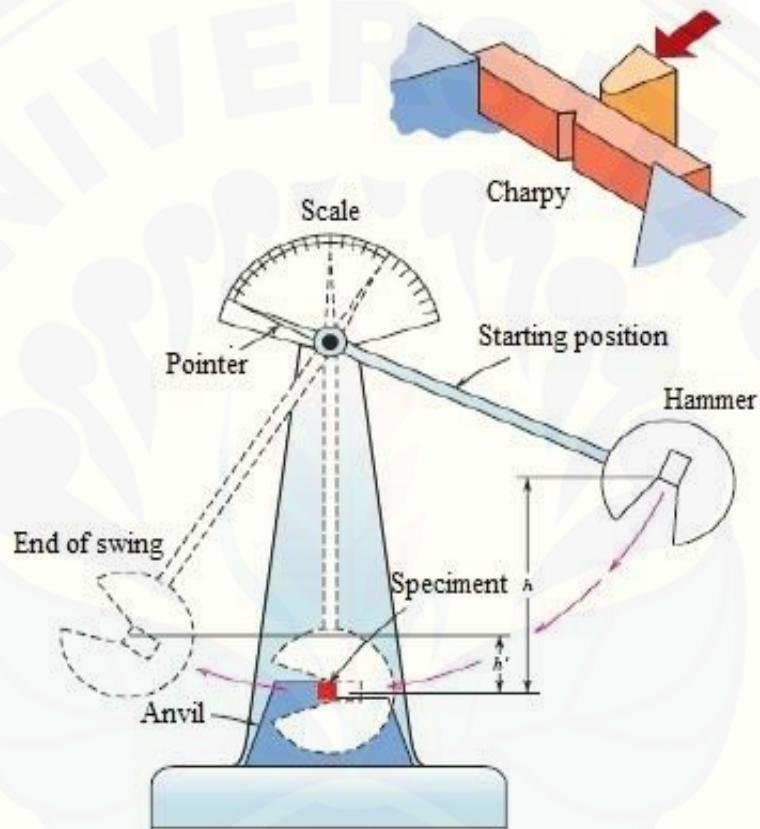
dimana :

$HI$  : Harga *Impact* ( $J/mm^2$ )

$E_{stp}$  : energi serap (J)

$A_o$  : Luas penampang dibawah takikan ( $mm^2$ )

Pada gambar 2.8 berikut ini akan dijelaskan mengenai pengujian impak terhadap spesimen uji.



Gambar 2.8 Skematik peralatan uji impact dan specimen uji (Calliester, 2007 dalam Sentosa, 2014)



### 2.5.3 Perlakuan Siklus Termal material komposit

Siklus termal merupakan suatu perlakuan dimana suatu sampel akan dilakukan pemanasan dan pendinginan secara perlahan dan itu dilakukan secara berulang-ulang hingga membentuk suatu siklus. Temperature awal sampel akan dinaikan secara perlahan hingga mencapai temperature tertentu, setelah itu temperature di tahan hingga beberapa saat, lalu temperature di turunkan secara perlahan hingga mencapai suhu kamar, setelah mencapai suhu kamar dilakukan penurunan suhu di bawah suhu kamar dan ditahan beberapa saat, hal itu dilakukan secara berulang hingga beberapa kali sehingga membentuk siklus termal.

Tabel 2.10 Standart Perlakuan Siklus Termal (JEDEC *standart temperature cycling* JESD22-A104-B, 2000)

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)

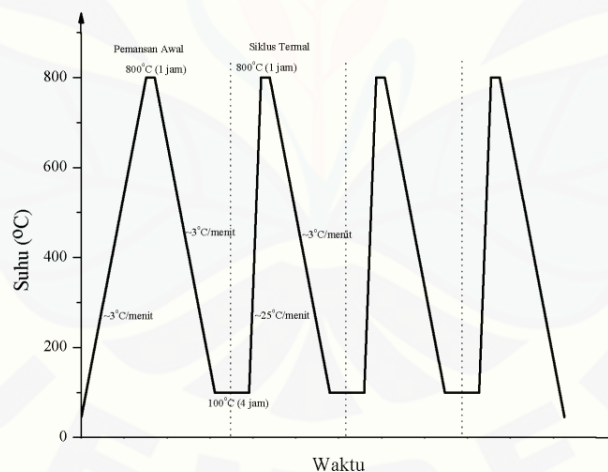
Tabel 2.11 Kondisi Soaking Siklus Termal (JEDEC *standart temperature cycling* JESD22-A104-B, 2000)

Soak Mode	Minimum Soak Time at Soak Temperature(max) & Soak Temperature(min) (minutes)
1	1
2	5
3	10
4	15

Penelitian sebelumnya untuk metode perlakuan siklus termal adalah hasil penelitian menunjukkan bahwa pengujian bending pada komposit sandwich yang telah mengalami perlakuan siklus termal. Secara umum, tegangan *bending* komposit *sandwich* mengalami penurunan secara signifikan bersamaan dengan peningkatan

temperatur dan siklus. Sebesar 35,5 MPa pada temperatur ruang 25° C dengan siklus 0x sebagai pembanding. Pada temperatur ruang 75° C dengan siklus 25x; 75x; dan 125x berturut-turut sebesar 20,9 MPa, 13,8 MPa, 11,9 MPa. Pada temperature ruang 125° C dengan siklus 25x, 75x, dan 125x berturut-turut sebesar 34,7 MPa, 12,4 MPa, 20,8 MPa. Pada temperatur ruang 175° C dengan siklus 25x, 75x, dan 125x berturut-turut sebesar 35,5 MPa, 27,2 MPa, 14,3 MPa (Hariyanto, 2011).

Penelitian sebelumnya yang menggunakan perlakuan siklus termal adalah untuk uji kestabilan pada material keramik, siklus termal dilakukan pada suhu 800° C. Proses pertama merupakan pemanasan awal yang dilakukan dengan kecepatan kenaikan suhu sebesar 3° C/menit dengan waktu penahanan 1 jam serta menggunakan penurunan suhu 3° C/menit kemudian di tahan pada suhu 100° C selama 4 jam. Setelah itu dilakukan proses siklus termal dengan menambah kecepatan kenaikan suhu sebesar 25° C/menit dengan waktu penahanan selama 1 jam dan penurunan suhu sebesar 3° C/menit hingga suhu 100° C dan ditahan selama 4 jam. Proses siklus termal ini dilakukan 3 kali berturut-turut (Gambar 2.10).



Gambar 2.9 Proses perlakuan siklus termal (Widiyanto, 2013).

#### 2.5.4 Pengujian Morfologi

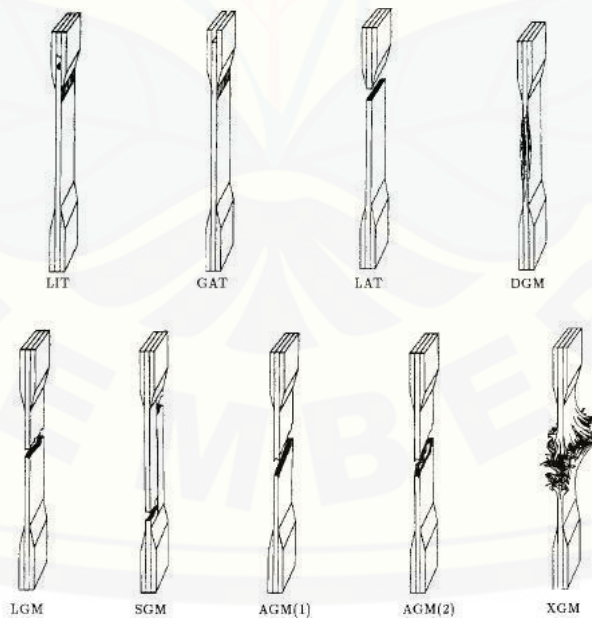
Pengujian morfologi menggunakan foto makro dengan kamera DSLR 18 MP. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan tampilan tentang cacat yang terjadi akibat

perlakuan termal mekanis. Berikut kode kegagalan pada komposit berikut contohnya berdasarkan ASTM D 3039:

Tabel 2.12 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	Bottom	B
Delaminasi	D	Pada Grip/cekam	A	Top	T
Grip/cekam	G	< 1 W dari grip/cekam	W	Left	L
Lateral	L	Gage	G	Right	R
Multi-mode	M(xy)	Multiple Areas	M	Middle	M
Long splitting	S	Varius	V	Varius	V
Explosive	X	Unknown	U	Unknown	U
Other	O				

(sumber: ASTM D3039)



Gambar 2.10 Bentuk Patahan Komposit (Sumber: ASTM D 3039).

## 2.6 Hipotesis

Berdasarkan variasi fraksi kadar *montmorillonite* terhadap sifat mekanik hipotesis penelitian ini adalah penambahan persentase fraksi berat *montmorillonite* sebanyak 30%, 40% dan 50% akan meningkatkan sifat mekanik komposit polyester berpenguat serat bambu. Sedangkan variasi banyaknya siklus thermal terhadap sifat mekanik komposit polyester berpenguat serat bambu adalah semakin banyak jumlah siklus thermal yang dilakukan, maka sifat mekanik dari material akan semakin menurun. Hal ini disebabkan karena spesimen mengalami kelelahan thermal akibat terkena temperatur yang berubah ubah.

### BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi penelitian yang digunakan dalam penyusunan skripsi ini adalah penggabungan antara eksperimen di lapangan dan pengkajian studi literatur dari berbagai sumber baik dari buku, jurnal yang ada dipergustakaan maupun internet.

#### 3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

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

#### 3.2 Variabel penelitian

Variabel yang diamati ini terdiri dari tiga macam yaitu:

##### 3.2.1 Variabel Bebas

Variabel bebas adalah variabel yang mempengaruhi variabel lain, variabel bebas dalam penelitian ini adalah:

Tabel 3.1 variasi penelitian

Variasi (X)	25x (X <sub>1</sub> )	50x (X <sub>2</sub> )	75x (X <sub>3</sub> )
MMT (Y)			
30% (Y <sub>1</sub> )	X <sub>1</sub> Y <sub>1</sub>	X <sub>2</sub> Y <sub>1</sub>	X <sub>3</sub> Y <sub>1</sub>
40% (Y <sub>2</sub> )	X <sub>1</sub> Y <sub>2</sub>	X <sub>2</sub> Y <sub>2</sub>	X <sub>3</sub> Y <sub>2</sub>
50% (Y <sub>3</sub> )	X <sub>1</sub> Y <sub>3</sub>	X <sub>2</sub> Y <sub>3</sub>	X <sub>3</sub> Y <sub>3</sub>

##### 3.2.2 Variabel Terikat

Variabel ini dipengaruhi oleh lain, variabel ini disebut juga variabel tergantung. Variabel terikat dalam penelitian ini adalah kekuatan tarik dan kekuatan impak.



### 3.2.3 Variabel terkendali

Variabel terkendali dalam penelitian ini adalah lama perendaman serat, lebar serat, orientasi serat acak (*Chopped fiber composite*), penggunaan katalis sebesar 1%, perendaman larutan dalam kondisi suhu kamar  $\pm 27^{\circ}$  C, konsentrasi larutan (5% NaOH) dan konsentrasi Polyester.

## 3.3 Alat dan Bahan Penelitian

Alat dan bahan yang digunakan selama penelitian ini berlangsung antara lain:

### 3.3.1 Alat :

1. Universal Machine Testing Merk ESSOM TM 113 30 kN.
2. Alat Uji Impact
3. Oven pemanas
4. *Temperature Detector*
5. *Refrigrator*
6. Ayakan mesh 50 (Ayakan tepung).
7. Cetakan Komposit dari Kaca, Plastik Astralon, Plastisin dan Margarin.
8. Penggaris
9. Palu
10. Lumpang besi
11. Timbangan digital
12. Kamera DSLR
13. Pencekam khusus komposit polimer
14. Cutter dan Gunting
15. Gerinda Tangan

### 3.3.2 Bahan :

1. Serat Bambu

Bambu yang digunakan dalam percobaan ini adalah Bambu Petung (*Dendrocalamus sp*) yang berasal dari daerah Rogojampi kota Banyuwangi.

## 2. Matrik

Dalam penelitian ini jenis polimer yang dipilih sebagai bahan matrik adalah jenis *Unsaturated Polyester Resin* dengan merk *YUKALAC 157 BQTN-Ex* dan *hardener 1%*, dengan data seperti dilampiran.

## 3. Margarin

Berfungsi untuk memudahkan melepas komposit dari cetakan

## 4. *Montmorillonite* berasal dari Genteng Sokka

Berfungsi sebagai zat aditif pada komposit

## 5. Larutan 5% Natrium Hidroksida (NaOH)

Untuk membersihkan serat bambu dari zat lignin dan kotoran yang menempel

### 3.4 Pembuatan serat bambu

Langkah-langkah pembuatan serat bambu adalah sebagai berikut:

- a. Batang bambu di potong sepanjang ruas  $\pm 40-50$  cm
- b. Kemudian potongan tersebut dibelah menjadi beberapa bagian
- c. Kulit luar dan kulit dalam dikelupas
- d. Mengirat/mengiris bambu dalam proses mengitar bambu masih dilakukan secara manual untuk mendapatkan serat dengan ketebalan  $\pm 0,5$ mm, lebar 5mm dan panjang 15mm
- e. Menggunakan metode orientasi acak (*Random-discontinuous*) dengan menyusun secara acak serat bambu dengan kadar serat sebesar 5%
- f. Pengeringan dilakukan secara alami dengan di jemur dibawah suhu ruang  $\pm 27^{\circ}$  C selama  $\pm 2$  hari.

### 3.5 Perlakuan Larutan Alkali terhadap Serat Bambu

Persiapan pada serat bambu petung sebelum pembuatan komposit serat bambu sangat penting karena untuk membersihkan bagian permukaan serat dari zat lignin dan kotoran lainnya. Perlakuan tersebut diantara lain sebagai berikut:

- a. Serat bambu petung di cuci dengan air bersih
- b. Serat direndam dengan larutan alkali (5% NaOH) dengan kondisi suhu kamar  $27^{\circ}\text{C}$  ( $\pm 2^{\circ}\text{C}$ )
- c. Serat yang direndam dalam larutan alkali dilakukan penetralan dengan air bersih dan dilanjutkan dengan pengeringan alami.

### 3.6 Pembuatan serbuk *montmorillonite*

- a. Partikel genteng dihancurkan, lalu ditumbuk dengan lumpang besi lalu diayak dengan ayakan tepung (mesh berukuran <50)

### 3.7 Prosedur Penelitian

#### 3.7.1 Langkah-langkah pembuatan sampel komposit

1. Pertama-tama cetakan kaca disiapkan, beserta alat pendukung untuk membuat sampel.
2. Serat Bambu di potong sesuai dengan standart ASTM D 3039 ASTM D6110 untuk ukuran sampel uji tarik dan uji impak.
3. Lalu di lakukan pengukuran dan penimbangan resin sesuai dengan kebutuhan, lalu ditambahkan katalis (*hardener*) 1%, dan ditimbang *montmorillonite*. Kemudian pencampuran resin, katalis dan *montmorillonite* dengan persentase sesuai dengan rencana penelitian. Di lakukan pengadukan secara perlahan dengan hitungan pengadukan 100 kali saat pencampuran resin dan katalis, lalu dilalukan pengadukan sebanyak 60 kali saat pencampuran resin-katalis dengan *montmorillonite*. Campuran resin, katalis dan *montmorillonite* selanjutnya disebut sebagai larutan campuran matriks.

4. Cetakan dilapisi dengan margarin secukupnya pada permukaan pinggiran cetakan kacanya agar memudahkan pelepasannya nanti, kemudian penuangan larutan campuran matriks pada cetakan hingga terisi setinggi 3 mm, lalu serat bambu diletakkan dengan metode orientasi serat acak (*Random-discontinuous*) diatas larutan campuran matriks, setelah itu ditambahkan lagi campuran kedalam cetakan. Cetakan ditutup dengan plastik astralon. Pastikan tidak terjadi rongga udara (*void*) saat menutup cetakan.
5. Setelah itu ditunggu hingga setengah hari, kemudian hasil cetakan dilepaskan dari cetakan. Dilakukan pemotongan pada sisi kiri dan kanan yang berlebih pada komposit dengan menggunakan gerinda tangan. Kemudian, diberikan pemberat kepada sampel uji selama 3 hari untuk menghindari komposit mengalami lengkungan.

### **3.8 Perlakuan Siklus Termal pada Material Komposit Serat Bambu dengan Zat Aditif Montmorillonite**

1. Sampel yang sudah kering diletakan di atas Loyang untuk perlakuan siklus termal sebanyak 25x, 50x dan 75x.
2. Suhu awal sampel dilihat dengan *temperature detector* dipastikan sesuai suhu kamar  $\pm 27^{\circ}\text{C}$
3. Setelah itu suhu di naikkan secara perlahan hingga mencapai suhu  $100^{\circ}\text{C}$  lalu dilakukan penahanan selama 10 menit
4. Setelah itu dilakukan pendinginan secara perlahan hingga suhu kamar  $\pm 27^{\circ}\text{C}$
5. Setelah itu suhu di turunkan di bawah suhu kamar hingga mencapai suhu  $0^{\circ}\text{C}$  dan dilakukan penahanan selama 10 menit
6. Lalu sampel kembali dinaikkan suhunya dengan memanaskan hingga suhu kamar  $27^{\circ}\text{C}$
7. Kemudian dilakukan pengulangan sebanyak 25x, 50x dan 75x siklus termal.

### 3.9 Uji Tarik

Spesimen dilakukan uji tarik dengan menggunakan mesin uji tarik sesuai standar ASTM D3039. Saat pengujian tarik siap dilakukan, penanda *displacement* di atur dengan meletakkan ujung dasar sampel ke dasar mesin uji tarik. Saat penanda *displacement* tidak lagi menyentuh dasar mesin uji tarik, dilakukan pengaturan ulang dengan mengendorkan pengikatnya dan meletakkan ke dasar mesin uji tarik. Hal ini bertujuan agar penanda *displacement* dapat bekerja dengan baik. Dilakukan peresetan ulang display saat akan dilakukan pengujian tarik. Proses pengujian dilakukan 2 orang, orang pertama memegang pencekam sedangkan yang lainnya mengungkit tuas yang telah di siapkan. Selama proses pengujian dilakukan perekaman sebagai data visual pengujian tarik dan untuk pengolahan data hasil pengujian tarik.

### 3.10 Uji Impak

#### 3.10.1 Prosedur Pengujian

1. Dimensi di ukur untuk setiap spesimen pengujian.
2. Memeriksa *vice* yang akan digunakan apakah telah sesuai dengan yang akan digunakan. Bila belum sesuai diganti dengan yang sesuai.
3. Pendulum di sesuaikan dengan posisi spesimen.
4. Melakukan pengujian hampa (pendulum diletakkan pada ketinggian yang ditentukan, dan tanpa spesimen uji, lalu pendulum dilepaskan) nilai sudut awal ( $\alpha$ ) di catat pada skala jarum penunjuk.
5. Pendulum diletakkan pada ketinggian yang ditentukan dan ditahan, pemasangan spesimen uji pada pendukung sehingga ujung pendulum tepat mengenai tengah-tengah spesimen.
6. Pendulum di lepaskan dan hasil dicatat pada nilai sudut akhir ( $\beta$ ) pada skala jarum penunjuk setelah pendulum mengenai tengah-tengah spesimen.



7. Melakukan perhitungan pada data hasil pengujian untuk mendapatkan nilai kekuatan impaknya.

### 3.11 Uji Makro

Setelah spesimen dilakukan pengujian tarik, dilakukan pengujian makro yaitu dengan melihat struktur spesimen secara makroskopik dengan kamera setelah dilakukan pengujian tarik, spesimen diidentifikasi pada posisi mana spesimen mengalami kegagalan putus.

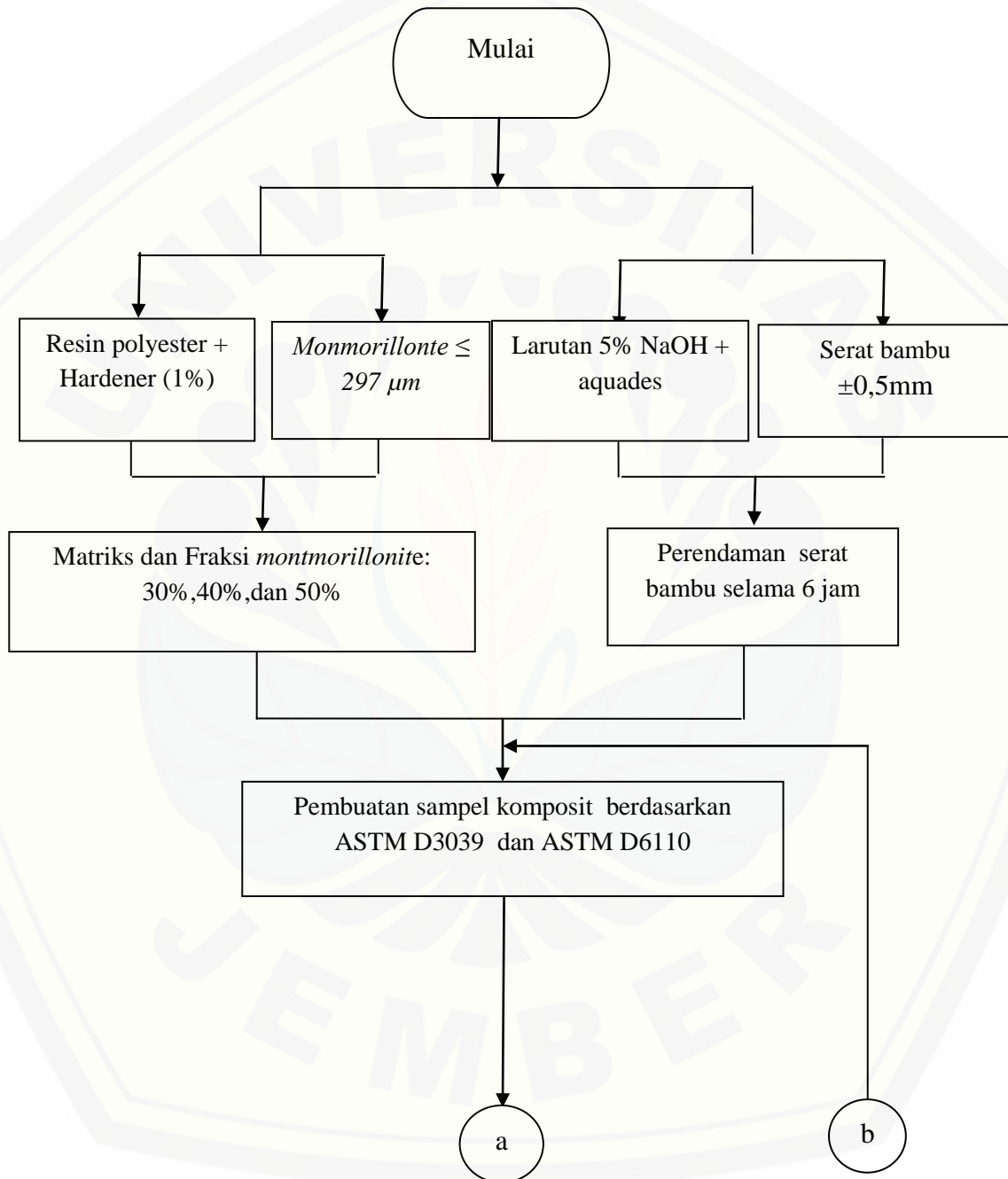
### 3.12 Analisa Data

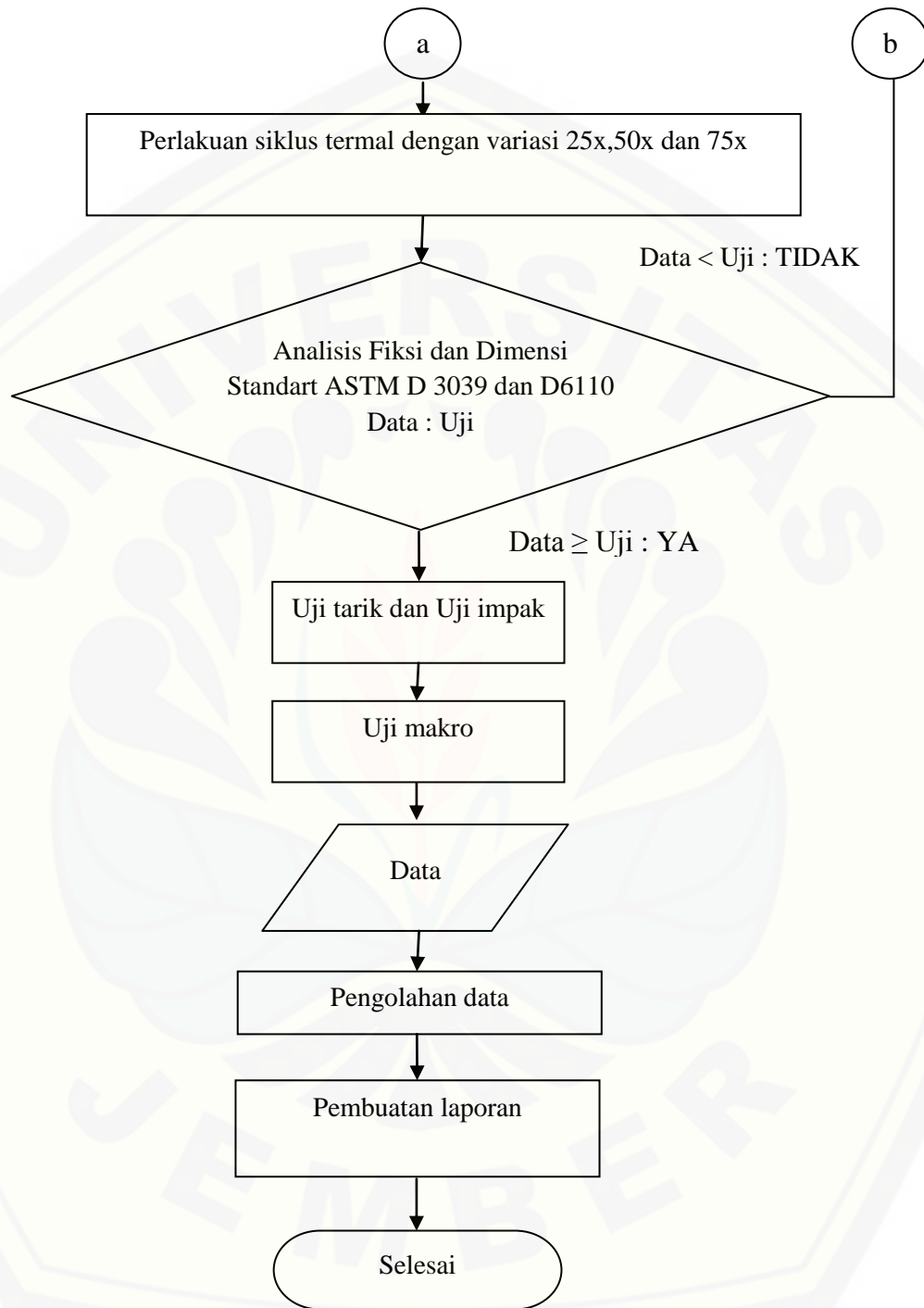
Analisa data dilakukan setelah diperoleh hasil pengujian morfologi, pengujian uji tarik dan impact dengan perlakuan siklus thermal terhadap komposit polyester serat bambu-*montmorillonite* ialah sebagai berikut:

1. Analisis pengaruh variasi fraksi berat aditif *montmorillonite* pada komposit matrik polyester berpenguat serat bambu terhadap nilai kekuatan tarik.
2. Analisis pengaruh banyaknya perlakuan siklus termal terhadap kekuatan tarik dan kekuatan impact komposit matrik polyester berpenguat serat bambu menggunakan aditif partikel *montmorillonite*.
3. Analisis kondisi morfologi komposit matrik polyester berpenguat serat bambu menggunakan aditif partikel *montmorillonite* setelah dilakukan pengujian tarik dan impact dengan variasi banyaknya perlakuan siklus termal.
4. Menggunakan statistik anova sebagai analisa pengaruh variasi fraksi berat aditif *montmorillonite* pada komposit matrik polyester berpenguat serat bambu terhadap nilai kekuatan tarik dan kekuatan impak.

### 3.13 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir dapat dilihat pada gambar 3.1 dibawah ini:





Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

### 3.14 Penyajian Data Hasil Pengujian Tarik

Lembar penulisan data hasil pengujian tarik ini di buat dengan membuat tabel dengan susunan waktu penahanan (10 menit), temperature maksimal ( $100^{\circ}\text{C}$ ) dan temperature minimal ( $0^{\circ}\text{C}$ ) yang bersifat tetap sedangkan variasi terletak pada banyaknya perlakuan siklus termal (25x,50x,75x) dan kadar *monmorillonite* (0%,30%,40%,50%) setelah itu penulisan data hasil pengujian tarik dilakukan setelah dilakukan perlakuan siklus termal dengan pencampuran kadar *monmorillonite* lalu di uji tarik dan dilakukan pengulangan sebanyak 6 kali, tabel 3.2 data hasil pengujian dapat dilihat dibawah ini:

Tabel 3.2 Data Hasil Pengujian Tarik

Waktu Penahanan	Suhu Max	Suhu Min	Variasi Siklus	Kadar <i>Monmorillonite</i>	Harga Kekuatan Tarik Mpa
10 menit	$100^{\circ}\text{C}$	$0^{\circ}\text{C}$	25x	0%	
				30%	
				40%	
				50%	
10 menit	$100^{\circ}\text{C}$	$0^{\circ}\text{C}$	50x	0%	
				30%	
				40%	
				50%	
10 menit	$100^{\circ}\text{C}$	$0^{\circ}\text{C}$	75x	0%	
				30%	
				40%	
				50%	

### 3.15 Penyajian Data Hasil Pengujian Impak

Lembar penulisan data hasil pengujian impak ini di buat dengan membuat tabel dengan susunan waktu penahanan (10 menit), temperature maksimal ( $100^{\circ}\text{C}$ ) dan temperature minimal ( $0^{\circ}\text{C}$ ) yang bersifat tetap sedangkan variasi terletak pada banyaknya perlakuan siklus termal (25x,50x,75x) dan kadar *monmorillonite* (0%,30%,40%,50%) setelah itu penulisan data hasil pengujian impak dilakukan setelah dilakukan perlakuan siklus termal dengan pencampuran kadar *monmorillonite* lalu di uji impak dan dilakukan pengulangan sebanyak 6 kali, tabel 3.3 data hasil pengujian dapat dilihat dibawah ini:

Tabel 3.3 Data Hasil Pengujian impak

Waktu Penahanan	Suhu Max	Suhu Min	Variasi Siklus	Kadar <i>Monmorillonite</i>	Harga Kekuatan Impak $\text{J}/\text{mm}^2$
10 menit	$100^{\circ}\text{C}$	$0^{\circ}\text{C}$	25x	0%	
				30%	
				40%	
				50%	
10 menit	$100^{\circ}\text{C}$	$0^{\circ}\text{C}$	50x	0%	
				30%	
				40%	
				50%	
10 menit	$100^{\circ}\text{C}$	$0^{\circ}\text{C}$	75x	0%	
				30%	
				40%	
				50%	



## BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Data Penelitian

#### 4.1.1 Data Spesifikasi Bahan

Beberapa bahan penyusun yang digunakan dalam proses pembuatan spesimen komposit memiliki spesifikasi sebagai berikut:

Serat Bambu :

- Massa jenis 0,818 gram/cm<sup>3</sup>
- Panjang 15 mm
- Lebar 5 mm

*Montmorillonite:*

- Massa jenis 2,72 gram/cm<sup>3</sup>
- Ukuran partikel *montmorillonite*  $\leq 297 \mu\text{m}$

Resin polyester seri yukalac 157 BQTN-EX

- Massa jenis 1,23 gram/cm<sup>3</sup>
- kekerasan 40
- suhu distorsi panas 110 °C-140° C

#### 4.1.2 Proses Pengujian Spesimen

##### Pengujian Tarik

Proses pengujian tarik dilakukan dengan menyiapkan pencekam khusus untuk komposit. Benda dicekam dengan alat pencekam tersebut, dan kemudian dilakukan pengujian dengan alat uji tarik universal machine testing merk ESSOM TM 113 kapasitas 30 kN yang dimana sebelumnya telah dikalibrasi agar didapatkan data yang valid.

##### Pengujian Impak

Proses pengujian impak dilakukan dengan menyiapkan spesimen dengan takikan sesuai standar ASTM D6110. Spesimen di letakan di bawah bandul kemudian bandul diangkat dan ditahan sesuai sudut yang diijinkan lalu bandul dilepaskan

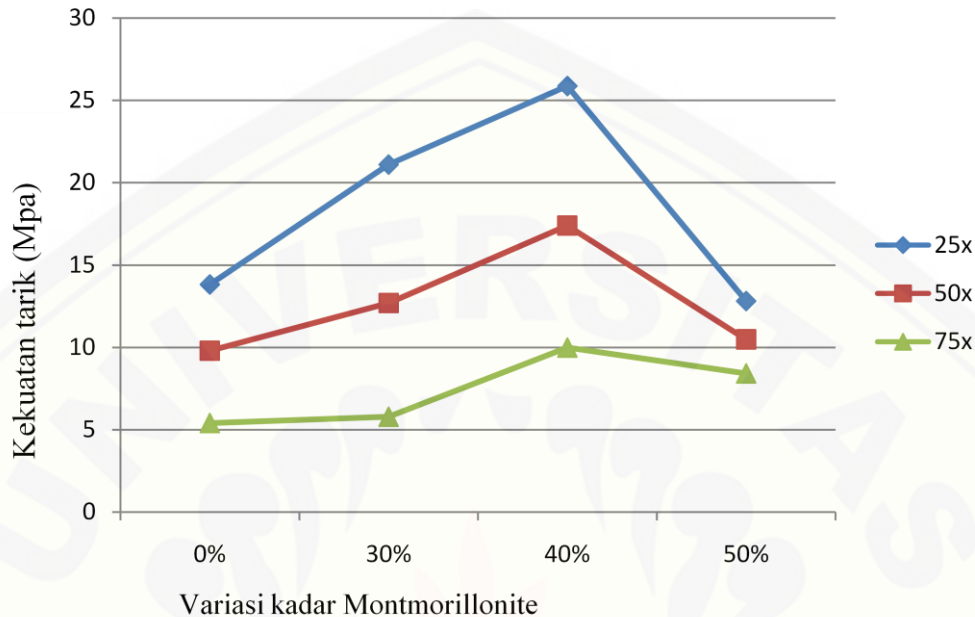
sehingga menghantam spesimen hingga patah. Dimana massa bandul di ketahui sebesar 20,9 kg dan panjang lengan bandul sebesar 0,83 meter.

## 4.2 Pembahasan

### 4.2.1 Hasil Data Pengujian Tarik

Prosedur Pengujian tarik meliputi penyiapan bahan uji dan alat uji berdasarkan standar uji material komposit polimer ASTM D 3039, proses pengujian tarik pada komposit menggunakan pencekam (clamp) khusus untuk material jenis komposit polimer. Data hasil pengujian diperoleh melalui pengujian tarik menggunakan universal machine testing merk ESSOM TM 113 kapasitas 30 kN di laboratorium Uji Bahan teknik mesin Universitas Jember. Sampel uji yang digunakan ialah komposit dengan matriks *polyester* berpenguat serat bambu dengan variasi penambahan zat aditif *montmorillonite* sebesar 0%, 30%, 40% dan 50% dengan perlakuan siklus termal selama 10 menit untuk setiap siklus dengan variasi siklus sebanyak 25x, 50x dan 75x. Untuk data hasil pengujian tarik akan dibahas pada grafik dibawah ini:

## 4.2.2. Analisa Variasi Fraksi Kadar Berat MMT Terhadap kekuatan tarik

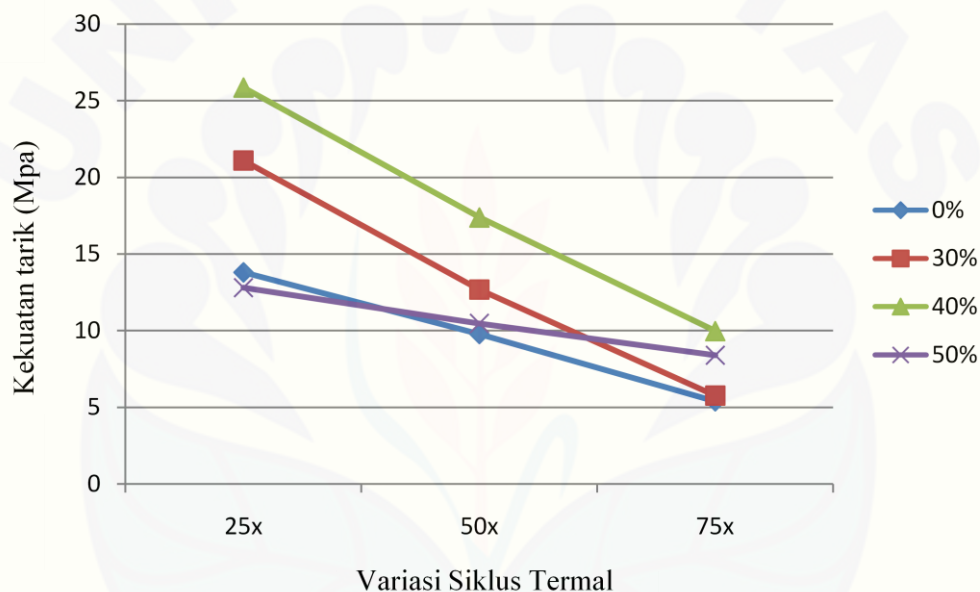


Gambar 4.1 Grafik hubungan antara nilai kekuatan tarik dengan variasi kadar *montmorillonite*

Pada grafik 4.1 dapat kita lihat kekuatan tarik tertinggi terdapat pada penambahan kadar montmorillonite sebesar 40% pada jumlah siklus termal 25x, dengan nilai rata-rata sebesar 25,86 Mpa. Sedangkan kekuatan tarik terendah didapat pada kadar montmorillonite 30% pada jumlah siklus termal 75x dengan nilai rata-rata 5,78 Mpa, Sebagai pembandingan telah dilakukan pembuatan komposit tanpa Montmorillonite dengan kadar 0% dengan siklus termal 25x,50x dan 75x dengan nilai rata-rata berturut-turut sebesar 13,81 Mpa, 9,79 Mpa dan 5,4 Mpa. Terjadi peningkatan kekuatan tarik pada penambahan montmorillonite dengan kadar 30% dan 40% pada masing-masing siklus termal. Hal ini berarti bahwa penambahan montmorillonite berpengaruh terhadap kekuatan tarik komposit. Hal tersebut sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh (Sreenivasan, 2012 dalam Nasirudin, 2014), bahwa penambahan partikel MMT tanpa modifikasi meningkatkan kekuatan tarik dibandingkan dengan penambahan MMT yang disertai modifikasi.

Sedangkan pada penambahan kadar sebesar 50% pada masing-masing silkus termal terjadi penurunan kekuatan tarik yang cukup signifikan. Hal ini terjadi karena kadar matriks lebih kecil dari pada kadar montmorillonite sehingga ikatan matriks dengan serat dan Montmorillonite menjadi lebih kecil sehingga dapat menurunkan kekuatan tarik. Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan (Sutrisno, 2013) dimana kekuatan tarik komposit menurun dikarenakan ikatan yang terjadi antara matriks dengan penguat lebih baik dibandingkan dengan ikatan resin dengan MMT.

#### 4.2.3. Analisa Variasi Banyaknya Siklus Termal Terhadap kekuatan tarik



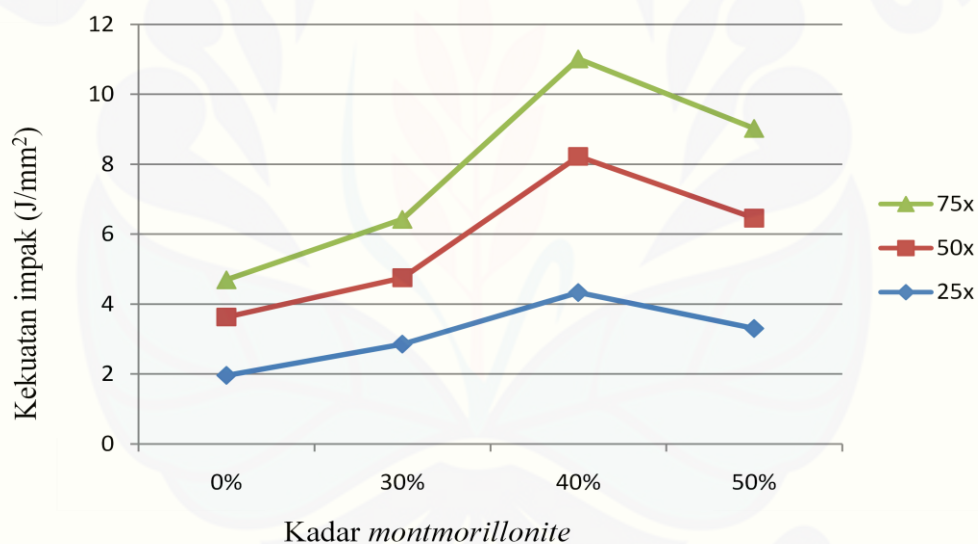
Gambar 4.2 Grafik hubungan antara nilai kekuatan tarik dengan variasi siklus termal

Pada grafik 4.2 terlihat penurunan kekuatan tarik pada semua fraksi Montmorillonite akibat dari penambahan jumlah siklus termal. Maka dari itu dapat disimpulkan bahwa semakin banyak jumlah siklus termal yang dilakukan maka kekuatannya semakin menurun. Hal tersebut sejalan dengan penelitian (Yousif, 2013) pada temperatur antara 100°C-200°C, FRP (*Fiber Reinforced Polymer*) akan mengalami pelunakan, creep dan terdistorsi yang menyebabkan kegagalan ketika mengalami pembebanan struktur. Selain itu juga kekuatan polymer akan semakin menurun seiring dengan semakin besarnya temperatur yang diterima.

#### 4.2.4 Data Hasil Uji Impak

Prosedur Pengujian impak meliputi penyiapan bahan uji dan alat uji berdasarkan standar uji material komposit polimer ASTM D 6110. Data hasil pengujian diperoleh melalui pengujian impak menggunakan alat uji impak di laboratorium Uji Bahan teknik mesin Universitas Jember. Sampel uji yang digunakan ialah komposit dengan matriks *polyester* berpenguat serat bambu dengan variasi penambahan zat aditif *montmorillonite* sebesar 0%, 30%, 40% dan 50% dengan perlakuan siklus termal selama 10 menit untuk setiap siklus dengan variasi siklus sebanyak 25x, 50x dan 75x. Data hasil pengujian impak ini akan dibahas dalam grafik dibawah ini:

#### 4.2.5 Analisa Variasi Fraksi Kadar Berat MMT Terhadap kekuatan impak



Gambar 4.3 Grafik hubungan antara nilai kekuatan impak dengan variasi kadar *montmorillonite*

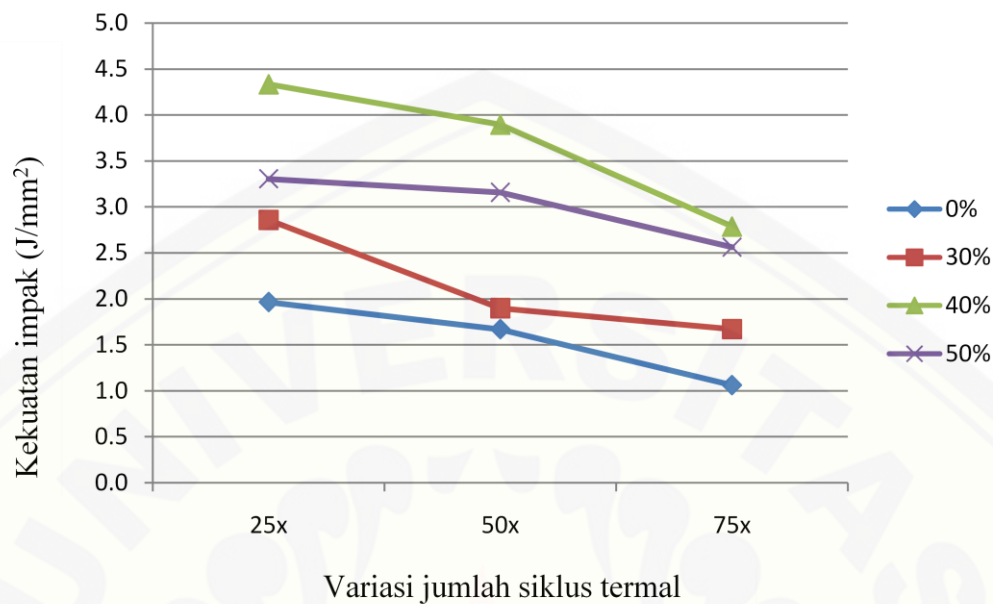
Dari grafik 4.3 dapat kita lihat terjadi peningkatan kekuatan impak pada penambahan kadar *montmorillonite* 30% dan 40% sedangkan terjadi penurunan kekuatan impak pada kadar 50%. Kekuatan impak tertinggi di dapat pada kadar *montmorillonite* 40% dengan jumlah siklus termal 25x dengan nilai rata-rata sebesar 0,28 J/mm<sup>2</sup>. Hal ini sejalan dengan penelitian dari (Kusmono, 2010) bahwa adanya



clay telah meningkatkan kekakuan campuran polimer. Peningkatan kekakuan akibat adanya clay dimungkinkan disebabkan karena sifat dasar dari clay sendiri yang merupakan material yang memiliki kekakuan yang tinggi yang kemudian membatasi gerakan molekul polimer. Selain itu juga mungkin berkaitan dengan struktur nanokomposit, luas kontak permukaan dari yang besar sehingga menyebabkan ikatan yang kuat antara matrik polimer dengan lapisan silikat clay.

Sedangkan kekuatan impak terendah didapat pada kadar 30% dengan jumlah siklus 75x dengan nilai rata-rata sebesar  $0,07 \text{ J/mm}^2$ . Hal ini terjadi karena kadar *montmorillonite* yang terdapat pada komposit lebih kecil dari pada kadar polyester, sehingga menyebabkan ikatan antara serat, *montmorillonite* dan matriks menjadi lebih kecil.

#### 4.2.6 Analisa Variasi jumlah siklus termal MMT Terhadap kekuatan impak



Gambar 4.4 Grafik hubungan antara nilai kekuatan impak dengan variasi siklus termal

Pada grafik 4.4 dapat dilihat terjadi penurunan kekuatan impak secara bertahap pada jumlah siklus 25x, 50x dan 75x. Hal ini dapat dilihat bahwa pengaruh penambahan kadar montmorillonite terhadap perlakuan siklus termal pada kekuatan impak tidak berpengaruh. Dapat disimpulkan bahwa semakin banyak jumlah siklus termal maka kekuatannya semakin menurun. Hal ini sejalan dengan penelitian Yousif (2013) pada temperatur antara 100°C-200°C, FRP (*Fiber Reinforced Polymer*) akan mengalami pelunakan, creep dan terdistorsi yang menyebabkan kegagalan ketika mengalami pembebanan struktur. Selain itu juga kekuatan polymer akan semakin menurun seiring dengan semakin besarnya temperatur yang diterima.

Penelitian ini juga sejalan dengan penelitian (Surdia, 2000 dalam Hariyanto, 2011) dikatakan bahwa salah satu kelemahan bahan polimer adalah tidak tahan panas, hal ini disebabkan apabila temperatur berubah, pergerakan molekul karena peningkatan suhu akan mengubah kumpulan molekul atau struktur molekul tersebut. Selanjutnya karena panas oksigen dan air bersama-sama, memancing

reaksi kimia pada molekul-molekul, terjadilah depolimerisasi, oksidasi, hidrolisis, hal itulah yang akan mempengaruhi kekuatan mekanik bahan polimer.

### 4.3 Hasil Pengamatan Makro

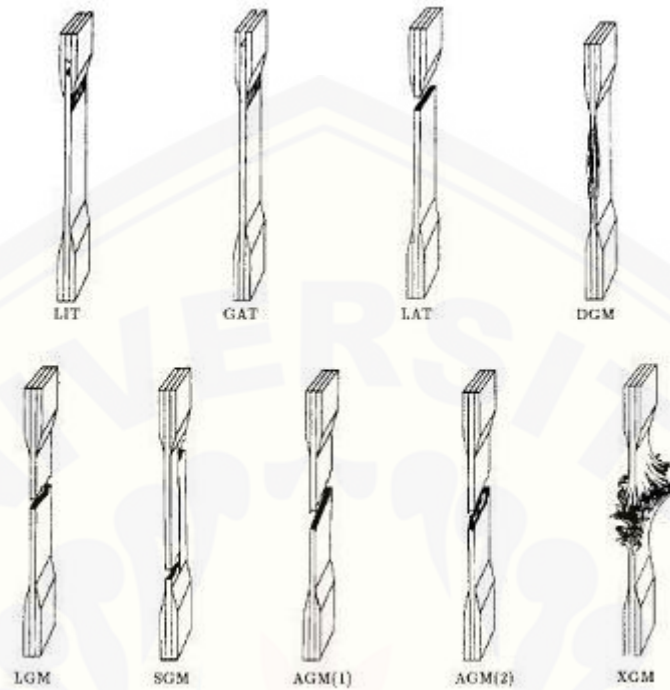
Pengamatan makro merupakan pengamatan dengan melihat struktur spesimen secara makroskopik dengan kamera setelah dilakukan pengujian, spesimen diidentifikasi dimana spesimen mengalami kegagalan putus atau kegagalan patah.

#### 4.3.1 Hasil Pengamatan Makro Uji Tarik

Dalam analisis mengenai patahan pengujian tarik ASTM D3039 terdapat berbagai macam kode huruf yang perlu kita pahami untuk menentukan kode patahan apa yang terjadi pada komposit. Huruf pertama menunjukkan tipe kegagalan dari komposit polimer, huruf kedua menunjukkan letak area kegagalan dari material tersebut sedangkan huruf yang ketiga menjelaskan tentang posisi kegagalan. Berikut adalah bentuk patahan spesimen uji tarik ASTM D3039.

Tabel 4.2 Kode untuk jenis patahan ASTM D3039

Karakter Pertama		Karakter Kedua		Karakter Ketiga	
Tipe Kegagalan	Kode	Luasan Kegagalan	Kode	Lokasi Kegagalan	Kode
Sudut	A	Didalam Grip/Cekam	I	Bottom	B
Delaminasi	D	Pada Grip/Cekam	A	Top	T
Grip/ Cekam	G	< 1 W dari grip/ cekam	W	Left	L
Lateral	L	Gage	G	Right	R
Multi-mode	M (xyz)	Multiple Areas	M	Middle	M
Long splitting	S	Various	V	Various	V
Explosive	X	Unknown	U	Unknown	U
Other	O				

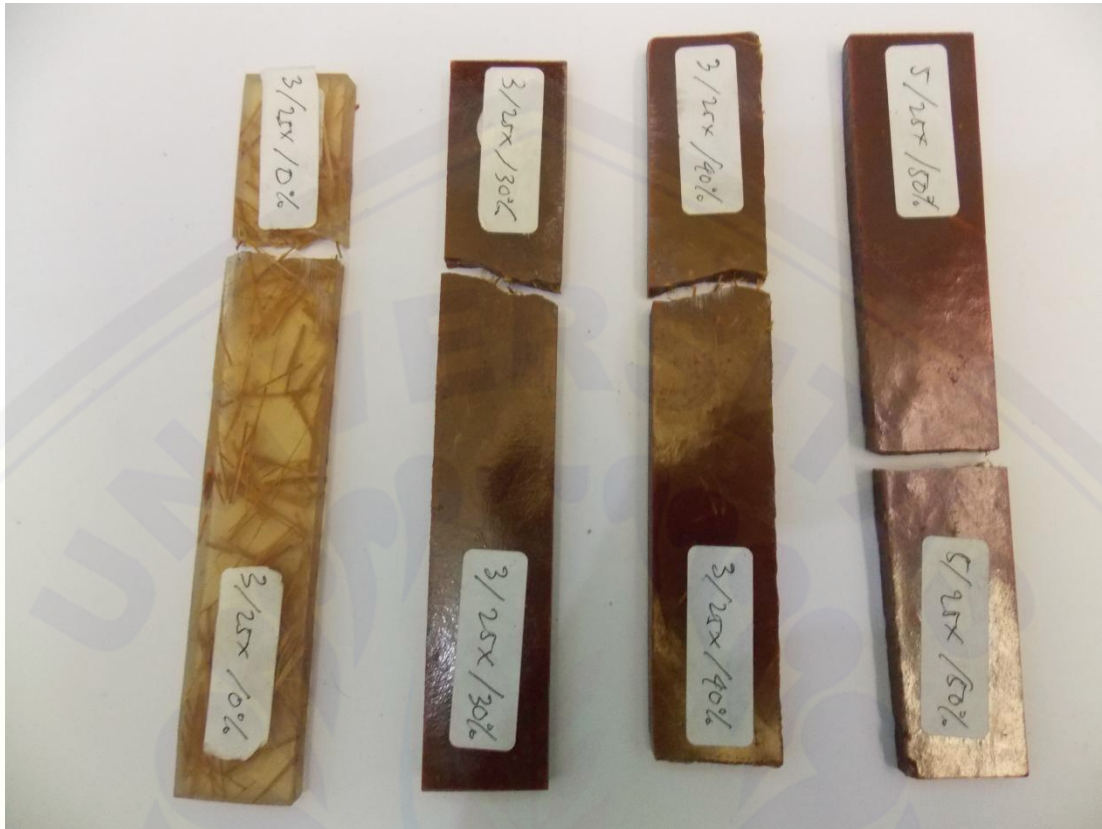


Gambar 4.5 Bentuk dan kode patahan pengujian tarik ASTM D3039

1. Analisis kode patahan variasi kadar MMT 0%, 30%, 40% dan 50% dengan perlakuan siklus termal 25x

Pengamatan foto makro diambil pada bentuk patahan benda uji pada Variasi kadar montmorillonite 0%,30%, 40% dan 50% pada perlakuan siklus termal 25x. Berikut ini adalah gambar-gambar foto patahan makro dari tiap-tiap pengerjaan pada penelitian ini, seperti ditunjukkan pada gambar berikut:



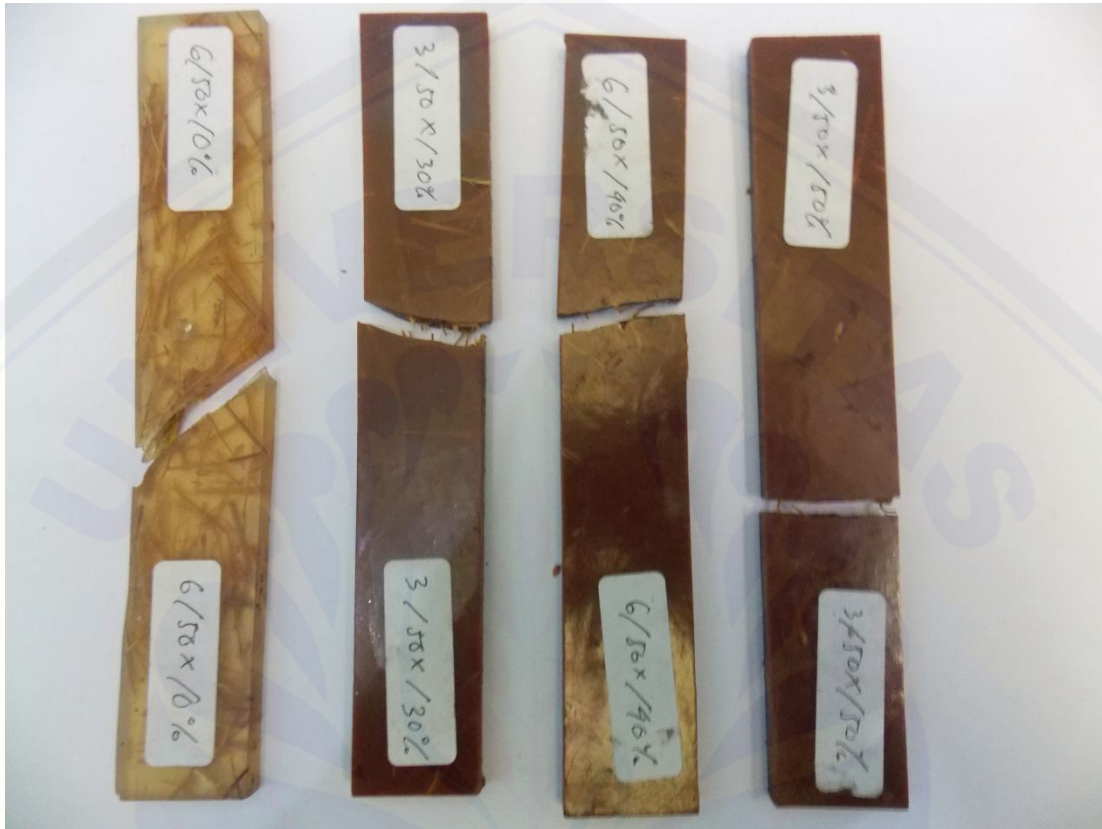


Gambar 4.6 hasil patahan pengujian tarik pada kadar 0%, 30%, 40% dan 50% MMT pada siklus termal 25x

Gambar 4.6 menunjukkan bahwa pada fraksi 0% mmt terlihat patahan LIT yang berarti patahan berbentuk lateral pada bagian dalam cekam dan posisi patahan terjadi di atas. Pada fraksi 30% dan 40% mmt terlihat patahan AIT yang berarti patahan bentuk sudut pada bagian dalam cekam dan posisi patahan terletak diatas (*TOP*), Sedangkan pada fraksi 50% MMT terjadi patahan LGM yang berarti patahan bentuk lateral, pada bagian gage dan patahan terletak pada posisi tengah. Semua patahan yang terjadi merupakan patahan getas. Hal ini sejalan dengan penelitian (Febrianto, 2011) Kerusakan matriks ditunjukkan dengan retak arah longitudinal akibat mekanisme ploughing berulang yang menyebabkan fatik pada permukaan. Mekanisme ini muncul pada kecepatan dan beban sedang (mengikuti ironing). Mekanisme ini terletak pada *zona severe wear regime*.



2. Analisis kode patahan variasi kadar MMT 0%, 30%, 40% dan 50% dan perlakuan siklus termal 50x

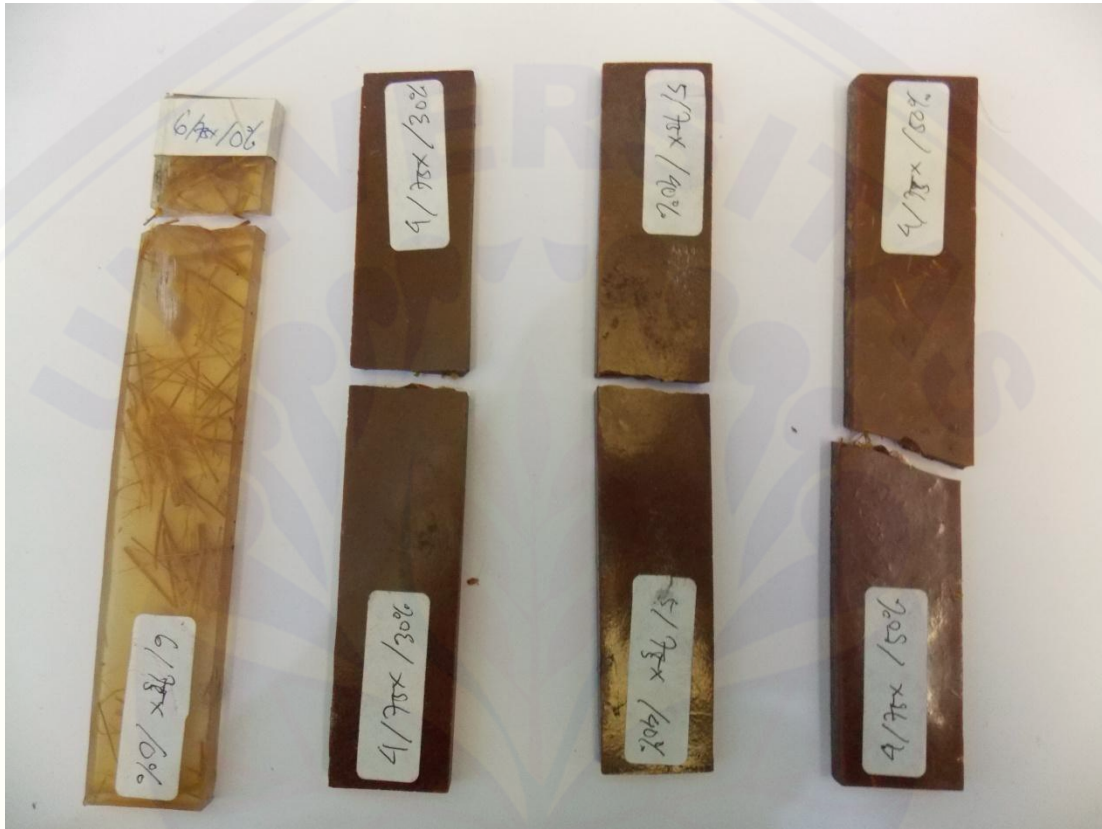


Gambar 4.7 bentuk patahan uji tarik pada kadar MMT 0%, 30%, 40% dan 50% pada perlakuan siklus termal 50x

Pada gambar 4.7 di atas terlihat pada fraksi 0% MMT terjadi kode patahan AGM yang berarti patahan berbentuk sudut pada luasan gage dan patahan terletak pada posisi tengah. Pada fraksi 30% dan 40% MMT terjadi kode patahan LAT yang berarti patahan berbentuk lateral sedangkan area patahan terletak di bagian cekam dan patah pada posisi atas. Pada fraksi 50% terjadi kode patahan LAB yang berarti bentuk patahan lateral pada area di bagian cekam dan posisi patahan terletak pada bagian bawah. Dapat di lihat bahwa semua spesimen mengalami patah getas, hal ini dapat di lihat dari jenis-jenis kode patahan yang terjadi. Hal ini sejalan dengan penelitian (Ratni, 2002) Dengan semakin banyak serat yang ditambahkan, maka

kemampuan matriks mengikat serat semakin berkurang dan akhirnya membuat bahan kurang kuat terhadap pembebanan, nilai kekuatan impaknya pun menurun.

3. Bentuk patahan pada variasi kadar MMT 0%, 30%, 40% dan 50% dan perlakuan siklus termal 75x



Gambar 4.8 bentuk patahan uji tarik pada kadar MMT 0%, 30%, 40% dan 50% pada perlakuan siklus termal 75x

Pada gambar 4.8 diatas terlihat terjadi patahan pada fraksi 0% MMT terjadi patahan LIT yang berarti bentuk patahan lateral pada bagian dalam cekam dan pada posisi bagian atas. Pada fraksi 30% dan 40% MMT terjadi patahan LGM yang berarti bentuk patahan lateral pada bagian area gage dan posisi patahan terletak di bagian tengah. Sedangkan pada fraksi 50% terjadi patahan AGM yang berarti patahan berbentuk sudut pada luasan gage dengan posisi patah terletak di bagian tengah.

#### 4.3.2 Analisis Patahan Makro Uji Impak

Dalam analisis mengenai patahan pengujian impak ASTM D6110 terdapat berbagai macam jenis patahan yang perlu kita pahami untuk menentukan bentuk patahan apa yang terjadi pada komposit. berikut ini adalah Bentuk patahan dari pengujian impak dapat diidentifikasi sebagai berikut :

a. Patahan Getas

Permukaan patahan terlihat rata dan mengkilap, kalau potongan-potongannya kita sambungkan lagi, ternyata keretakannya tidak disertai dengan deformasinya bahan. Patahan jenis ini mempunyai harga impak yang rendah.

b. Patahan Ulet

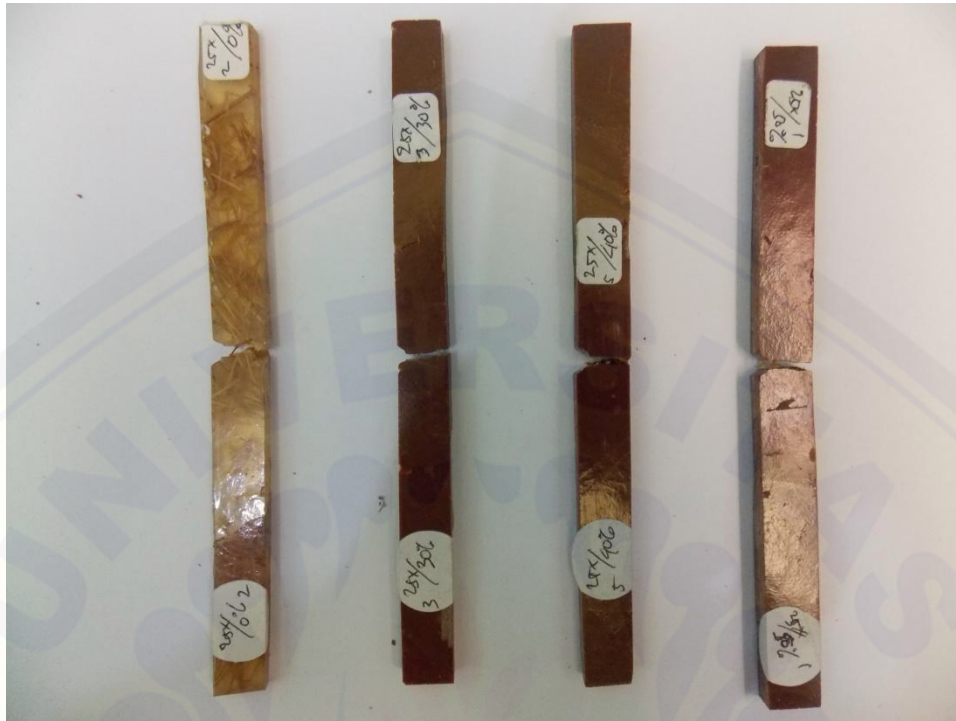
Permukaan patahan ini tidak rata, nampak seperti buram dan berserat, tipe ini mempunyai harga impak yang tinggi.

c. Patahan Campuran

Patahan yang terjadi merupakan campuran dari patahan getas dan patahan liat.

#### 1. Jenis Patahan Pada Kadar MMT 0%, 30%, 40% Dan 50% Dengan Perlakuan Siklus Termal 25x

Pada gambar di bawah ini terdapat variasi penambahan kadar MMT sebesar 30%,40% dan 50% pada komposit. Sebagai pembandingan dilakukan pengujian impak terhadap komposit yang mempunyai kadar 0% MMT. Sedangkan untuk perlakuannya dilakukan siklus termal sebanyak 25x. analisa makro ini bertujuan untuk mencari jenis patahan yang terjadi setelah dilakukan pengujian impak.

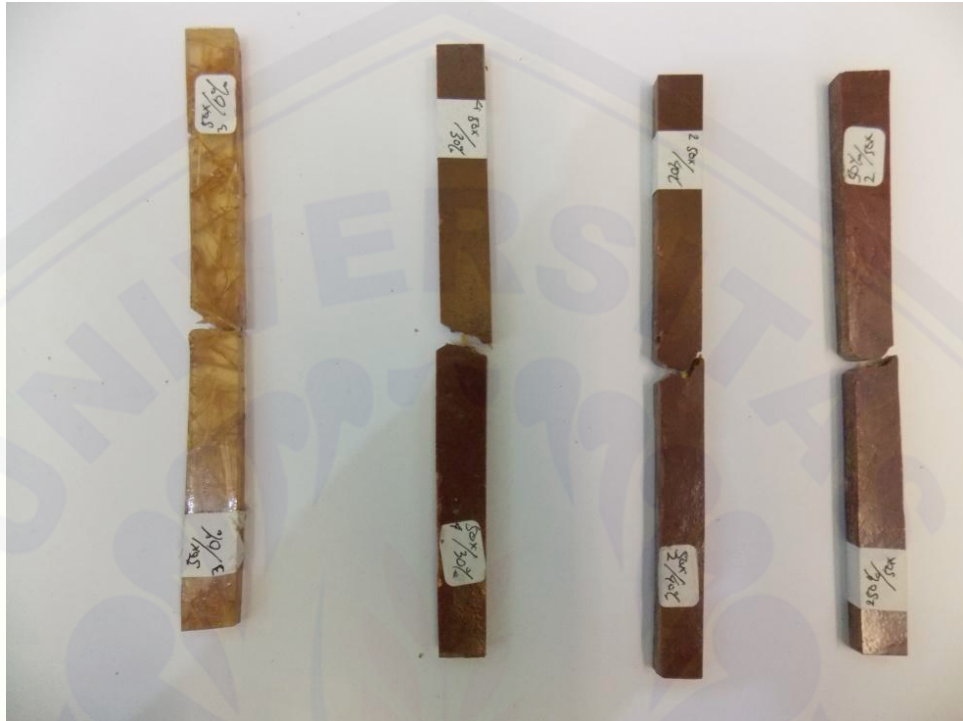


Gambar 4.9 bentuk patahan uji impak dengan variasi 0%,30%,40% dan 50% dengan perlakuan siklus termal 25x

Pada gambar 4.9 di atas dapat kita lihat variasi kadar mmt 0%,30%, 40% dan 50% dengan perlakuan siklus termal 25x mengalami patah getas. Hal itu terlihat dari bentuk patahannya yang relatif lurus dan tidak menyimpang. Selain itu, bila potongan-potongannya disambungkan lagi, ternyata keretakannya tidak disertai dengan deformasinya bahan. Hal ini sejalan dengan penelitian (Ratni, 2002) Bila matriks mampu menahan beban gaya geser dan meneruskannya ke serat disekitarnya, maka serat yang putus akan semakin banyak sehingga timbul retak, bahan komposit akan patah getas.



2. Jenis Patahan Pada Kadar Mmt 0%, 30%, 40% Dan 50% Dengan Perlakuan Siklus Termal 50x



Gambar 4.10 hasil patahan uji impak dengan variasi 0%,30%,40% dan 50% dengan perlakuan siklus termal 50x

Pada gambar 4.10 di atas dapat kita lihat variasi kadar mmt 0%,30%, 40% dan 50% dengan perlakuan siklus termal 50x mengalami patah getas. Hal itu terlihat dari bentuk patahannya yang relatif lurus dan tidak menyimpang. Selain itu, bila potongan-potongannya disambungkan lagi, ternyata keretakannya tidak disertai dengan deformasinya bahan.



3. Jenis Patahan Pada Kadar MMT 0%, 30%, 40% Dan 50% Dengan Perlakuan Siklus Termal 75x



Gambar 4.11 hasil patahan uji impak dengan variasi 0%,30%,40% dan 50% dengan perlakuan siklus termal 75x

Pada gambar di atas dapat kita lihat variasi kadar mmt 0%,30%, 40% dan 50% dengan perlakuan siklus 75x mengalami patah getas. Hal itu terlihat dari bentuk patahannya yang relatif lurus dan tidak menyimpang. Selain itu, bila potongan-potongannya disambungkan lagi, ternyata keretakannya tidak disertai dengan deformasinya bahan.

#### 4.4 Pengujian Hipotesis

##### 4.4.1 Pengujian Hipotesis Pada Pengujian Tarik

Pada pengujian hipotesa dapat diketahui pengaruh siklus termal dan penambahan aditif *montmorillonite* terhadap kekuatan tarik komposit dengan menggunakan ANAVA desain faktorial dengan bantuan software SPSS 16.0. Dari data kekuatan tarik didapat tabel Anova seperti pada Tabel 4.3.

$H_0$  : Tidak ada pengaruh siklus termal dan penambahan *montmorillonite* terhadap kekuatan tarik komposit

$H_1$  : Ada pengaruh siklus termal dan penambahan *montmorillonite* terhadap kekuatan tarik komposit

Jika nilai F hitung  $>$  F tabel, maka  $H_1$  diterima,  $H_0$  ditolak

Jika nilai F tabel  $>$  F hitung, maka  $H_1$  ditolak,  $H_0$  diterima

Tabel 4.3 Daftar ANAVA untuk kekuatan tarik

SK	Db	JK	KT	F-hit	Sig.	F-tabel (5%)	Keteranga n
<b>Siklus termal</b>	2	1452,408	726,204	44,97	0,00	1,95	Signifikan
<b>MMT</b>	3	708,424	236,14	14,26	0,00	3,15	Signifikan
<b>Interaksi</b>	6	280,26	46,7	2,89	0,00	2,76	Signifikan
<b>Galat</b>	60	968,92	16,15				
<b>Total</b>	71	3410					
<b>Total</b>	160	3320,205					

Berdasarkan tabel 4.4 di atas, pada sumber keragaman (SK) siklus termal, didapatkan nilai F-hitung sebesar 44,97. Dari tabel distribusi F dengan db  $n_1 = 2$  dan  $n_2 = 60$  didapatkan F-tabel sebesar 1,95 pada taraf 5%. Jika F-hitung lebih besar daripada F-tabel 5% ( $44,97 > 1,95$ ) didapatkan kesimpulan bahwa terdapat pengaruh

signifikan variasi jumlah siklus termal terhadap kekuatan tarik komposit atau terima  $H_1$  dan tolak  $H_0$ .

Pada sumber keragaman (SK) Montmorillonite, didapatkan nilai F-hitung sebesar 14,26. Dari tabel distribusi F dengan db  $n_1 = 3$  dan  $n_2 = 60$  didapatkan F-tabel sebesar 3,15 pada taraf 5%. Jika F-hitung lebih besar dari pada F-tabel 5% ( $14,26 > 3,15$ ) didapatkan kesimpulan bahwa terdapat pengaruh signifikan variasi penambahan Montmorillonite terhadap kekuatan tarik komposit atau terima  $H_1$  dan tolak  $H_0$ .

Pada sumber keragaman (SK) Interaksi, didapatkan nilai F-hitung sebesar 2,86. Dari tabel distribusi F dengan db  $n_1 = 6$  dan  $n_2 = 60$  didapatkan F-tabel sebesar 2,76 pada taraf 5%. Jika F-hitung lebih besar dari pada F-tabel 5% ( $2,86 > 2,76$ ) didapatkan kesimpulan bahwa terdapat pengaruh interaksi antara faktor variasi jumlah siklus termal dengan variasi penambahan Montmorillonite terhadap kekuatan tarik komposit atau terima  $H_0$  dan tolak  $H_1$ .

#### 4.4.2. Pengujian Hipotesis pengujian Impak

Pada pengujian hipotesa dapat diketahui pengaruh siklus termal dan penambahan aditif *montmorillonite* terhadap kekuatan Impak komposit. Dari data kekuatan impak akan diolah menggunakan software SPSS versi 16.0, sehingga didapat tabel Anova seperti pada Tabel 4.4.

$H_0$  : Tidak ada pengaruh siklus termal dan penambahan *montmorillonite* terhadap kekuatan impak komposit

$H_1$  : Ada pengaruh siklus termal dan penambahan *montmorillonite* terhadap kekuatan impak komposit

Jika nilai F hitung  $>$  F tabel, maka  $H_1$  diterima,  $H_0$  ditolak

Jika nilai F tabel  $>$  F hitung, maka  $H_1$  ditolak,  $H_0$  diterima

Tabel 4.4 Daftar ANAVA untuk kekuatan impact

SK	Db	JK	KT	F-hit	Sig.	F-tabel (5%)	Keterangan n
<b>Siklus termal</b>	2	0,047	0,0235	30,128	0,00	1,95	Signifikan
<b>MMT</b>	3	0,198	0,066	84,62	0,00	3,15	Signifikan
<b>Interaksi</b>	6	0,006	0,001	1,28	0,00	2,76	Tidak Signifikan
<b>Galat</b>	60	0,0466	0,00078				
<b>Total</b>	71	0,2976					

Berdasarkan tabel 4.4 di atas, pada sumber keragaman (SK) siklus termal, didapatkan nilai F-hitung sebesar 30,128. Dari tabel distribusi F dengan db  $n_1 = 2$  dan  $n_2 = 60$  didapatkan F-tabel sebesar 1,95 pada taraf 5%. Jika F-hitung lebih besar daripada F-tabel 5% ( $30,128 > 1,95$ ) didapatkan kesimpulan bahwa terdapat pengaruh signifikan variasi jumlah siklus termal terhadap kekuatan impact komposit atau terima  $H_1$  dan tolak  $H_0$ .

Pada sumber keragaman (SK) Montmorillonite, didapatkan nilai F-hitung sebesar 84,62. Dari tabel distribusi F dengan db  $n_1 = 3$  dan  $n_2 = 60$  didapatkan F-tabel sebesar 3,15 pada taraf 5%. Jika F-hitung lebih besar dari pada F-tabel 5% ( $84,62 > 3,15$ ) didapatkan kesimpulan bahwa terdapat pengaruh signifikan variasi penambahan Montmorillonite terhadap kekuatan impact komposit atau terima  $H_1$  dan tolak  $H_0$ .

Pada sumber keragaman (SK) Interaksi, didapatkan nilai F-hitung sebesar 1,28. Dari tabel distribusi F dengan db  $n_1 = 6$  dan  $n_2 = 60$  didapatkan F-tabel sebesar 2,76 pada taraf 5%. Jika F-hitung lebih kecil dari pada F-tabel 5% ( $1,28 < 2,76$ ) didapatkan kesimpulan bahwa tidak terdapat pengaruh interaksi antara faktor variasi

jumlah siklus termal dengan variasi penambahan Montmorillonite terhadap kekuatan impact komposit atau diterima  $H_0$  dan tolak  $H_1$ .





## BAB 5. PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

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

1. Penambahan montmorillonite meningkatkan kekuatan tarik dan kekuatan impact komposit matrik polyester dengan aditif partikel montmorillonite berpenguat serat bambu pada kadar 30%, 40% dan 50%. Dari tiga variasi kadar penambahan montmorillonite, pada kadar *montmorillonite* 40% dengan jumlah siklus sebanyak 25X di dapat nilai kekuatan tarik dan kekuatan impact tertinggi.
2. Secara umum, semakin banyak jumlah siklus termal yang dilakukan pada komposit maka kekuatan tarik dan kekuatan impact komposit menurun secara drastis mulai dari 25X siklus termal hingga terendah yaitu 75X siklus termal.
3. Kondisi morfologi komposit setelah dilakukan pengujian tarik dan pengujian impact semua mengalami kegagalan patah getas.

### 5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan dari penelitian ini adalah:

1. Perlu adanya penelitian lebih lanjut mengenai pengaruh siklus termal terhadap sifat mekanis yang berbeda seperti kekuatan bending dan kekuatan tekan.
2. Penelitian tentang komposit berbasis serat bambu perlu dikembangkan mengingat potensi pohon bambu yang melimpah di sekitar kita.

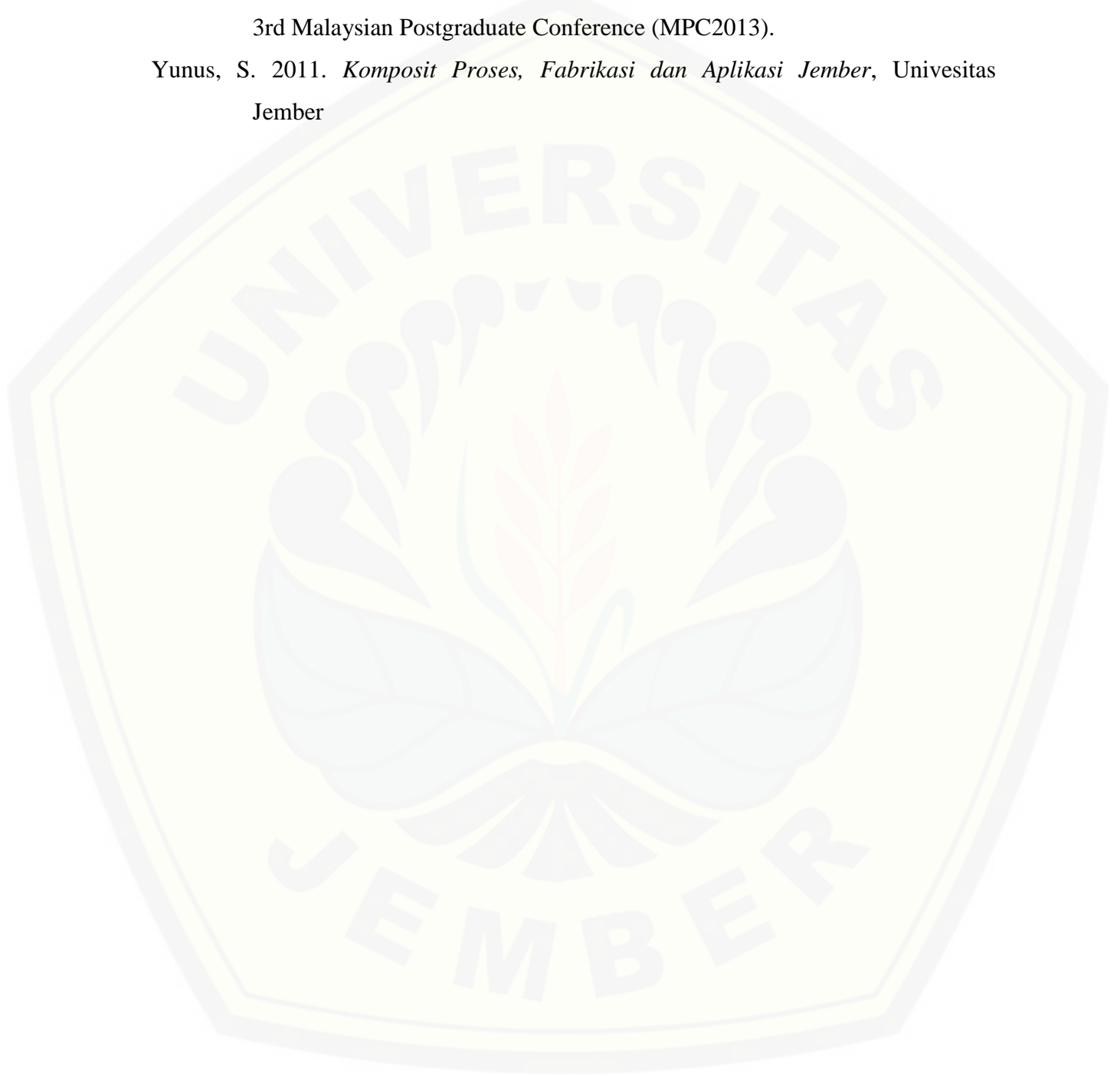
## DAFTAR PUSTAKA

- Berleany. D. R., 2011., *“Pengaruh Komposisi Montmorillonite pada Pembuatan Polipropilen-Nanokomposit terhadap Kekuatan Tarik dan Kekerasannya”* Teknik Kimia Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
- Bramantyo. A., 2008. *Pengaruh Konsentrasi Dan Arah Serat Rami*. Universitas Indonesia, Jakarta.
- Darwis .Z., 2010. *Kapasitas Geser Balok Bambu Laminasi Terhadap Variasi Perekat Labur Dan Kulit Luar Bambu*,Media Teknik Sipil.
- Diharjo. K., 2013 *“Pengaruh Kandungan Dan Ukuran Serbuk Genteng Sokka Terhadap Ketahanan Bakar Komposit Geopolimer”*, Jurusan teknik mesin, Universitas Sebelas Maret
- Febriyanto, H., 2011 *“Pengaruh Variasi Temperatur Dan Paduan Polypropylene Dengan Serbuk Arang Kayu Terhadap Kekuatan Impact Pada Proses Injection Moulding”*, Teknik Mesin, Universitas Jember
- Hariyanto, A. Diharjo, K., 2011. *Rekayasa Dan Manufaktur Bahan Komposit Sandwich Berpenguat Serat Rami Dengan Core Limbah Sekam Padi Untuk Panel Interior Otomotif Dan Rumah Hunian*, Universitas Muhammadiyah Surakarta, Surakarta
- Hung. P., L., Dora .K., Oleg. B.,Nguyen. T. X., 2011. New generation of geopolymer composite for fire resistance, InTeh.
- Husnil. Y. A., 2009. *Pengaruh Gelombang Mikro Serat Bambu*. Universitas Indonesia. Jakarta
- Irawan, A. P., Sukania, I. W., 2013. *Kekuatan Tekan Dan Flexural material Komposit Serat Bambu Epoksi*, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Tarumanagara, Tarumanegara.

- Issac, Z., 2012. *Composites Laminates Effect of Fibre Types Cold-pressed Kenaf and Fibreglass Hybrid*. *World of Academy Science 71* (Engineering and Science). 969-973.
- JEDEC STANDARD. 2000. Temperature Cycling JESD22-A104-B (Revision of JESD22-A104-A)
- Justus. (2011). *YUKALAC Unsaturated Polyester Resin*. Retrieved 15 maret, 2014
- Kadir. A., 2014 “*Pengaruh Pola Anyaman Terhadap Kekuatan Tarik Dan Bending Komposit Berpenguat Serat Bambu*” Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Halu Oleo
- Kusmono., 2010 “*Studi Sifat Mekanik Dan Morfologi Nanokomposit Berbasis Poliamid 6/Polipropilen/Clay*”, Jurusan Teknik Mesin dan Industri, Universitas Gajah Mada
- Morisco., 1999 “*Rekayasa Bambu*”, Nafiri Ofset, Yogyakarta
- Mouritz, A. P., dan A. G. Gibson. 2006. *Fire Properties of Polymer Composite Materials (Vol. 143)*
- Nasiruddin. 2014. *Analisis Termal-Mekanis Komposit Matrik Polyester Dengan Aditif Partikel Montmorillonite Berpenguat Serat Kenaf Anyam*, Univeritas Jember, Jember
- Oka, G. M., 2005. *Cara Penentuan Kelas Kuat Acuan Bambu Petung*. Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Tadulako, Palu.
- Onggo, H., W. Subowo, dan Sudirman. 2005. *Analisis Sifat Termal Komposit Polypropylene Kenaf*. Paper presented at the Prosiding Simposium Nasional Polimer V.
- Purwanto. D. A., Lizda. J., 2010. *Karakterisasi komposit berpenguat serat bambu dan serat Gelas sebagai alternatif bahan baku industry*, Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya
- Putradi. G. I. 2011. “*Kekuatan Impak Komposit Sandwich Berpenguat Serat Aren*” Teknik mesin, Universitas Sebelas Maret

- Ratni. K., 2002. “*Pembuatan Dan Karakterisasi Komposit Polimer Berpenguat Serat Alam*” FMIPA, Institut Pertanian Bogor
- Rochman. A., 2004. *Pemakaian Teknologi Pratekan pada Balok Kayu dengan Tendon dari Bambu*. Jurnal Penelitian Sains & Teknologi, Vol. 5, No. 1, pp. 150-165.
- Sentosa. A ., 2014. *Pengaruh Variasi Fraksi Volume Serat Terhadap Sifat Mekanik Pada Komposit Sandwich Polyester Berpenguat Serat Kenaf Dengan Core Styrofoam*, Universitas Jember, Jember
- Setyawan. P. D., 2012 “*Pengaruh Orientasi Dan Fraksi Volume Serat Daun Nanas (Ananas Comosus) Terhadap Kekuatan Tarik Komposit Polyester Tak Jenuh (UP)*” Teknik Mesin, Universitas Mataram
- 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*”
- Standar Test Method For Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials, ASTM D3039
- Standard Test Method for Determining the Charpy Impact Resistance of Notched Specimens of Plastics, ASTM D6110
- Sutrisno., 2013. *Kajian sifat mekanik komposit geomaterial Limbah Serbuk Genteng Dan Serat Karbon*, Teknik Mesin Universitas Merdeka Madiun, Madiun
- Taufik. M. I., 2013 “*Perilaku Creep Pada Komposit Polyester dengan Serat Kulit Bambu Apus (gigantochloa apus (j.a & j. h. schultes) kurz)*, Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Lampung
- Taurista, dkk. 2006 “*Komposit Laminat Bambu Serat Woven Sebagai Bahan Alternatif Pengganti Fiber Glass Pada Kulit Kapal*”, Jurusan Teknik Material, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Widianto. M. Y. H., Pratapa. S., 2013. *Stabilitas Sifat Fisik dan Fasa Komposit Pasir Silika–MgO Akibat Siklus Termal*. Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya

- Yousif, Z., 2013. *Thermal Degradation Study of Kenaf Fibre-Epoxy Composites Using Thermo Gravimetric Analysis*. Paper presented at the 3rd Malaysian Postgraduate Conference (MPC2013).
- Yunus, S. 2011. *Komposit Proses, Fabrikasi dan Aplikasi Jember*, Univesitas Jember





## LAMPIRAN

## A. Lampiran Perhitungan data

## A.1 Perhitungan Kekuatan Tarik Komposit

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

Keterangan:  $\sigma$  = Kekuatan Tarik (N/mm<sup>2</sup>)

F = Beban (N)

A = Luas Penampang (mm<sup>2</sup>)

## 1. Kekuatan komposit dengan MMT 0%, dengan jumlah siklus 25X

$$\text{Replikasi 1. } \sigma = \frac{F}{A} = \frac{2000.58}{125} = 16 \text{ N/mm}^2 = 16 \text{ Mpa}$$

$$\text{Replikasi 2. } \sigma = \frac{F}{A} = \frac{1106.44}{125} = 8.85 \text{ N/mm}^2 = 8.85 \text{ Mpa}$$

$$\text{Replikasi 3. } \sigma = \frac{F}{A} = \frac{1294}{125} = 10.36 \text{ N/mm}^2 = 10.36 \text{ Mpa}$$

$$\text{Replikasi 4. } \sigma = \frac{F}{A} = \frac{2424.12}{125} = 19.39 \text{ N/mm}^2 = 19.39 \text{ Mpa}$$

$$\text{Replikasi 5. } \sigma = \frac{F}{A} = \frac{1059.38}{125} = 8.48 \text{ N/mm}^2 = 8.48 \text{ Mpa}$$

$$\text{Replikasi 6. } \sigma = \frac{F}{A} = \frac{2471.18}{125} = 19.77 \text{ N/mm}^2 = 19.77 \text{ Mpa}$$

## 2. Kekuatan tarik komposit dengan MMT 30%, dengan jumlah siklus 25X

$$\text{Replikasi 1. } \sigma = \frac{F}{A} = \frac{3130.02}{125} = 25.04 \text{ N/mm}^2 = 25.04 \text{ Mpa}$$

$$\text{Replikasi 2. } \sigma = \frac{F}{A} = \frac{3035.90}{125} = 24.29 \text{ N/mm}^2 = 24.29 \text{ Mpa}$$

$$\text{Replikasi 3. } \sigma = \frac{F}{A} = \frac{3647.68}{125} = 29.18 \text{ N/mm}^2 = 29.18 \text{ Mpa}$$

$$\text{Replikasi 4. } \sigma = \frac{F}{A} = \frac{1477.04}{125} = 12.62 \text{ N/mm}^2 = 12.62 \text{ Mpa}$$

$$\text{Replikasi 5. } \sigma = \frac{F}{A} = \frac{2141.76}{125} = 17.13 \text{ N/mm}^2 = 17.13 \text{ Mpa}$$

$$\text{Replikasi 6. } \sigma = \frac{F}{A} = \frac{2282.94}{125} = 18.26 \text{ N/mm}^2 = 18.26 \text{ Mpa}$$

## 3. Kekuatan tarik komposit dengan MMT 40%, dengan jumlah siklus 25X

$$\text{Replikasi 1. } \sigma = \frac{F}{A} = \frac{2988.84}{125} = 23.91 \text{ N/mm}^2 = 23.91 \text{ Mpa}$$

$$\text{Replikasi 2. } \sigma = \frac{F}{A} = \frac{2988.84}{125} = 23.91 \text{ N/mm}^2 = 23.91 \text{ Mpa}$$

$$\text{Replikasi 3. } \sigma = \frac{F}{A} = \frac{1577.04}{125} = 12.62 \text{ N/mm}^2 = 12.62 \text{ Mpa}$$

$$\text{Replikasi 4. } \sigma = \frac{F}{A} = \frac{3930.04}{125} = 31.44 \text{ N/mm}^2 = 31.44 \text{ Mpa}$$

$$\text{Replikasi 5. } \sigma = \frac{F}{A} = \frac{3788.86}{125} = 30.31 \text{ N/mm}^2 = 30.31 \text{ Mpa}$$

$$\text{Replikasi 6. } \sigma = \frac{F}{A} = \frac{4118.28}{125} = 32.95 \text{ N/mm}^2 = 32.95 \text{ Mpa}$$

## 4. Kekuatan tarik Komposit dengan MMT 50%, dengan jumlah siklus 25X

$$\text{Replikasi 1. } \sigma = \frac{F}{A} = \frac{2377.06}{125} = 19.02 \text{ N/mm}^2 = 19.02 \text{ Mpa}$$

$$\text{Replikasi 2. } \sigma = \frac{F}{A} = \frac{2282.94}{125} = 18.26 \text{ N/mm}^2 = 18.26 \text{ Mpa}$$

$$\text{Replikasi 3. } \sigma = \frac{F}{A} = \frac{1435.86}{125} = 11.49 \text{ N/mm}^2 = 11.49 \text{ Mpa}$$

$$\text{Replikasi 4. } \sigma = \frac{F}{A} = \frac{1106.44}{125} = 8.85 \text{ N/mm}^2 = 8.85 \text{ Mpa}$$

$$\text{Replikasi 5. } \sigma = \frac{F}{A} = \frac{1059.38}{125} = 8.48 \text{ N/mm}^2 = 8.48 \text{ Mpa}$$

$$\text{Replikasi 6. } \sigma = \frac{F}{A} = \frac{1341.74}{125} = 10.73 \text{ N/mm}^2 = 10.73 \text{ Mpa}$$

## 5. Kekuatan tarik Komposit dengan MMT 0%, dengan Jumlah siklus 50X

$$\text{Replikasi 1. } \sigma = \frac{F}{A} = \frac{1294.68}{125} = 10.36 \text{ N/mm}^2 = 10.36 \text{ Mpa}$$

$$\text{Replikasi 2. } \sigma = \frac{F}{A} = \frac{1247.62}{125} = 9.98 \text{ N/mm}^2 = 9.98 \text{ Mpa}$$

$$\text{Replikasi 3. } \sigma = \frac{F}{A} = \frac{1388.80}{125} = 11.11 \text{ N/mm}^2 = 11.11 \text{ Mpa}$$

$$\text{Replikasi 4. } \sigma = \frac{F}{A} = \frac{1012.32}{125} = 8.10 \text{ N/mm}^2 = 8.10 \text{ Mpa}$$

$$\text{Replikasi 5. } \sigma = \frac{F}{A} = \frac{1200.56}{125} = 9.60 \text{ N/mm}^2 = 9.60 \text{ Mpa}$$

$$\text{Replikasi 6. } \sigma = \frac{F}{A} = \frac{1200.56}{125} = 9.60 \text{ N/mm}^2 = 9.60 \text{ Mpa}$$

## 6. Kekuatan tarik komposit dengan MMT 30%, dengan jumlah siklus 50X

$$\text{Replikasi 1. } \sigma = \frac{F}{A} = \frac{2282.94}{125} = 18.26 \text{ N/mm}^2 = 18.26 \text{ Mpa}$$

$$\text{Replikasi 2. } \sigma = \frac{F}{A} = \frac{1482.92}{125} = 11.86 \text{ N/mm}^2 = 11.86 \text{ Mpa}$$

$$\text{Replikasi 3. } \sigma = \frac{F}{A} = \frac{2407.64}{125} = 16.38 \text{ N/mm}^2 = 16.38 \text{ Mpa}$$

$$\text{Replikasi 4. } \sigma = \frac{F}{A} = \frac{1106.44}{125} = 8.85 \text{ N/mm}^2 = 8.85 \text{ Mpa}$$

$$\text{Replikasi 5. } \sigma = \frac{F}{A} = \frac{1529.98}{125} = 12.24 \text{ N/mm}^2 = 12.24 \text{ Mpa}$$

$$\text{Replikasi 6. } \sigma = \frac{F}{A} = \frac{1059.38}{125} = 8.48 \text{ N/mm}^2 = 8.48 \text{ Mpa}$$

## 7. Kekuatan tarik komposit dengan MMT 40%, dengan jumlah siklus 50X

$$\text{Replikasi 1. } \sigma = \frac{F}{A} = \frac{1482.92}{125} = 11.86 \text{ N/mm}^2 = 11.86 \text{ Mpa}$$

$$\text{Replikasi 2. } \sigma = \frac{F}{A} = \frac{1953.52}{125} = 15.63 \text{ N/mm}^2 = 15.63 \text{ Mpa}$$

$$\text{Replikasi 3. } \sigma = \frac{F}{A} = \frac{3224.14}{125} = 25.79 \text{ N/mm}^2 = 25.79 \text{ Mpa}$$

$$\text{Replikasi 4. } \sigma = \frac{F}{A} = \frac{2047.64}{125} = 16.38 \text{ N/mm}^2 = 16.38 \text{ Mpa}$$

$$\text{Replikasi 5. } \sigma = \frac{F}{A} = \frac{2141.76}{125} = 17.13 \text{ N/mm}^2 = 17.13 \text{ Mpa}$$

$$\text{Replikasi 6. } \sigma = \frac{F}{A} = \frac{2188.82}{125} = 17.51 \text{ N/mm}^2 = 17.51 \text{ Mpa}$$

## 8. Kekuatan tarik komposit dengan MMT 50%, dengan jumlah siklus 50X

$$\text{Replikasi 1. } \sigma = \frac{F}{A} = \frac{1388.80}{125} = 11.11 \text{ N/mm}^2 = 11.11 \text{ Mpa}$$

$$\text{Replikasi 2. } \sigma = \frac{F}{A} = \frac{1200.56}{125} = 9.60 \text{ N/mm}^2 = 9.60 \text{ Mpa}$$

$$\text{Replikasi 3. } \sigma = \frac{F}{A} = \frac{1718.22}{125} = 13.75 \text{ N/mm}^2 = 13.75 \text{ Mpa}$$

$$\text{Replikasi 4. } \sigma = \frac{F}{A} = \frac{1106.44}{125} = 8.85 \text{ N/mm}^2 = 8.85 \text{ Mpa}$$

$$\text{Replikasi 5. } \sigma = \frac{F}{A} = \frac{1388.80}{125} = 11.11 \text{ N/mm}^2 = 11.11 \text{ Mpa}$$

$$\text{Replikasi 6. } \sigma = \frac{F}{A} = \frac{1059.38}{125} = 8.48 \text{ N/mm}^2 = 8.48 \text{ Mpa}$$

## 9. Kekuatan tarik komposit dengan MMT 0%, dengan jumlah siklus 75X

$$\begin{aligned} \text{Replikasi 1. } \sigma &= \frac{F}{A} = \frac{682.90}{125} = 5.46 \text{ N/mm}^2 = 5.46 \text{ Mpa} \\ \text{Replikasi 2. } \sigma &= \frac{F}{A} = \frac{871.14}{125} = 6.97 \text{ N/mm}^2 = 6.97 \text{ Mpa} \\ \text{Replikasi 3. } \sigma &= \frac{F}{A} = \frac{541.72}{125} = 4.33 \text{ N/mm}^2 = 4.33 \text{ Mpa} \\ \text{Replikasi 4. } \sigma &= \frac{F}{A} = \frac{871.14}{125} = 6.97 \text{ N/mm}^2 = 6.97 \text{ Mpa} \\ \text{Replikasi 5. } \sigma &= \frac{F}{A} = \frac{494.66}{125} = 3.96 \text{ N/mm}^2 = 3.96 \text{ Mpa} \\ \text{Replikasi 6. } \sigma &= \frac{F}{A} = \frac{588.78}{125} = 4.71 \text{ N/mm}^2 = 4.71 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

## 10. Kekuatan tarik komposit dengan MMT 30%, dengan jumlah siklus 75X

$$\begin{aligned} \text{Replikasi 1. } \sigma &= \frac{F}{A} = \frac{541.72}{125} = 4.33 \text{ N/mm}^2 = 4.33 \text{ Mpa} \\ \text{Replikasi 2. } \sigma &= \frac{F}{A} = \frac{635.84}{125} = 5.09 \text{ N/mm}^2 = 5.09 \text{ Mpa} \\ \text{Replikasi 3. } \sigma &= \frac{F}{A} = \frac{729.96}{125} = 5.84 \text{ N/mm}^2 = 5.84 \text{ Mpa} \\ \text{Replikasi 4. } \sigma &= \frac{F}{A} = \frac{777.02}{125} = 6.22 \text{ N/mm}^2 = 6.22 \text{ Mpa} \\ \text{Replikasi 5. } \sigma &= \frac{F}{A} = \frac{635.84}{125} = 5.09 \text{ N/mm}^2 = 5.09 \text{ Mpa} \\ \text{Replikasi 6. } \sigma &= \frac{F}{A} = \frac{1012.32}{125} = 8.10 \text{ N/mm}^2 = 8.10 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

## 11. Kekuatan tarik komposit dengan MMT 40%, dengan jumlah siklus 75X

$$\begin{aligned} \text{Replikasi 1. } \sigma &= \frac{F}{A} = \frac{1341.74}{125} = 10.73 \text{ N/mm}^2 = 10.73 \text{ Mpa} \\ \text{Replikasi 2. } \sigma &= \frac{F}{A} = \frac{918.20}{125} = 7.35 \text{ N/mm}^2 = 7.35 \text{ Mpa} \\ \text{Replikasi 3. } \sigma &= \frac{F}{A} = \frac{1059.38}{125} = 8.48 \text{ N/mm}^2 = 8.48 \text{ Mpa} \\ \text{Replikasi 4. } \sigma &= \frac{F}{A} = \frac{1671.16}{125} = 13.37 \text{ N/mm}^2 = 13.37 \text{ Mpa} \\ \text{Replikasi 5. } \sigma &= \frac{F}{A} = \frac{1106.44}{125} = 8.85 \text{ N/mm}^2 = 8.85 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

$$\text{Replikasi 6. } \sigma = \frac{F}{A} = \frac{1388.80}{125} = 11.11 \text{ N/mm}^2 = 11.11 \text{ Mpa}$$

12. Kekuatan tarik komposit dengan MMT 50%, dengan jumlah siklus 75X

$$\text{Replikasi 1. } \sigma = \frac{F}{A} = \frac{1153.50}{125} = 9.23 \text{ N/mm}^2 = 9.23 \text{ Mpa}$$

$$\text{Replikasi 2. } \sigma = \frac{F}{A} = \frac{1012.32}{125} = 8.10 \text{ N/mm}^2 = 8.10 \text{ Mpa}$$

$$\text{Replikasi 3. } \sigma = \frac{F}{A} = \frac{1200.56}{125} = 9.60 \text{ N/mm}^2 = 9.60 \text{ Mpa}$$

$$\text{Replikasi 4. } \sigma = \frac{F}{A} = \frac{1106.44}{125} = 8.85 \text{ N/mm}^2 = 8.85 \text{ Mpa}$$

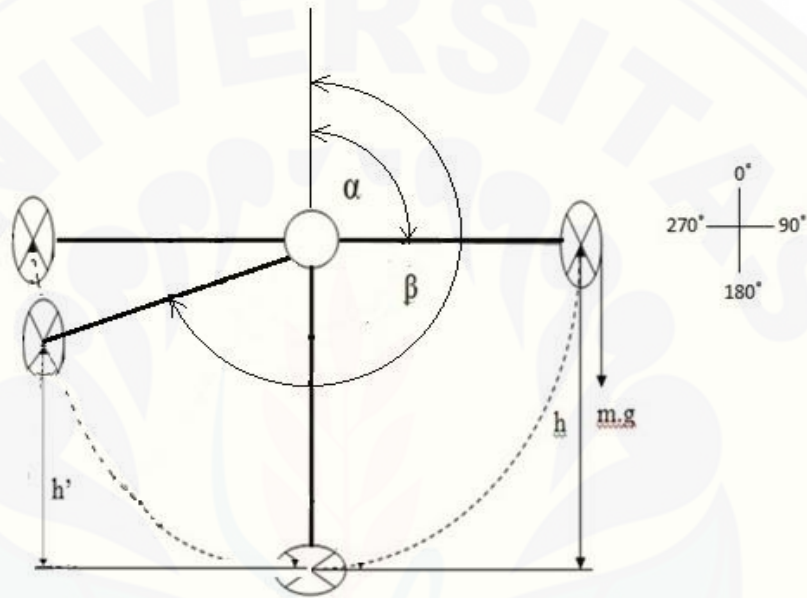
$$\text{Replikasi 5. } \sigma = \frac{F}{A} = \frac{918.20}{125} = 7.35 \text{ N/mm}^2 = 7.35 \text{ Mpa}$$

$$\text{Replikasi 6. } \sigma = \frac{F}{A} = \frac{918.20}{125} = 7.35 \text{ N/mm}^2 = 7.35 \text{ Mpa}$$



A.2 Hasil pengujian Impak

Perhitungan kekuatan *impact* atau Harga *Impact* (HI) diperoleh dengan persamaan sebagai berikut:



Gambar 4.3 sudut awal ( $\alpha$ ) dan sudut akhir ( $\beta$ )

$$\begin{aligned}
 E_{\text{serap}} &= \text{energi awal } (E_p) - \text{energi akhir } (E_m) - \text{Energi Rugi} \\
 &= (m.g.h - m.g.h') - (m.g.h - m.g.h') \\
 &= m.g.(R-R\cos \alpha) - m.g.(R- R.\cos \beta) - m.g.(R-R\cos \alpha') - m.g.(R- \\
 &\quad R.\cos \beta') \\
 E_{\text{srp}} &= mg.R.(\cos \beta - \cos \alpha) - mg.R.(\cos \beta' - \cos \alpha') \dots\dots\dots(2.2)
 \end{aligned}$$

Dimana :  $E_p$  = Energi Potensial

$E_m$  = Energi Mekanik

Energi Rugi = 21,95

massa bandul (m) = 20,9 kg

Percepatan gravitasi (g) = 9,81 m/s<sup>2</sup>

$$\text{Panjang lengan bandul (R)} = 0,83 \text{ m}$$

$$\text{Sudut posisi awal pendulum } (\alpha) = 135^{\circ}$$

$$\text{Lebar} = 10,16 \text{ mm}$$

$$\text{Tebal} = 5 \text{ mm}$$

$$\text{Luas penampang} = \text{Lebar} \times \text{Tinggi}$$

$$= 10.16 \times 5 = 50.8 \text{ mm}^2$$

1. Kekuatan impak komposit dengan MMT 0%, dengan jumlah siklus 25X

$$E_{\text{srp}} = 20,9 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2 \times 0,83 \text{ m} \times (\cos 209^{\circ} - \cos 135^{\circ}) - 21,95$$

$$= 20,9 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2 \times 0,83 \text{ m} \times (0,875 - 0,7) - 21,95$$

$$= 29,78 - 21,95 \text{ joule}$$

$$= 7,83 \text{ joule}$$

$$HI = E_{\text{srp}} / A$$

$$= 7,83/50.8 = 0,15 \text{ J/mm}^2$$

2. Kekuatan impak komposit dengan MMT 30%, dengan jumlah siklus 25X

$$E_{\text{srp}} = 20,9 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2 \times 0,83 \text{ m} \times (\cos 208^{\circ} - \cos 135^{\circ}) - 21,95$$

$$= 20,9 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2 \times 0,83 \text{ m} \times (0,883 - 0,7) - 21,95$$

$$= 31,14 - 21,95 \text{ joule}$$

$$= 9,19 \text{ joule}$$

$$HI = E_{\text{srp}} / A$$

$$= 9,19/50.8 = 0,18 \text{ J/mm}^2$$

3. Kekuatan impak komposit dengan MMT 40%, dengan jumlah siklus 25X

$$E_{\text{srp}} = 20,9 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2 \times 0,83 \text{ m} \times (\cos 204^{\circ} - \cos 135^{\circ}) - 21,95$$

$$= 20,9 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2 \times 0,83 \text{ m} \times (0,914 - 0,7) - 21,95$$

$$= 36,42 - 21,95 \text{ joule}$$

$$= 14,47 \text{ joule}$$

$$HI = E_{\text{srp}} / A$$

$$= 14,47/50.8 = 0,28 \text{ J/mm}^2$$

4. Kekuatan impak komposit dengan MMT 50%, dengan jumlah siklus 25X

$$\begin{aligned} E_{\text{srp}} &= 20,9 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2 \times 0,83 \text{ m} \times (\cos 207^\circ - \cos 135^\circ) - 21,95 \\ &= 20,9 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2 \times 0,83 \text{ m} \times (0,891 - 0,7) - 21,95 \\ &= 32,5 - 21,95 \text{ joule} \\ &= 10,55 \text{ joule} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} HI &= E_{\text{srp}} / A \\ &= 10,55/50.8 = 0,21 \text{ J/mm}^2 \end{aligned}$$

5. Kekuatan impak komposit dengan MMT 0%, dengan jumlah siklus 50X

$$\begin{aligned} E_{\text{srp}} &= 20,9 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2 \times 0,83 \text{ m} \times (\cos 211^\circ - \cos 135^\circ) - 21,95 \\ &= 20,9 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2 \times 0,83 \text{ m} \times (0,857 - 0,7) - 21,95 \\ &= 26,72 - 21,95 \text{ joule} \\ &= 4,77 \text{ joule} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} HI &= E_{\text{srp}} / A \\ &= 4,77/50.8 = 0,09 \text{ J/mm}^2 \end{aligned}$$

6. Kekuatan impak komposit dengan MMT 30%, dengan jumlah siklus 50X

$$\begin{aligned} E_{\text{srp}} &= 20,9 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2 \times 0,83 \text{ m} \times (\cos 210^\circ - \cos 135^\circ) - 21,95 \\ &= 20,9 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2 \times 0,83 \text{ m} \times (0,866 - 0,7) - 21,95 \\ &= 28,25 - 21,95 \text{ joule} \\ &= 6,3 \text{ joule} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} HI &= E_{\text{srp}} / A \\ &= 6,3/50,8 = 0,12 \text{ J/mm}^2 \end{aligned}$$

7. Kekuatan impak komposit dengan MMT 40%, dengan jumlah siklus 50X

$$\begin{aligned} E_{\text{srp}} &= 20,9 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2 \times 0,83 \text{ m} \times (\cos 205^\circ - \cos 135^\circ) - 21,95 \\ &= 20,9 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2 \times 0,83 \text{ m} \times (0,906 - 0,7) - 21,95 \\ &= 35,06 - 21,95 \text{ joule} \\ &= 13,11 \text{ joule} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 HI &= E_{\text{srp}} / A \\
 &= 13,11/50.8 = 0,26 \text{ J/mm}^2
 \end{aligned}$$

8. Kekuatan impak komposit dengan MMT 50%, dengan jumlah siklus 50X

$$\begin{aligned}
 E_{\text{srp}} &= 20,9 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2 \times 0,83 \text{ m} \times (\cos 207^\circ - \cos 135^\circ) - 21,95 \\
 &= 20,9 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2 \times 0,83 \text{ m} \times (0,891 - 0,7) - 21,95 \\
 &= 32,5 - 21,95 \text{ joule} \\
 &= 10,55 \text{ joule}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 HI &= E_{\text{srp}} / A \\
 &= 10,55/50.8 = 0,21 \text{ J/mm}^2
 \end{aligned}$$

9. Kekuatan impak komposit dengan MMT 0%, dengan jumlah siklus 75X

$$\begin{aligned}
 E_{\text{srp}} &= 20,9 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2 \times 0,83 \text{ m} \times (\cos 212^\circ - \cos 135^\circ) - 21,95 \\
 &= 20,9 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2 \times 0,83 \text{ m} \times (0,848 - 0,7) - 21,95 \\
 &= 25,19 - 21,95 \text{ joule} \\
 &= 3,24 \text{ joule}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 HI &= E_{\text{srp}} / A \\
 &= 3,24/50.8 = 0,06 \text{ J/mm}^2
 \end{aligned}$$

10. Kekuatan impak komposit dengan MMT 30%, dengan jumlah siklus 75X

$$\begin{aligned}
 E_{\text{srp}} &= 20,9 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2 \times 0,83 \text{ m} \times (\cos 210^\circ - \cos 135^\circ) - 21,95 \\
 &= 20,9 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2 \times 0,83 \text{ m} \times (0,866 - 0,7) - 21,95 \\
 &= 28,25 - 21,95 \text{ joule} \\
 &= 6,3 \text{ joule}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 HI &= E_{\text{srp}} / A \\
 &= 6,3/50,8 = 0,12 \text{ J/mm}^2
 \end{aligned}$$

## 11. Kekuatan impak komposit dengan MMT 40%, dengan jumlah siklus 75X

$$\begin{aligned}E_{\text{srp}} &= 20,9 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2 \times 0,83 \text{ m} \times (\cos 208^\circ - \cos 135^\circ) - 21,95 \\&= 20,9 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2 \times 0,83 \text{ m} \times (0,883 - 0,7) - 21,95 \\&= 31,14 - 21,95 \text{ joule} \\&= 9,19 \text{ joule}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}HI &= E_{\text{srp}} / A \\&= 9,19 / 50,8 = 0,18 \text{ J/mm}^2\end{aligned}$$

## 12. Kekuatan impak komposit dengan MMT 50%, dengan jumlah siklus 75X

$$\begin{aligned}E_{\text{srp}} &= 20,9 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2 \times 0,83 \text{ m} \times (\cos 209^\circ - \cos 135^\circ) - 21,95 \\&= 20,9 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2 \times 0,83 \text{ m} \times (0,875 - 0,7) - 21,95 \\&= 29,78 - 21,95 \text{ joule} \\&= 7,83 \text{ joule}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}HI &= E_{\text{srp}} / A \\&= 7,83 / 50,8 = 0,15 \text{ J/mm}^2\end{aligned}$$



## B. Lampiran Perhitungan Statistik

## B.1. Hasil perhitungan statistik pengujian tarik

JUMLAH SIKLUS (A)	PENGULANGAN (R)	KADAR MONTMORILLONITE (B)				TOTAL
		0%	30%	40%	50%	
25X	1	16	25.04	23.91	19.02	83.97
	2	8.85	24.29	23.91	18.26	75.31
	3	10.36	29.18	12.62	11.49	63.65
	4	19.39	12.62	31.44	8.85	72.3
	5	8.48	17.13	30.31	8.48	64.4
	6	19.77	18.26	32.95	10.73	81.71
	Sub total	82.85	126.52	155.14	76.83	<b>441.34</b>
50X	1	10.36	18.26	11.86	11.11	51.59
	2	9.98	11.86	15.63	9.6	47.07
	3	11.11	16.38	25.79	13.75	67.03
	4	8.1	8.85	16.38	8.85	42.18
	5	9.6	12.24	17.13	11.11	50.08
	6	9.6	8.48	17.51	8.48	44.07
	Sub total	58.75	76.07	104.3	139.73	<b>302.02</b>
75X	1	5.46	4.33	10.73	9.23	29.75
	2	6.97	5.09	7.35	8.1	27.51
	3	4.33	5.84	8.48	9.6	28.25
	4	6.97	6.22	13.37	8.85	35.41
	5	3.96	5.09	8.85	7.35	25.25
	6	4.71	8.1	11.11	7.35	31.27
	Sub total	32.4	34.67	59.89	50.48	<b>177.44</b>
		174	237.26	319.33	267.05	920.8

### Analisis Variasi

Faktor A terdiri atas 3 faktor, demikian Faktor B terdiri atas 4 faktor, sehingga analisis varians Faktorial dengan rancangan dasar RAL Pola Faktorial (3 x 4). Persamaan matematis sebagai berikut:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

i = 1, 2, dan 3  
j = 1, 2, dan 3  
k = 1, 2, 3, ....5

#### Keterangan:

**Y<sub>ijk</sub>** = Nilai TBA yang ke-k yang me

mperoleh kombinasi perlakuan siklus termal ke-i dan penambahan Montmorillonite ke-j

**μ** = Rata-rata nilai TBA sesungguhnya

**α<sub>i</sub>** = pengaruh perlakuan level perlakuan siklus termal ke-i

**β<sub>j</sub>** = Pengaruh penambahan Montmorillonite ke-j

**(αβ)<sub>ij</sub>** = interaksi perlakuan ke-i dan ke-j

**ε<sub>ijk</sub>** = Pengaruh galat perlakuan ke-i dan ke-j pada satuan percobaan ke-k

**Derajat Bebas (db)**

$$\text{Derajat bebas total (dbt)} = (a \times b \times r) - 1 = (3 \times 4 \times 6) - 1 = 45 - 1 = 71$$

$$\text{Derajat bebas perlakuan (dbp)} = (ab-1) = (3 \times 4 - 1) = 11$$

$$\text{Derajat bebas faktor A (dba)} = a - 1 = 3 - 1 = 2$$

$$\text{Derajat bebas faktor B (dbb)} = b - 1 = 4 - 1 = 3$$

$$\text{Derajat bebas interaksi faktor AB (dba*b)} = (a-1)(b-1) = (3-1) \times (4-1) = 6$$

$$\text{Derajat bebas galat (dbg)} = \text{dbt} - \text{dbp} = 71 - 11 = 60$$

**Faktor Koreksi (FK)**

$$\begin{aligned} \text{FK} &= \frac{(Y_{ijk})^2}{a \times b \times r} \\ &= \frac{(920,8)^2}{3 \times 4 \times 6} \\ &= \frac{847872.64}{72} \\ &= 11776.00889 \end{aligned}$$

**Jumlah Kuadrat (JK)**

Jumlah Kuadrat Total (JKT)

$$\begin{aligned} \text{JKT} &= \sum (Y_{ijk})^2 - \text{FK} \\ &= (16^2 + 25.04^2 + 23.91^2 + \dots + 31.27^2) - 11776.00889 \\ &= 15186.02 - 11776.00889 \\ &= 3410.0111 \end{aligned}$$

Jumlah Kuadrat Perlakuan (JKP)

$$\text{JKP} = \sum (Y_{ijk})^2 - \text{FK}$$

$$\begin{aligned}
 R &= \frac{(82.85^2 + 126.52^2 + 155.14^2 + \dots + 50.48^2)}{6} - 11776.00889 \\
 &= \frac{(6864.123 + 16007.31 + 24068.42 + \dots + 2548.23)}{6} - 11776.00889 \\
 &= \frac{85302.62}{6} - 11776.00889 \\
 &= 14217.103 - 11776.00889 \\
 &= 2441.09
 \end{aligned}$$

Jumlah Kuadrat Faktor A (JKA)

$$\begin{aligned}
 JKA &= \frac{\sum (\sum y_i)^2}{Rb} - FK \\
 &= \frac{(441.34^2 + 302.02^2 + 177.44^2)}{6 \times 4} - 11776.00889 \\
 &= \frac{(194781 + 91216.08 + 31484.95)}{24} - 11776.00889 \\
 &= \frac{317482}{24} - 11776.00889 \\
 &= 13228.4 - 11776.00889 \\
 &= 1452.408
 \end{aligned}$$

Jumlah Kuadrat Faktor B (JKB)

$$\begin{aligned}
 JKB &= \frac{\sum (\sum y_j)^2}{Ra} - FK \\
 &= \frac{(174^2 + 237.26^2 + 319.33^2 + 267.05^2)}{6 \times 3} - 11776.00889 \\
 &= \frac{(30276 + 56292.31 + 101971.6 + 36179.84)}{18} - 11776.00889 \\
 &= \frac{224719.8}{18} - 11776.00889
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &= 12484.43 - 11776.00889 \\ &= 708.424 \end{aligned}$$

Jumlah Kuadrat Interaksi A\*B (JKA\*B)

$$\begin{aligned} \text{JKA*B} &= \text{JKP} - \text{JKA} - \text{JKB} \\ &= 2441.09 - 1452.408 - 708.424 \\ &= 280.26 \end{aligned}$$

Jumlah Kuadrat Galat (JKG)

$$\begin{aligned} \text{JKG} &= \text{JKT} - \text{JKP} \\ &= 3410.0111 - 2441.09 \\ &= 968.92 \end{aligned}$$

**Kuadrat Tengah (KT)**

Kuadrat Tengah Perlakuan (KTP)

$$\begin{aligned} \text{KTP} &= \text{JKP}/\text{dbp} \\ &= 2441.09/11 \\ &= 221.91 \end{aligned}$$

Kuadrat Tengah Faktor A (KTA)

$$\begin{aligned} \text{KTA} &= \text{JKA}/\text{dba} \\ &= 1452.408/2 \\ &= 726.204 \end{aligned}$$

Kuadrat Tengah Faktor B (KTB)

$$\begin{aligned} \text{KTB} &= \text{JKB}/\text{dbb} \\ &= 708.424/3 \\ &= 236.14 \end{aligned}$$

Kuadrat Tengah Interaksi Faktor AB (KTA\*B)

$$\begin{aligned} \text{KTA*B} &= \text{JKA*B}/\text{dba*b} \\ &= 280.25/6 \\ &= 46.7 \end{aligned}$$



Kuadrat Tengah Galat (KTG)

$$\begin{aligned} \text{KTG} &= \text{JKG/dbg} \\ &= 968.92/60 \\ &= 16.15 \end{aligned}$$

**Frekuensi Hitung (F-hit)**

Frekuensi Hitung (F-hit)

$$\begin{aligned} \text{F-hit P} &= \text{KTP/KTG} = 221.91/16.15 = 13.74 \\ \text{F- hit A} &= \text{KTA/KTG} = 726.204/16.15 = 44.97 \\ \text{F- hit B} &= \text{KTB/KTG} = 236.14/16.15 = 14.62 \\ \text{F-hit A*B} &= \text{KTA*B/KTG} = 46.7/16.15 = 2.89 \end{aligned}$$

Sumber Keragaman	JK	db	KT	F hitung 5%	F tabel 5%	keterangan
P	2441.09	11	221.91	13.74	1.95	Signifikan
A	1452.408	2	726.204	44.97	3.15	Signifikan
B	708.424	3	236.14	14.26	2.76	Signifikan
A*B	280.26	6	46.7	2.89	2.25	Signifikan
G	968.92	60	16.15			
Total	3410.0111	71	Signifikan pada taraf 5% F hitung > F tabel			

## B.2. Hasil Perhitungan Statistik Pengujian Impak

JUMLAH SIKLUS (A)	PENGULANGAN (R)	KADAR MONTMORILLONITE (B)				TOTAL
		0%	30%	40%	50%	
25X	1	0.15	0.18	0.28	0.21	0.82
	2	0.12	0.01	0.28	0.21	0.62
	3	0.12	0.21	0.26	0.23	0.82
	4	0.12	0.18	0.26	0.21	0.77
	5	0.15	0.18	0.28	0.23	0.84
	6	0.12	0.21	0.28	0.21	0.82
	Sub total	0.78	0.97	1.64	1.3	4.69
50X	1	0.09	0.12	0.26	0.21	0.68
	2	0.12	0.12	0.26	0.21	0.71
	3	0.12	0.12	0.26	0.21	0.71
	4	0.09	0.15	0.26	0.18	0.68
	5	0.12	0.12	0.23	0.23	0.7
	6	0.12	0.12	0.23	0.21	0.68
	Sub total	0.66	0.75	1.5	1.25	4.16
75X	1	0.06	0.12	0.18	0.18	0.54
	2	0.06	0.12	0.15	0.18	0.51
	3	0.09	0.06	0.21	0.15	0.51
	4	0.09	0.12	0.21	0.12	0.54
	5	0.06	0.12	0.18	0.18	0.54
	6	0.06	0.12	0.18	0.21	0.57
	Sub total	0.42	0.66	1.11	1.02	3.21
		1.86	2.38	4.25	3.57	12.06

### Analisis Variasi

Faktor A terdiri atas 3 faktor, demikian Faktor B terdiri atas 4 faktor, sehingga analisis varians Faktorial dengan rancangan dasar RAL Pola Faktorial (3 x 4). Persamaan matematis sebagai berikut:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

$i = 1, 2, \text{ dan } 3$   
 $j = 1, 2, \text{ dan } 3$   
 $k = 1, 2, 3, \dots, 5$

#### Keterangan:

$Y_{ijk}$  = Nilai TBA yang ke-k yang me

mperoleh kombinasi perlakuan siklus termal ke-i dan penambahan Montmorillonite ke-j

$\mu$  = Rata-rata nilai TBA sesungguhnya

$\alpha_i$  = pengaruh perlakuan level perlakuan siklus termal ke-i

$\beta_j$  = Pengaruh penambahan Montmorillonite ke-j

$(\alpha\beta)_{ij}$  = interaksi perlakuan ke-i dan ke-j

$\varepsilon_{ijk}$  = Pengaruh galat perlakuan ke-i dan ke-j pada satuan percobaan ke-k

**Derajat Bebas (db)**

$$\text{Derajat bebas total (dbt)} = (a \times b \times r) - 1 = (3 \times 4 \times 6) - 1 = 45 - 1 = 71$$

$$\text{Derajat bebas perlakuan (dbp)} = (ab-1) = (3 \times 4 - 1) = 11$$

$$\text{Derajat bebas faktor A (dba)} = a - 1 = 3 - 1 = 2$$

$$\text{Derajat bebas faktor B (dbb)} = b - 1 = 4 - 1 = 3$$

$$\text{Derajat bebas interaksi faktor AB (dba*b)} = (a-1)(b-1) = (3-1) \times (4-1) = 6$$

$$\text{Derajat bebas galat (dbg)} = \text{dbt} - \text{dbp} = 71 - 11 = 60$$

**Faktor Koreksi (FK)**

$$\begin{aligned} \text{FK} &= \frac{(Y_{ijk})^2}{a \times b \times r} \\ &= \frac{(12,06)^2}{3 \times 4 \times 6} \\ &= \frac{145,4436}{72} \\ &= 2,02 \end{aligned}$$

**Jumlah Kuadrat (JK)**

Jumlah Kuadrat Total (JKT)

$$\begin{aligned} \text{JKT} &= \sum (Y_{ijk})^2 - \text{FK} \\ &= (0,15^2 + 0,18^2 + 0,28^2 + \dots + 0,21^2) - 2,02 \\ &= 2,3176 - 2,02 \\ &= 0,2976 \end{aligned}$$

Jumlah Kuadrat Perlakuan (JKP)

$$\begin{aligned}
 \text{JKP} &= \frac{\sum (Y_{ijk})^2}{R} - \text{FK} \\
 &= \frac{(0,78^2 + 0,97^2 + 1,64^2 + \dots + 1,02^2)}{6} - 2,02 \\
 &= \frac{(0,6084 + 0,9409 + 2,6896 + \dots + 1.0404)}{6} - 2,02 \\
 &= \frac{13,624}{6} - 2,02 \\
 &= 2,271 - 2,02 \\
 &= 0,251
 \end{aligned}$$

Jumlah Kuadrat Faktor A (JKA)

$$\begin{aligned}
 \text{JKA} &= \frac{\sum (\sum y_i)^2}{R_b} - \text{FK} \\
 &= \frac{(4,69^2 + 4,16^2 + 3,21^2)}{6 \times 4} - 2,02 \\
 &= \frac{(21,9961 + 17,3056 + 10,3041)}{24} - 2,02 \\
 &= \frac{49,6058}{24} - 2,02 \\
 &= 2,067 - 2,02 \\
 &= 0,047
 \end{aligned}$$

Jumlah Kuadrat Faktor B (JKB)

$$\text{JKB} = \frac{\sum (\sum y_j)^2}{R_a} - \text{FK}$$



$$\begin{aligned}
 &= \frac{(1,86^2 + 2,38^2 + 4,25^2 + 3,57^2)}{6 \times 3} - 2,02 \\
 &= \frac{(3,4596 + 5,6644 + 18,0625 + 12,7449) - 2,02}{18} \\
 &= \frac{39,9314 - 2,02}{18} \\
 &= 2,218 - 2,02 \\
 &= 0,198
 \end{aligned}$$

Jumlah Kuadrat Interaksi A\*B (JKA\*B)

$$\begin{aligned}
 \text{JKA*B} &= \text{JKP} - \text{JKA} - \text{JKB} \\
 &= 0,251 - 0,047 - 0,198 \\
 &= 0,006
 \end{aligned}$$

Jumlah Kuadrat Galat (JKG)

$$\begin{aligned}
 \text{JKG} &= \text{JKT} - \text{JKP} \\
 &= 0,2976 - 0,251 \\
 &= 0,0466
 \end{aligned}$$

**Kuadrat Tengah (KT)**

Kuadrat Tengah Perlakuan (KTP)

$$\begin{aligned}
 \text{KTP} &= \text{JKP}/\text{dbp} \\
 &= 0,251/11 \\
 &= 0,023
 \end{aligned}$$

Kuadrat Tengah Faktor A (KTA)

$$\begin{aligned}
 \text{KTA} &= \text{JKA}/\text{dba} \\
 &= 0,047/2 \\
 &= 0,0235
 \end{aligned}$$

Kuadrat Tengah Faktor B (KTB)

$$\text{KTB} = \text{JKB}/\text{dbb}$$

$$= 0,198/3$$

$$= 0,066$$

Kuadrat Tengah Interaksi Faktor AB (KTA\*B)

$$KTA*B = JKA*B/dba*b$$

$$= 0.06/ 6$$

$$= 0,001$$

Kuadrat Tengah Galat (KTG)

$$KTG = JKG/dbg$$

$$= 0.0466/60$$

$$= 0.00078$$

**Frekuensi Hitung (F-hit)**

Frekuensi Hitung (F-hit)

$$F\text{-hit P} = KTP/KTG = 0,023/0.00078 = 29.487$$

$$F\text{-hit A} = KTA/KTG = 0,0235/0.00078 = 30,128$$

$$F\text{-hit B} = KTB/KTG = 0,066/0.00078 = 84.62$$

$$F\text{-hit A*B} = KTA*B/KTG = 0,001/0.00078 = 1.28$$

Sumber Keragaman	JK	db	KT	F hitung 5%	F tabel 5%	keterangan
P	0,251	11	0,023	29.487	1.95	Signifikan
A	0,047	2	0,0235	30.128	3.15	Signifikan
B	0,198	3	0,066	84.62	2.76	Signifikan
A*B	0,006	6	0,001	1.28	2.25	Tidak signifikan
G	0,0466	60	0.00078			
Total	0,2976	71	Signifikan pada taraf 5% F hitung > F tabel			

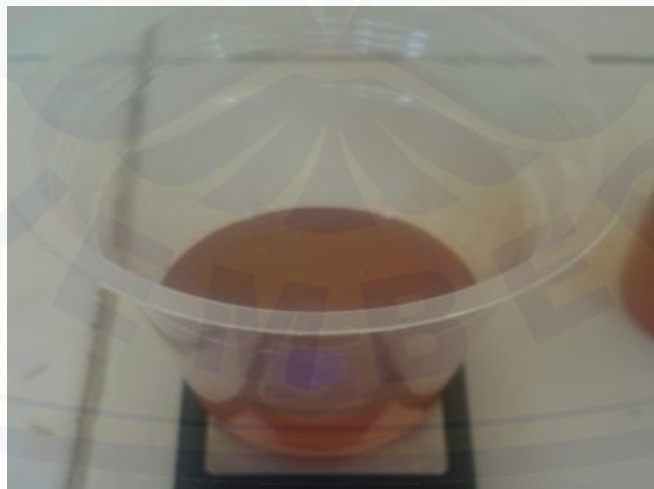
C. Lampiran Dokumentasi



Gambar Serat Bambu Petung



Gambar Genteng Sokka Kebumen (Sebelum di Tumbuk)



Gambar Resin Polyester Yukalac 157 BQTN



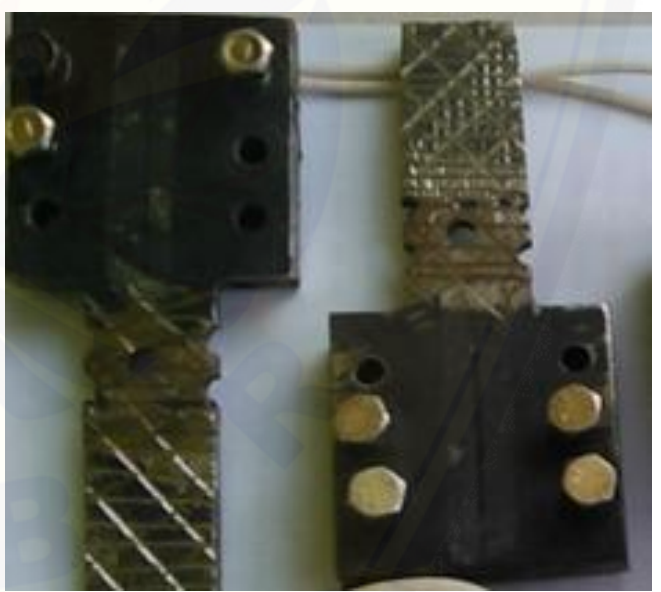
Gambar Serbuk Montmorillonite



Gambar ayakan Mesh



Gambar Timbangan Digital



Gambar Pencekam Uji Tarik





Gambar Lumpang Penumbuk Montmorillonite



Gambar Pembuatan Komposit