



**PENGARUH JUMLAH LAMINA TERHADAP SIFAT MEKANIS – SIKLUS
TERMAL KOMPOSIT POLYESTER SERAT KENAF ANYAM
DENGAN ADITIF MONTMORILLONITE**

SKRIPSI

Oleh :
Arief Hidayatullah
111910101002

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

PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan untuk:

1. Bapak Suwarman dan Ibu Jurani S. tersayang yang senantiasa memberikan semangat, kasih sayang, dan pengorbanan yang tidak kenal lelah hingga saat ini, serta doa yang selalu beliau haturkan dengan penuh keikhlasan hati;
2. Marti Yulianti S.Pd. dan Abdul Karim H.M.L. S. Pd.I. yang selalu mendukung dan memberi semangat, motivasi, pelajaran berharga lainnya, serta doa-doanya yang selalu terucap untuk keluarga;
3. Calon istriku Ummu Salamah S.Pd. yang selalu memberiku semangat, motivasi, doa, menemani dan membantu dalam menyelesaikan skripsi ini.
4. Semua dosen Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember yang senantiasa menularkan ilmunya, semoga menjadi ilmu yang bermanfaat dan barokah dikemudian hari. Dr. Nasrul Ilminnafik, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Utama, Bapak Santoso Mulyadi, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Anggota yang selalu memberikan saran dan arahan yang sangat membantu dalam proses penyelesaian skripsi ini. Bapak Dr. Robertoes Koekoeh K.W., S.T., M. Eng. selaku Dosen Penguji Utama dan Bapak M. Fahrur Rozy Hantihu, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji Anggota yang telah banyak memberi saran dan berbagai pertimbangan menuju ke arah yang benar dalam penyelesaian skripsi ini.
5. “DULUR SAK LAWASE” BEDEBA TM 11 UJ yang senantiasa memberikan motivasi, arahan serta dukungan selama ini. Semoga kalian sukses selalu dan diberi lindungan Allah SWT.
6. Serta civitas akademik baik dilingkungan Universitas Jember maupun seluruh instansi pendidikan, perusahaan dan lembaga terkait.

MOTTO

“Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan”
(Terjemahan Surat Alam Nasyrah Ayat 6)^{*}

“Tidak perlu menjadi orang yang sempurna, cukup lebih berarti dari siapapun”

Fastabiqul Khoiroot
“Maka berlomba-lombalah (dalam membuat) kebaikan”
(Terjemahan Surat Al-Baqarah ayat 148)^{*}

“Semua penulis akan meninggal, hanya karyanya yang akan abadi sepanjang masa.
Maka tulislah sesuatu yang akan membahagiakan dirimu di akhirat nanti”
(Ali bin Abi Thalib)

^{*}) Departemen Agama Republik Indonesia. 1998. Al-Qur'an dan Terjemahannya. Semarang: PT Kumudasmoro Grafindo

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Arief Hidayatullah

NIM : 111910101002

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “PENGARUH JUMLAH LAMINA TERHADAP SIFAT MEKANIS SIKLUS TERMAL KOMPOSIT POLYESTER SERAT KENAF DENGAN ADITIF MONTMORILLONITE” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi mana pun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

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

Jember, 2015

Yang menyatakan,

(Arief Hidayatullah)

NIM. 111910101002

SKRIPSI

**PPENGARUH JUMLAH LAMINA TERHADAP SIFAT
MEKANIS-SIKLUS TERMAL KOMPOSIT POLYESTER SERAT
KENAF ANYAM DENGAN ADITIF MONTMORILLONITE**

Oleh

Arief Hidayatullah
NIM 111910101002

Pembimbing:

Dosen Pembimbing Utama : Dr. Nasrul Ilminnafik, S.T., M.T.

Dosen Pembimbing Anggota : Santoso Mulyadi, S.T., M.T.

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Pengaruh Jumlah Lamina Terhadap Sifat Mekanis-Siklus Termal Komposit *Polyester* Serat Kenaf Anyam Dengan Aditif *Montmorillonite*” telah diuji dan disahkan pada:

hari, tanggal : , 2015
tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim Penguji

Ketua,

Dr. Nasrul Iminnafik, S.T., M.T.
NIP. 19711114 199903 1 002

Anggota I,

Dr. Robertoes Koekoeh K.W., S.T., M.Eng.
NIP. 19670708 199412 1 001

Sekretaris,

Santoso Mulyadi, S.T., M.T.
NIP. 19700228 199702 1 001

Anggota II,

M. Fahrur Rozy H., S.T., M.T.
NIP. 19800307 201212 1 003

Mengesahkan
Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember,

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

RINGKASAN

Pengaruh jumlah lamina terhadap sifat mekanis siklus termal komposit polyester serat kenaf anyam dengan aditif *montmorillonite*; Arief Hidayatullah, 111910101002; 2015; 101 halaman; Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Komposit adalah suatu jenis bahan baru hasil rekayasa yang terdiri dari dua campuran atau lebih unsur bahan baik mikro maupun makro, untuk mendapatkan ciri-ciri yang lebih baik yang tidak dapat diperoleh dari setiap komponennya. Komposit disusun oleh matrik atau resin dan *reinforcement* atau penguat atau disebut juga dengan *filler* (serat). Perkembangan penggunaan komposit berbahan serat alam dalam bidang industri otomotif saat ini mengalami perkembangan yang sangat pesat. Terkait dengan aplikasi sebagai *cap* mobil, komposit harus memiliki kekuatan yang baik, tahan terhadap berbagai paparan panas tinggi dan tahan terhadap paparan suhu rendah.

Dalam penelitian ini, dilakukan penambahan partikel *montmorillonite* sebanyak 40% guna memperbaiki sifat tahan termal dan tahan terhadap temperatur rendah dengan variasi perlakuan siklus termal 0x, 25x 50x dan 75x. Untuk memperbaiki kekuatan komposit dilakukan penambahan lamina dengan variasi 1 lapis, 2 lapis, dan 3 lapis. Penelitian dilakukan di Laboratorium Konversi Energi untuk perlakuan termal dan Laboratorium Uji dan Bahan Fakultas Teknik Universitas Jember untuk pengujian tarik dan pengujian impact.

Dari hasil penelitian diperoleh data hasil pengujian tarik tertinggi pada komposit 2 lapis dengan perlakuan siklus termal 0x sebesar 21,12 MPa. Sedangkan pengujian impact tertinggi sebesar 0,116 pada komposit 2 lapis dengan perlakuan siklus termal 0x. Untuk hasil pengujian tarik dan impact terendah berturut-turut sebesar 12,09 MPa dan 0,106 J/mm² diperoleh pada komposit 3 lapis 75x siklus termal.

SUMMARY

The effect amount of lamina to the mechanical properties thermal cycle of polyester composite kenaf woven fiber with additives montmorillonite; Arief Hidayatullah, 111910101002; 2015; 101 pages; Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, University of Jember.

Composite is a kind new material engineered of two a mixture or more elements of both micro and macro material, for find better than characteristics not be found from every components. Composites prepared by matrix or resin and reinforcement or reinforcing or also called filler or fiber. The development of the usege of natural fiber composites in the automotive industry is growing rapidly. Related for application as a cap car, the composite must have good strength, resistant in exposure of high temperatures and resistant in exposure of low temperatures.

In this research, the addition of monmorillonite particles is 40% for repairing the thermal resistance properties and low temperature resistance with the thermal cycle variation 0x, 25x 50x and 75x. To repaired the strength of the composite, the addition of lamina with variation 1 layer, 2 layers, and 3 layers is done. This research was conducted at the Laboratory for Energy Conversion thermal treatment and Laboratory Testing and Materials Engineering Faculty of the University of Jember for tensile testing and impact testing

The result of the reseach was showed the highest tensile test data in 2-layer composites with 0x thermal cycle treatment of 21.12 MPa. While the testing the highest impact is about 0.116 in 2-layer composites with thermal cycle treatment 0x. The result of tensile test and low impact, respectively continously are 12.09 MPa and 0.106 J / mm² obtained in 3 layers composite thermal cycle 75x.

PRAKATA

Puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi berjudul “Pengaruh jumlah lamina terhadap sifat mekanis siklus termal komposit *polyester* serat kenaf anyam dengan aditif *montmorillonite*”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Allah SWT yang telah memberikan nikmat dan karunia yang tidak pernah henti dalam hidup ini.
2. Ayah Suwarman dan Ibu Jurani Sulistyowati yang telah menjadi orang tua yang sangat baik dalam hal mendidik, mengarahkan, memberi nasehat demi kehidupan penulis yang lebih baik, selalu memberikan kasih sayang, perhatian, materi, dan yang terpenting adalah doa yang selalu beliau haturkan setiap saat untuk penulis dan keluarga.
3. Abdul Karim H.M.L. dan Marti Yuliati, yang selalu memberi dukungan baik moral maupun materil, motivasi, serta pelajaran-pelajaran berharga yang lainnya dan do'a untuk keluarga.
4. Ummu Salamah, yang selalu memberi semangat, dukungan, motivasi dan do'a yang selalu terucap.
5. Bapak Dr. Nasrul Ilminnafik S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Utama, Bapak Santoso Mulyadi S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah meluangkan waktu, pikiran, dan perhatian dalam penulisan skripsi ini;
6. Bapak Dr. Robertoes Koekoeh K.W., S.T., M.Eng. selaku Dosen Penguji Utama dan Bapak M. Fahrur Rozy H., S.T., M.T. selaku Dosen Penguji Anggota yang

telah banyak sekali memberikan saran dan berbagai pertimbangan menuju ke arah yang benar dalam penulisan skripsi ini;

7. Bapak Dosen Universitas Jember khususnya Jurusan Teknik Mesin yang telah membimbing penulis selama menjadi mahasiswa;
8. Satu tim skripsi Mumet (Rizki Klit, Febri Boneng, Annas, Irsad, Dayu) yang telah banyak membantu dan memberi masukan tentang penulisan dan sumber-sumber referensi.
9. Keluarga kontraan warwirwur (Adam Supek, Amril crot) yang telah banyak membantu dalam menyelesaikan skripsi ini.
10. Ketua Angkatan BEDEBA TM 11 Universitas Jember, M. Syaifuddin Ihsan, yang telah sabar dan mengayomi dulur-dulur di angkatan 2011. Serta seluruh DULUR SAK LAWASE, Doni, Abid, Ropek, Agus, Rudin, Farihen, Novan, Anton, Mari'y, Agung Cilik, Sofyan Gundul, Yohanes, Asrofi, Ika, Novia, Yurike, Upit, Kiki, Aisyah, Pemi, Fian, Rian, Yunus, Bangkit, Imron, Sadam, Aang, Haqi, Riza, Anugrah, Angga, Kahlil, Tito, Muslih, Romi, Rizki Wo, Halim, Jupri, Arif Rahmat, Arif ngipret, Lutfi, Wildan gobes, Wildan kazik, Dani, Sinyo, Hegar, Yulius, Dimas, Ario, Mahfud, Henry, Mukri, Sofyan Madura, dll. Semoga persaudaraan ini akan tetap terjaga hingga akhir waktu.
11. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Penulis juga menerima segala kritik dan saran dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini. Akhirnya penulis berharap, semoga skripsi ini dapat bermanfaat

Jember, 2015

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSEMBAHAN	ii
HALAMAN MOTTO	iii
HALAMAN PERNYATAAN	iv
HALAMAN PEMBIMBING	v
HALAMAN PENGESAHAN	vi
RINGKASAN	vii
PRAKATA	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan dan Manfaat	4
1.4.1 Tujuan	4
1.4.2 Manfaat	4
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Material Komposit	5
2.2 Komposit Matrik Polimer Ditinjau dari Serat	9
2.2.1 Komposit Serat.....	10
2.2.2 Komposit Laminat	12
2.2.3 Komposit Partikel	13
2.3 Resin Polyester	14

2.4 Serat Kenaf	15
2.5 Serbuk Genteng	16
2.6 Karakteristik	18
2.6.1 Pengujian Siklus Termal	18
2.6.2 Pengujian Tarik Material Komposit	19
2.6.3 Pengujian Impak Material Komposit	21
2.6.4 Pengujian Morfologi	24
2.7 Hipotesa	26
BAB 3. METODELOGI PENELITIAN	27
3.1 Tempat dan Waktu Pelaksanaan	27
3.2 Variabel Penelitian	27
3.2.1 Variabel Bebas	27
3.2.2 Variabel Terikat	28
3.3 Alat dan Bahan Penelitian	28
3.4 Pembuatan Cetakan	29
3.4.1 Cetak Spesimen Tarik	29
3.4.2 Cetak Spesimen Impak	29
3.5 Prosedur Penelitian	30
3.5.1 Langkah-Langkah Pembuatan Sampel	30
3.5.2 Langkah-Langkah Pengujian Sampel.....	32
3.5.2.1 Siklus Termal	32
3.5.2.2 Uji Tarik	32
3.5.2.3 Uji Impak	32
3.5.2.4 Uji Makro	33
3.6 Metode Pengambilan Data	33
3.6.1 Ekperimen Dua Faktor	33
3.6.2 Uji Hipotesis.....	34
3.7 Analisa Data	37
3.7.1 Penyajian Data Hasil Penelitian	37

3.8 Diagram Alir Penelitian	39
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	40
4.1 Data Hasil Pengujian	40
4.1.1 Hasil Pengujian Kekuatan Tarik Komposit	40
4.1.2 Hasil Pengujian Kekuatan Impak Komposit	41
4.2 Analisis dan Hasil Penelitian	42
4.2.1 Pengujian Hipotesis Pada Pengujian Tarik	42
4.2.2 Pengujian Hipotesis Pada Pengujian Impak.....	43
4.3 Pembahasan	44
4.3.1 Analisa Pengaruh Jumlah Lamina Terhadap Sifat Mekanik.....	44
4.3.1.1 Hasil Pengujian Tarik	44
4.3.1.2 Hasil Pengujian Impak	47
4.3.2 Analisa Pengaruh Perlakuan Siklus termal Terhadap Sifat Mekanik	49
4.3.2.1 Hasil Pengujian Tarik	49
4.3.2.2 Hasil Pengujian Impak	50
4.3.3 Analisa Kondisi Morfologi Komposit.....	52
4.3.3.1 Hasil Pengujian Tarik	53
4.3.3.2 Hasil Pengujian Impak	55
BAB 5. PENUTUP	59
5.1 Kesimpulan	59
5.2 Saran	59
DAFTAR PUSTAKA	60

DAFTAR TABEL

2.1 Sifat Mekanik <i>Polyester</i> Seri <i>Yukalac</i> 157 BQTN-EX.....	15
2.2 Sifat Fisik Dari Serat Kenaf	17
2.3 Kondisi Suhu Saat Pengujian Siklus Termal	19
2.4 Waktu Pengujian	19
2.5 Spesimen Geometri Yang Dibutuhkan	20
2.6 Geometri Spesimen Yang Direkomendasikan	20
2.7 Kode Kegagalan Uji Tarik	25
3.1 Tabelisasi Analisa Data	27
3.2 Tabel Anova	36
3.3 Data Hasil Pengujian Pengaruh Jumlah Lamina Terhadap Kekuatan Tarik.....	37
3.4 Data Hasil Pengujian Pengaruh Jumlah Lamina Terhadap Kekuatan Impak	39
4.1 Data Hasil Pengaruh Jumlah Lamina Dengan Perlakuan Siklus termal Terhadap Nilai Kekuatan Tarik	40
4.2 Data Hasil Pengaruh Jumlah Lamina Dengan Perlakuan Siklus termal Terhadap Nilai Kekuatan Tarik	41
4.3 ANAVA Pengujian Kekuatan Tarik Komposit	42
4.4 ANAVA Pengujian Kekuatan Impak Komposit	43
4.5 Kode Untuk Jenis Patahan ASTM D 3039	53

DAFTAR GAMBAR

2.1	Komposisi Komposit	5
2.2	Kegagalan Panas Pada <i>Laminate</i> Menunjukkan Perbedaan Wilayah Kerusakan	7
2.3	Diagram Kekuatan Impak Komposit <i>Sandwich</i> Serat Aren-Gedebog Pohon Pisang	9
2.4	<i>Fibrous Composit</i>	10
2.5	Tipe Serat Pada Komposit	11
2.6	Tipe <i>Discontinuous Fiber</i>	12
2.7	Komposit Laminat	12
2.8	Komposit Partikel	13
2.9	Resin <i>Polyester</i>	14
2.10	Serat Kenaf	16
2.11	Genteng Soka dan Partikel <i>Montmorilonte</i>	17
2.12	Standar Persiapan Sampel Uji ASTM D 3039	20
2.13	Skematik Peralatan Uji Impak dan Spesimen Uji	24
2.14	Bentuk Patahan Komposit	25
3.1	Penampang Spesimen Uji Tarik	29
3.2	Dimensi Spesimen Uji Impak	30
3.3	Cetakan Kaca	30
3.4	Serat Kenaf Yang Sudah Dipotong	30
3.5	Lambung Besi, Ayakan dan Serbuk <i>Montmorilonite</i>	31
3.6	Diagram Alir Penelitian	38
4.1	Grafik Hubungan Antara Kekuatan Tarik Terhadap Jumlah Lamina	45
4.2	<i>Void</i> Yang Terjadi Pada Spesimen	46
4.3	Grafik Hubungan Antara Kekuatan Impak Terhadap Jumlah	

Lamina	48
4.4 Grafik Hubungan Jumlah Siklus Termal Dengan Nilai Kekuatan Tarik	49
4.5 Grafik Hubungan Jumlah Siklus Termal Dengan Nilai Kekuatan Impak	51
4.6 Bentuk dan Kode Patahan Komposit 1 Lapis Setelah Pengujian Tarik	53
4.7 Bentuk dan Kode Patahan Komposit 2 Lapis Setelah Pengujian Tarik	54
4.8 Bentuk dan Kode Patahan Komposit 3 Lapis Setelah Pengujian Tarik	54
4.9 Bentuk dan Kode Patahan Komposit 1 Lapis Setelah Pengujian Impak	56
4.10 Bentuk dan Kode Patahan Komposit 2 Lapis Setelah Pengujian Impak	56
4.11 Bentuk dan Kode Patahan Komposit 3 Lapis Setelah Pengujian Impak	56
4.12 Perbandingan <i>Void</i> Tiap Patahan 1 Lapis, 2 Lapis dan 3 Lapis	57

DAFTAR LAMPIRAN

A.1 Pembuatan dan Pengujian Spesimen.....	62
A.2 Spesimen Hasil Pengujian Tarik.....	65
A.3 Spesimen Hasil Pengujian Impak	67
A.4 Tabel Distribusi $\alpha = 5\%$	69
A.5 Lampiran Perhitungan Statistik	70
a) Hasil Perhitungan Statistik Pengujian Tarik	70
b) Hasil Perhitungan Statistik Pengujian Impak	75
A.6 Lampiran Perhitungan Data	80
a) Perhitungan Hasil Pengujian Tarik	80
b) Perhitungan Hasil Pengujian Impak	85
A.7 <i>American Standarts Testing of Material D 3039</i>	88

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan rekayasa, produksi maupun pemanfaatan material berbasis komposit semakin meningkat seiring kebutuhan industri terhadap material dengan karakteristik yang sepadan dengan logam. Penggunaan komposit saat ini tidak hanya berkembang pada produk (*indoor*), tapi juga berkembang untuk penggunaan diluar ruangan (*outdoor*). Hal ini disebabkan material komposit tersebut mempunyai berbagai keunggulan, diantaranya sebagai pengganti serat buatan, harga murah, mampu meredam suara, ramah lingkungan, mempunyai densitas rendah, dan kemampuan mekanik tinggi, yang dapat memenuhi kebutuhan industri (Wijoyo, *dkk.*, 2013).

Perkembangan penggunaan komposit berbahan serat alam dalam bidang industri otomotif saat ini mengalami perkembangan yang sangat pesat. Di Indonesia sendiri banyak tanaman serat yang tumbuh subur seperti kenaf, rosella, dan rami. Produksi serat kenaf menempati urutan pertama dari produksi serat alam di dunia yaitu 970.000 ton/tahun (Diharjo, *dkk.*, 2008). Menurut Turyanto (2005), ada empat propinsi di Indonesia yang memiliki potensi untuk pengembangan budidaya tanaman kenaf, salah satunya adalah propinsi Jawa Timur, dan Jember termasuk daerah yang berpotensi untuk mengembangkan tanaman ini.

Terkait dengan aplikasi material komposit sebagai *cap* mobil memungkinkan terkena berbagai paparan panas yang tinggi sehingga beresiko terjadi kebakaran. Selain itu material komposit harus tahan pada suhu rendah karena dimungkinkan terkena perlakuan dingin akibat temperatur yang ekstrim. Kestabilan panas dalam sistem komposit dipengaruhi oleh suhu, rasio antar matrik, *dispersi* dan ikatan serat dengan matrik serta suhu terlalu tinggi dapat menyebabkan dekomposisi (Onggo, *dkk.*, 2005). Berdasarkan hasil penelitian oleh *National Institute of Standards and Technology* (NIST) menunjukkan bahwa komposit plastik-lempung dengan komposisi 90%:10%, dapat mempertahankan diri dari kerusakan akibat pembakaran

api sebesar 60-80%. Senyawa tersebut merupakan bahan geomaterial yang mampu meningkatkan ketahanan panas dan kekuatan komposit.

Pada penelitian sebelumnya tentang analisis termal-mekanis komposit bermatrik *polyester* dengan penguat serat kenaf dengan aditif partikel *montmorillonite* dengan tujuan meningkatkan kinerja komposit akibat paparan panas menunjukkan bahwa penambahan *montmorillonite* meningkatkan kekuatan tarik komposit. Secara umum, semakin tinggi suhu yang dipaparkan pada komposit maka kekuatan tarik komposit *polyester* aditif *montmorillonite* menurun secara drastis mulai 100°C (Nasiruddin, 2014). Begitu pula dengan hasil pengujian bending pada komposit sandwich yang telah mengalami perlakuan siklus termal, tegangan *bending* komposit *sandwich* mengalami penurunan secara signifikan bersamaan dengan peningkatan temperatur dan siklus. Pengaruh peningkatan temperatur dan peningkatan siklus mampu menyebabkan tingkat pertumbuhan kegagalan delaminasi semakin besar (Hariyanto, dkk., 2011).

Wijoyo (2013) dalam penelitian awal mengenai komposit *sandwich* serat aren-*polyester* dengan *core* pelepah pohon pisang menunjukkan hasil bahwa semakin banyak jumlah lamina (*layer*) semakin besar kekuatan dampak komposit *sandwich*. Kekuatan dampak komposit *sandwich* serat aren 1 *layer*-pelepah-serat aren 3 *layer* adalah 0,143 J/mm², meningkat sebesar 14,69% dibandingkan dengan komposit *sandwich* serat aren 1 *layer*-pelepah-serat aren 1 *layer* sebesar 0,0122 J/mm². Semakin banyak jumlah lamina (*layer*) juga mengakibatkan semakin besar energi serap komposit *sandwich*.

Pengujian kekuatan tarik, bending dan dampak terhadap komposit serat gelas 3 *layer* dalam bentuk *chopped strand mat* dengan perluasan 300 gram/m² dan 450 gram/m² secara berurutan diperoleh kekuatan tarik sebesar 67.26 MPa dan 82.83 MPa, kekuatan bending 208,58 MPa dan 157,06 MPa, serta kekuatan dampaknya 0,0472 J/mm² dan 0,0872 J/mm². Semakin tebal *layer* komposit yang digunakan semakin tinggi pula sifat tarik dan dampaknya. Khusus pada uji *bending*, komposit yang dengan *mat* yang lebih tipis akan menghasilkan tebal komposit yang tipis pula,

sehingga sifat lenturnya semakin tinggi. Selain alasan tersebut, jumlah fraksi volume serat pada *mat* yang lebih tipis juga semakin kecil (Yanuar, *dkk.*, 2003).

Pada penelitian ini akan dilakukan analisis pengaruh jumlah lamina terhadap sifat mekanis-siklus termal pada sampel uji komposit matrik *polyester* berpenguat serat kenaf anyam dengan aditif partikel *montmorillonite* (limbah genteng). Keterbatasan kekuatan komposit matrik polimer terhadap benturan dan beban tarik serta efek temperatur dengan memanfaatkan kemampuan partikel *montmorillonite* dalam menghambat laju pemanasan akan menjadi topik penelitian yang menarik dengan menghubungkan sifat keduanya. Dengan memunculkan sifat mekanis baru dari kedua material tersebut.

1.2 Rumusan Masalah

Dari penjelasan di atas dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut:

1. Bagaimanakah pengaruh variasi jumlah lamina komposit matrik *polyester* berpenguat serat kenaf dengan aditif *montmorillonite* terhadap nilai kekuatan tarik dan kekuatan impak?
2. Bagaimanakah pengaruh siklus termal terhadap kekuatan tarik dan kekuatan impak pada komposit matrik *polyester* berpenguat serat kenaf anyam dengan aditif partikel *montmorillonite*?
3. Bagaimanakah kondisi morfologi komposit matrik *polyester* berpenguat serat kenaf anyam dengan aditif partikel *montmorillonite* setelah diberi paparan panas dan dilakukan pengujian mekanik?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Menggunakan serat kenaf berbentuk anyam siap pakai;
2. Tidak membahas tentang konduktivitas termal material komposit;
3. Pembuatan sampel menggunakan metode *hand-lay up*;
4. Komposisi antara penguat dengan matrik di setiap lapisan dianggap sama;

5. Spesimen yang dihasilkan dari proses pencetakan dianggap seragam;
6. Suhu ruangan pada setiap proses pembuatan dan pengujian dianggap sama.

1.4 Tujuan dan Manfaat

1.4.1 Tujuan

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Untuk mengetahui pengaruh variasi jumlah lamina pada komposit matrik *polyester* berpenguat serat kenaf anyam dengan aditif *montmorillonite* terhadap nilai kekuatan tarik dan kekuatan impak.
2. Untuk mengetahui pengaruh variasi siklus termal dan jumlah perlakuan terhadap kekuatan tarik dan kekuatan impak komposit matrik *polyester* berpenguat serat kenaf anyam menggunakan aditif partikel *montmorillonite*.
3. Untuk mengetahui kondisi morfologi komposit matrik *polyester* berpenguat serat kenaf anyam dengan aditif partikel *montmorillonite* setelah diberi perlakuan termal siklus dan pengujian mekanik.

1.4.2 Manfaat

Adapun manfaat yang diperoleh dari penulisan karya ilmiah ini adalah:

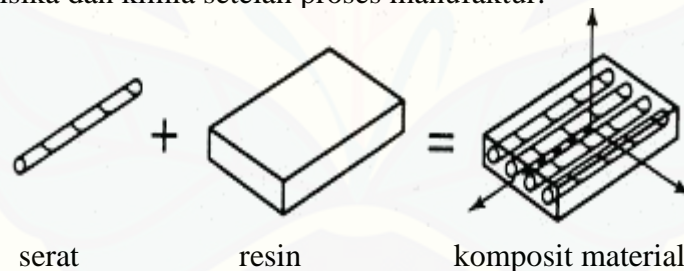
1. Memberikan informasi mengenai karakteristik sifat mekanis siklus termal komposit matrik *polyester* berpenguat serat kenaf anyam dengan aditif partikel *montmorillonite*.
2. Meningkatkan kekuatan komposit akibat paparan panas dan meningkatkan kekuatan mekanik pada komposit matrik *polyester* berpenguat serat kenaf anyam dengan aditif partikel *montmorillonite*.
3. Memberikan tambahan koleksi pustaka kepada Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Jember.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Material Komposit

Komposit adalah suatu jenis bahan baru hasil rekayasa yang terdiri dari dua campuran atau lebih unsur bahan baik mikro maupun makro, yang tidak mampu saling larut dengan komposisi kimia dan ukuran yang berbeda untuk mendapatkan ciri-ciri yang lebih baik yang tidak dapat diperoleh dari setiap komponennya. Komposit yang dihasilkan bukan saja memiliki sifat mekanik yang lebih baik tetapi juga sifat kimia, sifat panas dan berbagai sifat yang lain (Bramantyo, 2008).

Komposit disusun dari dua komponen yaitu matrik atau resin dan *filler* atau penguat. *Filler* atau penguat berupa lamina, partikel atau serat yang berfungsi sebagai penguat dalam menerima distribusi tegangan dari komposit (Yunus, 2011). Sedangkan matrik dapat berupa keramik, logam atau polimer yang berfungsi sebagai penyambung serat dari kerusakan antar serat, pelindung terhadap lingkungan (serangan zat kimia, kelembaban), transfer beban antar serat, dan perekat agar tetap stabil secara fisika dan kimia setelah proses manufaktur.



Gambar 2.1 Komposisi Komposit (Sumber: Bramantyo, 2008)

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

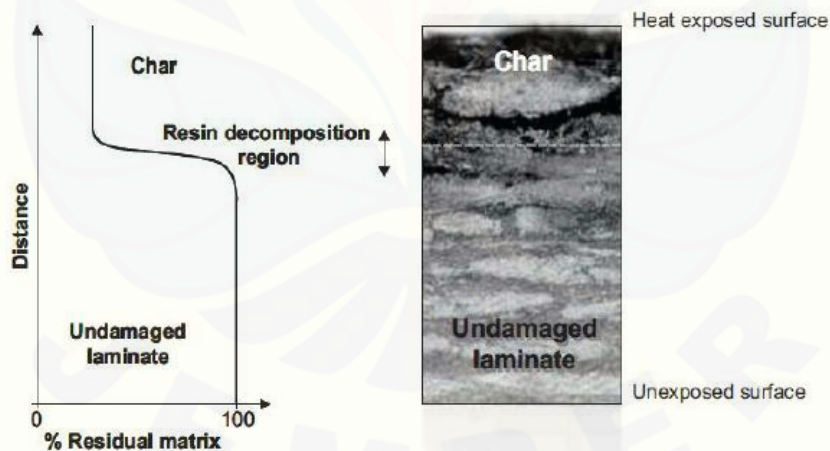
panas yang rendah. Untuk memenuhi karakteristik yang diinginkan diperlukan sebuah aditif yang berfungsi untuk melindungi terhadap pengaruh lingkungan (*antioksidan*, *antiozon*, bahan antistatis, penolak nyala, penyerap radiasi *ultraviolet*), sebagai pewarna, *pigmen*, ketangguhan dan pengisi.

Masalah besar dari penggunaan polimer berpenguat serat (*Fiber Reinforced Polymer*) 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, matrik polimer terdekomposisi, melepaskan panas dan gas beracun (Yousif, 2013).

Penelitian mengenai sifat mekanis siklus termal pada komposit menunjukkan bahwa pengujian bending pada komposit *sandwich* yang telah mengalami perlakuan termal siklus. Secara umum, tegangan *bending* komposit *sandwich* mengalami penurunan secara signifikan bersamaan dengan peningkatan temperatur dan siklus. Sebesar 35.5 MPa pada temperatur ruang 35°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 temperatur 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. Defleksi *bending* komposit *sandwich* mengalami peningkatan secara signifikan bersamaan dengan peningkatan temperatur dan peningkatan siklus. Pengaruh peningkatan temperatur dan peningkatan siklus mampu menyebabkan tingkat pertumbuhan kegagalan delaminasi semakin besar. Kegagalan akibat beban bending dengan variasi temperatur dan siklus menunjukkan mayoritas kegagalan didominasi pada bagian *skin* dan *core*. Jenis-jenis patahan didominasi oleh kegagalan *skin* dan rapuhnya *core*, sesuai dengan sifat fisis penyusun *core* yang sangat rapuh, sehingga memudahkan terjadinya kegagalan setelah *skin* patah (Hariyanto, dkk, 2011).

Sifat hambatan panas bahan komposit sangat dibutuhkan untuk aplikasinya sebagai isolator termal. Penelitian menunjukkan bahwa peningkatan kandungan partikel *montmorillonite* dan pengecilan ukuran partikel mampu meningkatkan hambatan panas komposit (Diharjo, *dkk.*, 2013). 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 μm dan $< 74 \mu\text{m}$ masing-masing adalah $0,725 \times 10^{-2}$ K/W dan $0,888 \times 10^{-2}$ K/W (Nasiruddin, 2014).

Secara umum, kegagalan panas mengakibatkan laminate menjadi bentuk arang, melunak akibat degradasi pada matrik, delaminasi dan pecahnya matrik. Perubahan bentuk menjadi arang disebabkan adanya pemberian temperatur yang berubah-ubah. Sehingga material akan mengalami kelelahan material atau sering disebut *thermal fatigue*. Gambar 2.2 dibawah menunjukkan gambaran mengenai ketebalan komposit yang telah dipanasi hingga menjadi arang pada salah satu sisinya dan dampak yang terlihat terjadi di berbagai wilayah pada material.



Gambar 2.2 Kegagalan Panas Pada Laminat Menunjukkan Perbedaan Wilayah Kerusakan (Mouritz, *dkk.*, 2006)

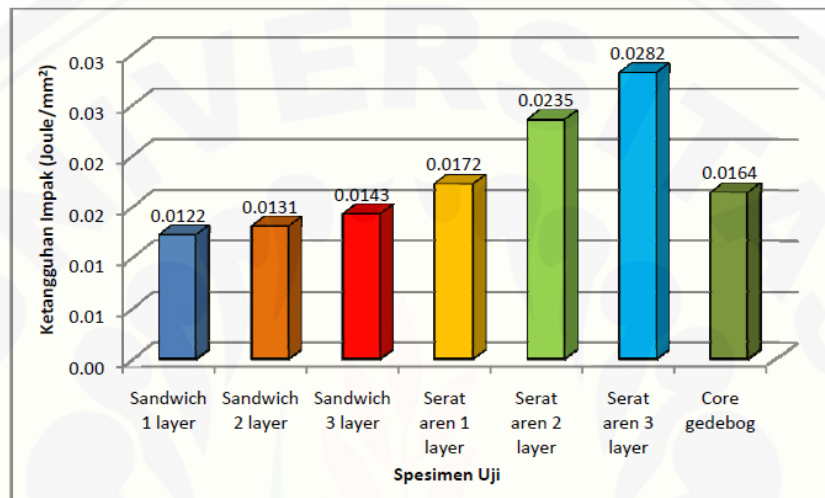
Permukaan pertama yang terkena panas langsung bisa terdekomposisi termal menjadi arang, seperti lapisan hitam yang terlihat pada Gambar 2.2. Polimer pada

wilayah ini dapat diabaikan karena seluruh matrik terdegradasi dari berbagai residu material organik yang telah memadat menjadi arang. Daerah tipis dibawah wilayah arang merupakan daerah dekomposisi dimana matrik polimer telah dipanasi diatas reaksi temperatur dekomposisi tetapi dibawah temperatur bentuk arang. Pada daerah ini matrik secara parsial terdegradasi, dengan pemotongan rantai menjadi molekul *fragmen* berat sangat sulit untuk menguap. Sehingga proses dekomposisi tidaklah sempurna. Oleh karena itu tidak ada pengurangan matrik karena berubah menjadi arang dan gas pembakaran. Sedangkan daerah terdekat permukaan dingin pada *laminat* tidak terpengaruh panas karena temperatur terlalu rendah untuk menyebabkan pelunakan atau dekomposisi pada matrik. Dengan menambah waktu pembakaran, wilayah dekomposisi dan wilayah arang bertambah secara *progresif* pada permukaan yang tidak terkena panas sebelumnya sehingga dengan cepat matrik polimer secara sempurna menjadi arang (Mouritz, *dkk.*, 2006).

Faktor yang mempengaruhi kekuatan komposit yaitu orientasi serat dan keadaan bidang antarmuka. Orientasi serat berdampak langsung pada distribusi tegangan antar matrik dan serat. Kontribusi serat terhadap sifat-sifat komposit akan maksimum jika arah pembebanan searah dengan arah serat. Beban yang bekerja pada matrik dipindahkan dan didistribusikan ke penguat melalui bidang antarmuka (*interface*). Kekuatan perekatan matrik untuk mengikat serat juga sangat mempengaruhi kekuatan komposit. Jika ikatan matrik dan serat sempurna, maka kekuatan komposit ditentukan oleh kekuatan seratnya. Kenaikan nilai kekuatan tarik berbanding lurus dengan jumlah lapisan serat menunjukkan bahwa semakin tinggi fraksi volume serat, maka kekuatan tariknya semakin tinggi sebab semakin banyak komponen penguat yang memiliki kekuatan tarik lebih besar dari matriknya untuk menahan beban. Tetapi, peningkatan fraksi volume serat memiliki batas maksimum karena mempertimbangkan tingkat pembasahan matrik (kemampuan matrik mengikat serat), tatanan serat, dan metode pembuatan komposit (Nuning, *dkk.*, tanpa tahun).

Wijoyo (2013) mengemukakan bahwa hasil pengujian kekuatan impak pada komposit *sandwich* serat aren 1 *layer*-gedebog-serat aren 1 *layer*, serat aren 2 *layer*-

gedebog-serat aren 1 *layer* dan serat aren 3 *layer*-gedebog-serat aren 1 *layer* berturut-turut $0,0122 \text{ J/mm}^2$, $0,0131 \text{ J/mm}^2$, dan $0,143 \text{ J/mm}^2$. Semakin banyak jumlah lamina semakin besar kekuatan impact komposit *sandwich*. Dengan demikian, komposit *sandwich* yang mempunyai ketebalan lebih besar akan memiliki kemampuan menahan energi serap yang lebih tinggi.



Gambar 2.3 Diagram Kekuatan Impact Komposit *Sandwich* Serat Aren-Gedebog Pohon Pisang (Sumber: Wijoyo, 2013)

2.2 Komposit Matrik Polimer Ditinjau dari Serat

Berdasarkan material pembentuknya, serat diklasifikasikan menjadi serat alam dan serat sintesis. Serat alami mempunyai banyak kelebihan jika dibandingkan dengan serat sintesis, di antaranya lebih ringan, dapat di daur ulang dan *biodegradable*. Namun serat alam juga mempunyai beberapa kelemahan, antara lain tidak tahan kelembaban, kualitas sangat bervariasi dan stabilitas termal yang rendah. Untuk beberapa kasus tertentu serat alami sendiri memiliki kekakuan yang tinggi namun kompositnya tidak mencapai tingkat kekuatan yang setara dengan komposit serat gelas (Febrianto Amri, 2011).

Jenis serat penguatan didalam matrik pada suatu bahan komposit terbagi dalam empat model: (a) serat *continuous*, (b) serat *woven*, (c) serat *chopped* dan (d) *hybrid*.

Dalam penelitian lain menyebutkan bahan penguat pada komposit dapat digolongkan menjadi empat bagian, yaitu butiran, lempeng (*flaks*), serat (*fiber*) dan lembaran. Serat biasanya harus lebih kuat dari matriknya sehingga kedudukan serat menjadi sangat vital karena dapat menentukan kekuatan sebuah komposit (Amin, 2012).

Secara garis besar ada 3 macam jenis komposit matrik polimer berdasarkan penguat (*reinforce*) yang digunakannya, yaitu:

2.2.1 Komposit Serat (*Fibrous Composites*)

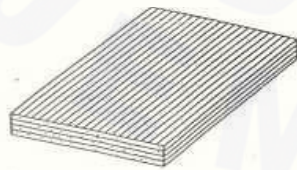
Jenis komposit yang hanya terdiri dari satu lamina atau satu lapisan yang menggunakan penguat (*filler*) berupa serat. Serat yang biasanya digunakan yaitu berupa *glass fibers*, *carbon fibers*, *aramid fibers (poly aramide)*, serat alam dan sebagainya. Serat ini dapat disusun secara acak maupun dengan arah orientasi tertentu bahkan dapat juga dalam bentuk yang lebih kompleks seperti anyaman, pada Gambar 2.5 diperlihatkan bentuk komposit serat.

Kebutuhan akan penempatan arah serat yang berbeda menjadikan komposit serat dibedakan lagi menjadi beberapa bagian diantaranya:



Gambar 2.4 *Fibraus Composit* (Sumber: Yunus, 2011)

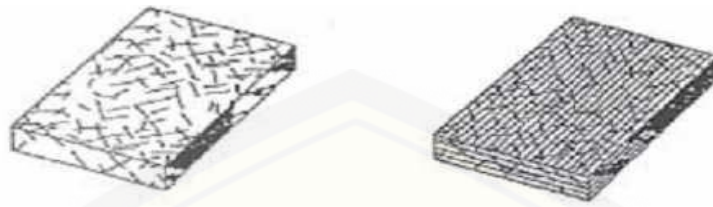
Berdasarkan penempatannya terdapat beberapa tipe serat pada komposit.



(a) *Continuous Fiber Composite*



(b) *Woven Fiber Composite*



(c) *Discontinuous Fiber Composite* (d) *Hybrid Fiber Composite*

Gambar 2.5 Tipe Serat Pada Komposit (Sumber: Yunus, 2011)

a) *Continuous Fiber Composite*

Continuous atau *uni-directional*, mempunyai susunan serat panjang dan lurus, membentuk lamina diantara matriksnya. Jenis komposit ini paling banyak digunakan. Tetapi kekurangan tipe ini adalah lemahnya kekuatan antar lapisan. Hal ini disebabkan kekuatan antar lapisan dipengaruhi oleh matriksnya.

b) *Woven Fiber Composite (Bi-Dirrectional)*

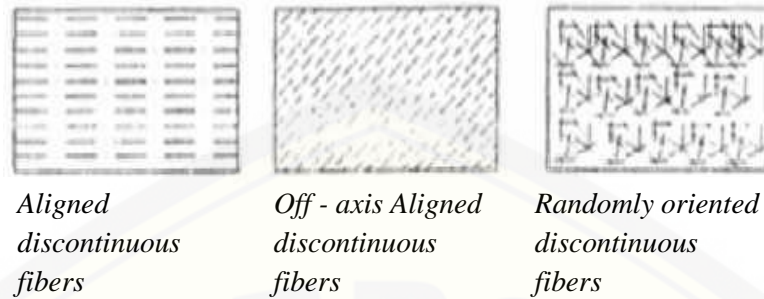
Komposit ini tidak mudah terpengaruh pemisahan antar lapisan karena susunan seratnya mengikat antar lapisan. Akan tetapi susunan serat memanjangnya yang tidak lurus mengakibatkan kekuatan dan kekakuan tidak sebaik tipe *continuous fiber*.

c) *Discontinuous Fiber Composite (Chopped Fiber Composite)*

Komposit dengan tipe serat pendek masih dibedakan lagi menjadi :

- 1) *Aligned discontinuous fiber*
- 2) *Off-axis aligned discontinuous fiber*
- 3) *Randomly oriented discontinuous fiber*

Randomly oriented discontinuous fiber merupakan komposit dengan serat pendek yang tersebar secara acak diantara matriksnya. Tipe acak sering digunakan pada produksi dengan volume besar karena faktor biaya manufakturnya yang lebih murah. Kekurangan dari jenis serat acak adalah sifat mekanik yang masih dibawah dari penguatan dengan serat lurus pada jenis serat yang sama.



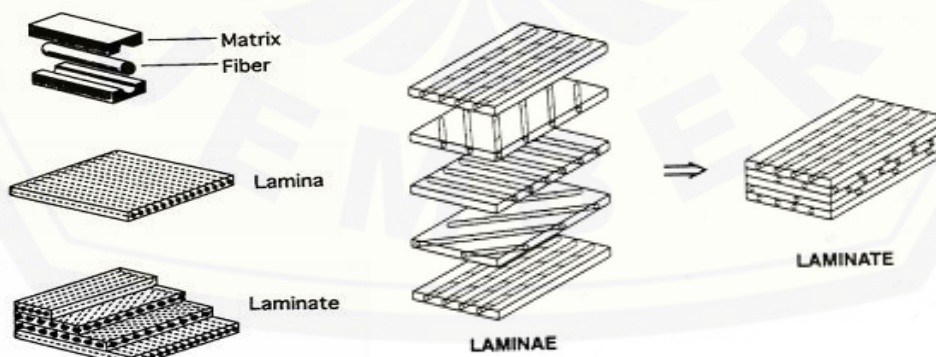
Gambar 2.6 Tipe Discontinuous Fiber (Sumber: Yunus, 2011)

d) Hybrid Fiber Composite

Hybrid fiber composite merupakan komposit gabungan antara tipe serat lurus dengan serat acak. Dimana pertimbangannya supaya dapat meminimalisir kekurangan sifat dari kedua tipe dan dapat menggabungkan kelebihan keduanya.

2.2.2 Komposit Laminat (Laminated Composite)

Laminate adalah gabungan dari dua atau lebih lamina (satu lembar komposit dengan arah serat tertentu) yang membentuk elemen struktur secara integral pada komposit. Proses pembentukan lamina ini menjadi laminate dinamakan proses laminia. Sebagai elemen sebuah struktur, lamina yang serat penguatnya searah saja (unidirectional lamina) pada umumnya tidak menguntungkan karena memiliki sifat yang buruk. Untuk itulah struktur komposit dibuat dalam bentuk laminate yang terdiri dari beberapa macam lamina atau lapisan yang diorientasikan dalam arah yang diinginkan dan digabungkan bersama sebagai sebuah unit struktur (Yunus, 2011).



Gambar 2.7 Komposit Laminat (Sumber: Masruri, 2011)

Terdapat dua jenis *lamina*, yaitu *continous fiber laminate* dan *discontinuous fiber laminate*. *Continous fiber laminate*, lamina jenis ini mempunyai lamina penyusun dengan serat yang tidak terputus hingga mencapai ujung-ujung lamina. *Continous fiber laminate* terdiri dari:

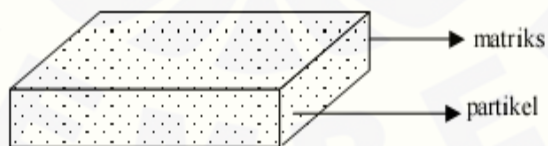
1. *Unidirectional laminate* (satu arah), yaitu bentuk *laminate* dengan tiap lamina mempunyai arah serat yang sama. Kekuatan terbesar dari komposit lamina ini adalah searah seratnya.
2. *Crossplien quasi-isotropoic* (silang), lamina ini mempunyai susunan serat yang saling silang tegak lurus satu sama lain antara lamina.
3. *Random/woven fiber composite*, lamina ini mempunyai susunan serat yang tidak beraturan satu sama lain.

Discontinous fiber laminate, berbeda dengan jenis sebelumnya maka *laminate* ini pada masing-masing lamina terdiri dari potongan serat pendek yang terputus dan mempunyai dua jenis yaitu:

1. *Short Aligned Fiber*, potongan serat tersusun dalam arah tertentu, sesuai dengan keperluan setiap lamina.
2. *In-Plane Random Fiber*, potongan serat disebarakan secara acak atau arahnya tidak teratur.

2.2.3 Komposit Partikel (*Particulate Composites*)

Merupakan komposit yang menggunakan partikel atau serbuk sebagai penguatnya dan terdistribusi secara merata dalam matriksnya.



Gambar 2.8 Komposit Partikel (Sumber: Masruri, 2011)

Keuntungan dari komposit yang disusun oleh *reinforce* berbentuk partikel:

- a) Kekuatan lebih seragam pada berbagai arah.
- b) Dapat digunakan untuk meningkatkan kekuatan dan kekerasan material.

- c) Cara penguatan dan penegerasan oleh partikular adalah dengan menghalangi pergerakan distorsi.

2.3 Resin Polyester

Polyester adalah resin *thermoset* yang berbentuk cair dengan viskositas yang relatif rendah dan paling banyak digunakan dalam berbagai aplikasi, dengan penambahan katalis *polyester* akan mengeras pada suhu kamar. Resin *polyester* banyak mengandung monomer *stiren*. Sehingga suhu deformasi termal lebih rendah dari pada resin *thermoset* lainnya dan ketahanan panas sekitar 110°C-140°C, untuk ketahanan dingin resin ini relatif baik.

Jenis dari resin *polyester* yang digunakan sebagai matrik komposit adalah tipe resin tidak jenuh (*unsaturated polyester*) yang merupakan *thermoset* yang dapat mengalami pengerasan (*curing*) dari fasa cair menjadi fasa padat saat mendapat perlakuan yang tepat. Berbeda dengan tipe *polyester* jenuh (*saturated polyester*) seperti *terylene*, yang tidak bisa mengalami *curing* dengan cara tersebut. Kekuatan tarik dari resin *polyester* jenis Yukalac 157 BQTN-EX tanpa perlakuan termal dan bahan tambahan apapun sebesar 32,12 Mpa. Gambar 2.9 dapat dilihat bentuk kemasan resin *polyester* Yukalac 157 BQTN-EX.



Gambar 2.9 Resin Polyester (Sumber: Yukalac 157 BQTN-EX)

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

- Waktu pengerjaan yang terbatas, akan cepat mengeras jika didiamkan terlalu lama.
- *Shrinkage* (penyusutan volume) yang relatif tinggi pada saat pengerasan.
- Mengeluarkan emisi gas *stiren* 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
Berat Jenis	-	1,215	25°C
Kekerasan	-	40	-
Suhu distorsi panas	°C	70	-
Penyerapan air	%	0,188	24 jam
Suhu ruang	%	0,466	7 hari
Kekuatan Fleksural	Kg/mm ²	9,4	-
Modulus Fleksural	Kg/mm ²	300	-
Daya rentang	Kg/mm ²	5,5	-
Modulus rentang	Kg/mm ²	300	-
Elongasi	%	2,1	-

Sumber: Justus, 2001.

2.4 Serat Kenaf

Kenaf (*Hibiscus Cannabinus*, L. Family *Malvaceae*) adalah tanaman tahunan yang dapat tumbuh dibawah kondisi cuaca yang beragam. Tanaman ini tumbuh lebih dari tiga meter selama tiga bulan pada kondisi lingkungan yang sedang diameter tangkai 25-51 mm. Tanaman dikotil ini memiliki tiga lapis yaitu kulit, inti, dan *non ferrous cell* (Aji, dkk., 2009).

Proses manufaktur komposit serat alam juga harus memperhatikan kandungan airnya karena serat alam mudah menyerap air dan polimer bersifat anti air. Menurut Diharjo (2008), kandungan air yang mudah menyerap air pada serat kenaf kering alami dapat diuapkan dengan pemanasan pada suhu 105°C selama 4 menit. Pelakuan

alkali (5% NaOH) serat *fute* selama 2 jam mampu mereduksi kandungan hemiselulosa secara signifikan. Kandungan α -selulosa dan lignin juga mengalami penurunan dengan laju yang lambat. Secara kuantitatif, massa serat *fute* perlakuan alkali 2 jam berkurang hingga 85% (Ray dalam Diharjo, 2008).

Terdapat beberapa pabrik untuk pembuatan karung goni yang membutuhkan bahan baku serat kenaf. Tanaman kenaf memiliki daya adaptasi luas sehingga dapat dikembangkan pada berbagai lahan atau tanah seperti lahan banjir, lahan gambut, lahan tadah hujan dan tanah *podsilik*. Umur tanaman kenaf berkisar 70-150 hari tergantung macam varietas dan kondisi lingkungan tumbuh. Produktivitas kenaf dapat mencapai 2 - 4 ton serat kering/ha tergantung varietas dan lingkungan tumbuhnya (Sudjindrjo dalam Nasiruddin, 2014).

Pada saat ini masih ada pengembangan tanaman kenaf di lahan banjir Lamongan seratnya dibeli oleh PT. Global Agrotek Nusantara sebuah perusahaan Indonesia yang membuat serat kenaf dari bahan mentah sampai menjadi serat kenaf. Untuk melakukan penelitian ini serat kenaf didapat dari PT. Global Agrotek Nusantara – Malang, dimana massa jenis serat kenaf sebesar $1,4 \text{ gram/cm}^3$, massa persegi serat kenaf kontinyu 400 gram/m^2 , dan serat kenaf anyam 810 gram/m^2 (PT. Global Agrotek Nusantara, 2015). Kekuatan tarik dari serat kenaf anyam dari PT. Global Agrotek Nusantara yang kita gunakan sebagai penguat komposit sebesar 0,268 Mpa. Gambar 2.10. menunjukkan bentuk serat kenaf anyam dari PT. Global Agrotek Nusantara.



Gambar 2.10 Serat Kenaf (Sumber: PT. Global Agrotek Nusantara, 2015)

Tabel 2.2 Sifat Fisik Dari Serat Kenaf

Serat	Massa Jenis (g/cm ³)	Kekuatan Tarik (Mpa)	Diameter Serat (mm)	Lebar Serat (mm)
Serat kenaf	1,04-1,5	110-930	0,14-0,24	1-60

Sumber: Osman, *dkk.*, 2012.

2.5 Serbuk Genteng

Geomaterial lempung (*montmorillonite*) merupakan segumpal tanah liat yang plastis dan mudah dibetuk. Unsur penyusun utama dari *montmorillonite* adalah 54,59% *silica* (SiO₂) dan 19,92% *alumina* (Al₂O₃). Dari unsur penyusun tersebut diantaranya adalah silika (senyawa yang terbentuk dari sisa-sisa senyawa silikat yang memiliki kemampuan tahan termal tinggi), kadungan *alumina* memberikan sifat tahan api yang baik yang memiliki titik lebur 660°C, oksida besi (senyawa yang memiliki titik lebur 1535°C), magnesium oksida (senyawa yang memiliki titik lebur 650°C) dan pertikel penyusun lainnya yang memiliki ketahanan termal yang baik (Diharjo, *dkk.*, 2013).



Gambar 2.11 Genteng Soka dan Partikel *Montmorilonte* (Sumber: CV. Genteng Jaya Kebumen, 2015)

Lempung *montmorillonite* yang memiliki spesifikasi seperti di atas yaitu genteng Soka yang didapat dari tempat produksi genteng Soka daerah Kebumen.

Lempung *montmorillonite* dapat dikategorikan sebagai keramik dari tanah liat 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. Kedua kandungan tersebut menghambat adanya perambatan api (*flame resistance*). *Flame resistance* merupakan komponen atau kombinasi yang dapat menghambat nyala bila ditambahkan pada suatu kandungan sehingga dihasilkan suatu material yang memiliki kemampuan hambat nyala (Diharjo, dkk., 2013).

Pada penggunaan *montmorillonite* (MMT) modifikasi *filler* pada komposit *polyester* berpenguat kenaf dapat meningkatkan sifat mekanis sebesar 10% atau lebih. Sedangkan penambahan MMT tanpa modifikasi meningkatkan kekuatan tariknya dibandingkan dengan tipe yang lain seperti *trimethyl ammonium bromide-montmorillonite* dan *alkyl dimethyl benzyl ammonium-montmorillonite* (Sreenivasan, dkk., 2012).

2.6 Karakterisasi

2.6.1 Pengujian Siklus Termal (*Thermal Cycle*)

Pengujian siklus termal merupakan pengujian kekuatan mekanis dengan diberi pelakuan panas secara berulang-ulang dan membentuk suatu siklus pada material tersebut. Satu siklus termal adalah satu pemberian perlakuan panas pada sampel dengan dimasukkan kedalam oven dengan temperatur tertentu selama beberapa menit sesuai dengan standart. Kemudian ditahan dalam suhu lingkungan selama beberapa menit. Setelah itu sampel dimasukkan kembali kedalam *refrigerator* (pendingin) dengan temperatur tertentu dan ditahan selama beberapa menit juga, lakukan siklus tersebut sebanyak sesuai dengan standart yang ditentukan.

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kemampuan material komposit terhadap daya tahan tekanan mekanis yang disebabkan oleh perubahan siklus dalam temperatur yang tinggi dan temperatur rendah. Dengan demikian dapat diketahui seberapa besar kemampuan material dalam menahan suhu ekstrim ditambah dengan

adanya beban yang digunakan untuk pengujian. Total suhu yang digunakan tergantung pada material dan standart material yang akan diuji.

Tabel 2.3 Kondisi Suhu Saat Pengujian Siklus Termal

Kondisi	Nominal T(min) (°C) dengan toleransi	Nominal T(max) (°C) dengan toleransi
A	-55(+0, -10)	+85(+10, -0)
B	-55(+0, -10)	+125(+15, -0)
C	-65(+0, -10)	+150(+15, -0)
D	-40(+0, -10)	+125(+15, -0)
E	-55(+0, -10)	+150(+15, -0)
F	-40(+0, -10)	+115(+15, -0)
G	-0(+0, -10)	+100(+15, -0)
H	-0(+0, -10)	+125(+15, -0)
I	-55(+0, -10)	+110(+15, -0)
J	-40(+0, -10)	+150(+15, -0)

Sumber: JEDEC Solid State Technology Association

Table 2.4 Waktu Pengujian

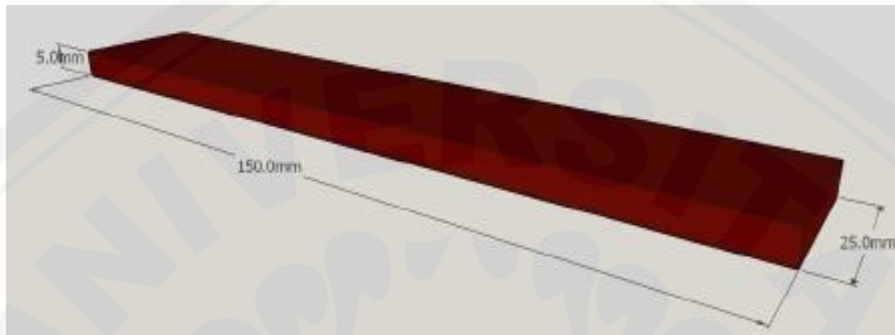
Type	Temperatur Penahanan (mak) & Temperatur Penahanan (min) (menit)
1	1
2	2
3	10
4	15

Sumber: JEDEC Solid State Technology Association

2.6.2 Pengujian Tarik Material Komposit

Pengujian tarik merupakan pengukuran terhadap suatu bahan untuk mengetahui keuletan dan kekuatan terhadap tegangan tertentu serta pertambahan panjang yang dialami oleh bahan tersebut. Kekuatan *ultimate* material dapat ditentukan dari beban maksimum dilakukan sebelum kegagalan. Pada uji tarik (*Tensile Test*) kedua ujung benda uji dijepit, salah satu ujung dihubungkan dengan perangkat penegang. Alat untuk uji tarik ini harus memiliki cengkraman yang kuat dan kekakuan yang tinggi. Metode pengujiannya dengan menggunakan sebuah plat strip tipis yang berbentuk persegi panjang dengan penampang dipasang pegangan dan beban yang tetap.

Pengujian ini untuk mengetahui sifat-sifat suatu bahan. Dengan menarik suatu bahan kita akan segera mengetahui bagaimana bahan ini bereaksi terhadap tenaga tarikan dan mengetahui sejauh mana material itu bertambah panjang. Standart pengujian tarik pada komposit bermatrik polimer menggunakan ASTM D 3039.



Gambar 2.12 Standar Persiapan Sampel Uji ASTM D 3039

Tabel 2.5 Spesimen Geometri Yang Dibutuhkan

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

Sumber: *American Standard Testing of Material D 3039*

Tabel 2.6 Geometri Spesimen Yang Direkomendasikan

Orientasi Serat	Lebar (mm)	Panjang (mm)	Tinggi (mm)
0° <i>unidirectional</i>	15	250	1,0
90° <i>unidirectional</i>	25	175	2,0
<i>Balanced & symmetric</i>	25	250	2,5
<i>Random - discontinuous</i>	25	250	2,5

Sumber: *American Standards Testing of Material D 3039*

Kekuatan tarik dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\sigma = \frac{F_{max}}{A_0}$$

dimana :

σ = tegangan mekanik (Nm²);

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

A_0 = luasan penampang mula-mula sebelum diberikan pembebanan (m²);

2.6.3 Pengujian Impak Material Komposit

Pengujian impak merupakan uji yang mengukur ketahanan material terhadap benturan dengan menumbuk benda kerja menggunakan sebuah pendulum yang diayunkan. Impak dinyatakan sebagai energi kinetik yang dibutuhkan untuk memulai keretakan dan meneruskan hingga material benar-benar patah. Pengujian ini dilakukan sebagai pemeriksaan kualitas secara cepat dan mudah dalam menentukan sifat impak spesifik maupun secara umum.

Besar nilai *impact resistance* dari material komposit merupakan fungsi dari matrik ditambah kehadiran fiber. Faktor lingkungan, sebagai akibat perubahan temperatur akan memberi pengaruh terhadap *impact resistance*. Misalnya kondisi lembab dan banyak mengandung air akan menyebabkan material komposit dengan resin *polyester* yang memiliki nilai *impact strength* tinggi suatu keadaan (setimbang dengan *atmosphere moisture*) dibanding pada kondisi kering, karena sifatnya akan lebih lunak atau *ductile* (Bramantyo, 2008).

Pengujian impak merupakan respon terhadap beban kejut atau beban tiba-tiba (beban impak) Dalam pengujian impak terdiri dari dua teknik pengujian standar yaitu *Charpy* dan *Izod* (Callister, 2007). Spesimen *Charpy* berbentuk batang dengan penampang lintang bujur sangkar dengan takikan V oleh proses permesinan. Beban didapatkan dari tumbukan oleh palu pendulum yang dilepas dari posisi ketinggian *h*. Spesimen diposisikan di dasar mesin impak seperti terlihat pada (Gambar 2.13). Ketika dilepas, ujung pisau pada palu pendulum akan menabrak dan mematahkan spesimen di takikannya yang bekerja sebagai titik konsentrasi tegangan untuk

pukulan impak 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 ($mgh - mgh'$) yaitu energi potensial dan energi mekanik. Energi potensial itu sendiri adalah energi yang dimiliki suatu benda akibat adanya pengaruh tempat atau kedudukan dari benda tersebut bisa juga disebut dengan energi diam karena benda itu mengalami perubahan energi potensial menjadi energi gerak. Contoh yang paling umum dari energi potensial adalah energi potensial gravitasi. Energi potensial gravitasi dimiliki benda karena posisi relatifnya terhadap bumi. Setiap benda yang memiliki energi potensial gravitasi dapat melakukan kerja apabila benda tersebut bergerak menuju permukaan bumi. Besarnya h_1 adalah 0 (nol), karena h_1 merupakan titik acuan yang umumnya merupakan acuan dari permukaan tanah yang arahnya vertikal terhadap tanah. Energi potensial dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$E_p = m \cdot g \cdot h$$

Sedangkan energi mekanik merupakan gabungan dari energi potensial dan energi kinetik.

$$E_m = E_p + E_k$$

Besarnya energi mekanik adalah konstan, karena massa bandul tidak berubah. Ada posisi tertinggi atau dengan kata lain saat sudut bandul terbesar, energi potensial mempunyai nilai terbesar. Namun energi kinetiknya sama dengan nol. Hal ini dianggap saat bandul mempunyai ketinggian maksimum, bandul mempunyai kecepatan sama dengan nol. Saat bandul tidak mempunyai ketinggian sama sekali, disitu energi kinetik bandul terbesar.

$$E_k = \frac{1}{2} m \cdot v^2$$

Sehingga dapat dihitung;

$$\begin{aligned} E_m &= E_p + E_k \\ &= m \cdot g \cdot h + \frac{1}{2} m \cdot v^2 \\ &= m \cdot g \cdot h + 0 \end{aligned}$$

Usaha yang dilakukan pendulum waktu memukul benda uji atau energi yang diserap benda uji sampai patah didapat rumus yaitu :

$$\begin{aligned} E_{\text{serap}} &= (E_p + E_k) - \text{Energi rugi} \\ &= m \cdot g \cdot (h - R \cdot \cos \alpha) - m \cdot g \cdot (h - R \cdot \cos \beta) - \text{energi rugi} \\ &= m \cdot g \cdot R \cdot (\cos \beta - \cos \alpha) - \text{energi rugi} \end{aligned}$$

dimana:

E_{srp} : energi serap (J)

E_k : energi kinetik

E_p : energi potensial

m : berat pendulum (kg)

g : gravitasi 9,81 (m/s^2)

h_1 : jarak awal antara pendulum dengan benda uji (m)

h_2 : jarak akhir antara pendulum dengan benda uji (m)

R : jarak lengan pengayun (m)

$\cos \alpha$: sudut posisi awal sebelum diayunkan

$\cos \beta$: sudut ayunan pendulum setelah mematahkan spesimen

Harga impak dapat dihitung dengan:

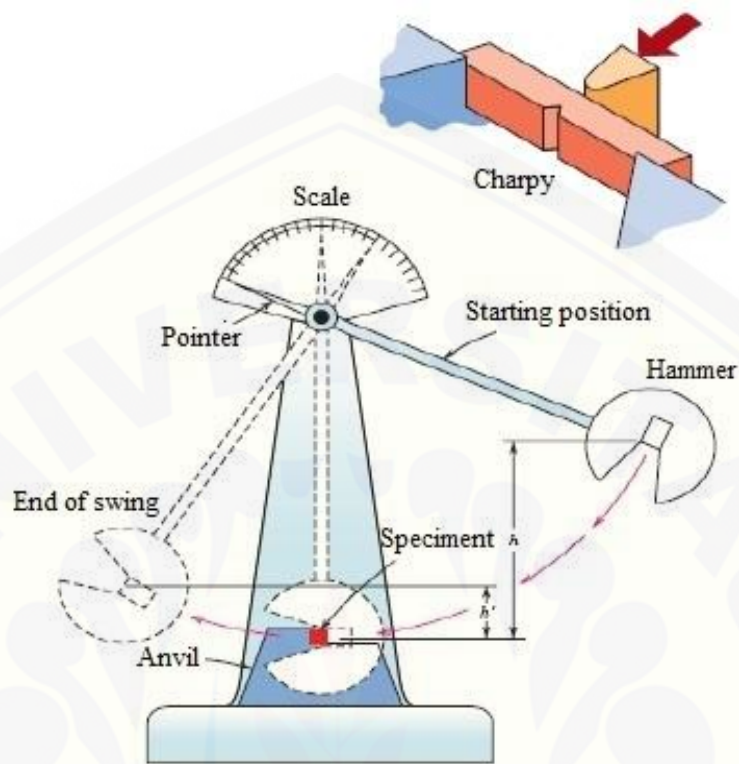
$$HI = E_{\text{srp}} / A_0$$

dimana :

HI : harga impak (J/mm^2)

E_{srp} : energi serap (J)

A_0 : luas penampang dibawah takikan (mm^2)



Gambar 2.13 Skematik Peralatan Uji Impak dan Spesimen Uji (Callister, 2007)

2.6.4 Pengujian Morfologi

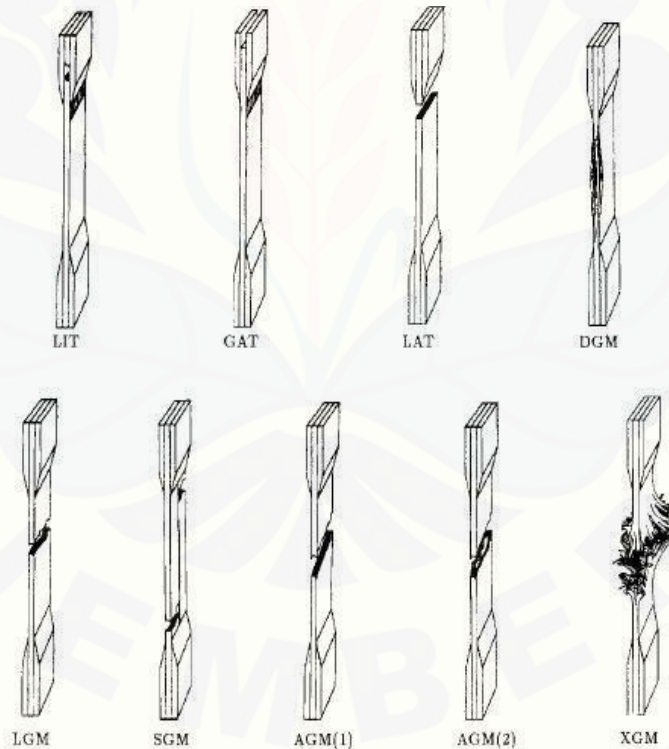
Pengujian morfologi atau pengujian makro merupakan proses pengambilan gambar dengan menggunakan foto makro dengan kamera biasa 16 MP. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan tampilan cacat yang terjadi akibat perlakuan termal siklus. Pengambilan foto dilakukan pada permukaan yang mengalami patahan untuk mengetahui bentuk patahan dan jenis patahan yang terjadi.

Berikut kode kegagalan pada komposit berikut contohnya berdasarkan ASTM D 3039:

Tabel 2.7 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	< 1W dari grip/cekam	W	Left	L
Lateral	L	Gage	G	Right	R
Multi-mode	M(xyz)	Multiple Areas	M	Middle	M
Long splitting	S	Varius	V	Varius	V
Explosive	X	Unknown	U	Unknown	U
Other	O				

Sumber: *American Standards Testing of Material D 3039*



Gambar 2.14 Bentuk Patahan Komposit (Sumber: ASTM D 3039)

2.7 Hipotesa

Hipotesa yang dibuat pada penelitian ini sebagai berikut:

1. Semakin banyak jumlah lamina (1 lapis, 2 lapis dan 3 lapis), semakin meningkat nilai kekuatan mekaniknya. Yang disebabkan adanya penambahan penguat (serat) pada spesimen. Sehingga beban yang didistribusikan ke setiap lapisan semakin kecil karena semakin banyak komponen penguat yang dapat menahan beban.
2. Semakin banyak perlakuan siklus termal, semakin menurun nilai kekuatan mekaniknya. Hal itu disebabkan spesimen mengalami pelunakan, degradasi matrik dan penguat akibat perlakuan termal yang berulang-ulang.

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode penelitian kuantitatif dan deskriptif. Penelitian kuantitatif menekankan analisisnya pada data-data numerik. Dengan metode kuantitatif akan diperoleh signifikansi perbedaan kelompok atau signifikansi hubungan antar variabel yang diteliti. Sedangkan penelitian deskriptif melakukan analisis hanya sampai pada taraf deskripsi yaitu menganalisis dan menyajikan fakta secara sistematis sehingga dapat lebih mudah untuk dipahami dan disimpulkan. Untuk memudahkan penjelasan, acuan yang dijadikan rujukan di dalam penelitian ini ialah sampel kontrol yaitu sampel komposit 1 lapis, 2 lapis dan 3 lapis dengan 0x pengujian siklus termal.

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Pelaksanaan penelitian dilaksanakan pada April sampai dengan Juli 2015 di Laboratorium Uji Bahan dan Laboratorium Konversi Energi Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

3.2 Variabel Penelitian

Variabel yang diamati dalam penelitian ini terdiri dari dua macam, yaitu :

3.2.1 Variabel Bebas

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

Tabel 3.1 Tabelisasi Analisa Data

Jumlah/x (kali)	0 (x ₁)	25 (x ₂)	50 (x ₃)	75 (x ₄)
Lamina/w (layer)				
1 (w ₁)	w ₁ x ₁	w ₁ x ₂	w ₁ x ₃	w ₁ x ₄
2 (w ₂)	w ₂ x ₁	w ₂ x ₂	w ₂ x ₃	w ₂ x ₄
3 (w ₃)	w ₃ x ₁	w ₃ x ₂	w ₃ x ₃	w ₃ x ₄

Keterangan : Setiap variabel dilakukan 5 kali pengulangan spesimen

3.2.2 Variabel Terikat

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

3.3 Alat dan Bahan Penelitian

Alat dan bahan yang digunakan selama penelitian berlangsung antara lain:

Alat :

1. *Universal Machine Testing* merk ESSOM TM 113 30 kN
2. Mesin pengujian impak
3. *Refrigerator* merk Nasional
 - a. Model : NR-S14C
 - b. Voltase : AC-220V
 - c. Daya : 600 Watt
 - d. Kapasitas : 203 liter
4. *Microwave* (pemanas) merk KIRIN *oven elektrik*
 - a. Model : KBO-90M
 - b. Voltase : AC-220V
 - c. Frekuensi : 50/60 Hz
 - d. Daya : 600 Watt
 - e. Kapasitas : 9 liter
 - f. Berat Bersih : 2,8 Kg
 - g. Berat Kotor : 3,2 Kg
 - h. Temperatur max : 300°C
5. Ayakan mesh 50
6. Cetakan dari kaca tebal 5mm, plastik astralon, plastisin dan margarin
7. Timbangan digital
8. Kamera 16 MP (Kamera *Hand Phone*) 5248 x 3936 *pixels*, *LED flash*
9. Gerinda tangan

Bahan :

1. Serat kenaf anyam yang siap digunakan
2. Resin *polyester* Yukalac 157 BQTN –EX
3. Partikel *montmorillonite* dengan ukuran mesh 50
4. Katalis atau *hardener* merk MEKPO

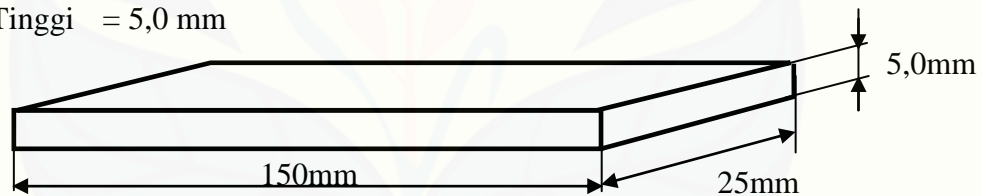
3.4 Pembuatan Cetakan

3.4.1 Cetakan Spesimen Tarik

Untuk pengujian tarik cetakan dibuat menggunakan kaca ketebalan 5 mm dengan ukuran mengacu pada standar spesimen uji tarik ASTM D3039 dan jurnal rujukan standar ASTM D3039 oleh (Mouritz, 2007) yang mempunyai ukuran spesimen seperti pada Gambar 3.1.

Dimensi spesimen uji tarik:

- Panjang = 150 mm
- Lebar = 25 mm
- Tinggi = 5,0 mm



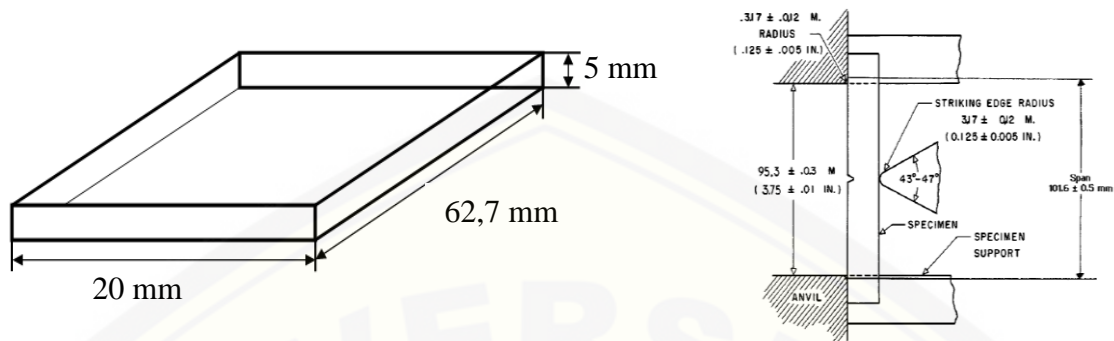
Gambar 3.1 Penampang Spesimen Uji Tarik

3.4.2 Cetakan Spesimen Impak

Untuk pengujian impak cetakan dibuat menggunakan kaca dengan ketebalan 5 mm dengan ukuran mengacu pada standart spesimen uji impak ASTM D 5942 yang mempunyai ukuran spesimen seperti pada Gambar 3.2.

Dimensi spesimen uji impak:

- Lebar = 20 mm
- Panjang = 62,7 mm
- Tebal = 5 mm



Gambar 3.2 Penampang Spesimen Uji Impak

3.5 Prosedur Penelitian

3.5.1 Langkah-Langkah Pembuatan Sampel

1. Mempersiapkan bahan serta alat pendukung untuk membuat sampel. Sampel dibuat menggunakan cetakan dari kaca dengan ukuran yang sesuai dengan standart pengujian tarik dan pengujian impak.



Gambar 3.3 Cetakan Kaca

2. Potong serat kenaf sebanyak sampel yang dibutuhkan sesuai dengan ukuran standart yang diijinkan pada sampel uji tarik dan uji impak.



Gambar 3.4 Serat Kenaf Yang Sudah Dipotong

3. Hancurkan partikel *montmorillonite* dengan lumpang besi lalu ayak dengan ayakan tepung (mesh berukuran 50). Timbang partikel *montmorillonite* dengan fraksi berat aditif 40% serta timbang juga resin sesuai kebutuhan, tambahkan katalis (*hardener*) 1%.



Gambar 3.5 Lumpang Besi, Ayakan dan Serbuk *Montmorillonite*

4. Kemudian campur resin, katalis dan *montmorillonite* dengan persentase sesuai dengan rencana penelitian. Aduk secara perlahan dengan hitungan pengadukan 100 kali saat pencampuran resin dan katalis, lalu aduk 60 kali saat pencampuran resin-katalis dengan *montmorillonite*.
5. Untuk memudahkan melepaskan material komposit dengan cetakan, lapis cetakan dengan astralon dan margarin secukupnya. Tentukan jumlah lapisan yang direncanakan. Tuang campuran matrik ke dalam cetakan sesuai standart uji, kemudian letakkan serat kenaf di atasnya, setelah itu tuangkan lagi matrik ke dalam cetakan. Tambahkan lagi campuran serupa sesuai dengan jumlah lapisan. Tutup cetakan dengan plastik astralon. Pastikan tidak terjadi rongga udara (*void*) saat menutup cetakan.
6. Tunggu selama 12 jam, kemudian lepaskan komposit dari cetakan. Potong pada sisi kiri dan kanan yang berlebih dengan menggunakan gerinda tangan.
7. Berikan pemberat kepada sampel uji selama 3 hari untuk menghindari komposit mengalami lendutan.

3.5.2 Langkah-Langkah Pengujian Sampel

3.5.2.1 Siklus Termal

Sampel komposit dilakukan siklus termal dengan meletakkan sampel kedalam oven dengan temperatur 100°C selama 10 menit. Kemudian diangin-anginkan pada temperatur lingkungan selama 10 menit juga. Setelah itu sampel dimasukkan kedalam *refrigerator* (pendingin) dengan suhu 0°C selama 10 menit. Dan diangin-anginkan lagi pada temperatur lingkungan selama 10 menit. Proses diangin-anginkan perlu dilakukan karena dalam pengujian termal siklik ini pada saat transisi antara perlakuan panas (*microwave*) ke dingin (*refrigerator*) akan terkontaminasi oleh suhu lingkungan. Hal ini dilakukan terus menerus secara berulang-ulang dan membentuk suatu siklus. Dengan demikian siklus termal adalah ketika sampel masuk ke dalam oven dan masuk lagi ke dalam *refrigerator*, dengan perlakuan siklus sebanyak 0x, 25x, 50x, dan 75x (sesuai dengan variabel yang ditentukan).

3.5.2.2 Uji Tarik

Spesimen langsung dilakukan uji tarik dengan menggunakan mesin uji tarik sesuai standar ASTM D3039. Ketika pengujian tarik siap dilakukan, setel penanda *displacement* dengan meletakkan ujung dasarnya ke dasar mesin uji tarik. Saat penanda *displacement* tidak lagi menyentuh dasar mesin uji tarik, lakukan penyetelan ulang dengan mengendorkan pengikatnya dan meletakkan ke dasar mesin uji tarik. Hal ini dimaksudkan supaya penanda *displacement* dapat bekerja dengan baik. *Reset display* saat akan melakukan pengujian tarik. Proses pengujian minimal dilakukan oleh dua orang, orang pertama memegang pencekam sedangkan yang lainnya mengungkit dengan tuas yang disediakan. Selama proses, jangan lupa untuk melakukan perekaman. Simpan rekaman video tersebut untuk selanjutnya diolah datanya dengan bantuan media *player classic* (untuk melihat data dengan menggunakan arah pada *keyboard*) dan *Microsoft excel* (untuk membuat grafik).

3.5.2.3 Uji Impak

Spesimen uji berbentuk batang dengan penampang lintang bujur sangkar dengan takikan V yang diproses dengan permesinan. Beban didapatkan dari

tumbukan oleh palu pendulum yang dilepas dari posisi ketinggian h . Spesimen diposisikan di dasar (tempat uji pada alat). Ketika dilepas, ujung pisau pada pendulum akan menabrak dan mematahkan spesimen di takikannya yang bekerja sebagai titik konsentrasi tegangan untuk pukulan impak 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 impak. Posisi simpangan lengan pendulum terhadap garis vertikal sebelum dibenturkan adalah α dan posisi lengan pendulum terhadap garis vertikal setelah membentur spesimen adalah β .

3.5.2.4 Uji Makro

Pengujian makro atau pengujian morfologi merupakan proses pengambilan gambar atau foto dengan menggunakan kamera biasa 16 MP. Pemeriksaan foto makro bertujuan untuk mengetahui bentuk makro yang diperoleh dari hasil proses pengujian mekanik. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan tampilan tentang cacat yang terjadi akibat perlakuan siklus termal. Cara yang digunakan adalah dengan pengambilan foto dilakukan pada permukaan yang mengalami patahan untuk mengetahui bentuk patahan dan jenis patahan yang terjadi. Pengambilan foto makro harus tepat dan dapat mewakili seluruh struktur dalam variasi.

3.6 Metode Pengambilan Data

3.6.1 Eksperimen Dua Faktorial

Jenis pengambilan data yang digunakan dalam penelitian ini adalah penelitian eksperimental dengan pendekatan kuantitatif. Uji statistik yang dilakukan dalam penelitian ini adalah eksperimen faktorial. Penggunaan eksperimen faktorial ini, karena terdapat lebih dari satu faktor yang mempengaruhi sesuatu yang diamati. Seperti yang ada dalam penelitian ini yaitu pengaruh temperatur dan jumlah lamina. Bentuk eksperimen faktorial model rancangan acak lengkap dari data hasil percobaan Y_{ijk} dapat dinyatakan dengan model matematis:

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

dengan, $i = 1,2$ dan 3

$j = 1,2,3$ dan 4

$k = 1,2,3,4,5$

dimana :

Y_{ijk} : Pengamatan pada faktor A taraf ke- i , faktor B taraf ke- j dan ulangan ke- k

μ : Rataan umum

α_i : Pengaruh faktor A taraf ke- i

β_j : Pengaruh faktor B taraf ke- j

$(\alpha\beta)_{ij}$: Pengaruh interaksi dari faktor A taraf ke- i dan faktor B taraf ke j

ε_{ijk} : Pengaruh acak pada faktor A taraf ke- i , faktor B taraf ke- j dan ulangan ke- k

3.6.2 Uji Hipotesis

Hipotesis adalah suatu pernyataan yang masih lemah kebenarannya dan perlu dibuktikan atau dugaan yang sifatnya masih sementara. Pengujian hipotesis akan menghasilkan keputusan menerima atau menolak hipotesis. Penolakan suatu hipotesis bukan berarti disimpulkan bahwa hipotesis salah, dimana bukti yang tidak konsisten dengan hipotesis. Penerimaan hipotesis sebagai akibat tidak cukupnya bukti untuk menolak dan tidak berimplikasi bahwa hipotesis itu pasti benar. Pada penelitian ini ditetapkan nilai taraf signifikansi α sebesar 5% atau 0,05 dengan artian ada kemungkinan satu diantara seratus keputusan penolakan hipotesis 0 adalah keputusan yang keliru (Sastrosupadi, 1995). Model acak untuk membuktikan hipotesis bahwa :

1. Hipotesis pengaruh utama faktor A

$$H_0 : \sigma_\alpha^2 = 0$$

Faktor A tidak berpengaruh terhadap respon yang diamati

$$H_1 : \sigma_\alpha^2 > 0$$

Faktor A berpengaruh positif terhadap respon yang diamati

2. Hipotesis pengaruh utama faktor B

$$H_0 : \sigma_\beta^2 = 0$$

Faktor B tidak berpengaruh terhadap respon yang diamati

$$H_1 : \sigma_{\beta}^2 > 0$$

Faktor B berpengaruh positif terhadap respon yang diamati

3. Hipotesis pengaruh interaksi

$$H_0 : \sigma_{\alpha\beta}^2 = 0$$

Faktor A dengan faktor B tidak berpengaruh terhadap respon yang diamati

$$H_1 : \sigma_{\alpha\beta}^2 > 0$$

Faktor A dengan faktor B berpengaruh positif terhadap respon yang diamati

Uji F dilakukan untuk membandingkan besaran pengaruh perlakuan (KTP) atau pengaruh kontrol lokal (pengelompokan) dengan efek kondisi (galat) (KTG). Kriteria keputusan : H_0 ditolak jika $F_{hit} > F_{\alpha}(a-1, a(r-1))$.

Kriteria Pengambilan Keputusan:

1. Jika $F_{hitung} < F_{tabel} 5\%$, maka hasil penelitian menunjukkan bahwa jumlah lamina dan banyaknya perlakuan termal tidak berpengaruh terhadap kekuatan tarik atau kekuatan impact dengan kata lain Terima H_0 dan Tolak H_1
2. Jika $F_{hitung} > F_{tabel} 5\%$, maka hasil penelitian menunjukkan bahwa jumlah lamina dan banyaknya perlakuan termal berpengaruh terhadap kekuatan tarik atau kekuatan impact dengan kata lain Tolak H_0 dan Terima H_1

Penelitian ini dilakukan dengan memvariasikan banyak perlakuan termal siklik (faktor B) terhadap kekuatan tarik dan kekuatan impact. Faktor perlakuan termal tersebut dilakukan sebanyak 0x, 25x, 50x dan 75x dengan variasi lamina (faktor A) yaitu 1 lapis, 2 lapis, dan 3 lapis. Rancangan yang digunakan adalah Percobaan faktorial dengan 5 kali ulangan (r).

a. Metode Rancangan Acak Lengkap

Pada rancangan acak lengkap ada dua sumber keragaman yaitu sumber keragaman perlakuan dan sumber keragaman galat. Besar nilai kedua komponen sumber keragaman inilah yang menentukan perbedaan antar perlakuan. Dalam penelitian ini menggunakan metode rancangan acak lengkap sama yaitu bila jumlah perlakuan sama (p) dan setiap perlakuan diulang (n) kali level maka dapat dibuat

tabel hasil pengamatan dengan pola acak yang disajikan dalam Tabel 3.2 anova sebagai berikut:

Tabel 3.2 Tabel Anova

Sumber keragaman (SK)	Derajat Bebas (DB)	Jumlah Kwadrat (JK)	Kwadrat Tengah (KT)	F hitung	F tabel 5 %
Perlakuan	ab-1	$\frac{\sum (\sum y_j)^2 - FK}{R}$	JKP/dbP	KTP/KTG	
A	a-1	$\frac{\sum (\sum y_j)^2 - FK}{R_b}$	JKA/dbA	KTA/KTG	
B	b-1	$\frac{\sum (\sum y_j)^2 - FK}{R_a}$	JKB/dbB	KTB/KTG	
AB	(a-1)(b-1)	JKP-JKA-JKB	JKAB/dbAB	KTAB/KTG	
Galat	ab(r-1)	JKT-JKP	JKG/dbG		
Total	(abr-1)	$\sum (\sum_{ijk})^2 - FK$			

Sumber: Sastrosupadi, 1995.

Keterangan:

- A = perlakuan faktor a
- B = perlakuan faktor b
- r = jumlah ulangan
- dbP = ab-1
- dbA = a-1
- dbB = b-1
- dbAB = (a-1) (b-1)
- dbG = ab(r-1)
- dbT = (abr-1)
- FK = $\frac{\sum (Y_{ij})^2}{a \times b \times r}$
- JKT = $\sum (\sum_{ijk})^2 - FK$
- JKP = $\frac{\sum (\sum y_j)^2 - FK}{r}$
- JK faktor A = $\frac{\sum (\sum y_j)^2 - FK}{r_b}$
- JK faktor B = $\frac{\sum (\sum y_j)^2 - FK}{r_a}$

JK faktor AB = JKP-JKA-JKB

JKG = JKT-JKG

KTP = JKP/dbp

KTA = JKP/dba

KTB = JKP/dbb

KTAB = JKP/dbab

KTG = JKG/dbg

3.7 Analisa Data

Analisa data dilakukan setelah diperoleh hasil pengujian morfologi, pengujian uji tarik dan impak dengan perlakuan siklus termal terhadap komposit *polyester* kenaf *montmorillonite* ialah sebagai berikut:

1. Analisis pengaruh jumlah lamina pada komposit matrik *polyester* berpenguat serat kenaf anyam dengan aditif *montmorillonite* terhadap nilai kekuatan tarik dan kekuatan impak.
2. Analisis pengaruh banyaknya perlakuan siklus termal terhadap kekuatan tarik dan kekuatan impak komposit matrik *polyester* berpenguat serat kenaf anyam dengan aditif partikel *montmorillonite*.
3. Analisis kondisi morfologi komposit matrik *polyester* berpenguat serat kenaf anyam menggunakan aditif partikel *montmorillonite* setelah dilakukan perlakuan siklus termal pengujian tarik dan impak.

3.7.1 Penyajian Data Hasil Penelitian

Tabel 3.3 Data Hasil Pengujian Pengaruh Jumlah Lamina Terhadap Kekuatan Tarik

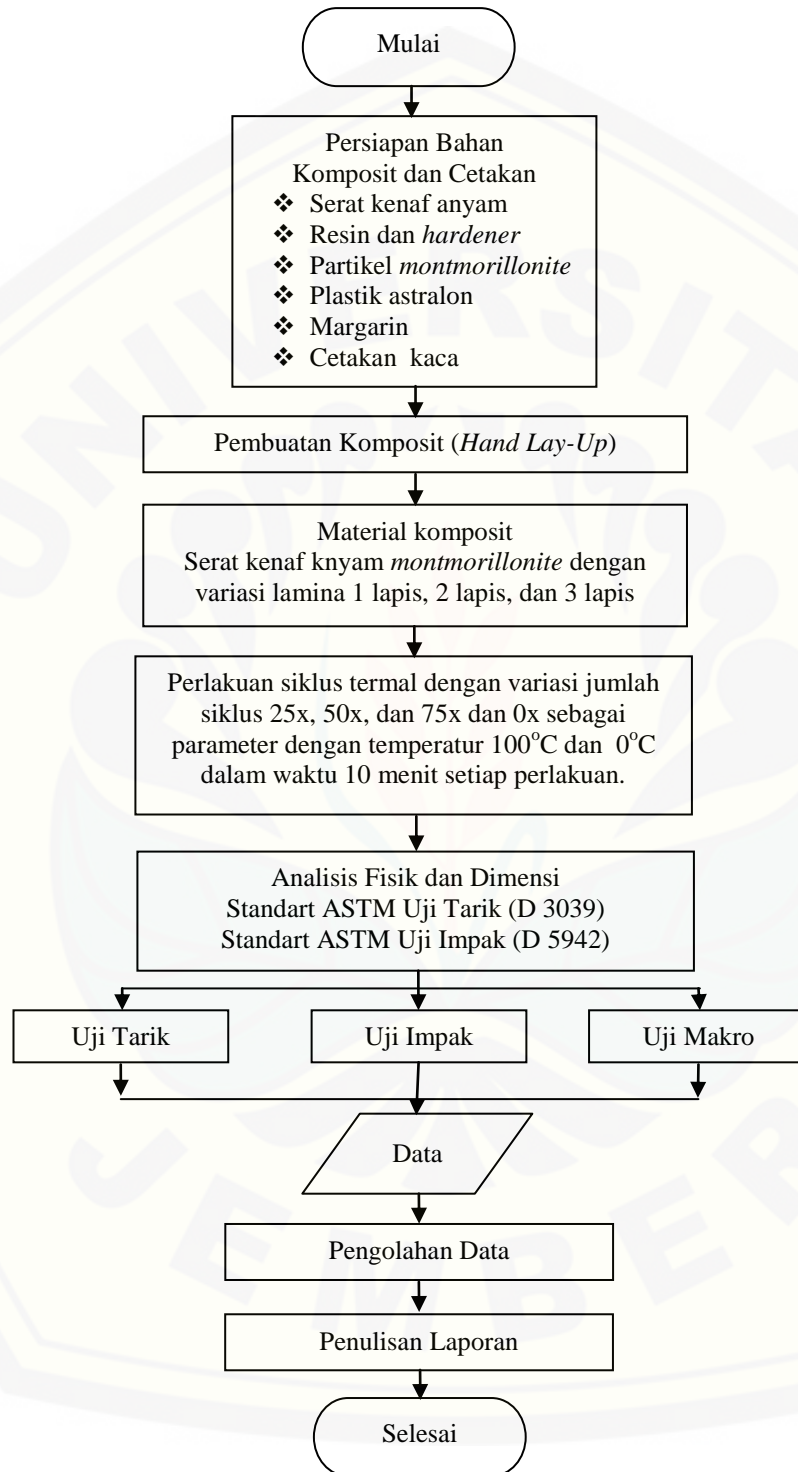
Waktu Pengujian (menit)	Temperatur Pengujian (Min ^o C)(Max ^o C)	Jumlah Lamina (layer)	Harga Tarik Tiap Pengujian (MPa)			
			0x	25x	50x	75x
10	(0) (100)	1				
Rata-rata						

Waktu Pengujian (menit)	Temperatur Pengujian (Min ^o C)(Max ^o C)	Jumlah Lamina (layer)	Harga Tarik Tiap Pengujian (MPa)			
			0x	25x	50x	75x
10	(0) (100)	2				
Rata-rata						
10	(0) (100)	3				
Rata-rata						

Tabel 3.4 Data Hasil Pengujian Pengaruh Jumlah Lamina Terhadap Kekuatan Impak

Waktu Pengujian (menit)	Temperatur Pengujian (Min ^o C)(Max ^o C)	Jumlah Lamina (layer)	Harga Impak Tiap Pengujian (J/mm ²)			
			0x	25x	50x	75x
10	(0) (100)	1				
Rata-rata						
10	(0) (100)	2				
Rata-rata						
10	(0) (100)	3				
Rata-rata						

3.8 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.6 Diagram Alir Peneliti

BAB. 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam penelitian ini dilakukan beberapa pengujian untuk mengetahui sifat mekanis dan sifat termal pada komposit berpenguat serat kenaf anyam dengan aditif partikel *montmorilonite*. Pengujian yang dilakukan yaitu uji tarik dan uji impak dengan diberi perlakuan siklus termal pada masing - masing spesimen. Data – data hasil pengujian tersebut dianalisa dan dibahas untuk memperoleh kesimpulan sesuai dengan tujuan penelitian.

4.1 Data Hasil Pengujian

4.1.1 Hasil Pengujian Kekuatan Tarik Komposit

Hasil pengujian kekuatan tarik komposit *polyester* serat kenaf anyam dengan aditif 40% dengan variasi jumlah lamina perlakuan siklus termal.

Tabel 4.1 Data Hasil Pengaruh Jumlah Lamina Dengan Perlakuan Siklus Termal Terhadap Nilai Kekuatan Tarik

Waktu Pengujian (menit)	Temperatur Pengujian (Min ^o C)(Max ^o C)	Jumlah Lamina (layer)	Harga Kekuatan Tarik Tiap Pengujian (MPa)			
			0x	25x	50x	75x
10	(0) (100)	1	15,63	17,13	16,76	11,11
			13,75	15,63	19,77	10,73
			34,45	18,26	18,26	9,23
			12,99	20,52	8,48	18,64
			17,13	13,37	13,37	13,75
			Rata-rata	18,79	16,98	15,33
10	(0) (100)	2	17,13	20,90	14,50	14,50
			20,90	16,00	16,00	16,00
			12,99	13,75	22,40	11,11
			22,40	12,62	13,75	13,37
			32,19	26,92	17,51	12,62
			Rata-rata	21,12	18,04	16,83
10	(0) (100)	3	8,48	31,06	13,37	8,48
			14,50	8,48	13,37	16,00
			16,00	14,12	14,12	17,89
			16,76	12,62	17,51	11,11
			35,96	20,52	11,86	6,97
			Rata-rata	18,34	17,36	14,05

Secara umum, berdasarkan Tabel 4.1 data hasil pengaruh jumlah lamina dengan perlakuan siklus termal terhadap nilai kekuatan tarik, didapatkan bahwa semakin banyak jumlah lamina kekuatan tarik pada 1 lapis dan 2 lapis semakin meningkat, namun untuk 3 lapis cenderung menurun. Sedangkan untuk pengaruh banyak siklus termal terhadap nilai kekuatan tarik pada masing-masing lamina, menunjukkan semakin banyak jumlah siklus yang diberikan pada spesimen, maka semakin menurun nilai kekuatan tariknya.

4.1.2 Hasil Pengujian Kekuatan Impak Komposit

Untuk hasil pengujian impak dengan variasi jumlah lamina dan perlakuan siklus termal pada komposit *polyester* serat kenaf anyam dengan penambahan aditif *montmorillonite* 40%.

Tabel 4.2 Data Hasil Pengaruh Jumlah Lamina Dengan Perlakuan Siklus termal Terhadap Nilai Kekuatan Impak

Waktu Pengujian (menit)	Temperatur Pengujian (Min°C)(Max°C)	Jumlah Lamina (layer)	Harga Kekuatan Impak Tiap Pengujian (J/mm ²)			
			0x	25x	50x	75x
10	(0) (100)	1	0,128	0,128	0,111	0,094
			0,111	0,111	0,094	0,111
			0,111	0,111	0,111	0,111
			0,128	0,111	0,111	0,094
			0,094	0,094	0,111	0,111
			Rata-rata	0,114	0,111	0,107
10	(0) (100)	2	0,143	0,128	0,111	0,111
			0,111	0,111	0,128	0,128
			0,111	0,128	0,094	0,094
			0,128	0,094	0,111	0,094
			0,111	0,111	0,111	0,094
			Rata-rata	0,121	0,114	0,111
10	(0) (100)	3	0,111	0,111	0,094	0,094
			0,094	0,111	0,111	0,094
			0,111	0,094	0,094	0,111
			0,128	0,111	0,111	0,111
			0,111	0,111	0,111	0,094
			Rata-rata	0,111	0,107	0,104

Berdasarkan Tabel 4.2 data hasil pengaruh jumlah lamina dengan perlakuan siklus termal terhadap nilai kekuatan impact. Secara umum hampir sama dengan hasil pengujian tarik. Semakin banyak jumlah lamina kekuatan impact pada 1 lapis dan 2 lapis semakin meningkat, untuk 3 lapis cenderung menurun. Sedangkan pengaruh perlakuan siklus termal terhadap nilai kekuatan impact. Seperti hasil pengujian komposit sebelumnya terhadap nilai kekuatan impact. Hasil pengujian menunjukkan semakin banyak jumlah siklus yang diberikan pada spesimen, maka semakin menurun nilai kekuatan impactnya.

4.2 Analisis dan Hasil Penelitian

4.2.1 Pengujian Hipotesis Pada Pengujian Tarik

Dalam pengujian komposit *polyester* serat kenaf anyam dengan aditif *montmorilonite*. Dengan variasi jumlah lamina terhadap pengaruh kekuatan tarik. Pada pengujian kekuatan dilakukan dengan menggunakan ANOVA desain faktorial dengan bantuan *software* SPSS 16.0., dari proses analisis didapatkan tabel ANOVA sebagai berikut:

Tabel 4.3 ANOVA Pengujian Kekuatan Tarik Komposit

SK	db	JK	KT	F-hit	Sig.	F-tabel (5%)	Keterangan
Perlakuan	11	414,918	37,720	1,044	,425	1,99	Tidak signifikan
Lamina	2	39,777	19,889	,550	,580	3,191	Tidak signifikan
Termal	3	365,154	121,718	3,368	,026	2,798	Signifikan
Interaksi	1	15866,508	15866,508	439,007	,000	4,043	Signifikan
Galat	48	1734,805	36,142				
Total	59	18016,232					

Berdasarkan Tabel 4.3 pada sumber keragaman (SK) variasi lamina, didapatkan nilai F-hitung sebesar 0,550. Dari tabel distribusi F dengan db $n_1 = 2$ dan $n_2 = 48$ didapatkan F-tabel sebesar 3,191 pada taraf 5%. Jika F-hitung dibandingkan dengan F-tabel dapat dipastikan bahwa F-hitung lebih besar daripada F-tabel 5% ($0,550 < 3.191$). Dari pengujian ini didapatkan kesimpulan bahwa tidak terdapat pengaruh signifikan beberapa variasi lamina terhadap kekuatan tarik atau terima H_0 dan tolak H_1 .

Sedangkan pada sumber keragaman perlakuan siklus termal, didapatkan nilai F-hitung sebesar 3.369. Dari tabel distribusi F dengan db $n_1 = 3$ dan $n_2 = 48$ didapatkan F-tabel sebesar 2,798 pada taraf 5%. Jika F-hitung dibandingkan dengan F-tabel dapat dipastikan bahwa F-hitung lebih kecil daripada F-tabel 5% dapat disimpulkan bahwa terdapat pengaruh signifikan beberapa variasi perlakuan siklus termal terhadap kekuatan tarik komposit atau terima H_1 dan tolak H_0 .

4.2.2 Pengujian Hipotesis Pada Pengujian Impak

Dalam pengujian komposit dengan variasi perlakuan siklus termal terhadap pengaruh kekuatan impak. Analisis pengujian kekuatan dilakukan dengan menggunakan ANOVA desain faktorial dengan bantuan *software* SPSS 16.0., dari proses analisis didapatkan tabel ANOVA sebagai berikut:

Tabel 4.4 ANOVA Pengujian Kekuatan Impak Komposit

SK	db	JK	KT	F-hit	Sig.	F-tabel (5%)	Keterangan
Perlakuan	11	,002	,000	1,151	,345	1,99	Tidak signifikan
Lamina	2	,000	,000	1,629	,207	3,191	Tidak signifikan
Termal	3	,001	,000	2,970	,041	2,798	Signifikan
Interaksi	1	,716	,716	5,200E3	,000	4,043	Signifikan
Galat	48	,001	,000				
Total	59	,008					

Berdasarkan Tabel 4.4 pada sumber keragaman (SK) variasi lamina, didapatkan nilai F-hitung sebesar 1,629. Dari tabel distribusi F dengan db $n_1 = 2$ dan $n_2 = 48$ didapatkan F-tabel sebesar 3,191 pada taraf 5%. Jika F-hitung dibandingkan dengan F-tabel dapat dipastikan bahwa F-hitung lebih besar daripada F-tabel 5% ($1,629 < 3.191$). Dari pengujian ini didapatkan kesimpulan bahwa tidak terdapat pengaruh signifikan beberapa variasi lamina terhadap kekuatan impak atau terima H_0 dan tolak H_1 .

Sedangkan pada sumber keragaman perlakuan siklus termal, didapatkan nilai F-hitung sebesar 2,970. Dari tabel distribusi F dengan db $n_1 = 3$ dan $n_2 = 48$ didapatkan F-tabel sebesar 2,798 pada taraf 5%. Jika F-hitung dibandingkan dengan F-tabel dapat dipastikan bahwa F-hitung lebih kecil daripada F-tabel 5% dapat disimpulkan bahwa terdapat pengaruh signifikan beberapa variasi perlakuan siklus termal terhadap kekuatan impak komposit atau terima H_1 dan tolak H_0 .

Dengan demikian dari keseluruhan data hasil pengukuran di atas, variasi jumlah lamina tidak berpengaruh terhadap kekuatan impak komposit. Berdasarkan hasil penelitian secara nyata menunjukkan adanya pengaruh jumlah lamina terhadap kekuatan komposit, namun memiliki batas maksimal. Dimana batas maksimal merupakan batas kekuatan tertinggi yang mampu diterima oleh komposit itu sendiri. Sedangkan variasi jumlah perlakuan siklus termal berpengaruh terhadap kekuatan impak secara nyata. Dengan kata lain, dari kedua parameter di atas hanya perlakuan siklus termal yang berpengaruh.

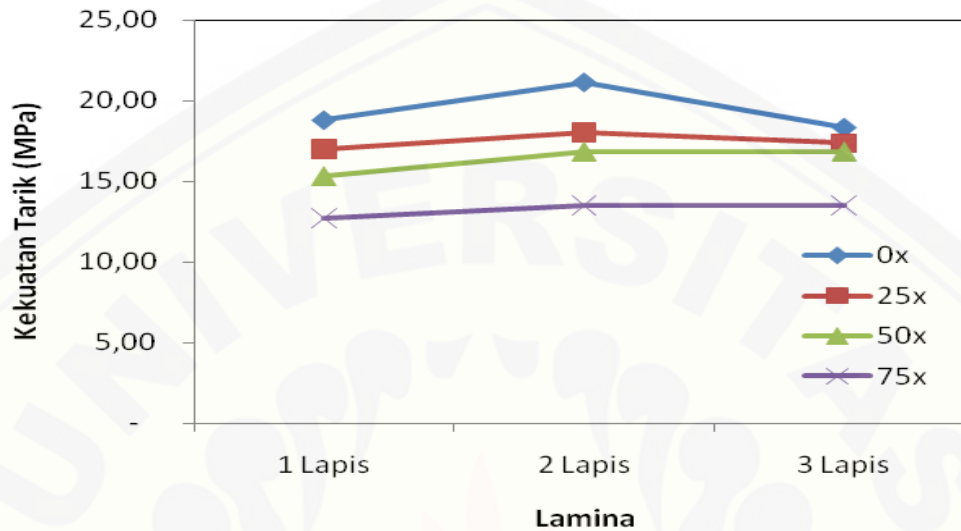
4.3 Pembahasan

4.3.1 Analisa Pengaruh Jumlah Lamina Terhadap Sifat Mekanik

4.3.1.1 Hasil Pengujian Tarik

Dari hasil pengujian kekuatan tarik yang ditunjukkan pada Gambar 4.1 dapat dilihat pada grafik bahwa nilai kekuatan tarik komposit *polyester* serat kenaf anyam mengalami peningkatan pada 1 lapis dan 2 lapis berturut – turut pada siklus 0x

sebagai pembanding sebesar 18,79 MPa dan 21,12 MPa. Namun pada 3 lapis mengalami penurunan yang signifikan sebesar 18,34 MPa.



Gambar 4.1 Grafik Hubungan Antara Kekuatan Tarik Terhadap Jumlah Lamina

Seiring dengan peningkatan jumlah lamina dan jumlah siklus pada komposit *polyester* mengalami penurunan yang signifikan berturut – turut pada siklus 25x, 50x dan 75x untuk 1 lapis adalah 16,98 MPa, 15,33 MPa dan 12,69 MPa. Pada 2 layer berturut – turut sebesar 18,04 MPa, 16,83 MPa dan 13,52 MPa. Sedangkan untuk 3 lapis sebesar 17,36 MPa, 14,05 MPa dan 12,09 MPa. Dari Gambar 4.1 di dapat data nilai kekuatan tarik tertinggi berada pada komposit 2 lapis dengan perlakuan siklus termal 0x. Nilai kekuatan tarik pada spesimen 1 lapis dibandingkan 3 lapis secara umum lebih besar nilai pada 1 lapis. Nilai kekuatan tarik pada 3 lapis lebih kecil disebabkan ikatan antara serat dengan matrik kurang sempurna. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.2 terdapat banyak rongga-rongga pada dinding-dinding serat pada setiap lamina. Secara umum rongga tersebut terdapat pada bagian permukaan serat. Dengan adanya hal tersebut, cukup membuktikan bahwa matrik dengan campuran *montmorilonite* tidak dapat sepenuhnya masuk pada rongga-rongga serat sehingga tingkat pembasahan serat kurang sempurna.



Gambar 4.2 *Void* Yang Terjadi Pada Spesimen

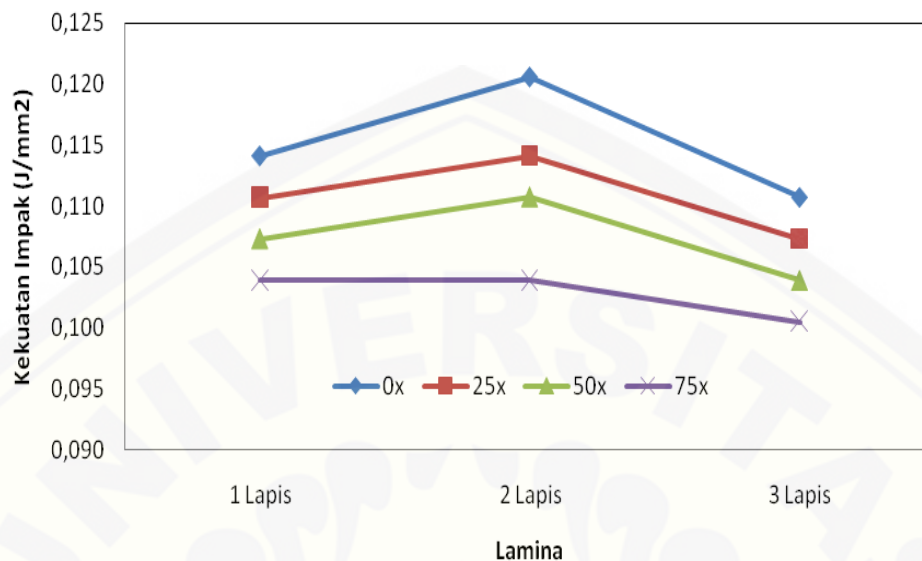
Dengan adanya rongga (*void*) tersebut dapat mempengaruhi besar kekuatan komposit. *Void* merupakan rongga udara yang terjebak di dalam komposit. Semakin banyak jumlah *void* pada komposit, semakin menurun kekuatan dari komposit itu sendiri. Adanya *void* disebabkan karena campuran resin dengan *aditif montmorilonite* tidak masuk ke seluruh permukaan rongga dari penguat (serat). Serat tidak terbungkus matrik dengan sempurna. Sehingga luasan dari spesimen yang seharusnya terbentuk dengan sempurna akan berkurang dan besar kemungkinan daerah patahan terjadi pada daerah yang terdapat *void* tersebut.

Berdasarkan hipotesa penulis tentang pengaruh jumlah lamina, baik pada 1 lapis, 2 lapis maupun 3 lapis terhadap peningkatan kekuatan tarik. Semakin banyak jumlah lamina pada komposit *sandwich*, semakin meningkat pula kekuatannya. Namun pada pengujian komposit *polyester* menunjukkan hasil yang berbeda. Peningkatan nilai kekuatan tarik komposit terjadi pada 1 lapis dan 2 lapis saja. Sedangkan pada 3 lapis mengalami penurunan. Dengan kata lain variasi 2 lapis pada komposit *polyester* tersebut merupakan nilai kekuatan optimal dari variasi jumlah lamina. Kekuatan optimal komposit tersebut, disebabkan tingkat pembasahan matrik untuk mengikat serat semakin kecil. Dimana semakin banyaknya jumlah lapisan pada komposit 1 lapis, 2 lapis dan 3 lapis akan menimbulkan adanya penambahan volume

serat yang berlebihan. Volume serat memiliki batas maksimum terhadap tingkat pembasahan matrik dalam mengikat serat. Menurut (Nuning, *dkk.*, tanpa tahun) menyatakan bahwa kekuatan matrik dalam mengikat serat mempengaruhi kekuatan komposit itu sendiri. Pernyataan lain dari (Milawarni, 2013), menyatakan semakin besar komposisi serat kekuatan semakin meningkat, namun peningkatan fraksi serat mempunyai batas tertentu. Apabila penggunaan serat yang digunakan melebihi batas kemampuan matrik untuk mengikat serat maka kekuatan tariknya cenderung menurun.

4.3.1.2 Hasil Pengujian Impak

Kemudian pada pengujian kekuatan impak menunjukkan hasil yang tidak jauh berbeda dengan hasil uji tarik. Dimana nilai tertinggi kekuatan impak pada 2 lapis dengan perlakuan siklus termal 0x. Untuk perlakuan siklus 0x pada 1 lapis, 2 lapis dan 3 lapis berturut-turut sebesar 0,114 J/mm², 0,121 J/mm² dan 0,111 J/mm². Untuk siklus selanjutnya yaitu 25x, 50x dan 75x pada 1 lapis berturut-turut sebesar 0,111 J/mm², 0,107 J/mm² dan 0,104 J/mm². Untuk 2 lapis berturut-turut sebesar 0,114 J/mm², 0,111 J/mm² dan 0,104 J/mm². Seperti ditunjukkan pada Gambar 4.2 grafik hubungan nilai kekuatan impak dengan jumlah lamina. Peningkatan nilai kekuatan impak komposit terjadi pada 1 lapis dan 2 lapis sedangkan pada 3 lapis mengalami penurunan. Dengan kata lain variasi 2 lapis pada komposit *polyester* tersebut merupakan nilai kekuatan optimal dari variasi jumlah lamina. Kekuatan optimal pada komposit tersebut merupakan nilai kekuatan tertinggi pada material tersebut. Komposit 2 lapis memiliki tingkat pembasahan matrik untuk mengikat serat paling sempurna dibandingkan lapisan yang lain.



Gambar 4.3 Grafik Hubungan Antara Kekuatan Impak Terhadap Jumlah Lamina

Berdasarkan Gambar 4.3 grafik hubungan nilai kekuatan impak terhadap jumlah lamina menunjukkan hasil yang tidak sejalan dengan hipotesa peneliti. Setiap penambahan lamina dari spesimen uji tidak berpengaruh terhadap besar nilai kekuatan impak. Faktor yang mempengaruhi terhadap besarnya nilai kekuatan impak yaitu kemampuan matrik dalam mengikat serat. Sedangkan ikatan matrik dengan serat dipengaruhi oleh massa dari komposit itu sendiri. Massa komposit dari setiap penambahan lamina pada komposit besarnya tetap, sedangkan massa matriknya semakin sedikit. Hal tersebut yang menyebabkan kekuatan komposit dengan variasi lamina 3 lapis semakin menurun.

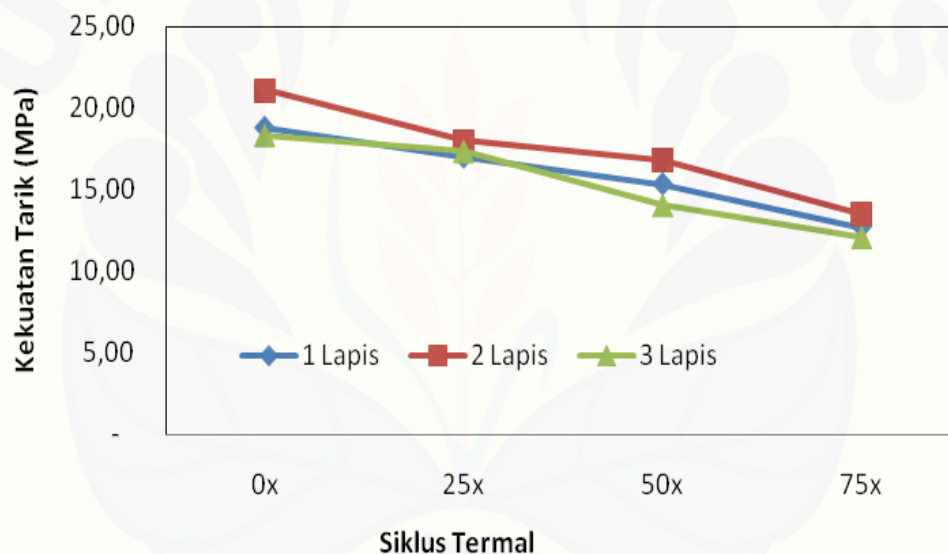
Faktor lain akibat tingkat pembasahan matrik yang kurang sempurna yaitu menyebabkan adanya rongga udara (*void*) yang dapat mengurangi nilai kekuatan impak pada komposit. Adanya *void* yang terjadi pada matrik sangatlah berbahaya, karena pada bagian tersebut penguat tidak didukung oleh matrik, sedangkan penguat selalu mentransfer tegangan ke matrik pada saat komposit menerima gaya. Daerah tegangan pada matrik akan berpindah ke daerah *void* yang dapat mengurangi kekuatan komposit. Hal seperti itu yang menjadi penyebab munculnya *crack*,

sehingga komposit akan gagal lebih awal. Hal tersebut sejalan dengan hasil penelitian (Daniel Andri, tanpa tahun) yang menyatakan kekuatan komposit terkait dengan adanya *void* berbanding terbalik, semakin banyak *void* maka komposit semakin rapuh dan apabila sedikit *void* komposit semakin kuat.

4.3.2 Analisa Pengaruh Perlakuan Siklus Termal Terhadap Sifat Mekanik

4.3.2.1 Hasil Pengujian Tarik

Berdasarkan grafik hubungan variasi jumlah siklus termal terhadap nilai kekuatan tarik pada Gambar 4.4 menunjukkan banyaknya perlakuan siklus termal berpengaruh terhadap besar nilai kekuatan tarik pada spesimen.



Gambar 4.4 Grafik Hubungan Jumlah Siklus Termal Dengan Nilai Kekuatan Tarik

Pada perlakuan siklus 0x menunjukkan nilai kekuatan komposit tertinggi. Kemudian seiring penambahan jumlah perlakuan termal sebanyak 25x, 50x dan 75x kekuatan dari komposit itu sendiri cenderung menurun secara signifikan. Namun terdapat penurunan yang sangat kecil pada 2 lapis dengan perlakuan siklus 25x dan 50x. Selisih nilai kekuatan tarik rata-rata pada spesimen sebesar 16,40 MPa dan 16,00 MPa. Selisih nilai tersebut bisa dijadikan alasan bahwa besar kekuatan tarik optimal

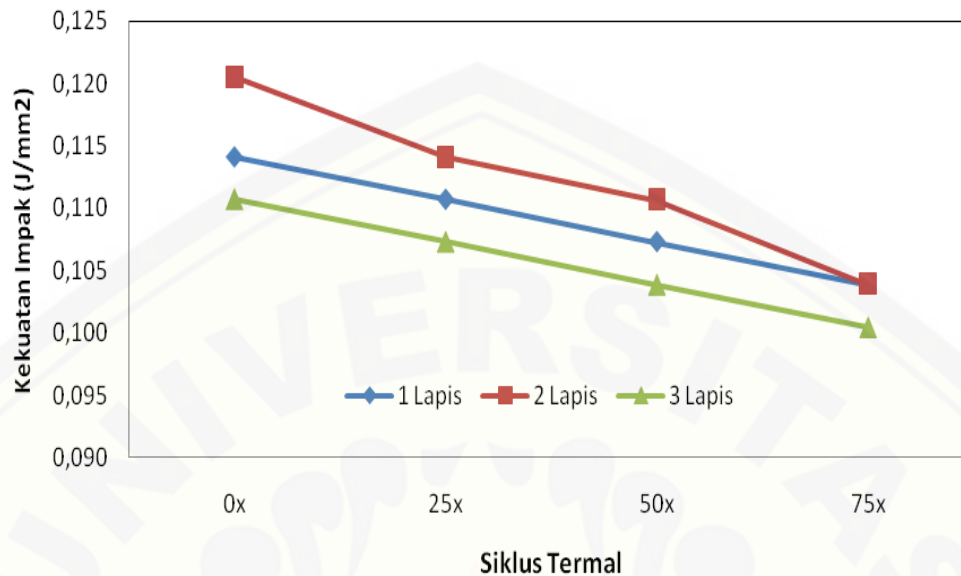
berada pada rentang itu. Dimana 2 lapis merupakan perbandingan yang baik antara matrik aditif MMT dengan penguat serat kenaf anyam.

Pada proses perlakuan siklus termal spesimen menerima perlakuan temperatur yang berubah-ubah. Perubahan temperatur pada spesimen tersebut akan mengakibatkan terjadinya kelelahan material atau sering disebut *thermal fatigue*. Dengan adanya kelelahan pada material akibat panas tersebut dapat menyebabkan siklus tegangan dan regangan yang tidak merata. Kelelahan material dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu temperatur yang terlalu tinggi serta banyaknya proses pendinginan dan pemanasan secara berkala. Hal ini yang menjadi alasan kuat bahwa semakin banyak jumlah siklus termal yang diberikan pada spesimen, maka semakin menurun nilai kekuatannya.

Sejalan dengan hipotesa penulis bahwa semakin banyak perlakuan siklus termal pada komposit 1 lapis, 2 lapis maupun 3 lapis, semakin menurun pula kekuatan tariknya. Dari hasil penelitian keseluruhan nilai kekuatan komposit berada dibawah dari kekuatan spesimen kontrol. Dengan kata lain, menunjukkan hasil yang sejalan dengan hipotesa peneliti, dimana secara garis besar nilai kekuatan tarik pada komposit *polyester* terhadap perlakuan siklus termal mengalami penurunan. Hal tersebut sejalan dengan hasil penelitian (Hariyanto, 2011) yang menunjukkan besar kekuatan dari komposit mengalami penurunan secara signifikan bersamaan dengan peningkatan temperatur dan banyaknya siklus termal.

4.3.2.2 Hasil Pengujian Impak

Pengujian kekuatan impak menunjukkan hasil yang tidak jauh berbeda dengan hasil pengujian tarik sebelumnya. Gambar 4.5 menunjukkan jumlah lamina 2 lapis memiliki nilai kekuatan impak tertinggi, sedangkan pada 3 lapis mengalami penurunan secara signifikan. Untuk perlakuan siklus 0x pada 1 lapis, 2 lapis dan 3 lapis berturut-turut sebesar $0,114 \text{ J/mm}^2$, $0,121 \text{ J/mm}^2$ $0,111 \text{ J/mm}^2$. Nilai kekuatan tertinggi ada pada 2 lapis dengan perlakuan siklus termal 0x.



Gambar 4.5 Grafik Hubungan Jumlah Siklus Termal Dengan Kekuatan Impak

Pada Grafik 4.5 menunjukkan semakin banyak perlakuan siklus termal pada spesimen uji, kekuatan impak pada spesimen semakin menurun yang disebabkan adanya temperatur yang berubah-ubah. Perubahan temperatur pada material tersebut akan mengakibatkan terjadinya kelelahan material. Sehingga material akan mengalami pelunakan dan degradasi pada matrik maupun serat.

Ditinjau dari bahan komposit yang digunakan merupakan jenis material *thermoset*. Sifat dari material *thermoset* itu sendiri jika diberi perlakuan termal dengan temperatur yang tinggi akan cenderung hangus. Jika pemberian termal tersebut diteruskan besar kemungkinan komposit akan berubah menjadi arang. Dengan perubahan material menjadi arang dapat menyebabkan material menjadi rapuh. Sehingga nilai kekuatannya semakin menurun seiring dengan banyaknya perlakuan termal. Hal itu sejalan dengan penelitian yang dilakukan (Yousif, 2013), dimana komposit (*Fiber Reinforced Polymer*) akan mengalami pelunakan, *cleep* dan terdistorsi pada temperatur 100°C-200°C yang dapat menyebabkan kegagalan ketika mengalami pembebanan struktur.

4.3.3 Analisa Kondisi Morfologi Komposit

Dari hasil pengujian tarik dapat diketahui kondisi morfologi dari spesimen baik sesudah perlakuan maupun sebelum diberikan perlakuan. Dengan menjadi kondisi morfologi inilah dapat mengetahui fenomena yang terjadi pada spesimen. Fenomena yang dapat dikaji dari hasil foto makro yaitu jenis dan kondisi patahan pada spesimen dan perubahan morfologi yang terjadi akibat perlakuan siklus termal.

Pengamatan spesimen sebelum diberikan perlakuan siklus termal dilakukan foto makro untuk mengetahui bentuk dan warna dari spesimen tersebut. Kerena memungkinkan akan terjadi perubahan dalam segi bentuk maupun warna setelah diberikan perlakuan termal. Sedangkan hasil pengamatan yang dilakukan setelah spesimen diberikan perlakuan siklus termal dan diuji tarik maupun uji impak tidak menunjukkan perubahan bentuk dan perubahan warna yang mencolok pada spesimen tersebut. Tidak terjadinya perubahan bentuk pada spesimen disebabkan adanya campuran resin dengan partikel *montmorilonite* yang dapat menahan termal pada saat diberikan perlakuan siklus termal. Kondisi lain pada komposit dengan aditif *montmorilonite* yaitu material lebih getas dan keras dibandingkan spesimen tanpa *montmorilonite*. Hal itu dapat dilihat dari jenis patahan komposit yang kurang lebih sama jika dibandingkan dengan patahan yang ada di ASTM D3039 untuk uji tarik.

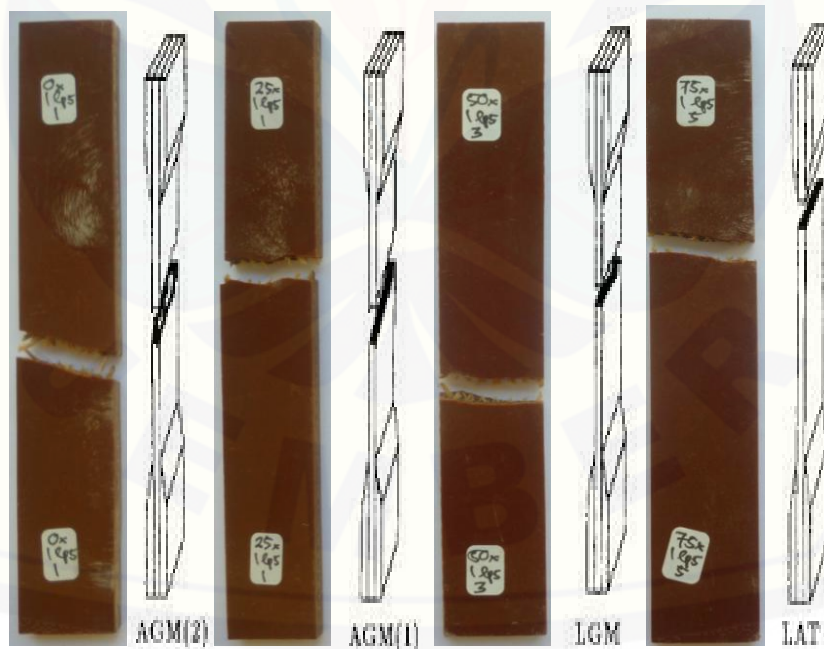
Dalam menganalisis patahan yang terjadi akibat pengujian tarik dengan standart ASTM D3039 terdapat berbagai macam kode huruf untuk menentukan kode patahan yang terjadi pada komposit. Huruf pertama menunjukkan tipe kegagalan dari komposit polimer, huruf kedua menunjukkan letak area kegagalan dari material tersebut sedangkan huruf yang ketiga menjelaskan tentang posisi kegagalan. Dengan kode tersebut dapat mengetahui jenis patahan yang terjadi pada material komposit.

Tabel 4.5 Kode Untuk Jenis Patahan ASTM D3039

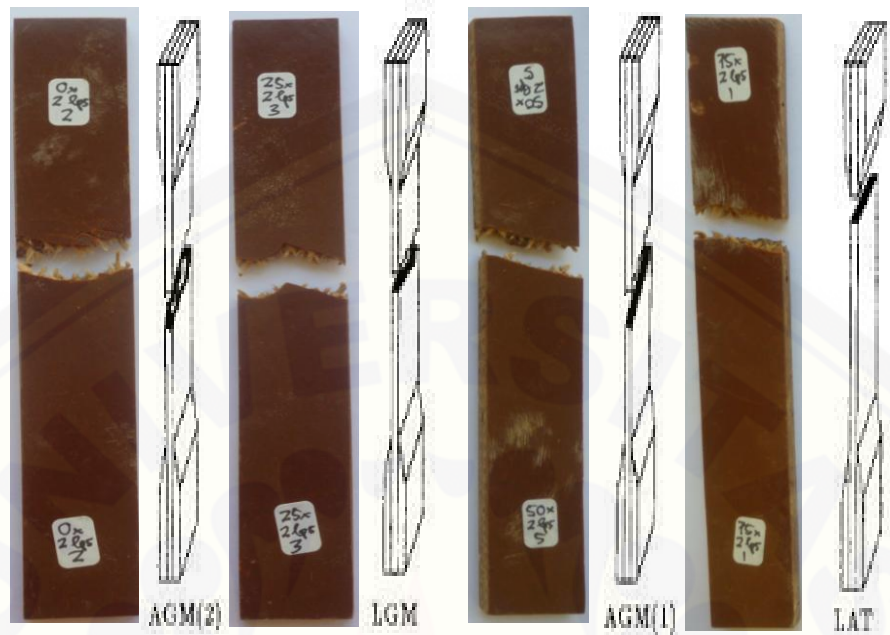
Karakter Pertama		Karakter Kedua		Karakter Ketiga	
Tipe Kegagalan	Kode	Luas Kegagalan	Kode	Lokasi Kegagalan	Kode
Sudut	A	Didalam Grip/ cekam	I	Bottom	B
Delaminasi	D	Pada Grip/cekam	A	Top	T
Grip/cekam	G	< 1W dari grip/cekam	W	Left	L
Lateral	L	Gage	G	Right	R
Multi-mode	M(xyz)	Multiple Areas	M	Middle	M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

4.3.3.1 Hasil Pengujian Tarik

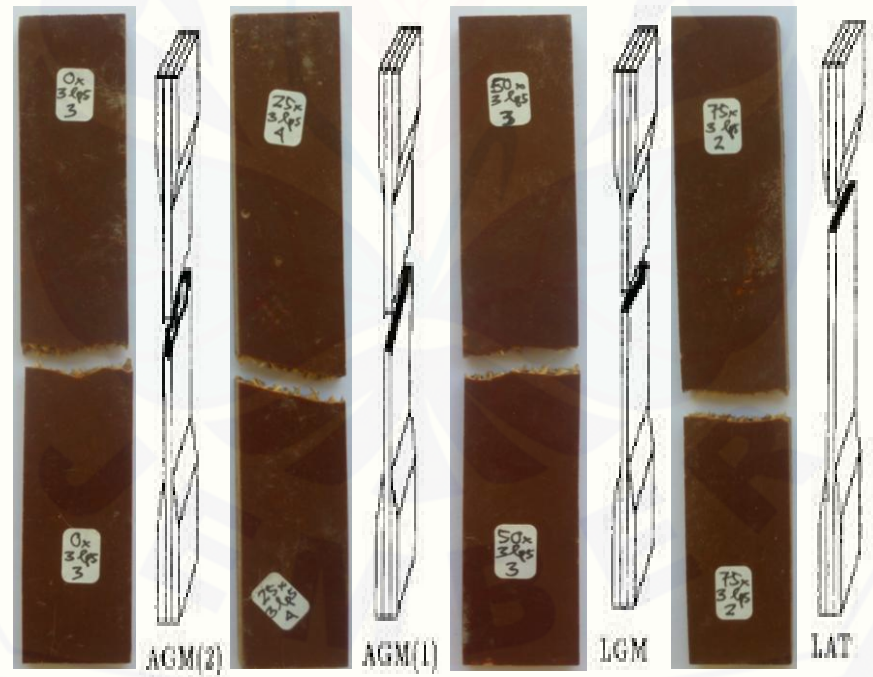
Pengamatan foto makro dilakukan setelah spesimen diberikan perlakuan siklus termal dan diuji tarik. Berikut ini bentuk patahan komposit yang terjadi pada tiap lamina dan perlakuan siklus termal.



Gambar 4.6 Bentuk dan Kode Patahan Komposit 1 Lapis Setelah Pengujian Tarik



Gambar 4.7 Bentuk dan Kode Patahan Komposit 2 Lapis Setelah Pengujian Tarik



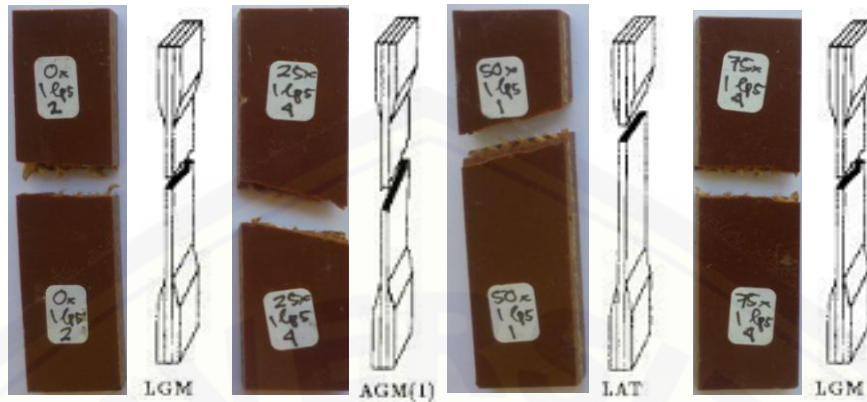
Gambar 4.8 Bentuk dan Kode Patahan Komposit 3 Lapis Setelah Pengujian Tarik

Secara umum, hasil pengujian tarik baik pada tiap lamina maupun banyaknya perlakuan termal menunjukkan tidak terdapat perbedaan jauh dari bentuk dan jenis patahan yang terjadi pada komposit. Bentuk dan jenis patahan hanya didominasi oleh 4 ragam. Dapat kita lihat pada Gambar 4.6 terdapat kode LGM yaitu komposit mengalami kegagalan tipe lateral dengan luasan patahan disekitar gage dan lokasi patahan berada di tengah. Sedangkan kode LAT berarti komposit gagal secara lateral pada cekam dan terletak pada lokasi atas. Kemudian untuk kode AGM 1 dan 2 yaitu jenis kegagalan patahan yang memiliki sudut pada daerah gage dan lokasi patahan berada di tengah. Untuk Gambar 4.7 dan Gambar 4.8 bentuk kegagalan dan jenis patahan yang terjadi kurang lebih sama seperti Gambar 4.6. Hal tersebut dikarenakan bentuk patahan yang terjadi hanya didominasi 4 jenis saja.

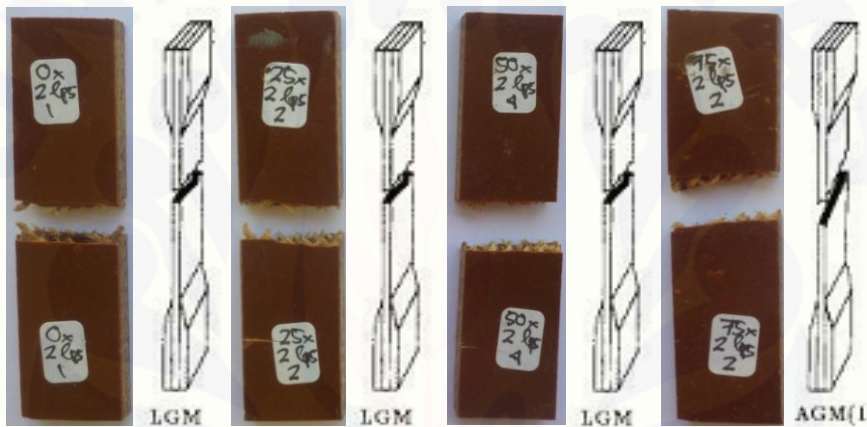
Bentuk kegagalan patahan disebabkan oleh adanya rongga pada spesimen. Sehingga daerah terjadinya rongga merupakan daerah yang memiliki nilai kekuatan terendah dibanding daerah lain pada komposit. Selain itu perlakuan termal juga dapat menyebabkan terjadinya kegagalan patahan pada komposit sebagai akibat perlakuan termal maupun perlakuan dingin yang berlebihan sehingga material akan mengalami kelelahan yang dapat mengurangi nilai kekuatan dari komposit. Hasil penelitian (Mouritz, dkk., 2006) menyatakan bahwa kegagalan pada komposit disebabkan oleh perlakuan panas berlebih yang dapat merubah komposit menjadi bentuk arang akibat mengalami pelunakan, degradasi matrik dan fiber organik. Hal ini terdapat kesamaan dengan hasil penelitian yang peneliti lakukan yaitu adanya kelelahan pada material yang ditandai dengan adanya perubahan komposit menjadi bentuk arang. Pada bagian arang itulah yang memiliki nilai kekuatan paling rendah dan menjadi daerah patahan pada komposit.

4.3.3.2 Hasil Pengujian Impak

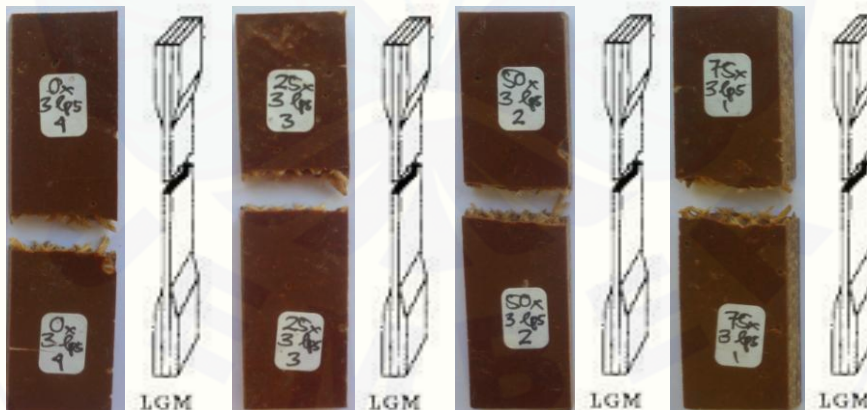
Setelah dilakukan pengujian siklus termal dan pengujian impak dilakukan pengamatan makro dilakukan dengan cara mengambil gambar dengan kamera digital 16 MP. Berikut ini bentuk patahan komposit yang terjadi pada tiap lamina dan perlakuan siklus termal.



Gambar 4.9 Bentuk dan Kode Patahan Komposit 1 Lapis Setelah Pengujian Impak



Gambar 4.10 Bentuk dan Kode Patahan Komposit 2 Lapis Setelah Pengujian Impak



Gambar 4.11 Bentuk dan Kode Patahan Komposit 3 Lapis Setelah Pengujian Impak

Berdasarkan Gambar 4.9, secara umum bentuk dan jenis patahan hasil pengujian impak dalam variasi lamina dan perlakuan termal pada komposit *polyester*. Bentuk dan jenis patahan tiap lamina tidak berbeda jauh dengan hasil pengujian tarik. Begitu pula pada Gambar 4.10 dan Gambar 4.11 yang menunjukkan jenis patahan yang serupa dengan jenis patahan seperti pada Gambar 4.9. Untuk patahan hasil pengujian impak jenis paling dominan yaitu kode LGM. Kode LGM merupakan jenis patahan pada komposit yang mengalami kegagalan tipe lateral dengan luasan patahan disekitar gage dan lokasi patahan berada di tengah. Sedangkan jenis patahan yang lain yaitu kode LAT berarti komposit gagal secara lateral pada cekam dan terletak pada lokasi atas. Untuk kode AGM 1 dan 2 yaitu jenis kegagalan patahan yang memiliki sudut pada daerah gage dan lokasi patahan berada di tengah.

Perbedaan jenis patahan disebabkan oleh beberapa faktor yang dapat mempengaruhi besar kekuatan komposit pada daerah terjadinya patahan. Faktor yang paling dominan yaitu adanya rongga pada komposit yang dapat mengurangi luas permukaan daerah patahan. Semakin banyak rongga pada daerah komposit, bagian tersebut merupakan daerah yang memiliki kekuatan terkecil. Sehingga besar kemungkinan patahan akan terjadi pada daerah tersebut. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.12 yaitu rongga pada daerah patahan lebih banyak dibandingkan pada daerah lain pada material.



Gambar 4.12 Perbandingan *Void* Tiap Patahan 1 Lapis, 2 Lapis dan 3 Lapis

Selain dari faktor di atas, daerah terjadinya patahan merupakan daerah yang memiliki nilai kekuatan terendah dibanding daerah yang lain pada komposit. Adanya konsentrasi tegangan yang terjadi pada daerah pencekam yang dapat menyebabkan terjadinya patahan pada daerah sekitar pencekam. Gambar 4.9 menunjukkan bentuk patahan jenis LAT yaitu kegagalan lateral yang terjadi pada daerah pencekam.

Perlakuan termal juga dapat menyebabkan terjadinya kegagalan pada komposit. Komposit memiliki titik maksimal dalam menerima temperatur panas maupun temperatur dingin. Sehingga jika melebihi titik maksimal dari kekuatan komposit, material akan mengalami kelelahan yang dapat mengurangi nilai kekuatan dari komposit. Terjadinya kelelahan pada material biasanya ditandai adanya perubahan komposit menjadi bentuk arang. Pada bagian arang itulah yang memiliki nilai kekuatan paling rendah dan menjadi daerah patahan pada komposit. Hal tersebut sejalan dengan hasil penelitian (Nasiruddin, 2011), menyatakan bahwa kegagalan pada komposit disebabkan oleh perlakuan panas berlebih yang dapat merubah komposit menjadi bentuk arang akibat mengalami pelunakan, degradasi matrik dan *fiber* organik.

BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

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

1. Dengan penambahan jumlah lamina 1 lapis, 2 lapis dan 3 lapis pada komposit. Nilai kekuatan tertinggi pada komposit 2 lapis yang memiliki campuran matrik paling baik dalam mengikat penguat dibandingkan jumlah lamina yang lain.
2. Banyaknya perlakuan siklus termal 0x, 25x, 50x, dan 75x pada komposit menunjukkan besar nilai kekuatan tarik dan kekuatan impak semakin menurun. Besar kekuatan tarik dan impak berada di bawah sampel kontrol 0x perlakuan siklus termal. Banyaknya perlakuan termal akan menyebabkan komposit menjadi arang akibat mengalami pelunakan, degradasi matrik dan penguat.
3. Kondisi morfologi komposit setelah perlakuan siklus termal, pengujian tarik dan pengujian impak menunjukkan bahwa faktor yang menyebabkan kegagalan yaitu adanya rongga pada komposit akibat matrik dengan aditif MMT tidak dapat sepenuhnya masuk pada permukaan serat dan terjadinya kelelahan termal yang ditandai perubahan komposit menjadi arang akibat banyaknya siklus termal.

5.2 Saran

Saran yang didapat dari penelitian ini antara lain:

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai komposit *polyester* berpenguat serat kenaf anyam dengan aditif *montmorillonite* terhadap perlakuan siklus termal 25x, 50x dan 75x agar dapat diketahui efek termal yang lebih signifikan.
2. Perlu pengkajian lebih lanjut mengenai perlakuan serat kenaf agar didapatkan nilai kekuatan tarik dan kekuatan impak yang maksimal terhadap perlakuan siklus termal.

DAFTAR PUSTAKA

- Aishah, N. Darmasetiawan, H. Sudirman. tanpa tahun. *Pembuatan Komposit Polimer Berpenguat Serat Sentetik untuk Bahan Genteng*. Tangerang: Badan Penerbit BATAN.
- Aji, I. S., dkk. 2009. *Kenaf Fibres as Reinforcement for Polymeric Composite a Review*. International Journal of Mechanical and Materials Engineering.
- Amri, Febrianto. 2011. *Study Mengenai Sifat Mekanis Komposit Polylactic Acid (PLA) Diperkuat Serat Rami*. Yogyakarta: Universitas Gajah Mada.
- Bramantyo, A., 2008. *Pengaruh Konsentrasi Dan Arah Serat Rami*. Jakarta: Universitas Indonesia.
- Callister, W. D. 2007. *Material Science and Engineering, An Introduction 7ed*, Department of Metallurgical Engineering The University of Utah, John Willey and Sons, Inc.
- Diharjo, K., dan Santoso. 2008. *Pengaruh Orientasi Anyaman dan Density Kenaf Acak Terhadap Kekuatan Tarik Bahan Komposit Berpenguat Serat Kenaf Anyam dan Acak*. Paper presented at the Prosiding Seminar Nasional Teknologi, Yogyakarta.
- Diharjo, K., R. Afandi, S. J. A. Nasir, B. H. Jihad, et al. 2013. *Hambatan Panas Komposit Serbuk Genteng Sokka Bermatrik Bisphenolik LP-1Q-EX 1-6*.
- Diharjo, K., dan B. Kusharjanta. R. A. P. Tarigan. A. R. Andhika. 2013. *Pengaruh Kandungan dan Ukuran Serbuk Genteng Sokka terhadap Ketahanan Bakar Komposit Geopolimer*. Jurnal Rekayasa Mesin. 4. 27-34.
- Hariyanto, A dan Diharjo, K. 2011. *Rekayasa dan Manufaktur Bahan Komposit Sadnwich Berpenguat Serat Rami Dengan Core Limbah Sekap Padi Untuk Panel Interior Otomotif dan Rumah Hunian*. Fakultas Teknik. Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Issac, Z. S. M. N. B. K. M. H. D. H. 2012. *Composites Laminates Effect of Fibre Types Cold-pressed Kenaf and Fibreglass Hybrid*. World of Academy Science 71 (Engineering and Science). 969-973.
- Justus. 2011. YUKALAC Unsaturated Polyester Resin. Retrieved 15 maret, 2015.
- Mashuri. 2007. *Efek Termal dan Bahan Penggandeng (Coupling Agent) Silane Terhadap Kestabilan Mekanik Bahan Komposit Poliester Dengan Pengisi Partikulit SiC*. Jurnal Sains Materi Indonesia. 9. 40-45.

- Masruri. 2011. *Pengaruh Oeientasi Sudut Anyam Serat Catula Terhadap Sifat Mekanik (Bending, Tarik Paku, Daya Pemesinan) dan Densitas Pada Komposit Semen Serbuk Aren-Catula*. Surakarta: Universitas Sebelas Maret.
- Milawarni. 2013. *Pemanfaatan Limbah Serat Sabut Kelapa Polipropilen Bekas Untuk Bahan Pembuatan Genteng Komposit Polimer*. Politeknik Negeri Lholseumawe.
- Mouritz, A. P., dan A. G. Gibson. 2006. *Fire Properties of Polymer Composite Materials* (Vol. 143).
- Nasiruddin. 2014. *Analisa Termal – Mekanis Komposit Matrik Polyester Dengan Aditif Partikel Montmorilonite Berpenguat Serat Kenaf Anyam*. Jember: Badan Penerbit Universitas Jember.
- Onggo, H., W. Subowo, dan Sudirman. 2005. *Analisis Sifat Termal Komposit Polypropylene Kenaf*. Prosiding Simposium Nasional Polimer V.
- Osman, E., A. Vakhguelt, S. Mutasher, dan I. Sbaski. 2012. *Effect of Water Absorbtion on Tensile Properties of Kenaf Fiber Reinforced Unsaturated Polyester Composite*. Sunaree J. Sci Technol. 20. 183-195.
- Purwanto, D. A dan Johar L. tanpa tahun. *Karakterisasi Komposit Berpenguat Serat Bambu dan Serat Gelas Sebagai Alternatif Bahan Baku Industri*. Jurusan Teknik Fisika ITS Surabaya.
- Sastrosupadi, Adji. 1995. *Rancangan Percobaan Praktis Untuk Bidang Pertanian*. Yogyakarta: KANISIUS.
- Sreenivasan, S., dkk. 2012. *Recent Developments of Kenaf Fiber Reinforced Thermoset Composites A Review*.
- Wijoyo dan Achmad Nurhidayat. 2014. *Pengaruh Jumlah Lamina Terhadap Kekuatan Bending Komposit Sandwich Serat Aren-Polyester Dengan Core Pelepah Pohon*. Prosiding SNST ke-5 Tahun 2014 FT. Universitas Wahid Hasyim Semarang.
- Wijoyo dan Achmad Nurhidayat. 2013. *Kajian Ketangguhan Impak Komposit Sandwich Serat Aren-Polyester Dengan Core Gedebog Pohon Pisang*. Prosiding Simposium Nasional RAPI XII FT UMS Surakarta.
- Yousif, Z. N. A. B. F. 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: Jember University Press.

LAMPIRAN

A.1 Pembuatan dan Pengujian Spesimen



(a) Pembatas cetakan



(b) Cetakan



(c) Serat kenaf anyam



(d) Genteng sokka



(e) Pengayakan MMT dengan *mesh* 50



(f) Partikel *montmorilonite*



(g) Penimbangan MMT



(h) Pembuatan komposit



(i) Melepas komposit dari cetakan



(j) Pemotongan komposit



(k) Refrigerator merk Nasional



(l) Microwave merk Kirin



(m) Pemasangan spesimen

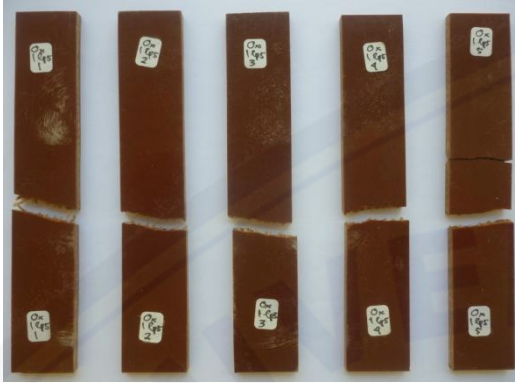


(n) Pengujian tarik

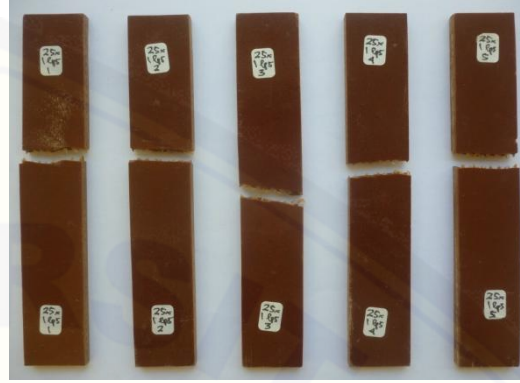


(o) Pengujian impak

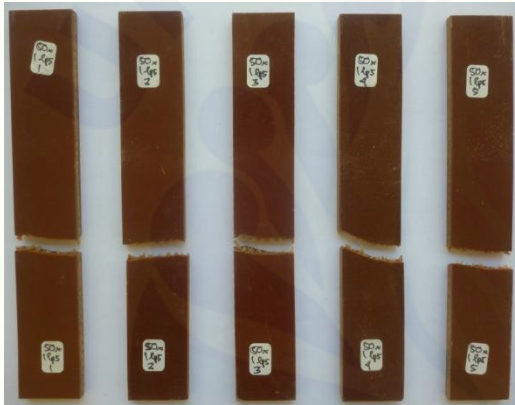
A.2 Spesimen Hasil Pengujian Tarik



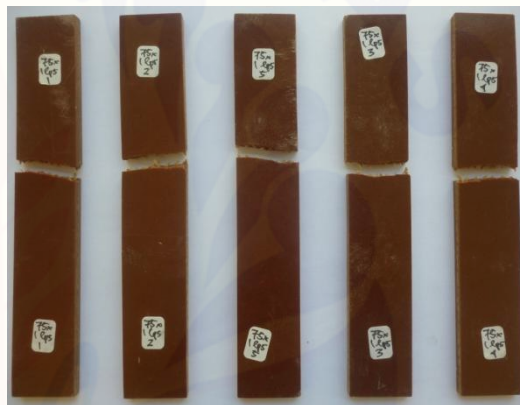
(a). 0x siklus 1 lapis



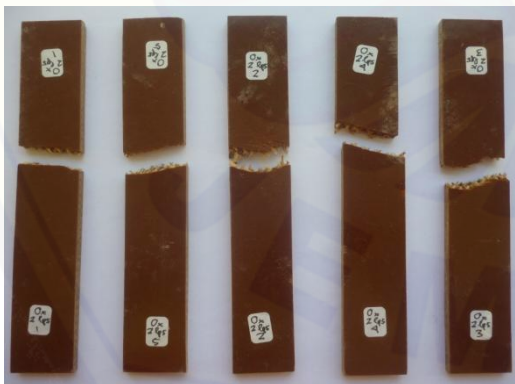
(b). 25x siklus 1 lapis



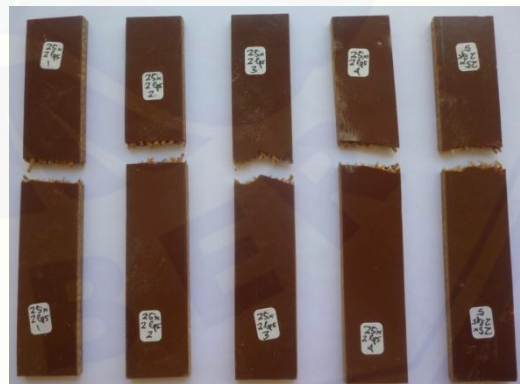
(c). 50x siklus 1 lapis



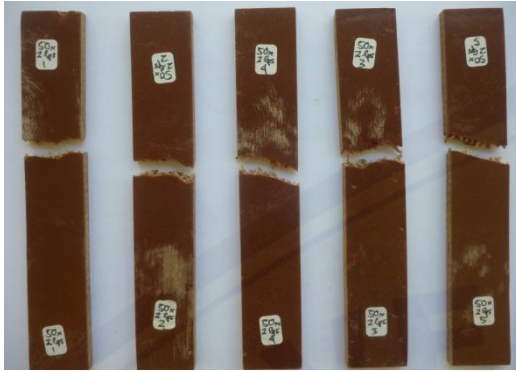
(d). 75x siklus 1 lapis



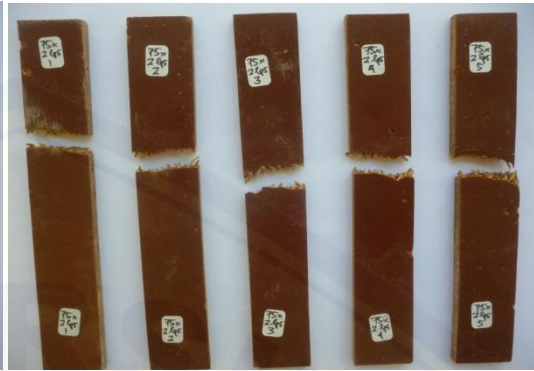
(e). 0x siklus 2 lapis



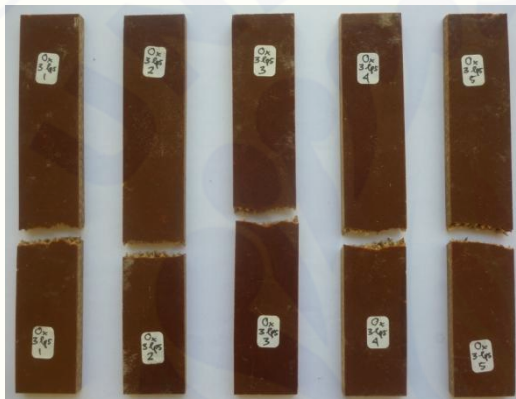
(f). 25x siklus 2 lapis



(g). 50x siklus 2 lapis



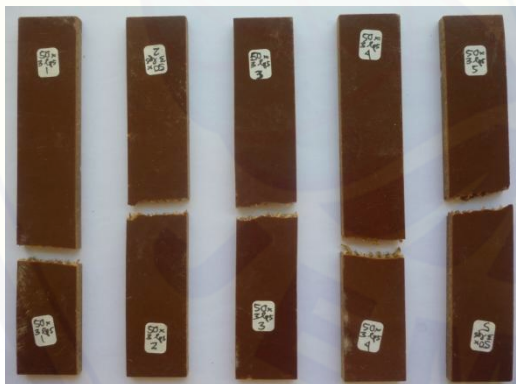
(h). 75x siklus 2 lapis



(i). 0x siklus 3 lapis



(j). 25x siklus 3 lapis

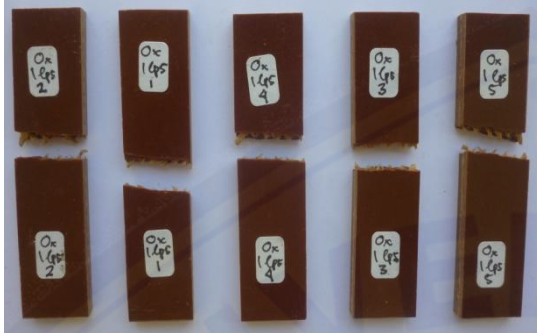


(k). 50x siklus 3 lapis

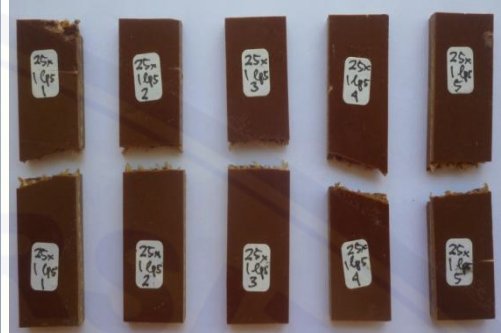


(l). 75x siklus 3 lapis

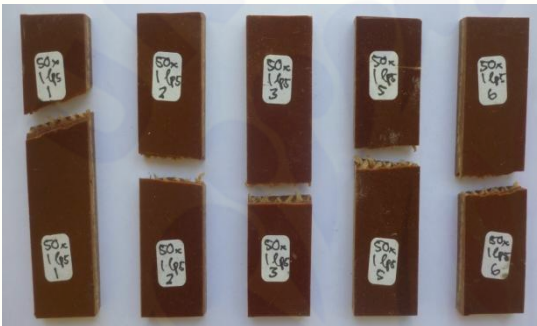
A.3 Spesimen Hasil Pengujian Impak



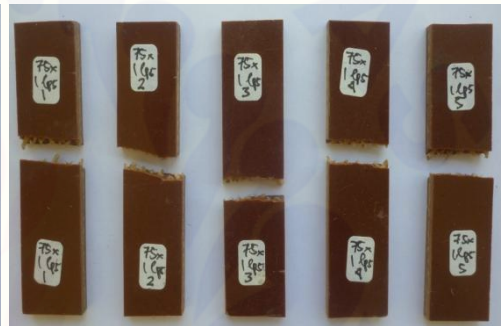
(a). 0x siklus 1 lapis



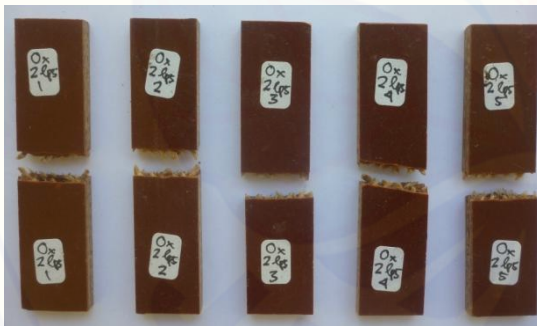
(b). 25x siklus 1 lapis



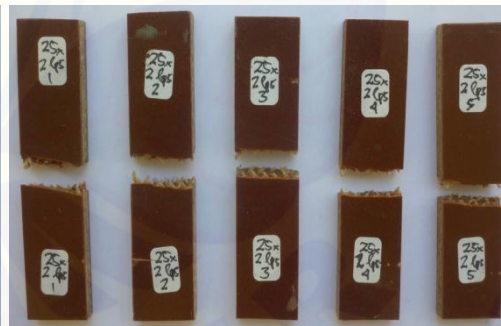
(c). 50x siklus 1 lapis



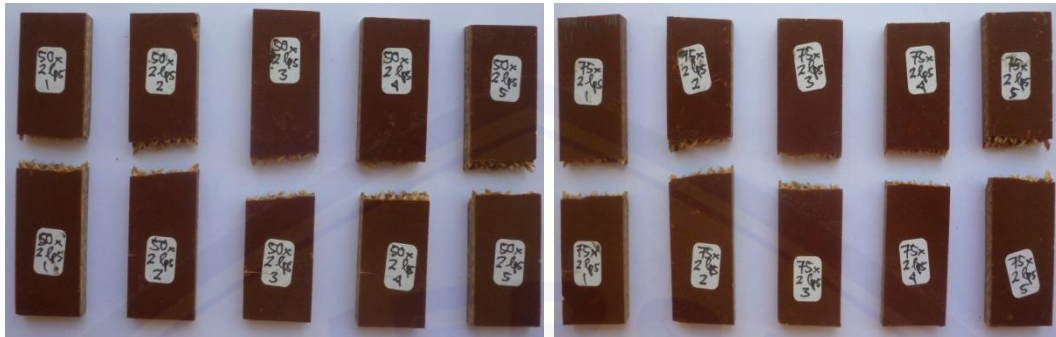
(d). 75x siklus 1 lapis



(e). 0x siklus 2 lapis

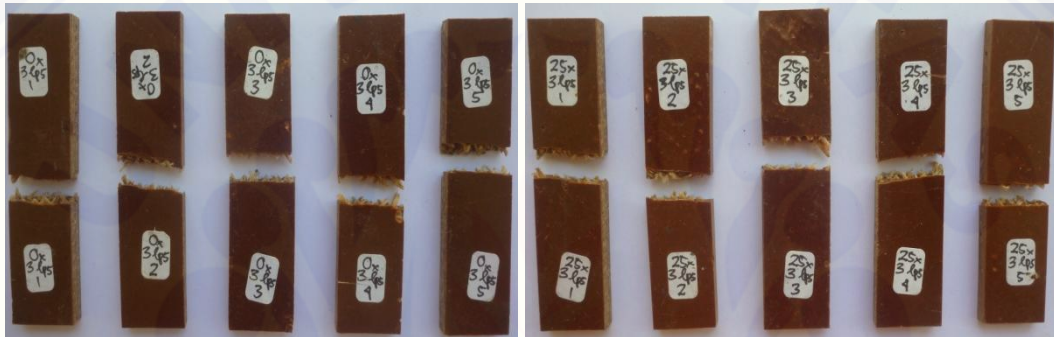


(f). 25x siklus 2 lapis



(g). 50x siklus 2 lapis

(h). 75x siklus 2 lapis



(i). 0x siklus 3 lapis

(j). 25x siklus 3 lapis



(k). 50x siklus 3 lapis

(l). 75x siklus 3 lapis

A.4 Tabel Distribusi $\alpha = 5 \%$

DF	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	161.448	199.500	215.707	224.583	230.162	233.986	236.768	238.883	240.543	241.882
2	18.513	19.000	19.164	19.247	19.296	19.330	19.353	19.371	19.385	19.396
3	10.128	9.552	9.277	9.117	9.013	8.941	8.887	8.845	8.812	8.786
4	7.709	6.944	6.591	6.388	6.256	6.163	6.094	6.041	5.999	5.964
5	6.608	5.786	5.409	5.192	5.050	4.950	4.876	4.818	4.772	4.735
6	5.987	5.143	4.757	4.534	4.387	4.284	4.207	4.147	4.099	4.060
7	5.591	4.737	4.347	4.120	3.972	3.866	3.787	3.726	3.677	3.637
8	5.318	4.459	4.066	3.838	3.687	3.581	3.500	3.438	3.388	3.347
9	5.117	4.256	3.863	3.633	3.482	3.374	3.293	3.230	3.179	3.137
10	4.965	4.103	3.708	3.478	3.326	3.217	3.135	3.072	3.020	2.978
11	4.844	3.982	3.587	3.357	3.204	3.095	3.012	2.948	2.896	2.854
12	4.747	3.885	3.490	3.259	3.106	2.996	2.913	2.849	2.796	2.753
13	4.667	3.806	3.411	3.179	3.025	2.915	2.832	2.767	2.714	2.671
14	4.600	3.739	3.344	3.112	2.958	2.848	2.764	2.699	2.646	2.602
15	4.543	3.682	3.287	3.056	2.901	2.790	2.707	2.641	2.588	2.544
16	4.494	3.634	3.239	3.007	2.852	2.741	2.657	2.591	2.538	2.494
17	4.451	3.592	3.197	2.965	2.810	2.699	2.614	2.548	2.494	2.450
18	4.414	3.555	3.160	2.928	2.773	2.661	2.577	2.510	2.456	2.412
19	4.381	3.522	3.127	2.895	2.740	2.628	2.544	2.477	2.423	2.378
20	4.351	3.493	3.098	2.866	2.711	2.599	2.514	2.447	2.393	2.348
21	4.325	3.467	3.072	2.840	2.685	2.573	2.488	2.420	2.366	2.321
22	4.301	3.443	3.049	2.817	2.661	2.549	2.464	2.397	2.342	2.297
23	4.279	3.422	3.028	2.796	2.640	2.528	2.442	2.375	2.320	2.275
24	4.260	3.403	3.009	2.776	2.621	2.508	2.423	2.355	2.300	2.255
25	4.242	3.385	2.991	2.759	2.603	2.490	2.405	2.337	2.282	2.236
26	4.225	3.369	2.975	2.743	2.587	2.474	2.388	2.321	2.265	2.220
27	4.210	3.354	2.960	2.728	2.572	2.459	2.373	2.305	2.250	2.204
28	4.196	3.340	2.947	2.714	2.558	2.445	2.359	2.291	2.236	2.190
29	4.183	3.328	2.934	2.701	2.545	2.432	2.346	2.278	2.223	2.177
30	4.171	3.316	2.922	2.690	2.534	2.421	2.334	2.266	2.211	2.165
31	4.160	3.305	2.911	2.679	2.523	2.409	2.323	2.255	2.199	2.153
32	4.149	3.295	2.901	2.668	2.512	2.399	2.313	2.244	2.189	2.142
33	4.139	3.285	2.892	2.659	2.503	2.389	2.303	2.235	2.179	2.133
34	4.130	3.276	2.883	2.650	2.494	2.380	2.294	2.225	2.170	2.123
35	4.121	3.267	2.874	2.641	2.485	2.372	2.285	2.217	2.161	2.114
36	4.113	3.259	2.866	2.634	2.477	2.364	2.277	2.209	2.153	2.106
37	4.105	3.252	2.859	2.626	2.470	2.356	2.270	2.201	2.145	2.098
38	4.098	3.245	2.852	2.619	2.463	2.349	2.262	2.194	2.138	2.091
39	4.091	3.238	2.845	2.612	2.456	2.342	2.255	2.187	2.131	2.084
40	4.085	3.232	2.839	2.606	2.449	2.336	2.249	2.180	2.124	2.077
41	4.079	3.226	2.833	2.600	2.443	2.330	2.243	2.174	2.118	2.071
42	4.073	3.220	2.827	2.594	2.438	2.324	2.237	2.168	2.112	2.065
43	4.067	3.214	2.822	2.589	2.432	2.318	2.232	2.163	2.106	2.059
44	4.062	3.209	2.816	2.584	2.427	2.313	2.226	2.157	2.101	2.054
45	4.057	3.204	2.812	2.579	2.422	2.308	2.221	2.152	2.096	2.049
46	4.052	3.200	2.807	2.574	2.417	2.304	2.216	2.147	2.091	2.044
47	4.047	3.195	2.802	2.570	2.413	2.299	2.212	2.143	2.086	2.039
48	4.043	3.191	2.798	2.565	2.409	2.295	2.207	2.138	2.082	2.035
49	4.038	3.187	2.794	2.561	2.404	2.290	2.203	2.134	2.077	2.030
50	4.034	3.183	2.790	2.557	2.400	2.286	2.199	2.130	2.073	2.026

A. 5 Lampiran Perhitungan Statistik

a). Hasil Perhitungan Statistik Pengujian Tarik

Jumlah Lamina (A)	Pengulangan (R)	Harga Kekuatan Tarik Terhadap Siklus Termal (B)				Total
		0x	25x	50x	75x	
1	1	8.10	17.13	4.71	6.22	60.63
	2	8.48	15.63	19.77	10.73	9.88
	3	34.45	10.36	18.26	5.84	80.21
	4	10.36	14.50	8.48	18.64	60.63
	5	17.13	13.37	7.35	5.09	57.62
Sub Total		93.95	84.92	76.63	63.46	318.96
2	1	17.13	20.90	14.50	14.50	67.03
	2	20.90	8.10	16.00	11.49	68.91
	3	12.99	13.75	22.40	11.11	60.25
	4	9.23	12.62	13.75	13.37	62.14
	5	32.19	26.92	13.37	12.62	89.24
Sub Total		105.62	90.19	84.16	67.60	347.58
3	1	4.71	31.06	13.37	8.48	61.38
	2	14.50	8.48	13.37	16.00	52.35
	3	16.00	7.72	14.12	17.89	62.14
	4	16.76	12.62	17.51	11.11	57.99
	5	35.96	20.52	11.86	6.97	75.31
Sub Total		91.69	86.80	70.23	60.45	309.17
Total		291.27	261.91	231.03	191.50	975.71

1. Analisis Variasi

Faktor A terdiri atas 3 faktor, demikian Faktor B terdiri atas 4 faktor, sehingga analisis varian Faktorial dengan rancangan dasar RAL Pola Faktorial (3x4). Persamaan matematis sebagai berikut:

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

$$i = 1, 2, \text{ dan } 3$$

$$j = 1, 2, \text{ dan } 3$$

$$k = 1, 2, 3, \dots, 5$$

Keterangan:

Y_{ijk} = Nilai TBA yang ke-k yang memperoleh kombinasi perlakuan siklus termal ke-i dan penambahan Monmorillonite ke-j

μ = Rata-rata nilai TBA sesungguhnya

α_i = Pengaruh jumlah lamina ke-j

β_j = Pengaruh perlakuan level perlakuan siklus termal ke-i

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

ϵ_{ijk} = Pengaruh galat perlakuan ke-i dan k e-j pada satuan percobaan ke-k

2. Derajat Bebas (db)

Derajat bebas total (dbt) = $(a \times b \times r) - 1 = (3 \times 4 \times 5) - 1 = 60 - 1 = 59$

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

Derajat bebas faktor A (dba) = $a - 1 = 3 - 1 = 2$

Derajat bebas faktor B (dbb) = $b - 1 = 4 - 1 = 3$

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

Derajat bebas galat (dbg) = $dbt - dbp = 59 - 11 = 48$

3. Faktor Koreksi (FK)

$$\begin{aligned} FK &= \frac{(Y_{ijk})^2}{a \cdot b \cdot r} \\ &= \frac{(975,71)^2}{3 \cdot 4 \cdot 5} \\ &= \frac{952.017,97}{60} \\ &= 15866,967 \end{aligned}$$

4. Jumlah Kuadrat (JK)

Jumlah Kuadrat Total (JKT)

$$\begin{aligned} \text{JKT} &= \sum (Y_{ijk})^2 - \text{FK} \\ &= (15,62^2 + 20,90^2 + 14,50^2 + \dots + 6,97^2) - 15866,966 \\ &= 18017,54 - 15866,966 \\ &= 2150,58 \end{aligned}$$

Jumlah Kuadrat Perlakuan (JKP)

$$\begin{aligned} \text{JKP} &= \frac{\sum (Y_{ijk})^2 - \text{FK}}{R} \\ &= \frac{(93,95^2 + 84,92^2 + 76,63^2 + \dots + 60,45^2) - 15866,966}{5} \\ &= \frac{(8827,16 + 7210,97 + 5872,90 + \dots + 3653,75) - 15866,966}{5} \\ &= \frac{81410,28}{5} - 15866,966 \\ &= 16282,055 - 15866,966 \\ &= 415,08 \end{aligned}$$

Jumlah Kuadrat Faktor A (JKA)

$$\begin{aligned} \text{JKA} &= \frac{\sum (\sum y_i)^2 - \text{FK}}{R \times b} \\ &= \frac{(318,96^2 + 347,58^2 + 309,17^2) - 15866,966}{5 \times 4} \\ &= \frac{(101737,63 + 120808,96 + 95589,11) - 15866,966}{20} \\ &= \frac{318135,70}{20} - 15866,966 \\ &= 13228,4 - 15866,966 \\ &= 39,82 \end{aligned}$$

Jumlah Kuadrat Faktor B (JKB)

$$\begin{aligned} \text{JKB} &= \frac{\sum (\sum y_j)^2}{R \times a} - \text{FK} \\ &= \frac{(291,27^2 + 261,91^2 + 231,03^2 + 191,50^2)}{5 \times 3} - 15866,966 \\ &= \frac{(84838,73 + 68594,46 + 53376,75 + 36673,66)}{15} - 15866,966 \\ &= \frac{243483,59}{15} - 15866,966 \\ &= 16232,24 - 15866,966 \\ &= 365,27 \end{aligned}$$

Jumlah Kuadrat Interaksi A*B (JKA*B)

$$\begin{aligned} \text{JKA*B} &= \text{JKP} - \text{JKA} - \text{JKB} \\ &= 415,08 - 39,82 - 365,27 \\ &= 10 \end{aligned}$$

Jumlah Kuadrat Galat (JKG)

$$\begin{aligned} \text{JKG} &= \text{JKT} - \text{JKP} \\ &= 2150,58 - 415,08 \\ &= 1735,48 \end{aligned}$$

5. Kuadrat Tengah (KT)

Kuadrat Tengah Perlakuan (KTP)

$$\begin{aligned} \text{KTP} &= \text{JKP} / \text{dbp} \\ &= 415,08 / 11 \\ &= 37,73 \end{aligned}$$

Kuadrat Tengah Faktor A (KTA)

$$\begin{aligned} \text{KTA} &= \text{JKA} / \text{dba} \\ &= 39,82 / 2 \\ &= 19,91 \end{aligned}$$

Kuadrat Tengah Faktor B (KTB)

$$\begin{aligned} \text{KTB} &= \text{JKB} / \text{dbb} \\ &= 365,27 / 3 \\ &= 236.14 \end{aligned}$$

Kuadrat Tengah Interaksi Faktor AB (KTA*B)

$$\begin{aligned} \text{KTA*B} &= \text{JKA*B} / \text{dba*b} \\ &= 10 / 6 \\ &= 0,000 \end{aligned}$$

Kuadrat Tengah Galat (KTG)

$$\begin{aligned} \text{KTG} &= \text{JKG} / \text{dbg} \\ &= 1735,48 / 48 \\ &= 36,16 \end{aligned}$$

6. Frekuensi Hitung (F-hit)

Frekuensi Hitung (F-hit)

$$\begin{aligned} \text{F-hit P} &= \text{KTP/KTG} = 37,73/36,16 &= 1,04 \\ \text{F- hit A} &= \text{KTA/KTG} = 19,91/36,16 &= 0,551 \\ \text{F- hit B} &= \text{KTB/KTG} = 236.14/36,16 &= 3,367 \\ \text{F-hit A*B} &= \text{KTA*B/KTG} = 0,000/36,16 &= 0,000 \end{aligned}$$

SK	db	JK	KT	F-hit	Sig.	F-tabel (5%)	Keterangan
P	11	414,918	37,720	1,044	,425	1,99	Tidak signifikan
A	2	39,777	19,889	,550	,580	3,191	Tidak signifikan
B	3	365,154	121,718	3,368	,026	2,798	Tidak signifikan
A*B	1	15866,508	15866,508	439,007	,000	4,043	Signifikan
G	48	1734,805	36,142				
Total	59	18016,232					

b). Hasil Perhitungan Statistik Pengujian Impak

Jumlah Lamina (A)	Pengulangan (R)	Harga Kekuatan Impak Terhadap Siklus Termal (B)				Total
		0x	25x	50x	75x	
1	1	0,128	0,128	0,111	0,094	0,460
	2	0,111	0,111	0,094	0,111	0,426
	3	0,111	0,111	0,111	0,111	0,443
	4	0,128	0,111	0,111	0,094	0,443
	5	0,094	0,094	0,111	0,111	0,409
Sub Total		0,570	0,553	0,536	0,519	2,180
2	1	0,143	0,128	0,111	0,111	0,492
	2	0,111	0,111	0,128	0,128	0,477
	3	0,111	0,128	0,094	0,094	0,426
	4	0,128	0,094	0,111	0,094	0,426
	5	0,111	0,111	0,111	0,094	0,426
Sub Total		0,603	0,570	0,553	0,519	2,246
3	1	0,111	0,111	0,094	0,094	0,409
	2	0,094	0,111	0,111	0,094	0,409
	3	0,111	0,094	0,094	0,111	0,409
	4	0,128	0,111	0,111	0,111	0,460
	5	0,111	0,111	0,111	0,094	0,426
Sub Total		0,553	0,536	0,519	0,502	2,112
Total		1,727	1,660	1,609	1,541	6,538

1. Analisis Variasi

Faktor A terdiri atas 3 faktor, demikian Faktor B terdiri atas 4 faktor, sehingga analisis varian Faktorial dengan rancangan dasar RAL Pola Faktorial (3x4).

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 memperoleh kombinasi perlakuan siklus termal ke-i dan penambahan Monmorillonite ke-j

μ = Rata-rata nilai TBA sesungguhnya

α_i = Pengaruh jumlah lamina ke-j

β_j = Pengaruh perlakuan level perlakuan siklus termal ke-i

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

ϵ_{ijk} = Pengaruh galat perlakuan ke-i dan k e-j pada satuan percobaan ke-k

2. Derajat Bebas (db)

Derajat bebas total (dbt) = $(a \times b \times r) - 1 = (3 \times 4 \times 5) - 1 = 60 - 1 = 59$

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

Derajat bebas faktor A (dba) = $a - 1 = 3 - 1 = 2$

Derajat bebas faktor B (dbb) = $b - 1 = 4 - 1 = 3$

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

Derajat bebas galat (dbg) = $dbt - dbp = 59 - 11 = 48$

3. Faktor Koreksi (FK)

$$\begin{aligned} FK &= \frac{(Y_{ijk})^2}{a \cdot b \cdot r} \\ &= \frac{(6,538)^2}{3 \cdot 4 \cdot 5} \\ &= \frac{42,74048}{60} \\ &= 0,712341 \end{aligned}$$

4. Jumlah Kuadrat (JK)

Jumlah Kuadrat Total (JKT)

$$\begin{aligned} \text{JKT} &= \sum (Y_{ijk})^2 - \text{FK} \\ &= (0,128^2 + 0,128^2 + 0,111^2 + \dots + 0,094^2) - 0,712341 \\ &= 0,720736 - 0,712341 \\ &= 0,008395 \end{aligned}$$

Jumlah Kuadrat Perlakuan (JKP)

$$\begin{aligned} \text{JKP} &= \frac{\sum (Y_{ijk})^2}{R} - \text{FK} \\ &= \frac{(0,128^2 + 0,128^2 + 0,111^2 + \dots + 0,094^2)}{5} - 0,712341 \\ &= \frac{3,57048}{5} - 0,712341 \\ &= 0,00176 \end{aligned}$$

Jumlah Kuadrat Faktor A (JKA)

$$\begin{aligned} \text{JKA} &= \frac{\sum (\sum y_i)^2}{R \times b} - \text{FK} \\ &= \frac{(2,180^2 + 2,246^2 + 2,112^2)}{5 \times 4} - 0,712341 \\ &= \frac{14,256}{20} - 0,712341 \\ &= 0,712793 - 0,712341 \\ &= 0,000452 \end{aligned}$$

Jumlah Kuadrat Faktor B (JKB)

$$\begin{aligned} \text{JKB} &= \frac{\sum (\sum y_j)^2}{R \times a} - \text{FK} \\ &= \frac{(1,727^2 + 1,660^2 + 1,609^2 + 1,641^2)}{5 \times 3} - 0,712341 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &= \frac{10,704 - 0,712341}{15} \\ &= 0,001234 \end{aligned}$$

Jumlah Kuadrat Interaksi A*B (JKA*B)

$$\begin{aligned} \text{JKA*B} &= \text{JKP} - \text{JKA} - \text{JKB} \\ &= 0,00176 - 0,000452 - 0,001234 \\ &= 0,00007 \end{aligned}$$

Jumlah Kuadrat Galat (JKG)

$$\begin{aligned} \text{JKG} &= \text{JKT} - \text{JKP} \\ &= 0,008395 - 0,00176 \\ &= 0,00664 \end{aligned}$$

5. Kuadrat Tengah (KT)

Kuadrat Tengah Perlakuan (KTP)

$$\begin{aligned} \text{KTP} &= \text{JKP} / \text{dbp} \\ &= 0,00176 / 11 \\ &= 0,00015958 \end{aligned}$$

Kuadrat Tengah Faktor A (KTA)

$$\begin{aligned} \text{KTA} &= \text{JKA} / \text{dba} \\ &= 0,000452 / 2 \\ &= 0,000225919 \end{aligned}$$

Kuadrat Tengah Faktor B (KTB)

$$\begin{aligned} \text{KTB} &= \text{JKB} / \text{dbb} \\ &= 0,001234 / 3 \\ &= 0,000411249 \end{aligned}$$

Kuadrat Tengah Interaksi Faktor AB (KTA*B)

$$\begin{aligned} \text{KTA*B} &= \text{JKA*B} / \text{dba*b} \\ &= 0,00007 / 6 \\ &= 1,16314\text{E-}05 \end{aligned}$$

Kuadrat Tengah Galat (KTG)

$$\begin{aligned} \text{KTG} &= \text{JKG} / \text{dbg} \\ &= 0,00664 / 48 \\ &= 0,000138322 \end{aligned}$$

6. Frekuensi Hitung (F-hit)

Frekuensi Hitung (F-hit)

$$\begin{aligned} \text{F-hit P} &= \text{KTP} / \text{KTG} = 0,00015958 / 0,000138322 = 1,151 \\ \text{F-hit A} &= \text{KTA} / \text{KTG} = 0,000225919 / 0,000138322 = 1,629 \\ \text{F-hit B} &= \text{KTB} / \text{KTG} = 0,000411249 / 0,000138322 = 2,970 \\ \text{F-hit A*B} &= \text{KTA*B} / \text{KTG} = 1,16314\text{E-}05 / 0,000138322 = ,083 \end{aligned}$$

SK	db	JK	KT	F-hit	Sig.	F-tabel (5%)	Keterangan
P	11	,002	,000	1,151	,345	1,99	Tidak signifikan
A	2	,000	,000	1,629	,207	3,191	Tidak signifikan
B	3	,001	,000	2,970	,041	2,798	Signifikan
A*B	1	,000	1,16314E-05	,083	,998	4,043	Signifikan
G	48	,007					
Total	59	,725					

A.6 Lampiran Perhitungan Data

a). Perhitungan Hasil Pengujian Tarik

$$\sigma = \frac{F_{max}}{A_0}$$

Keterangan: σ = Kekuatan Tarik (N/mm²)

F = Beban (N)

A = Luas Penampang (mm²)

= 25 mm x 5 mm

= 125 mm²

1. Kekuatan komposit 1 lapis, dengan jumlah siklus 0x

Spesimen 1. $\sigma = \frac{F}{A_0} = \frac{19553,52}{125} = 15,63 \text{ Mpa}$

Spesimen 2. $\sigma = \frac{F}{A_0} = \frac{1718,22}{125} = 13,75 \text{ Mpa}$

Spesimen 3. $\sigma = \frac{F}{A_0} = \frac{4306,52}{125} = 34,45 \text{ Mpa}$

Spesimen 4. $\sigma = \frac{F}{A_0} = \frac{1624,1}{125} = 12,99 \text{ Mpa}$

Spesimen 5. $\sigma = \frac{F}{A_0} = \frac{2141,76}{125} = 17,13 \text{ Mpa}$

2. Kekuatan komposit 1 lapis, dengan jumlah siklus 25x

Spesimen 1. $\sigma = \frac{F}{A_0} = \frac{2141,76}{125} = 17,13 \text{ Mpa}$

Spesimen 2. $\sigma = \frac{F}{A_0} = \frac{1953,52}{125} = 15,63 \text{ Mpa}$

Spesimen 3. $\sigma = \frac{F}{A_0} = \frac{2282,94}{125} = 18,26 \text{ Mpa}$

$$\text{Spesimen 4. } \sigma = \frac{F}{A_0} = \frac{2565,3}{125} = 20,52 \text{ Mpa}$$

$$\text{Spesimen 5. } \sigma = \frac{F}{A_0} = \frac{1671,16}{125} = 13,37 \text{ Mpa}$$

3. Kekuatan komposit 1 lapis, dengan jumlah siklus 50x

$$\text{Spesimen 1. } \sigma = \frac{F}{A_0} = \frac{2094,7}{125} = 16,76 \text{ Mpa}$$

$$\text{Spesimen 2. } \sigma = \frac{F}{A_0} = \frac{2471,18}{125} = 19,77 \text{ Mpa}$$

$$\text{Spesimen 3. } \sigma = \frac{F}{A_0} = \frac{2282,94}{125} = 18,26 \text{ Mpa}$$

$$\text{Spesimen 4. } \sigma = \frac{F}{A_0} = \frac{1059,38}{125} = 8,48 \text{ Mpa}$$

$$\text{Spesimen 5. } \sigma = \frac{F}{A_0} = \frac{1671,16}{125} = 13,37 \text{ Mpa}$$

4. Kekuatan komposit 1 lapis, dengan jumlah siklus 75x

$$\text{Spesimen 1. } \sigma = \frac{F}{A_0} = \frac{1388,8}{125} = 11,11 \text{ Mpa}$$

$$\text{Spesimen 2. } \sigma = \frac{F}{A_0} = \frac{1341,74}{125} = 10,73 \text{ Mpa}$$

$$\text{Spesimen 3. } \sigma = \frac{F}{A_0} = \frac{1153,5}{125} = 9,23 \text{ Mpa}$$

$$\text{Spesimen 4. } \sigma = \frac{F}{A_0} = \frac{2330}{125} = 18,64 \text{ Mpa}$$

$$\text{Spesimen 5. } \sigma = \frac{F}{A_0} = \frac{1718,22}{125} = 13,75 \text{ Mpa}$$

5. Kekuatan komposit 2 lapis, dengan jumlah siklus 0x

$$\text{Spesimen 1. } \sigma = \frac{F}{A_0} = \frac{2141,76}{125} = 17,13 \text{ Mpa}$$

$$\text{Spesimen 2. } \sigma = \frac{F}{A_0} = \frac{2612,36}{125} = 20,90 \text{ Mpa}$$

$$\text{Spesimen 3. } \sigma = \frac{F}{A_0} = \frac{1624,1}{125} = 12,99 \text{ Mpa}$$

$$\text{Spesimen 4. } \sigma = \frac{F}{A_0} = \frac{2800,6}{125} = 22,40 \text{ Mpa}$$

$$\text{Spesimen 5. } \sigma = \frac{F}{A_0} = \frac{4024,16}{125} = 32,19 \text{ Mpa}$$

6. Kekuatan komposit 2 lapis, dengan jumlah siklus 25x

$$\text{Spesimen 1. } \sigma = \frac{F}{A_0} = \frac{2612,36}{125} = 20,90 \text{ Mpa}$$

$$\text{Spesimen 2. } \sigma = \frac{F}{A_0} = \frac{2000,58}{125} = 16,00 \text{ Mpa}$$

$$\text{Spesimen 3. } \sigma = \frac{F}{A_0} = \frac{1718,22}{125} = 13,75 \text{ Mpa}$$

$$\text{Spesimen 4. } \sigma = \frac{F}{A_0} = \frac{1577,04}{125} = 12,62 \text{ Mpa}$$

$$\text{Spesimen 5. } \sigma = \frac{F}{A_0} = \frac{3365,32}{125} = 26,92 \text{ Mpa}$$

7. Kekuatan komposit 2 lapis, dengan jumlah siklus 50x

$$\text{Spesimen 1. } \sigma = \frac{F}{A_0} = \frac{1812,34}{125} = 14,50 \text{ Mpa}$$

$$\text{Spesimen 2. } \sigma = \frac{F}{A_0} = \frac{2000,58}{125} = 16,02 \text{ Mpa}$$

$$\text{Spesimen 3. } \sigma = \frac{F}{A_0} = \frac{2800,6}{125} = 22,40 \text{ Mpa}$$

$$\text{Spesimen 4. } \sigma = \frac{F}{A_0} = \frac{1718,22}{125} = 13,73 \text{ Mpa}$$

$$\text{Spesimen 5. } \sigma = \frac{F}{A_0} = \frac{2188,82}{125} = 17,51 \text{ Mpa}$$

8. Kekuatan komposit 2 lapis, dengan jumlah siklus 75x

$$\text{Spesimen 1. } \sigma = \frac{F}{A_0} = \frac{1812,34}{125} = 14,51 \text{ Mpa}$$

$$\text{Spesimen 2. } \sigma = \frac{F}{A_0} = \frac{2000,58}{125} = 16,01 \text{ Mpa}$$

$$\text{Spesimen 3. } \sigma = \frac{F}{A_0} = \frac{1388,8}{125} = 11,11 \text{ Mpa}$$

$$\text{Spesimen 4. } \sigma = \frac{F}{A_0} = \frac{1671,16}{125} = 13,37 \text{ Mpa}$$

$$\text{Spesimen 5. } \sigma = \frac{F}{A_0} = \frac{1577,04}{125} = 12,62 \text{ Mpa}$$

9. Kekuatan komposit 3 lapis, dengan jumlah siklus 0x

$$\text{Spesimen 1. } \sigma = \frac{F}{A_0} = \frac{1059,38}{125} = 8,48 \text{ Mpa}$$

$$\text{Spesimen 2. } \sigma = \frac{F}{A_0} = \frac{1812,34}{125} = 14,50 \text{ Mpa}$$

$$\text{Spesimen 3. } \sigma = \frac{F}{A_0} = \frac{2000,58}{125} = 16,00 \text{ Mpa}$$

$$\text{Spesimen 4. } \sigma = \frac{F}{A_0} = \frac{2094,7}{125} = 16,76 \text{ Mpa}$$

$$\text{Spesimen 5. } \sigma = \frac{F}{A_0} = \frac{4494,76}{125} = 35,96 \text{ Mpa}$$

10. Kekuatan komposit 3 lapis, dengan jumlah siklus 25x

$$\text{Spesimen 1. } \sigma = \frac{F}{A_0} = \frac{3882,98}{125} = 31,06 \text{ Mpa}$$

$$\text{Spesimen 2. } \sigma = \frac{F}{A_0} = \frac{1059,38}{125} = 8,48 \text{ Mpa}$$

$$\text{Spesimen 3. } \sigma = \frac{F}{A_0} = \frac{1765,28}{125} = 14,12 \text{ Mpa}$$

$$\text{Spesimen 4. } \sigma = \frac{F}{A_0} = \frac{1577,04}{125} = 12,62 \text{ Mpa}$$

$$\text{Spesimen 5. } \sigma = \frac{F}{A_0} = \frac{2565,7}{125} = 20,52 \text{ Mpa}$$

11. Kekuatan komposit 3 lapis, dengan jumlah siklus 50x

$$\text{Spesimen 1. } \sigma = \frac{F}{A_0} = \frac{1671,16}{125} = 13,37 \text{ Mpa}$$

$$\text{Spesimen 2. } \sigma = \frac{F}{A_0} = \frac{1671,16}{125} = 13,39 \text{ Mpa}$$

$$\text{Spesimen 3. } \sigma = \frac{F}{A_0} = \frac{1765,28}{125} = 14,12 \text{ Mpa}$$

$$\text{Spesimen 4. } \sigma = \frac{F}{A_0} = \frac{2188,82}{125} = 17,51 \text{ Mpa}$$

$$\text{Spesimen 5. } \sigma = \frac{F}{A_0} = \frac{1482,92}{125} = 11,86 \text{ Mpa}$$

12. Kekuatan komposit 3 lapis, dengan jumlah siklus 75x

$$\text{Spesimen 1. } \sigma = \frac{F}{A_0} = \frac{1059,38}{125} = 8,46 \text{ Mpa}$$

$$\text{Spesimen 2. } \sigma = \frac{F}{A_0} = \frac{2000,58}{125} = 16 \text{ Mpa}$$

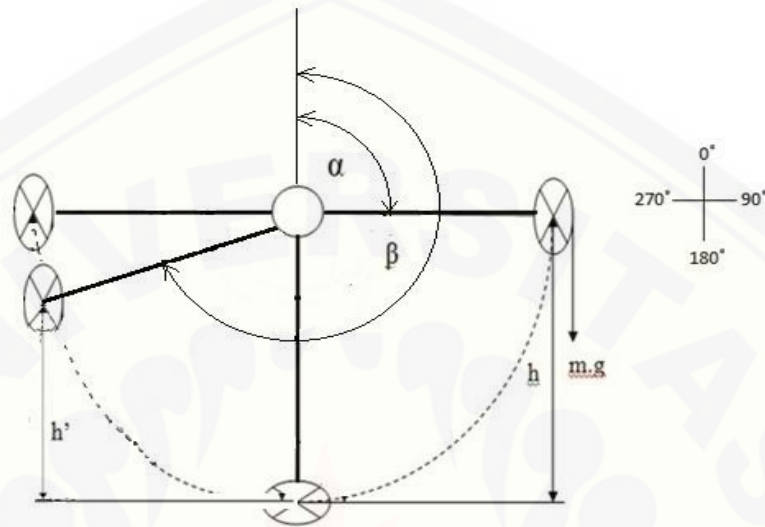
$$\text{Spesimen 3. } \sigma = \frac{F}{A_0} = \frac{2235,88}{125} = 17,89 \text{ Mpa}$$

$$\text{Spesimen 4. } \sigma = \frac{F}{A_0} = \frac{1388,8}{125} = 11,11 \text{ Mpa}$$

$$\text{Spesimen 5. } \sigma = \frac{F}{A_0} = \frac{871,14}{125} = 6,97 \text{ Mpa}$$

b). Perhitungan Hasil Pengujian Impak

Perhitungan harga impak (HI) diperoleh dengan persamaan sebagai berikut:



Gambar 4.3 Sudut awal (α) dan sudut akhir (β)

$$\begin{aligned}
 E_{\text{serap}} &= (E_p + E_k) - \text{Energi rugi} \\
 &= m \cdot g \cdot (h - R \cdot \cos \alpha) - m \cdot g \cdot (h - R \cdot \cos \beta) - \text{energi rugi} \\
 &= m \cdot g \cdot h - m \cdot g \cdot R \cdot \cos \alpha + m \cdot g \cdot h - m \cdot g \cdot R \cdot \cos \beta - \text{energi rugi} \\
 &= m \cdot g \cdot R \cdot (\cos \beta - \cos \alpha) - \text{energi rugi}
 \end{aligned}$$

- Dimana :
- E_p = Energi Potensial
 - E_k = Energi Kinetik
 - Energi Rugi = 7,99 Joule
 - Massa bandul (m) = 20,9 kg
 - Percepatan gravitasi (g) = 9,81 m/s^2
 - Panjang lengan bandul (R) = 0,83 m
 - Sudut posisi awal pendulum (α) = 135°
 - Lebar = 20 mm
 - Tebal = 5 mm

$$\begin{aligned}
 \text{- Luas penampang} &= \text{Lebar x Tinggi} \\
 &= 20 \text{ mm x } 5 \text{ mm} \\
 &= 100 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

1. Kekuatan impak komposit 1 lapis dengan jumlah siklus 0x

$$\begin{aligned}
 E_{\text{srp}} &= 20,9 \text{ kg x } 9,81 \text{ m/s}^2 \times 0,83 \text{ m x } (\cos 214^\circ - \cos 135^\circ) - 7,66 \\
 &= 20,9 \text{ kg x } 9,81 \text{ m/s}^2 \times 0,83 \text{ m x } (0,829 - 0,707) - 7,66 \\
 &= 20,761 - 7,66 \text{ joule} \\
 &= 12,771 \text{ joule}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 HI &= E_{\text{srp}} / A \\
 &= 12,771 / 100 \\
 &= 0,128 \text{ J/mm}^2
 \end{aligned}$$

2. Kekuatan impak komposit 2 lapis dengan jumlah siklus 0x

$$\begin{aligned}
 E_{\text{srp}} &= 20,9 \text{ kg x } 9,81 \text{ m/s}^2 \times 0,83 \text{ m x } (\cos 213^\circ - \cos 135^\circ) - 7,66 \\
 &= 20,9 \text{ kg x } 9,81 \text{ m/s}^2 \times 0,83 \text{ m x } (0,838 - 0,707) - 7,66 \\
 &= 22,292 - 7,66 \text{ joule} \\
 &= 14,302 \text{ joule}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 HI &= E_{\text{srp}} / A \\
 &= 14,302 / 100 \\
 &= 0,143 \text{ J/mm}^2
 \end{aligned}$$

3. Kekuatan impak komposit 3 lapis dengan jumlah siklus 0x

$$\begin{aligned}
 E_{\text{srp}} &= 20,9 \text{ kg x } 9,81 \text{ m/s}^2 \times 0,83 \text{ m x } (\cos 215^\circ - \cos 135^\circ) - 7,66 \\
 &= 20,9 \text{ kg x } 9,81 \text{ m/s}^2 \times 0,83 \text{ m x } (0,819 - 0,707) - 7,66 \\
 &= 19,059 - 7,66 \text{ joule} \\
 &= 11,069 \text{ joule}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 HI &= E_{\text{srp}} / A \\
 &= 11,069 / 100 \\
 &= 0,111 \text{ J/mm}^2
 \end{aligned}$$

4. Kekuatan impact komposit 1 lapis dengan jumlah siklus 25x

$$\begin{aligned} E_{srp} &= 20,9 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2 \times 0,83 \text{ m} \times (\cos 214^\circ - \cos 135^\circ) - 7,66 \\ &= 20,9 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2 \times 0,83 \text{ m} \times (0,829 - 0,707) - 7,66 \\ &= 20,761 - 7,66 \text{ joule} \\ &= 12,771 \text{ joule} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} HI &= E_{srp} / A \\ &= 12,771 / 100 \\ &= 0,128 \text{ J/mm}^2 \end{aligned}$$

5. Kekuatan impact komposit 2 lapis dengan jumlah siklus 25x

$$\begin{aligned} E_{srp} &= 20,9 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2 \times 0,83 \text{ m} \times (\cos 214^\circ - \cos 135^\circ) - 7,66 \\ &= 20,9 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2 \times 0,83 \text{ m} \times (0,829 - 0,707) - 7,66 \\ &= 20,761 - 7,66 \text{ joule} \\ &= 12,771 \text{ joule} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} HI &= E_{srp} / A \\ &= 12,771 / 100 \\ &= 0,128 \text{ J/mm}^2 \end{aligned}$$

6. Kekuatan impact komposit 3 lapis dengan jumlah siklus 25x

$$\begin{aligned} E_{srp} &= 20,9 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2 \times 0,83 \text{ m} \times (\cos 215^\circ - \cos 135^\circ) - 7,66 \\ &= 20,9 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2 \times 0,83 \text{ m} \times (0,819 - 0,707) - 7,66 \\ &= 19,059 - 7,66 \text{ joule} \\ &= 11,069 \text{ joule} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} HI &= E_{srp} / A \\ &= 11,069 / 100 \\ &= 0,111 \text{ J/mm}^2 \end{aligned}$$



Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials¹

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

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

1. Scope

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

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

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

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

- D 792 Test Methods for Density and Specific Gravity (Relative Density) of Plastics by Displacement²
- D 883 Terminology Relating to Plastics²
- D 2584 Test Method for Ignition Loss of Cured Reinforced Resins³
- D 2734 Test Method for Void Content of Reinforced Plastics³
- D 3171 Test Methods for Constituent Content of Composites Materials⁴
- D 3878 Terminology for Composite Materials⁴
- D 5229/D 5229M Test Method for Moisture Absorption Properties and Equilibrium Conditioning of Polymer Ma-

trix Composite Materials⁴

- E 4 Practices for Force Verification of Testing Machines⁵
- E 6 Terminology Relating to Methods of Mechanical Testing⁵
- E 83 Practice for Verification and Classification of Extensometers⁵
- E 111 Test Method for Young's Modulus, Tangent Modulus, and Chord Modulus⁵
- E 122 Practice for Choice of Sample Size to Estimate a Measure of Quality for a Lot or Process⁶
- E 132 Test Method for Poisson's Ratio at Room Temperature⁵
- E 177 Practice for Use of the Terms Precision and Bias in ASTM Test Methods⁶
- E 251 Test Methods for Performance Characteristics of Metallic Bonded Resistance Strain Gages⁵
- E 456 Terminology Relating to Quality and Statistics⁶
- E 691 Practice for Conducting an Interlaboratory Study to Determine the Precision of a Test Method⁶
- E 1012 Practice for Verification of Specimen Alignment Under Tensile Loading⁵
- E 1237 Guide for Installing Bonded Resistance Strain Gages⁵

3. Terminology

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

3.2 *Definitions of Terms Specific to This Standard:*

NOTE—If the term represents a physical quantity, its analytical dimensions are stated immediately following the term (or letter symbol) in fundamental dimension form, using the following ASTM standard symbology for fundamental dimensions, shown within square brackets: $[M]$ for mass, $[L]$ for length, $[T]$ for time, $[\Theta]$ for thermodynamic temperature,

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

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

² *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 08.01.

³ *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 08.02.

⁴ *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 15.03.

⁵ *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 03.01.

⁶ *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 14.02.

and $[nd]$ for nondimensional quantities. Use of these symbols is restricted to analytical dimensions when used with square brackets, as the symbols may have other definitions when used without the brackets.

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

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

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

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

3.3 *Symbols:*

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

3.3.2 B_y —percent bending for a uniaxial coupon of rectangular cross section about y axis of the specimen (about the narrow direction).

3.3.3 B_z —percent bending for a uniaxial coupon of rectangular cross section about z axis of the specimen (about the wide direction).

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

3.3.5 E —modulus of elasticity in the test direction.

3.3.6 F^{tu} —ultimate tensile strength in the test direction.

3.3.7 F^{su} —ultimate shear strength in the test direction.

3.3.8 h —coupon thickness.

3.3.9 L_g —extensometer gage length.

3.3.10 L_{min} —minimum required bonded tab length.

3.3.11 n —number of coupons per sample population.

3.3.12 P —load carried by test coupon.

3.3.13 P^f —load carried by test coupon at failure.

3.3.14 P^{max} —maximum load carried by test coupon before failure.

3.3.15 s_{n-1} —standard deviation statistic of a sample population for a given property.

3.3.16 w —coupon width.

3.3.17 x_i —test result for an individual coupon from the sample population for a given property.

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

3.3.19 δ —extensional displacement.

3.3.20 ϵ —general symbol for strain, whether normal strain or shear strain.

3.3.21 ϵ —indicated normal strain from strain transducer or extensometer.

3.3.22 σ —normal stress.

3.3.23 ν —Poisson's ratio.

4. Summary of Test Method

4.1 A thin flat strip of material having a constant rectangular cross section is mounted in the grips of a mechanical testing machine and monotonically loaded in tension while recording load. The ultimate strength of the material can be determined from the maximum load carried before failure. If the coupon strain is monitored with strain or displacement transducers then the stress-strain response of the material can be determined, from which the ultimate tensile strain, tensile modulus of elasticity, Poisson's ratio, and transition strain can be derived.

5. Significance and Use

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

5.1.1 Ultimate tensile strength,

5.1.2 Ultimate tensile strain,

5.1.3 Tensile chord modulus of elasticity,

5.1.4 Poisson's ratio, and

5.1.5 Transition strain.

6. Interferences

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

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

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

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

7. Apparatus

7.1 *Micrometers*—A micrometer with a 4- to 5-mm [0.16- to 0.20-in] nominal diameter double-ball interface shall be used to measure the thickness of the specimen. A micrometer with a flat anvil interface shall be used to measure the width of

the specimen. The accuracy of the instruments shall be suitable for reading to within 1 % of the sample width and thickness. For typical specimen geometries, an instrument with an accuracy of $\pm 2.5 \mu\text{m}$ [$\pm 0.0001 \text{ in.}$] is adequate for thickness measurement, while an instrument with an accuracy of $\pm 25 \mu\text{m}$ [$\pm 0.001 \text{ in.}$] is adequate for width measurement.

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

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

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

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

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

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

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

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

7.2.5.1 A rectangular alignment coupon, preferably similar in size and stiffness to the test specimen of interest, is instrumented with a minimum of three longitudinal strain

gages of similar type, two on the front face across the width and one on the back face of the specimen, as shown in Fig. 1. Any difference in indicated strain between these gages during loading provides a measure of the amount of bending in the thickness plane (B_y) and width plane (B_z) of the coupon. The strain gage location should normally be located in the middle of the coupon gage section (if modulus determination is a concern), near a grip (if premature grip failures are a problem), or any combination of these areas.

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

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

7.2.5.4 Problems with failures during gripping would be reason to examine bending strains during the gripping process in the location near the grip. Concern over modulus data scatter would be reason to evaluate bending strains over the modulus evaluation load range for the typical transducer location. Excessive failures near the grips would be reason to evaluate bending strains near the grip at high loading levels. While the maximum advisable amount of system misalignment is material and location dependent, good testing practice is generally able to limit percent bending to a range of 3 to 5 % at moderate

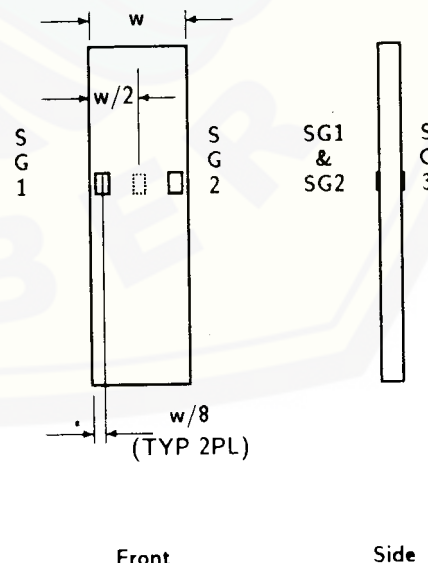


FIG. 1 Gage Locations for System Alignment Check Coupon

strain levels ($>1000 \mu\epsilon$). A system showing excessive bending for the given application should be readjusted or modified.

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

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

where:

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

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

ϵ_1 , ϵ_2 , and ϵ_3 = indicated longitudinal strains displayed by Gages 1, 2, and 3, respectively, of Fig. 1, $\mu\epsilon$; and

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

The total bending component is:

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

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

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

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

⁷ A typical gage would have a 0.25-in. active gage length, 350- Ω resistance, a strain rating of 3 % or better, and the appropriate environmental resistance and thermal coefficient.

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

7.3.1.2 Consideration should be given to the selection of gages having larger resistances to reduce heating effects on low-conductivity materials. Resistances of 350 Ω or higher are preferred. Additional consideration should be given to the use of the minimum possible gage excitation voltage consistent with the desired accuracy (1 to 2 V is recommended) to reduce further the power consumed by the gage. Heating of the coupon by the gage may affect the performance of the material directly, or it may affect the indicated strain as a result of a difference between the gage temperature compensation factor and the coefficient of thermal expansion of the coupon material.

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

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

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

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

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

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

8. Sampling and Test Specimens

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

NOTE 4—If specimens are to undergo environmental conditioning to

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

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

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

8.2.1 *General Requirements:*

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

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

8.2.2 *Specific Recommendations:*

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

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

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

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

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

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

TABLE 1 Tensile Specimen Geometry Requirements

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

^aSee 8.2.2 or Table 2 for recommendations.

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

TABLE 2 Tensile Specimen Geometry Recommendations^A

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

^ADimensions in this table and the tolerances of Fig. 2 or Fig. 3 are recommendations only and may be varied so long as the requirements of Table 1 are met.

have incorporated steel tabs or tabs made of the same material as is being tested.

8.2.2.6 *Bonded Tab Length*—When using bonded tabs, estimate the minimum suggested tab length for bonded tabs by the following simple equation. As this equation does not account for the peaking stresses that are known to exist at the ends of bonded joints. The tab length calculated by this equation should normally be increased by some factor to reduce the chances of joint failure:

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

where:

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

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

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

8.3 *Specimen Preparation:*

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

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

8.3.3 *Labeling*—Label the coupons so that they will be

distinct from each other and traceable back to the raw material and in a manner that will both be unaffected by the test and not influence the test.

9. **Calibration**

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

10. **Conditioning**

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

11. **Procedure**

11.1 *Parameters To Be Specified Before Test:*

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

11.1.2 The tensile properties and data reporting format desired.

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

11.1.3 The environmental conditioning test parameters.

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

11.2 *General Instructions:*

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

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

11.2.3 Following final specimen machining and any conditioning, but before the tension testing, determine the specimen area as $A = w \times h$, at three places in the gage section, and report the area as the average of these three determinations to the accuracy in 7.1. Record the average area in units of mm² (in.²).

DRAWING NOTES:

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

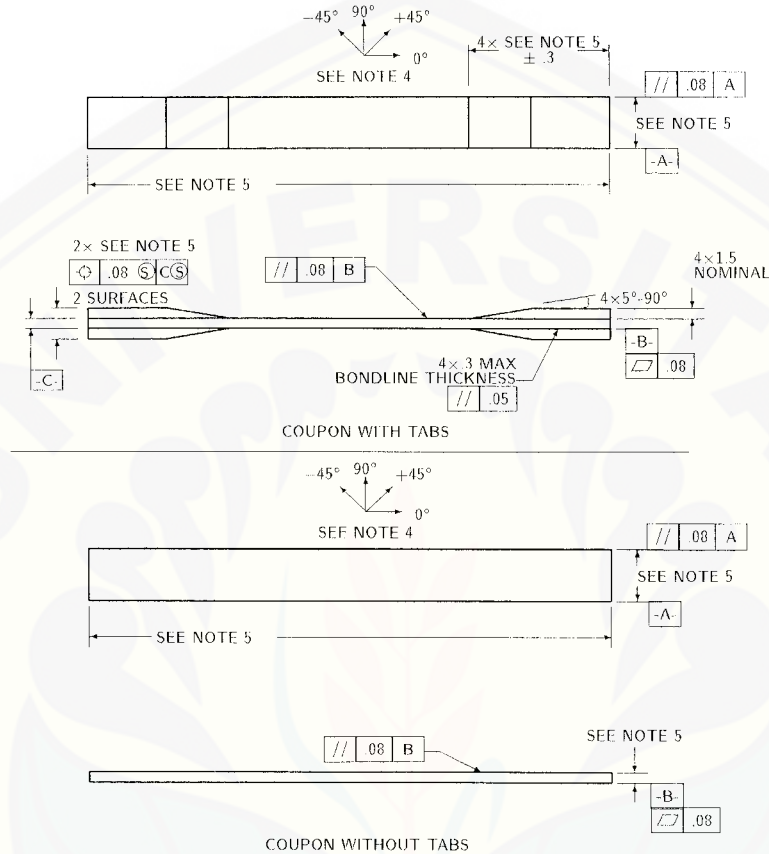


FIG. 2 Tension Test Specimen Drawing (SI)

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

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

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

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

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

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

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

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

DRAWING NOTES:

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

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

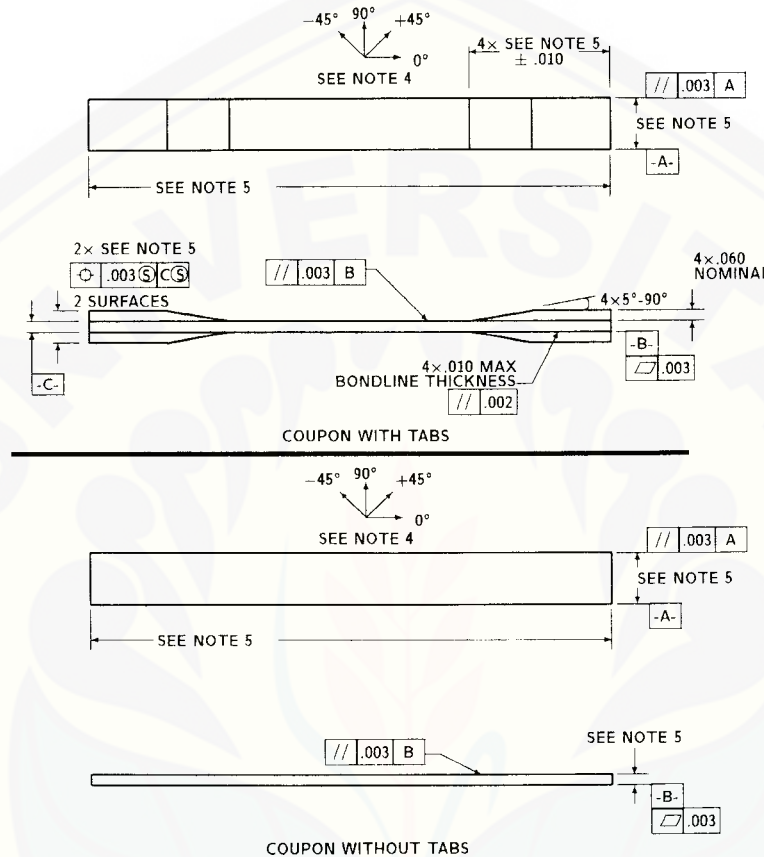


FIG. 3 Tension Test Specimen Drawing (inch-pound)

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

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

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

TABLE 3 Specimen Alignment and Chord Modulus Calculation Strain Ranges

Tensile Chord Modulus Calculation Longitudinal Strain Range		Longitudinal Strain Checkpoint for Bending
Start Point μ ϵ ^A	End Point μ ϵ	μ ϵ
1000 ^B	3000	2000

^A1000 μ ϵ = 0.001 absolute strain.

^BThis strain range is to be contained in the lower half of the stress/strain curve. For materials that fail below 6000 μ ϵ , a strain range of 25 to 50 % of ultimate is recommended.

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

$$B_y = \frac{|\epsilon_f - |\epsilon_b||}{|\epsilon_f + |\epsilon_b||} \quad (5)$$

where:

- ϵ_f = indicated strain from front transducer, μ ϵ ;
- ϵ_b = indicated strain from back transducer, μ ϵ ; and
- B_y = percent bending in specimen.

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

specified rate until failure, while recording data.

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

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

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

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

12. Calculation

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

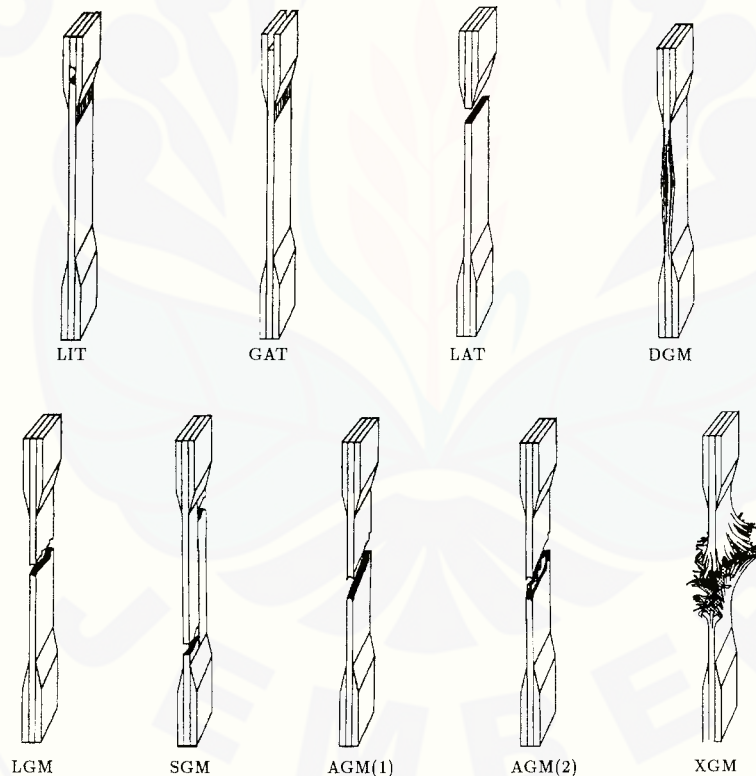
$$F^{tu} = P^{max}/A \tag{6}$$

$$\sigma_i = P_i/A \tag{7}$$

where:

- F^{tu} = ultimate tensile strength, MPa [psi];
- P^{max} = maximum load before failure, N [lbf];
- σ_i = tensile stress at *i*th data point, MPa [psi];
- P_i = load at *i*th data point, N [lbf]; and
- A = average cross-sectional area from 11.2.3, mm²[in.²].

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



First Character		Second Character		Third Character	
Failure Type	Code	Failure Area	Code	Failure Location	Code
Angled edge Delamination	A	Inside grip/tab	I	Bottom	B
Grip/tab	D	At grip/tab <1W from grip/tab	A	Top	T
Lateral	G	Gage	W	Left	L
Multi-mode long. Splitting	L	Multiple areas	G	Right	R
Explosive	M(xyz)	Various	M	Middle	M
Other	S	Unknown	V	Various	V
	X		U	Unknown	U
	O				

FIG. 4 Tensile Test Failure Codes/Typical Modes

three significant figures.

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

where:

ϵ_i = tensile strain at *i*th data point, $\mu\epsilon$;

δ_i = extensometer displacement at *i*th data point, mm [in.];
and

L_g = extensometer gage length, mm [in.].

12.3 Tensile Modulus of Elasticity:

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

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

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

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

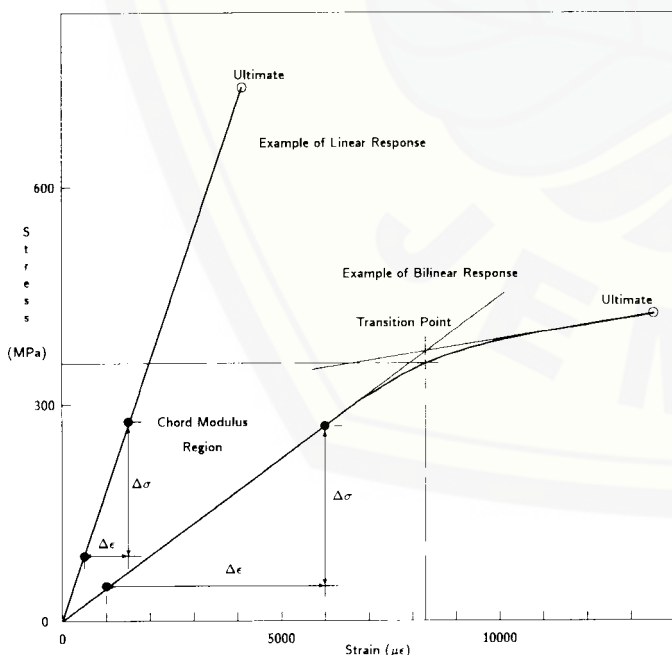


FIG. 5 Typical Tensile Stress-Strain Curves

where:

E^{chord} = tensile chord modulus of elasticity, GPa [psi];

$\Delta\sigma$ = difference in applied tensile stress between the two strain points of Table 3, MPa [psi]; and

$\Delta\epsilon$ = difference between the two strain points of Table 3 (nominally 0.002).

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

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

12.4 Poisson's Ratio:

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

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

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

where:

ν = Poisson's ratio;

$\Delta\epsilon_t$ = difference in lateral strain between the two longitudinal strain points of Table 3, $\mu\epsilon$; and

$\Delta\epsilon_l$ = difference between the two longitudinal strain points of Table 3 (nominally either 0.001, 0.002, or 0.005).

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

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

example of transition strain is shown in Fig. 5.

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

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

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

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

where:

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

13. Report

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

- 13.1.1 The revision level or date of issue of this test method.
- 13.1.2 The date(s) and location(s) of the test.
- 13.1.3 The name(s) of the test operator(s).
- 13.1.4 Any variations to this test method, anomalies noticed during testing, or equipment problems occurring during testing.
- 13.1.5 Identification of the material tested including: material specification, material type, material designation, manufacturer, manufacturer's lot or batch number, source (if not from manufacturer), date of certification, expiration of certification, filament diameter, tow or yarn filament count and twist, sizing, form or weave, fiber areal weight, matrix type, prepreg matrix content, and prepreg volatiles content.
- 13.1.6 Description of the fabrication steps used to prepare the laminate including: fabrication start date, fabrication end date, process specification, cure cycle, consolidation method, and a description of the equipment used.
- 13.1.7 Ply orientation stacking sequence of the laminate.
- 13.1.8 If requested, report density, volume percent reinforcement, and void content test methods, specimen sampling method and geometries, test parameters, and test results.
- 13.1.9 Average ply thickness of the material.
- 13.1.10 Results of any nondestructive evaluation tests.
- 13.1.11 Method of preparing the test specimen, including specimen labeling scheme and method, specimen geometry, sampling method, coupon cutting method, identification of tab geometry, tab material, and tab adhesive used.
- 13.1.12 Calibration dates and methods for all measurement and test equipment.
- 13.1.13 Type of test machine, grips, jaws, grip pressure, alignment results, and data acquisition sampling rate and equipment type.
- 13.1.14 Results of system alignment evaluations, if any such were done.
- 13.1.15 Dimensions of each test specimen.

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

13.1.17 Relative humidity and temperature of the testing laboratory.

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

13.1.19 Number of specimens tested.

13.1.20 Speed of testing.

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

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

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

13.1.24 Percent bending results for each specimen so evaluated.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

13.1.34 Failure mode and location of failure for each specimen.

14. Precision and Bias

14.1 *Precision:*

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

14.1.2 Mechanical factors that can affect the test results

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

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

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

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

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

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

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

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

TABLE 4 Precision Statistics

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

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

TABLE 5 Averages of the Coefficients of Variation

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

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

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

15. Keywords

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

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

Digital Repository Universitas Jember

 **D 3039/D 3039M**

The American Society for Testing and Materials takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.

This standard is copyrighted by ASTM, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org).

