



**PENGARUH DEKOMPOSISI TERMAL KOMPOSIT
UNSATURATED POLYESTER - MONTMORILLONITE - SERAT KACA
TERHADAP KARAKTERISTIK KEKUATAN TARIK**

SKRIPSI

Oleh

**DEKY PRADANA
NIM 101910101060**

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2017**



**PENGARUH DEKOMPOSISI TERMAL KOMPOSIT
UNSATURATED POLYESTER - MONTMORILLONITE - SERAT KACA
TERHADAP KARAKTERISTIK KEKUATAN TARIK**

SKRIPSI

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

Oleh

**DEKY PRADANA
NIM 101910101060**

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2017**

PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan untuk:

1. ALLAH S.W.T.;
2. Fakultas Teknik Universitas Jember;
3. Ibu Naiwe Thresia Mamangke dan Bapak Bunamin;
4. Mbak Yunita Theresia, Mbak Erna Thresia, dan Mbak Ira Thresia;
5. Mas Aris Purwanto, Mas Imam Subaweh, dan Mas Edi Irawan;
6. Semua keponakanku, mbah Jumadi (alm), mbah Gimah, dan semua saudaraku.

MOTO

**“Maka nikmat TUHANMU yang manakah yang kamu dustakan”
(Terjemahan Q.S. Ar Rohmaan ayat 13)***



* Departemen Agama Republik Indonesia. 1998. Al Qur'an dan Terjemahannya. Semarang: PT Kumudasmoro Grafindo

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : **Deky Pradana**

NIM : **101910101060**

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul “Pengaruh Dekomposisi Termal Komposit *Unsaturated Polyester - Montmorillonite* - Serat Kaca Terhadap Karakteristik Kekuatan Tarik” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi manapun, dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang dijunjung tinggi.

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

Jember, 22 September 2017
Yang menyatakan,

(Deky Pradana)
NIM. 101910101060

SKRIPSI

**PENGARUH DEKOMPOSISI TERMAL KOMPOSIT
UNSATURATED POLYESTER - MONTMORILLONITE - SERAT KACA
TERHADAP KARAKTERISTIK KEKUATAN TARIK**

Oleh

Deky Pradana
NIM 101910101060

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Imam Sholahuddin, S.T., M.T.
Dosen Pembimbing Anggota : Ahmad Adib Rosyadi, S.T., M.T.

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Pengaruh Dekomposisi Termal Komposit *Unsaturated Polyester* - *Montmorillonite* - Serat Kaca Terhadap Karakteristik Kekuatan Tarik” telah diuji dan disahkan pada:

hari, tanggal : Jumat, 22 September 2017

tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim Penguji

Ketua,

Sekretaris,

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

Ahmad Adib Rosyadi, S.T., M.T.
NIP. 19850117 201212 1 001

Anggota I,

Anggota II,

Sumarji, S.T., M.T.
NIP. 19680202 199702 1 001

Ir. FX. Kristianta, M.Eng.
NIP. 19650120 200112 1 001

Mengesahkan
Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember,

Dr.Ir. Entin Hidayah, M.UM.
NIP. 19661215 199503 2 001

RINGKASAN

Pengaruh Dekomposisi Termal Komposit *Unsaturated Polyester* - *Montmorillonite* - Serat Kaca Terhadap Karakteristik Kekuatan Tarik; Dedy Pradana, 101910101060; 2017: 62 halaman; Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Material komposit yang banyak dibutuhkan dalam berbagai bidang saat ini adalah komposit polimer. Dimana komposit polimer lebih unggul dalam biaya pembuatan, ketangguhan, tahan simpan, dan lebih ringan. Penggunaan material komposit dalam banyak bidang aplikasi yang sangat luas memungkinkan terkena berbagai paparan panas sehingga beresiko terjadinya kebakaran, hal itu mendeskripsikan pentingnya memahami sifat panas terhadap komposit dan kebutuhan akan material komposit polimer tahan panas. Penambahan *montmorillonite* menurunkan kekuatan tarik, namun memiliki keunggulan dapat meningkatkan ketahanan komposit terhadap paparan panas, mempengaruhi stabilitas dimensi komposit, menurunkan koefisien dari ekspansi termal, mengurangi modulus elastis, meningkatkan nilai konduktifitas termal, dan menurunkan kekuatan tekan, namun meningkatkan ketahanan terhadap suhu tinggi.

Tujuan penelitian ini adalah analisis kekuatan komposit partikel *montmorillonite* berpenguat serat kaca terhadap pengaruh dekomposisi termal dalam karakteristik kekuatan tarik. Dengan meneliti tahapan dekomposisi termal komposit pada rentang suhu 30 °C - 550 °C (ASTM E1131) terhadap kekuatan termal mekanis pada suhu 30 °C - 220 °C (ASTM D3039). Hasil penelitian diharapkan dapat dimanfaatkan sebagai suatu bentuk acuan terhadap kegagalan komposit yang terjadi akibat paparan panas yang berlangsung.

Penelitian dilaksanakan dalam dua tahapan pengujian. Pada pengujian pertama diuji pengaruh paparan panas terhadap kekuatan tarik pada komposit *unsaturated polyester* dengan *montmorillonite* dan serat kaca. Pada pengujian kedua diuji pengaruh dekomposisi termal komposit. Setelah mendapat data pengujian kedua dan dipadukan dengan data pengujian pertama maka dapat diketahui pengaruh dekomposisi terhadap karakteristik kekuatan tarik.

Seiring dengan peningkatan pertambahan suhu paparan panas yang diberikan mengakibatkan kekuatan tarik komposit mengalami penurunan yang signifikan. Selain itu, penambahan *montmorillonite* pada komposit menurunkan kekuatan tarik, namun dapat dipulihkan lagi dengan penambahan serat kaca. Dimana kekuatan tarik tertinggi sebesar 112 MPa. Bentuk morfologi komposit mengalami patah getas dan patah pull out, dimana semakin tinggi suhunya maka semakin besar wilayah pull out yang terjadi. Penambahan *montmorillonite* dan serat kaca dapat mengurangi kerusakan yang terjadi akibat paparan panas. Dalam uji TGA penambahan *montmorillonite* dapat menghambat sejenak proses dekomposisi termal. Karna itulah ketahanan panas komposit dapat ditingkatkan. Namun lain halnya ketahanan panas dalam uji termal mekanis dimana penambahan serat kaca lebih unggul dibandingkan penambahan *montmorillonite*.

Kata kunci: *Unsaturated Polyester*, *Montmorillonite*, Termal Mekanis, Dekomposisi Termal, ASTM D3039, ASTM E1131.

SUMMARY

Effect of Composite Thermal Decomposition of Unsaturated Polyester - montmorillonite - Fibre Glass Against Characteristics Tensile Strength; Deky Pradana, 101910101060; 2016: 62 pages; Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, University of Jember.

The composite material is much needed in many fields today are polymer composites. Where the polymer composites are superior in cost of manufacture, toughness, good storage, and lighter. The use of composite materials in many areas of very wide application enables exposed to different heat exposure so the risk of fire, it describes the importance of understanding the nature of heat to the composite material and the need for heat-resistant polymer composites. The addition of montmorillonite to lower tensile strength, but has the advantage can improve the resilience of the composite to heat exposure, affecting the dimensional stability of the composite, lower the coefficient of thermal expansion, reducing the elastic modulus, increase the value of conductivity thermal, and lower compressive strength, however increasing resilience to high temperature.

Interest this study is an analysis of the strength of the composite particles of montmorillonite reinforced glass fibers to the influence of the thermal decomposition in tensile strength characteristics. By examining the stages of the composite thermal decomposition at a temperature range of 30 °C - 550 °C (ASTM E1131) against thermal mechanical strength at temperatures of 30 °C - 220 °C (ASTM D3039). Results are expected to be used as a reference to the form of composite failure caused by heat exposure takes place.

The research was conducted in two phases of testing. In the first test tested the effect of heat exposure on the tensile strength of the composite unsaturated polyester with montmorillonite and fiber glass. In the second test examined the effect of the thermal decomposition of the composite. After receiving the second test data and

combined with the first test data it can be seen the effect of decomposition on the characteristics of tensile strength.

Along with the increase in temperature increases the heat given exposure resulting composite tensile strength decreased significantly. Moreover, the addition of montmorillonite in the composite lower the tensile strength, but can be restored again with the addition of glass fiber. Where the highest tensile strength of 112 MPa. Morphology of composites undergo brittle fracture and a broken pull out, where the higher the temperature the greater the area pull out what happened. The addition of montmorillonite and glass fiber can reduce the damage caused by exposure to heat. In addition montmorillonite TGA test can inhibit thermal decomposition process momentarily. Because that's the heat resistance of the composite can be improved. Yet another case of the thermal resistance of the heat in the mechanical test where the addition of a glass fiber is superior than the addition of montmorillonite.

Keywords: Unsaturated Polyester, montmorillonite, Thermal Mechanical, Thermal Decomposition, ASTM D3039, ASTM E1131.

PRAKATA

Puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi berjudul “Pengaruh Dekomposisi Termal Komposit *Unsaturated Polyester - Montmorillonite* - Serat Kaca Terhadap Karakteristik Kekuatan Tarik”. 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 menciptakan saya, memberikan nikmat, dan karunia yang tidak pernah henti dalam hidup ini;
2. Ibu Naiwe Thresia Mamangke dan Bapak Bunamin 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. Mbak Yunita Theresia, Mbak Erna Thresia, Mbak Ira Thresia, Mas Aris Purwanto, Mas Imam Subaweh, dan Mas Edi Irawan yang telah menjadi kakak 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;
4. Bapak Imam Sholahuddin, S.T., M.T., selaku Ketua Material Research Group UNEJ dan Dosen Pembimbing Utama, yang telah meluangkan waktu, pikiran, materi, dan perhatian penuh dalam penulisan skripsi ini;
5. Bapak Ahmad Adib Rosyadi, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing Anggota, yang telah meluangkan waktu, pikiran, dan perhatian dalam penulisan skripsi ini;

6. Bapak Sumarji, S.T., M.T., dan Bapak Ir. FX. Kristianta, M.Eng., selaku Dosen Penguji yang telah banyak sekali memberikan saran dan berbagai pertimbangan menuju ke arah yang benar dalam penulisan skripsi ini;
7. Bapak Ir. Ahmad Syuhri, M.T., selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah memberikan masukan;
8. Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Teknik Mesin Universitas Jember yang telah membimbing penulis selama menjadi mahasiswa;
9. Kepada UKM MAHADIPA dan saudara-saudaraku yang memberikan banyak pelajaran dan mengajarkan arti kebersamaan, dan kekeluargaan.
10. UKM KSR PMI UNIT UNIVERSITAS JEMBER dan saudara-saudaraku yang memberikan banyak pelajaran dan pengalaman;
11. Sahabat sekaligus keluargaku, Adi Purnomo, Ikhwanudin, Yurike Elok P., Alpian, Dimas Bagus S., Septa Dwi I., Bagus Bani N., Jerry Gilang L., Maman Bhati K. yang selalu memberikan suport, bantuan, dan semangat;
12. Sahabat sekaligus keluargaku kosan mangga 2, Mas Ndut, Cak Edo, Cak Bogang, Cak Heri, Agung, Latif, Akbar, Alfa, Belong, Rizal, Hafifi, dll yang selalu memberikan suport, bantuan, dan semangat;
13. Semua anggota Material Research Group UNEJ yang selalu memberikan suport, bantuan, dan semangat dalam pengerjaan skripsi ini;
14. Teman-teman baik dibangku perkuliahan ataupun diluar bangku perkuliahan yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu;
15. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Penulis juga berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat dan mohon maaf bila ada kesalahan dalam skripsi ini maupun kesalahan pribadi penulis.

Jember, 22 September 2017

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	ii
PERSEMBAHAN.....	iii
MOTO	iv
PERNYATAAN.....	v
PEMBIMBINGAN	vi
PENGESAHAN	vii
RINGKASAN	viii
SUMMARY	x
PRAKATA	xii
DAFTAR ISI.....	xiv
DAFTAR GAMBAR.....	xvi
DAFTAR TABEL	xix
BAB 1. PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
1.6 Hipotesa	4
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Material Komposit	5
2.2 Klasifikasi Komposit.....	5
2.3 Penyusun Komposit	8
2.3.1 Matrik.....	9
2.3.2 Reinforcement.....	12
2.3.3 Interface	13
2.4 Metode Pembuatan Komposit	16
2.5 Pengujian Dekomposisi Termal.....	17

2.6 Pengujian Termal Mekanis.....	22
2.7 Pengujian Morfologi.....	24
BAB 3.METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 Metodologi Penelitian.....	27
3.2 Tempat dan Waktu Penelitian.....	27
3.3 Alat dan Bahan Penelitian.....	27
3.4 Prosedur Penelitian.....	27
3.4.1 Langkah-Langkah Pembuatan Sampel	27
3.4.1.1 Sampel Uji Termal Mekanis.....	27
3.4.1.2 Sampel Uji Dekomposisi Termal	28
3.4.2 Langkah-Langkah Pengujian Sampel	28
3.4.2.1 Uji Termal Mekanis.....	28
3.4.2.2 Uji Dekomposisi Termal	28
3.5 Analisa Data	29
3.6 Diagram Alir Penelitian	30
BAB 4.HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1 Pengujian Termal Mekanis.....	31
4.2 Pengujian Dekomposisi Termal.....	35
4.3 Analisa Morfologi.....	38
4.3.1 Morfologi Makro	38
4.3.2 Morfologi Mikro	45
BAB 5.PENUTUP	
5.1 Kesimpulan.....	49
5.2 Saran	49
DAFTAR PUSTAKA	50
LAMPIRAN	52

DAFTAR GAMBAR

2.1	Struktur penyusun komposit	9
2.2	<i>Mechanical bonding</i>	13
2.3	<i>Electrostatic bonding</i>	14
2.4	<i>Chemical bonding</i>	14
2.5	Diagram skema sudut kontak dan komponen energi bebas (tegangan)	15
2.6	Gaya yang dihasilkan pada peristiwa <i>wetting</i>	15
2.7	Diagram skema dari serat - matriks <i>interphase</i> dan beberapa factor yang berkontribusi terhadap pembentukannya.....	16
2.8	Metode <i>vacuum</i>	17
2.9	Kurva sampel termogravimetri astm e 1131-98.	18
2.10	Perubahan fisik dan kimia selama proses dekomposisi termal.....	19
2.11	Standar persiapan sampel uji astm d 3039.....	22
2.12	Sampel uji termal mekanis	23
2.13	Skema dari sebuah laminate dibawah pembebanan tarik dengan pemodelan dua lapis yang terdiri atas arang dan daerah yang belum terkena panas	24
2.14	Jenis – jenis patahan pengujian tarik	25
3.1	Diagram alir penelitian	31
4.1	Grafik kekuatan termal mekanis komposit <i>unsaturated</i> <i>polyester</i>	32
4.2	Grafik kekuatan termal mekanis komposit <i>unsaturated</i> <i>polyester</i> dengan <i>montmorillonite</i>	33
4.3	Grafik kekuatan termal mekanis komposit <i>unsaturated</i> <i>polyester</i> dengan serat kaca	34
4.4	Grafik kekuatan termal mekanis komposit <i>unsaturated</i> <i>polyester</i> dengan <i>montmorillonite</i> dan serat kaca.....	35
4.5	Grafik perbandingan kekuatan termal mekanis komposit	36

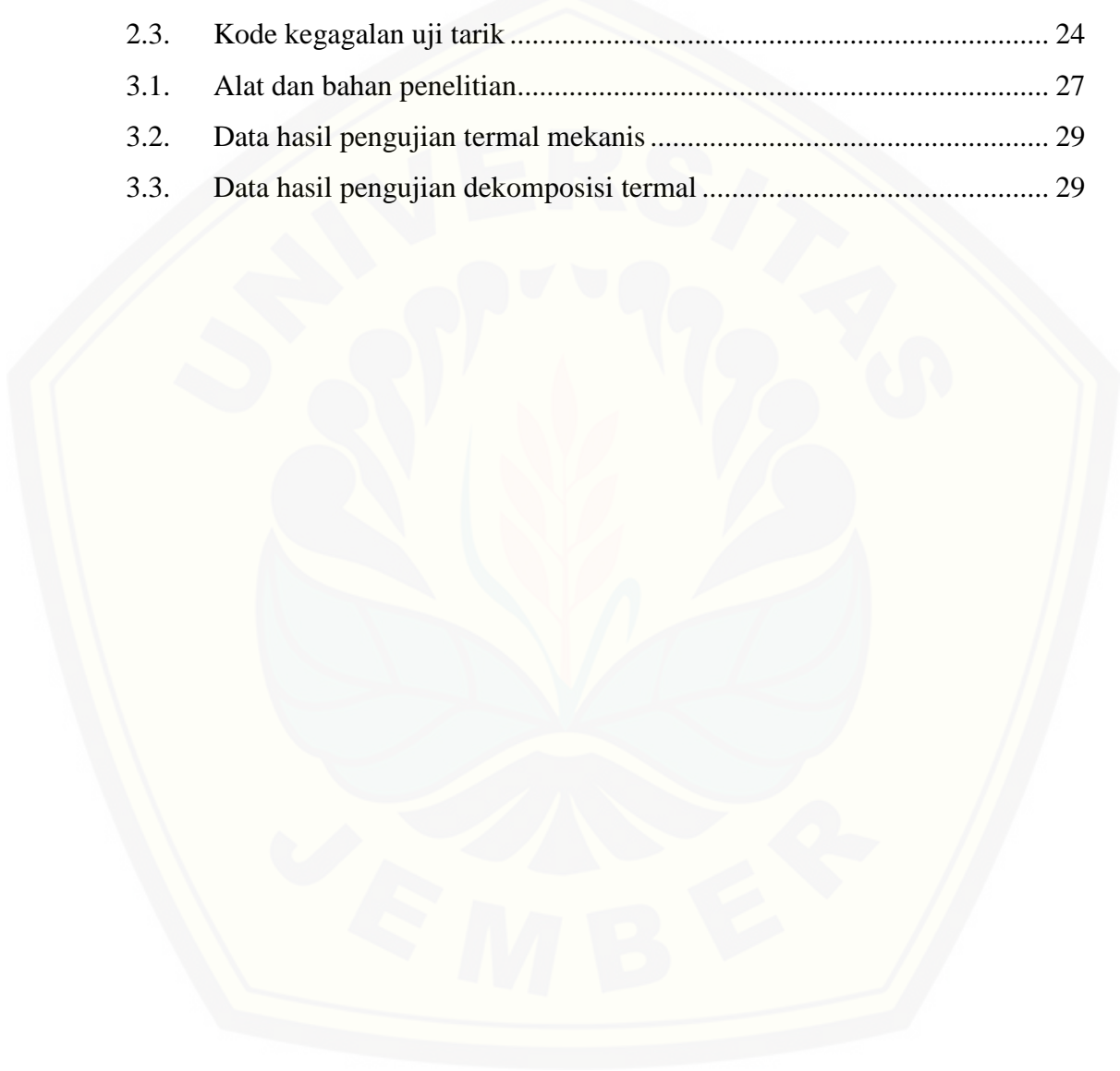
4.6	Grafik tga komposit <i>unsaturated polyester</i>	37
4.7	Grafik tga komposit <i>unsaturated polyester</i> dengan <i>montmorillonite</i>	37
4.8	Grafik perbandingan tga komposit	38
4.9	Foto makro patahan komposit <i>unsaturated polyester</i> suhu 30 °c - 220 °c	39
4.10	Foto makro patahan komposit <i>unsaturated polyester</i> : (a) tampak pojok, (b) tampak atas, (c) tampak samping	40
4.11	Foto makro patahan komposit <i>unsaturated polyester</i> dengan <i>montmorillonite</i> suhu 30 °c - 220 °c	41
4.12	Foto makro patahan komposit <i>unsaturated polyester</i> dengan <i>montmorillonite</i> : (a) tampak pojok, (b) tampak atas, (c) tampak samping	42
4.13	Foto makro patahan komposit <i>unsaturated polyester</i> dengan serat kaca suhu 30 °c - 220 °c	43
4.14	Foto makro patahan komposit <i>unsaturated polyester</i> dengan serat kaca: (a) tampak pojok, (b) tampak atas, (c) tampak samping	44
4.15	Foto makro patahan komposit <i>unsaturated polyester</i> dengan <i>montmorillonite</i> dan serat kaca suhu 30 °c - 220 °c	45
4.16	Foto makro patahan komposit <i>unsaturated polyester</i> dengan <i>montmorillonite</i> dan serat kaca: (a) tampak pojok, (b) tampak atas, (c) tampak samping	46
4.17	Foto makro patahan komposit <i>unsaturated polyester</i> : (a) tanpa paparan panas, (b) dengan paparan panas	47
4.18	Foto makro patahan komposit <i>unsaturated polyester</i> dengan <i>montmorillonite</i> : (a) tanpa paparan panas, (b) dengan paparan panas	48
4.19	Foto makro patahan komposit <i>unsaturated polyester</i> dengan serat kaca: (a) tanpa paparan panas, (b) dengan paparan panas	48

4.20 Foto makro patahan komposit *unsaturated polyester* dengan *montmorillonite* dan serat kaca: (a) tanpa paparan panas, (b) dengan paparan panas 49



DAFTAR TABEL

2.1.	Spesifikasi <i>unsaturated polyester</i> eterset 2504 APT	10
2.2.	Skala molekul dan skala makro proses pembakaran.....	20
2.3.	Kode kegagalan uji tarik	24
3.1.	Alat dan bahan penelitian.....	27
3.2.	Data hasil pengujian termal mekanis	29
3.3.	Data hasil pengujian dekomposisi termal	29



BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Berbagai macam material seperti logam, komposit, dan keramik telah digunakan dalam banyak bidang aplikasi, diantaranya bidang konstruksi, industri, militer, dan transportasi. Komposit merupakan salah satu material yang mengalami peningkatan kebutuhan dalam berbagai bidang dari tahun ke tahun. Dibanding dengan material logam, material komposit memiliki banyak keunggulan, seperti kekuatan terhadap korosi, kekuatan lentur, massa ringan, isolator dan lebih ekonomis (Mouritz dan Gibson, 2006).

Material komposit yang banyak dibutuhkan dalam berbagai bidang saat ini adalah komposit polimer. Dimana komposit polimer lebih unggul dalam biaya pembuatan, ketangguhan, tahan simpan, dan lebih ringan (Gibson, 2012). Informasi stabilitas termal bahan komposit polimer diperlukan untuk mengetahui rentang suhu bahan tersebut dapat dipakai tanpa mengalami degradasi. Analisis termogravimetri menjadi salah satu analisis termal yang utama digunakan dalam mengkarakterisasi bahan komposit polimer (Ferreira et al., 2006). Saat mengalami degradasi, komposit mengalami tiga tahapan. Tahap pertama yaitu hilangnya air melalui dehidrasi, tahap kedua yaitu rusaknya rantai polimer membentuk arang melalui dekomposisi, dan tahap ketiga yaitu proses dimana molekul organik udara dikonversi menjadi CO₂ dan H₂O melalui oksidasi arang (Kandare et al., 2008; Tibiletti et al., 2011). Penggunaan material komposit dalam banyak bidang aplikasi yang sangat luas memungkinkan terkena berbagai paparan panas sehingga beresiko terjadinya kebakaran, hal itu mendeskripsikan pentingnya memahami sifat panas terhadap komposit dan kebutuhan akan material komposit polimer tahan panas (Mouritz dan Gibson, 2006).

Berdasarkan penelitian Nasiruddin (2014), dalam komposit *polyester* partikel *montmorillonite* berpenguat serat kenaf menunjukkan bahwa penambahan *montmorillonite* menurunkan kekuatan tarik, namun memiliki keunggulan dapat meningkatkan ketahanan komposit terhadap paparan panas. Sedangkan dekomposisi termal *montmorillonite* mulai terjadi pada suhu 200-500 °C (Xie et al.,

2000). Hal ini juga dilaporkan oleh (Chieruzzi, 2012; Ahmad, 2016; Fartini, 2014) bahwa penambahan *montmorillonite* mempengaruhi stabilitas dimensi komposit, menurunkan koefisien dari ekspansi termal, mengurangi modulus elastis, meningkatkan nilai konduktivitas termal sebesar 14 mW/m °C, dan menurunkan kekuatan tekan 60%, namun meningkatkan kekuatan 40% pada suhu tinggi.

Keterbatasan kekuatan komposit matrik polimer terhadap paparan panas serta kemampuan partikel *montmorillonite* dalam meningkatkan ketahanan panas dan kinerja serat kaca dalam meningkatkan kekuatan tarik akan menjadi topik penelitian yang menarik dengan menghubungkan sifat ketiganya. Kegagalan yang terjadi disebabkan fungsi senyawa dalam komposit yang tidak lagi menjalankan fungsinya dengan baik. Hal ini dibuktikan dengan material komposit tidak bisa lagi menahan beban tarik yang diberikan. Karena senyawa dalam komposit mengalami proses dekomposisi termal. Pada penelitian ini akan dilakukan pengamatan eksperimental terkait pengaruh dekomposisi termal komposit *unsaturated polyester* dengan *montmorillonite* dan serat kaca terhadap karakteristik kekuatan tarik.

1.2 Rumusan Masalah

Dalam penelitian ini ada beberapa hal yang menjadi rumusan masalah diantaranya:

1. Bagaimanakah pengaruh paparan panas terhadap kekuatan tarik pada komposit *unsaturated polyester* dengan *montmorillonite* dan serat kaca?
2. Bagaimanakah bentuk morfologi komposit *unsaturated polyester* dengan *montmorillonite* dan serat kaca setelah dilakukan pengujian tarik dengan paparan panas?
3. Bagaimanakah pengaruh dekomposisi termal pada komposit *unsaturated polyester* dengan *montmorillonite* dan serat kaca terhadap karakteristik kekuatan tarik?

1.3 Batasan Masalah

Berdasarkan rumusan masalah diatas penelitian ini memiliki batasan masalah sebagai berikut:

1. Fokus penelitian hanya pada proses dekomposisi termal secara fisik.
2. Matrik yang digunakan adalah *unsaturated polyester* ETERSET 2504 APT (fraksi berat 60%).
3. Partikel *montmorillonite* berasal dari bata dengan ukuran mesh 200 dengan diameter lubang 0,074 mm (fraksi berat 40%).
4. Serat kaca yang digunakan *reinforced mat* bertipe *E-glass (Alumino Borosilicate)* dengan *randomly oriented discontinuous fiber*.
5. Metode pembuatan spesimen yang digunakan adalah vacuum.
6. Standar pengujian tarik yang digunakan ASTM D3039.
7. Suhu paparan panas termal mekanis 30 °C, 60 °C, 80 °C, 100 °C, 120 °C, 140 °C, 160 °C, 180 °C, 200 °C, 220 °C.
8. Suhu dekomposisi termal 30 °C – 550 °C.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui pengaruh paparan panas terhadap karakteristik kekuatan tarik komposit *unsaturated polyester* dengan *montmorillonite* dan serat kaca.
2. Mengetahui bentuk morfologi komposit *unsaturated polyester* dengan *montmorillonite* dan serat kaca akibat dari pengujian tarik dengan paparan panas dan bentuk morfologi dalam proses dekomposisi termal.
3. Mengetahui seberapa besar pengaruh dekomposisi termal pada komposit *unsaturated polyester* dengan *montmorillonite* dan serat kaca terhadap karakteristik kekuatan tarik.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Memberikan pemahaman tentang pengaruh paparan panas terhadap karakteristik kekuatan tarik komposit *unsaturated polyester* dengan *montmorillonite* dan serat kaca.
2. Dapat memahami apa saja bentuk morfologi komposit *unsaturated polyester* dengan *montmorillonite* dan serat kaca akibat dari pengujian tarik dengan paparan panas dan bentuk morfologi dalam proses dekomposisi termal.
3. Dapat mengerti seberapa besar pengaruh dekomposisi termal pada komposit *unsaturated polyester* dengan *montmorillonite* dan serat kaca terhadap karakteristik kekuatan tarik.

1.6 Hipotesa

Adapun hipotesa dalam penelitian ini adalah paparan panas yang diberikan memberikan penurunan terhadap kekuatan komposit dikarenakan komposit telah mencapai suhu dekomposisinya. Bahkan mengalami kegagalan struktur setelah selesai mencapai tahap dekomposisi secara menyeluruh.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Material Komposit

Menurut Gibson (1994), komposit adalah perpaduan dari bahan yang dipilih berdasarkan kombinasi sifat fisik masing-masing material penyusun untuk menghasilkan material baru dengan sifat yang unik dibandingkan sifat material dasar sebelum dicampur dan terjadi ikatan permukaan antara masing-masing material penyusun. Dari campuran tersebut akan dihasilkan material komposit yang mempunyai sifat mekanik dan karakteristik yang berbeda dari material pembentuknya.

Bahan komposit merupakan bahan gabungan secara makro yang didefinisikan sebagai suatu sistem material yang tersusun dari campuran atau kombinasi dua atau lebih unsur-unsur utama yang secara makro berbeda dalam bentuk dan atau komposisi material yang tidak dapat dipisahkan (Schwartz, 1984). Salah satu keuntungan material komposit adalah kemampuan material tersebut untuk diarahkan sehingga kekuatannya dapat diatur hanya pada arah tertentu yang kita kehendaki, hal ini dinamakan *tailoring properties*. Salah satu sifat istimewa komposit yaitu: ringan, kuat, tidak terpengaruh korosi, mampu bersaing dengan logam, dan tidak kehilangan karakteristik maupun kekuatan mekanisnya.

2.2 Klasifikasi Komposit

Klasifikasi komposit dapat dibentuk dari sifat dan strukturnya. Bahan komposit dapat diklasifikasikan kedalam beberapa jenis. Secara umum klasifikasi komposit sering digunakan antara lain seperti:

1. Klasifikasi menurut kombinasi material utama, seperti metal-organik atau metal anorganik.
2. Klasifikasi menurut karakteristik bulk-form, seperti sistem matrik atau laminasi.
3. Klasifikasi menurut distribusi unsur pokok, seperti continuous dan discontinuous.
4. Klasifikasi menurut fungsinya, seperti elektrik atau structural (Schwartz, 1984).

Menurut (Gibson, 1994; Hull and Clyne, 1996), berdasarkan matriks yang digunakan komposit dapat dikelompokkan atas tiga, adalah sebagai berikut:

1. *Metal Matrix Composite* (MMC)

Metal Matrix Composite adalah salah satu jenis komposit yang memiliki matriks logam. MMC mulai dikembangkan sejak tahun 1996. Pada mulanya yang diteliti adalah *Continuous Filamen* MMC yang digunakan dalam industri penerbangan.

2. *Ceramic Matrix Composite* (CMC)

CMC merupakan material dua fasa dengan satu fasa berfungsi sebagai penguat dan satu fasa sebagai matriks dimana matriksnya terbuat dari keramik. Penguat yang umum digunakan pada CMC adalah oksida, karbida, dan nitrit. Salah satu proses pembuatan dari CMC yaitu dengan proses *Dimox* yaitu proses pembentukan komposit dengan reaksi oksidasi leburan logam untuk pertumbuhan matriks keramik di sekeliling daerah *filler*.

3. *Polymer Matrix Composite* (PMC)

Polimer merupakan matriks yang paling umum digunakan pada material komposit. Karena memiliki sifat yang lebih tahan terhadap korosi dan lebih ringan. Matriks polimer terbagi 2 yaitu termoset dan termoplastik. Perbedaannya polimer termoset tidak dapat didaur ulang, sedangkan termoplastik dapat didaur ulang.

Sedangkan klasifikasi menurut *reinforcement* dibedakan menjadi beberapa macam antara lain:

1. *Fiber composite*

Fiber composite adalah gabungan serat dengan matrik. Komposit jenis ini hanya terdiri dari satu lapisan. Serat yang digunakan dapat berupa serat sintesis (asbes, kaca, boron) atau serat organik (selulosa, polipropilena, polietilena bermodulus tinggi, sabut kelapa, ijuk, tandan kosong sawit, dll). Berdasarkan ukuran seratnya, komposit serat dapat dibedakan menjadi komposit berserat panjang dan diameternya sebesar <100 mm serat pendek ini dapat diorientasikan atau didistribusikan secara acak. Komposit serat panjang lebih mudah

diorientasikan dibanding serat pendek, akan tetapi komposit serat pendek lebih memiliki rancang design lebih banyak.

2. *Flake composite*

Flake composite adalah gabungan serpih rata dengan matrik. Suatu komposit serpihan terdiri atas serpih-serpih yang saling menahan dengan mengikat permukaan atau dimasukkan kedalam matriks. Sifat-sifat khusus yang dapat diperoleh adalah bentuknya yang besar dan permukaannya yang datar.

3. *Filled composite*

Filled composite adalah gabungan matrik continuous skeletal dengan matrik yang kedua.

4. *Laminate composite*

Laminate composite adalah gabungan lapisan atau unsur pokok lamina. komposit lapis merupakan jenis komposit yang terdiri atas dua lapisan atau lebih yang digabung menjadi satu dimana setiap lapisannya memiliki karakteristik berbeda. Sebagai contoh adalah Polywood Laminated Glass yang merupakan komposit yang terdiri dari lapisan serat dan lapisan matriks, komposit ini sering digunakan sebagai bangunan.

5. *Particulate composite*

Particulate composite adalah gabungan partikel dengan matrik. Komposit yang dihasilkan dengan menempatkan partikel-partikel dan sekaligus mengikatnya dengan suatu matriks bersama-sama. Contoh komposit partikel yang sering dijumpai adalah beton, dimana butiran butiran pasir diikat bersama dengan matriks semen (Schwartz, 1984).

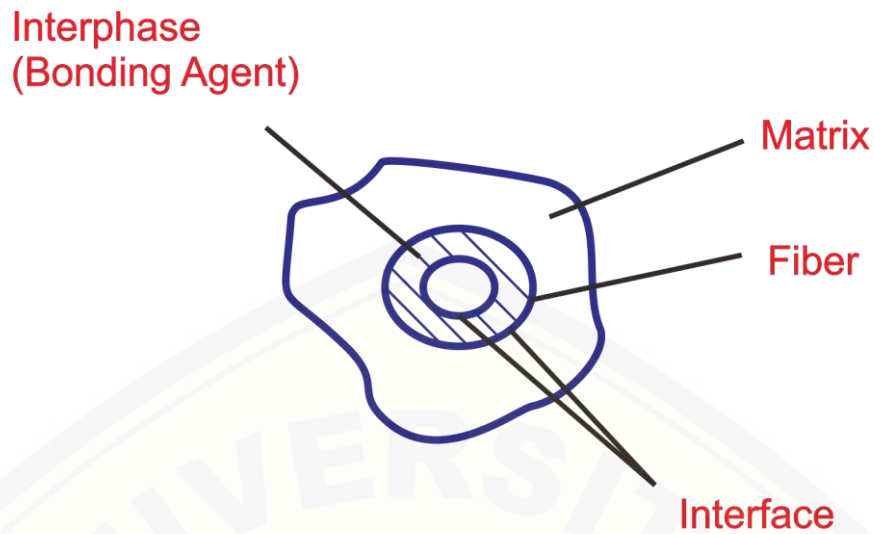
Partikel *Montmorillonite* (MMT) merupakan produk keramik dari tanah liat/lempung yang memiliki kandungan 54,59% SiO_2 dan 19,92% Al_2O_3 . Lempung ini dapat dikategorikan sebagai *Montmorillonite* karena mempunyai kemampuan mengadsorpsi tinggi, sifat liat yang tinggi, berkerut jika dikeringkan dan butirannya berkeping halus. Kedua senyawa tersebut merupakan bahan geomaterial yang mampu meningkatkan ketahanan panas dan kekuatan komposit. Kedua kandungan tersebut menghambat adanya perambatan api (*flame resistance*). *Flame resistance* merupakan komponen atau kombinasi komponen yang dapat menghambat nyala

bila ditambahkan pada suatu kandungan sehingga dihasilkan suatu material yang memiliki kemampuan hambat nyala (Diharjo, 2013).

Pada penggunaan *montmorillonite* (MMT) modifikasi filler pada komposit *Unsaturated polyester* berpenguat kenaf dapat meningkatkan sifat mekanis sebesar 10% atau lebih. Sedangkan penambahan *montmorillonite* (MMT) tanpa modifikasi meningkatkan kekuatan tariknya dibandingkan dengan tipe yang lain seperti *trimethyl ammonium bromide-montmorillonite* dan *alkyl dimethyl benzyl ammonium-montmorillonite* (Sreenivasan, dkk., 2012). Penambahan tanah liat pada polyamide-6, PA-6, (4,7%) menuju sifat mekanis superior dan pemanasan temperatur distorsi bertambah menjadi 152 °C, dimana lebih tinggi 87 °C dibandingkan PA-6 murni (Mouritz, 2006).

2.3 Penyusun Komposit

Material penyusun komposit terdiri atas matrik dan *reinforced*. Penggabungan material yang berbeda bertujuan untuk menemukan material baru yang mempunyai sifat antara material penyusunnya yang tidak akan diperoleh jika material penyusunnya berdiri sendiri. *Reinforced* sangat berperan dalam memberikan kekuatan dan kekakuan komposit, namun aspek lain yang menjadi sumber kekuatan komposit didapat dari matriks yang memberikan ketahanan terhadap temperatur tinggi, ketahanan terhadap tegangan geser, dan mampu mendistribusikan beban. Menurut Schwartz (1986), material penyusun komposit tersebut bisa berupa *fibers, particle laminate or layers, flakes fillers* dan matriks. Matriks sering disebut sebagai unsur pokok bodi, sedangkan *fibers, particles laminate or layers, flakes fillers* disebut sebagai unsur pokok struktur. Adanya dua penyusun komposit atau lebih menimbulkan beberapa daerah dan istilah penyebutan diantaranya: matriks yaitu penyusun dengan fraksi volume terbesar, penguat sebagai penahan beban utama, *interphase* sebagai pelekat antar dua penyusun, *interface* yang merupakan permukaan fase yang berbatasan dengan fase lain. Struktur penyusun komposit dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Struktur penyusun komposit (Sumber: R. Jones, 1999)

2.3.1 Matrik

Pada material komposit, matriks memberikan pengaruh yang lebih besar dalam pengikatan material penyusun selain bertugas untuk mendistribusikan beban dan memberikan perlindungan dari pengaruh lingkungan. Matriks adalah fasa dalam komposit yang mempunyai bagian atau fraksi volume terbesar (dominan) (Gibson, 1994).

Polyester, polypropylene, dan vinyl ester umumnya yang paling banyak digunakan sebagai matriks pembentuk komposit dan biasanya digunakan untuk membuat produk-produk komersial, industri, dan transportasi. Matriks secara umum berfungsi untuk mengikat serat menjadi satu struktur komposit. Menurut Gibson (1994), matriks memiliki fungsi, antara lain:

- a. Memindahkan dan mendistribusikan tegangan ke serat.
- b. Membentuk ikatan koheren, permukaan matrik atau serat.
- c. Melindungi serat dari kerusakan akibat kondisi lingkungan.
- d. Mengikat serat menjadi satu kesatuan struktur.
- e. Menyumbang beberapa sifat seperti, kekakuan, ketangguhan dan tahanan listrik.
- f. Tetap stabil setelah proses manufaktur.

Unsaturated polyester adalah resin termoset yang berbentuk cair dengan viskositas yang relatif rendah, dengan penambahan katalis yang berupa *methyl ethyl ketone peroxides* atau *benzoyl peroxides*, maka terjadi proses pengerasan (*curing*) dimana ikatan silang (*cross linking*) antara poliester tak jenuh dengan monomer aktif (*stirena*) membentuk senyawa dengan struktur jaringan tiga dimensi (*network polymer*). Dimana penambahan katalis optimum pada komposisi 1% resin (Hatmi, 1998). Resin *Unsaturated polyester* banyak mengandung monomer aktif (*stirena*) sehingga suhu deformasi termal lebih rendah dari pada resin termoset lainnya. Ketahanan panas jangka panjang adalah kira-kira 110 °C – 140 °C, ketahanan dingin resin ini relatif baik. Biaya rendah, pembasahan dan kualitas permukaan yang sangat baik, kemampuan cetak yang mudah, fleksibel, dapat diproses pada rentang temperatur yang luas, resistansi tinggi, ketahanan pelapukan yang baik, dan mempunyai daya susut tinggi. Resin ini paling banyak digunakan dalam berbagai aplikasi seperti: Laminasi, pelapis, benda-benda seni, isolasi, konstruksi (misalnya, bak mandi, lantai ubin, atap, pagar, dll), suku cadang kendaraan bermotor, melekatkan spesimen (misalnya, dekoratif, zoologi), enkapsulasi rakitan elektronik, mainan, peralatan bermain, furniture, kancing mutiara, peralatan olahraga (papan salju, ski, bola bowling, dll), tangki penyimpanan kimia (Mark, 1999).

ETERSET 2504 APT merupakan salah satu jenis *Unsaturated polyester* yang memiliki spesifikasi sebagai berikut:

Tabel 2.1 Spesifikasi *unsaturated polyester* eterset 2504 APT

<i>SPECIFICATIONS</i>				
<i>Appearance</i>				<i>Light greenish clear</i>
<i>Styrene monomer content,%</i>				34 – 37
<i>Viscosity - Brookfield at 25°C spindle at #360rpm, cps</i>				350 – 450
<i>TYPICAL PERFORMANCE DATA</i>				
<i>Typical Curing Characteristics</i>				
<i>Room temperature cure at 25°C, 1% MEKPO (55%) 0,5 % Cobalt octoate (Co.6%)</i>				
<i>Gel time, mins.</i>				10
<i>Gel to peak exotherm, mins.</i>				9
<i>Total time to peak exotherm, mins.</i>				19
<i>Peak exotherm temperature, °C</i>				150
<i>Test Item</i>	<i>Unit</i>	<i>Clear Casting</i>	<i>Laminate</i>	<i>Test method</i>
<i>Tensile Strength</i>	<i>Kg/mm²</i>	6.0	11.6	JIS K6919
<i>Tensile Modulus</i>	<i>Kg/mm²</i>	320	790	JIS K6919
<i>Elongation</i>	<i>%</i>	2.3	2.6	JIS K6919
<i>Flexural Strength</i>	<i>Kg/mm²</i>	11.0	17.6	JIS K6919
<i>Flexural Modulus</i>	<i>Kg/mm²</i>	300	734	JIS K6919
<i>Heat Distortion Temperature</i>	<i>°C</i>	70		JIS K6919
<i>Srinkage</i>	<i>%</i>	7.4		JIS K6919
<i>SPECIFICATIONS</i>				
<i>Color</i>				<i>Pink turbid</i>
<i>Styrene monomer content,%</i>				37.5 - 41.5
<i>Viscosity (Brookfield spindle #3, 60rpm, at 25 °C), cps</i>				350 – 450
<i>Thixotropic index (Brookfield spindle #3, 6/60rpm, at 25 °C)</i>				1.0 - 2.0
<i>Acid value, mg KOH/g resin</i>				17 – 27

Sumber: (*Eterset Chemical CO.,LTD* 2010)

2.3.2 Reinforcement

Reinforcement adalah bahan pengisi yang digunakan dalam pembuatan komposit, biasanya berupa serat atau serbuk. Fungsi sebagai penanggung beban utama pada komposit. Beberapa jenis *fiber* yang umum digunakan adalah sebagai berikut:

a. Carbon Fiber

Salah satu keunggulan *carbon fiber* adalah sangat unggul terhadap ketahanan fatik, tidak rentan terhadap beban perpatahan dan mempunyai *elastic recovery* yang baik. Perkembangan penggunaan *carbon fiber* tergolong sangat tepat untuk aplikasi penerbangan, produk olahraga dan berbagai kebutuhan industri. Sebagai bahan anorganik, *carbon fiber* tidak terpengaruh oleh kelembaban, atmosfer, pelarutan basa dan *weak acid* pada temperatur kamar. Namun oksidasi menjadi permasalahan pada *carbon fiber* pada suhu tinggi dimana impuritis dapat menjadi katalisator dan menghambat proses oksidasi yang menyebabkan kemurnian *carbon fiber* tidak tercapai.

b. Aramid Fiber

Aramid fiber memiliki kekuatan yang sangat tinggi dibandingkan dengan rasio berat yang dimilikinya. Pada awalnya aramid fiber di produksi oleh *E.I. Du Pont de Nemours & Company, Inc.* dengan merek Kevlar yang dipakai sebagai fiber penguat dalam produksi ban dan plastik. Aramid fiber relatif fleksibel dan *non-brittle* sehingga aramid fiber dapat diproses dengan berbagai metode seperti *twisting, weaving, knitting, carding* dan *felting*.

c. Fiber Glass

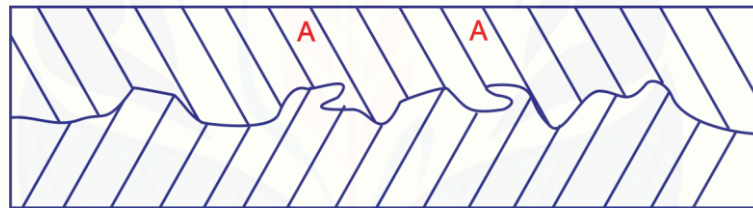
Fiber Glass sangat umum digunakan dalam industri karena bahan baku yang sangat banyak tersedia. Komposisi *fiber glass* mengandung silika yang berguna memberikan kekerasan, fleksibilitas dan kekakuan. Proses pembentukan *fiber glass* melalui proses *fusion (melting)* terhadap silika dengan campuran mineral oksida. Pada proses ini diberikan pendinginan yang sangat cepat untuk pembentukan kristalisasi yang sempurna, proses ini biasa disebut dengan *fiberization*.

2.3.3 Interface

Interface antara matrik dan penguat dalam pembuatan komposit akan sangat berpengaruh terhadap sifat akhir dari komposit yang terbentuk, baik sifat fisik maupun mekanik. *Interface* adalah suatu fasa atau media yang terdapat pada komposit yang berfungsi untuk mentransfer beban dari penguat-matrik-penguat. Beberapa jenis ikatan yang dapat terjadi pada *interfacial bonding*:

1. *Mechanical Bonding*

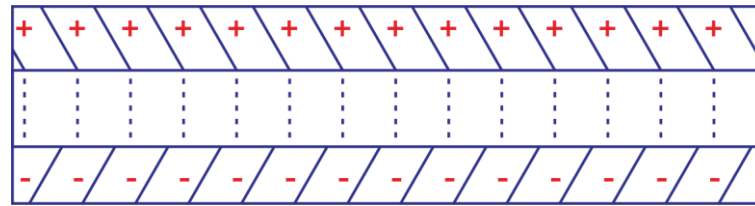
Mekanisme penguncian (*interlocking*) terjadi antara 2 permukaan, yaitu penguat dan matrik. Permukaan yang kasar dapat menyebabkan *interlocking* yang terjadi semakin banyak dan *mechanical bonding* menjadi efektif. Ikatan menjadi efektif jika beban yang diberikan paralel terhadap *interface*. Gambar 2.2 Di bawah merupakan mekanisme dari *mechanical bonding*.



Gambar 2.2 *Mechanical bonding*

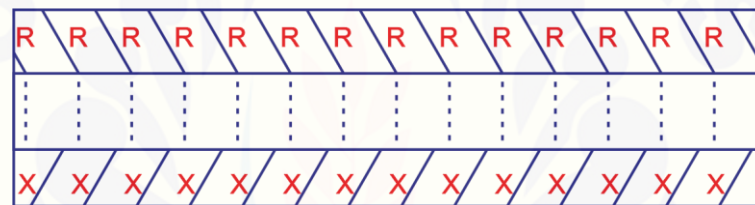
2. *Electrostatic Bonding*

Electrostatic bonding, seperti ditunjukkan pada gambar 2.3 merupakan proses tarik-menarik antara permukaan yang berbeda tingkat kelistrikannya, yaitu adanya muatan positif (+) serta muatan (-) dan terjadi pada skala atomik. Efektifitas terhadap jenis ikatan ini dapat menurunkan jika ada kontaminasi permukaan dan kehadiran gas yang terperangkap.

Gambar 2.3 *Electrostatic bonding*

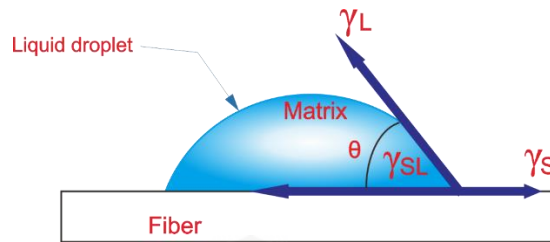
3. *Chemical Bonding*

Chemical bonding, seperti pada gambar 2.4 dibentuk oleh grup-grup yang bersifat kimia pada permukaan penguat (X) dan matrik (R). Kekuatan ikatan ditentukan oleh jumlah ikatan kimiawi menurut luas dan tipe ikatan kimia itu sendiri. Ikatan kimia ini terbentuk karena adanya *wetting agent*.

Gambar 2.4 *Chemical bonding*

Pembahasan (*wettability*) dihasilkan dari interaksi antar molekul ketika keduanya terbawa secara bersamaan, sehingga merupakan kontak antara fasa *liquid* dan permukaan fasa *solid*. Derajat pembasahan dijelaskan dengan sudut kontak (*contact angle*), yaitu sudut antar muka fasa *liquid – vapor* bertemu dengan antar muka fasa *solid-liquid*. Jika pembasahan sangat baik, maka sudut kontak kecil dan cairan akan menyebar lebih luas sehingga menutup daerah permukaan.

Sudut kontak dengan besar $\geq 90^\circ$ memiliki karakteristik permukaan yang tidak membasahi (*not wettable*), sedangkan untuk sudut kontak dengan besar $\leq 90^\circ$ bersifat membasahi (*wettable*). Pembasahan juga penting dalam daya lekat antar material (*adherence*).



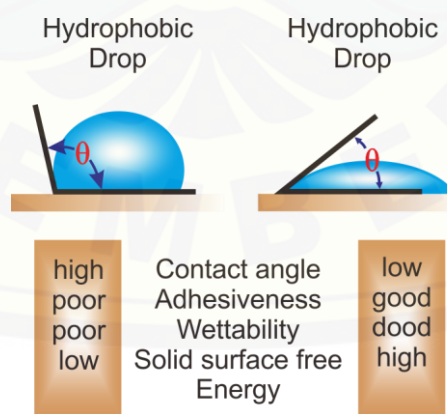
Gambar 2.5 Diagram skema sudut kontak dan komponen energi bebas (tegangan) (Sumber: Lawrence T. Drzal, 2001)

$$\gamma_{SV} = \gamma_{SL} + \gamma_{LV}\cos\theta \dots\dots\dots (1)$$

dimana:

- θ = Contact angle
- γ_S = Solid surface free energy
- γ_L = Liquid surface free energy
- γ_{SL} = Solid/Liquid interfacial free energy

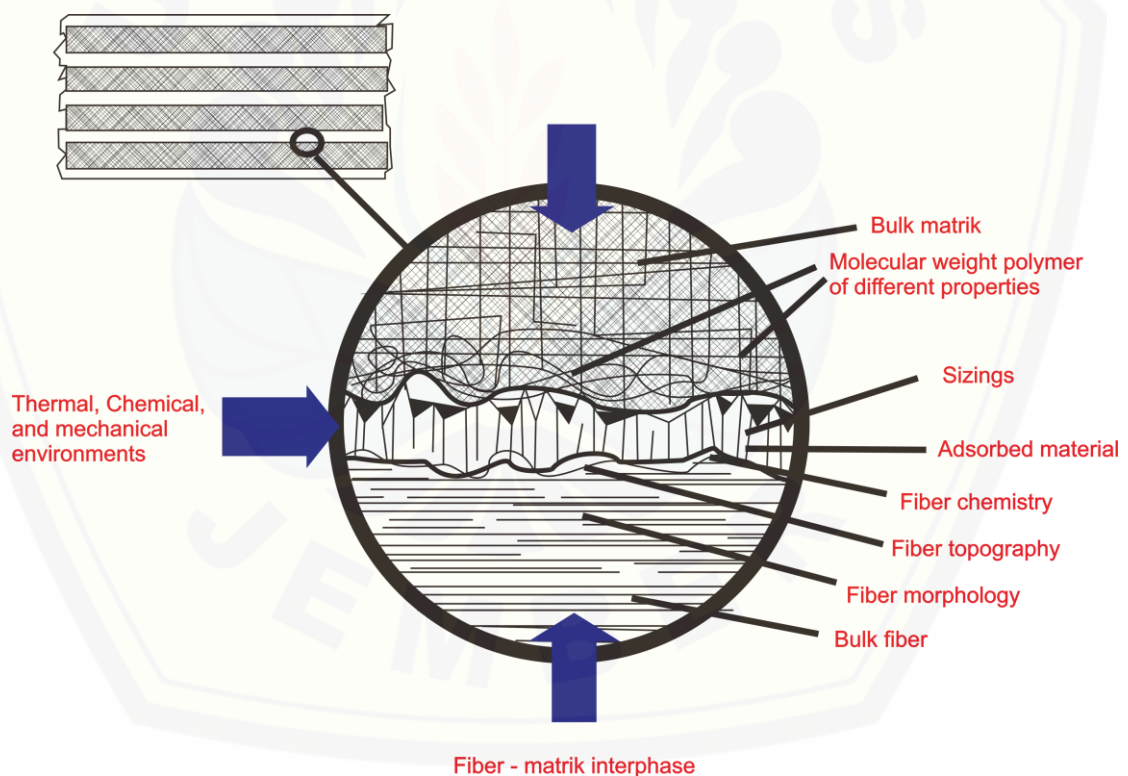
Dari rumus persamaan young di atas, maka nilai sudut kontak (θ) $\geq 90^\circ$ akan menghasilkan nilai cosinus yang semakin besar (mendekati 1), sehingga nilai tegangan permukaan (γ) liquid-vapor dijumlah dengan nilai tegangan permukaan (γ) solid-liquid akan bernilai sama dengan tegangan solid-vapor. Hal ini berarti akan terjadi pembasahan antara permukaan fasa liquid dan permukaan fasa solid pada sudut kontak (θ) $\leq 90^\circ$. Membasahi permukaan dapat diistilahkan dengan *hydrophobic*, seperti diperlihatkan pada gambar 2.6 di bawah ini.



Gambar 2.6 Gaya yang dihasilkan pada peristiwa wetting

2.3.3 *Interphase*

Struktur serat – matrik *interphase* dapat menjadi factor utama dalam mengendalikan adhesi serat matrik dan sangat mempengaruhi sifat komposit yang dihasilkan. Meskipun banyak penelitian telah dilakukan mengenai hubungan struktur dengan sifat serat matrik *interphase* dalam system komposit, sedikit keberhasilan analitis telah dicapai. Sebagai pemahaman kita tentang kimia, sifat fisik, dan morfologi dari *interphase* meningkat, hubungan prediktif antara *interphase*, serat-matriks adhesi, dan sifat mekanik komposit dapat diharapkan untuk mengembang. Di masa depan, *microengineering* dari *interphase* serat-matrix akan digunakan untuk mengoptimalkan sifat dan kinerja bahan komposit. Kompleksitas *interphase* ini dapat digambarkan dengan baik dalam skema model, yang memungkinkan banyak karakteristik yang berbeda daerah ini yang akan dicacah, seperti yang ditunjukkan pada gambar di bawah ini:

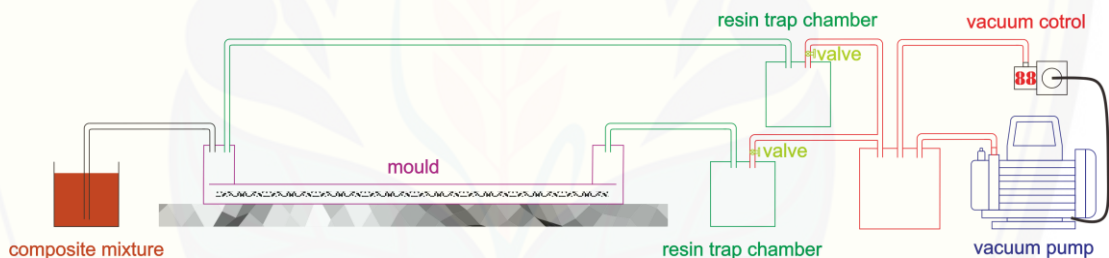


Gambar 2.7 Diagram skema dari serat - matriks *interphase* dan beberapa factor yang berkontribusi terhadap pembentukannya (Sumber: Lawrence T. Drzal, 2001)

2.4 Metode Pembuatan Komposit

Secara garis besar metode pembuatan material komposit terdiri dari dua cara, yaitu proses cetakan terbuka (*open-mold process*) dan proses cetakan tertutup (*closed-mold process*). Dalam penelitian ini digunakan proses *vacuum process*.

Pada proses ini digunakan pompa vakum untuk menghisap udara yang ada dalam wadah tempat diletakkannya komposit yang akan dicetak. Dengan divakumkannya udara dalam wadah, maka udara yang ada diluar penutup plastik akan menekan kearah dalam. Hal ini akan menyebabkan udara yang terperangkap dalam spesimen komposit akan dapat diminimalkan. Apabila dibandingkan dengan *hand lay up*, metode ini memberikan penguatan konsentrasi yang lebih tinggi, *adhesi* lebih baik pada antar lapisan, dan kontrol lebih baik pada resin atau rasio kaca. Aplikasi dari metode ini adalah pembuatan kapal pesiar, komponen mobil balap dan perahu.

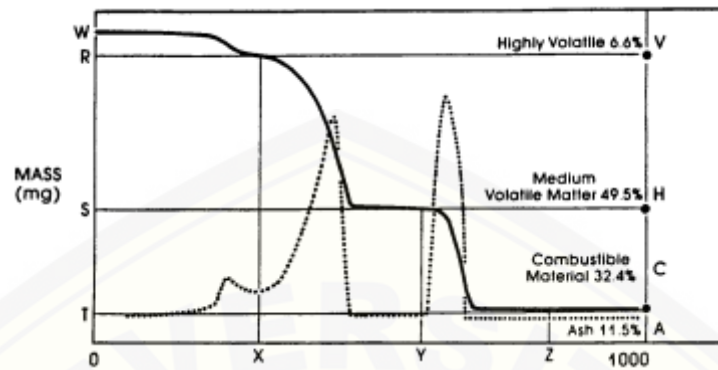


Gambar 2.8 Metode *vacuum*

2.5 Pengujian Dekomposisi Termal

Perilaku bahan komposit terhadap paparan panas melalui proses kimia yang terjadi diamati dalam dekomposisi termal. Istilah dekomposisi termal atau pirolisis, maupun karbonisasi sudah sering digunakan. Dekomposisi termal adalah reaksi kimia di mana senyawa tunggal memecah menjadi dua atau lebih senyawa sederhana apabila diberikan energi berupa panas. Analisis termogravimetri (TGA) telah memainkan peranan penting dalam mempelajari dekomposisi termal dalam suatu bahan material, termasuk dalam hal ini komposit. Analisa ini merupakan suatu cara yang cepat dan secara teknis efektif dalam segi biaya untuk mengamati

parameter pembakaran komposit dan proses volatilisasi (dekomposisi pada volatile matter).



Gambar 2.9 Kurva sampel termogravimetri (Sumber: ASTM E 1131-98)

$$V = \frac{W-R}{W} \times 100\% \quad (2)$$

$$H = \frac{R-S}{W} \times 100\% \quad (3)$$

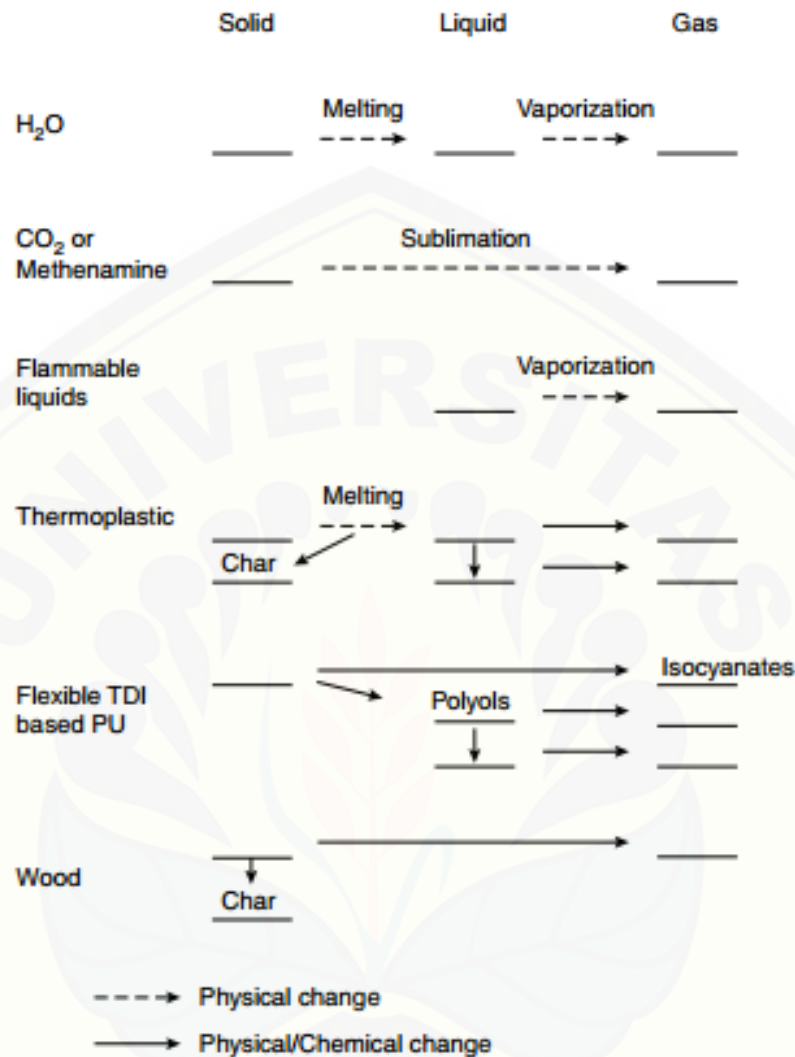
$$C = \frac{S-T}{W} \times 100\% \quad (4)$$

$$A = \frac{T}{W} \times 100\% \quad (5)$$

dimana:

- V = Kandungan bahan sangat *volatile* (%).
- H = Kandungan bahan *volatile* sedang (%).
- C = Kandungan bahan mudah terbakar (%).
- A = Kadar abu (%).
- W = Massa spesimen asli (mg).
- R = Massa diukur pada temperatur X (mg).
- S = Massa diukur pada temperatur Y (mg).
- T = Massa diukur pada temperatur Z (mg).

Metode pengujian ini adalah teknik empiris yang menggunakan termogravimetri di mana massa zat, dipanaskan pada tingkat yang terkendali di lingkungan yang sesuai, dicatat sebagai fungsi waktu atau suhu. Massa yang hilang selama rentang suhu tertentu dan dalam suasana tertentu memberikan analisis komposisi zat itu.



Gambar 2.10 Perubahan fisik dan kimia selama proses dekomposisi termal (Sumber: Beyler dan Hirschler, 2002)

Saat terjadinya proses dekomposisi maka terjadi perubahan secara fisik dan kimia. Gambar 2.9 menunjukkan contoh dari berbagai bahan kimia perubahan atau fisik yang dapat terjadi jika polimer padat yang diuapkan. Perubahan berkisar dari transformasi fase sederhana (padat akan cair dan kemudian ke gas. Air dan banyak cairan lainnya membentuk padatan kristal pada pembekuan (misalnya, cairan yang paling mudah terbakar) mengalami perubahan fase fisik langsung. Sublimasi,

yaitu perubahan fasa langsung dari padat ke gas, tanpa melalui fase cair, akan terjadi dengan bahan seperti karbon dioksida (misalnya, CO₂, gas kering). Termoplastik dapat mencair tanpa reaksi kimia untuk membentuk keadaan yang kental (polimer meleleh), tapi mereka sering terdekomposisi termal sebelum mencair. Lelehan polimer ini kemudian dapat terurai menjadi cairan yang lebih kecil atau fragmen gas. Fragmen cair kemudian akan terurai lebih lanjut sampai yang cukup stabil untuk menguapkan. Beberapa polimer, terutama termoset atau cellulotics, memiliki mekanisme dekomposisi bahkan lebih kompleks. Cellulosics, seperti sebagai kayu, akan mengurai menjadi tiga jenis produk. Gambar 2.9 menggambarkan jalur dekomposisi secara fisikokimia kompleks dan beragam, tergantung pada sifat materi yang dimaksud.

Proses pembakaran dapat dilihat di skala molekul atau skala makro pada tabel dibawah ini.

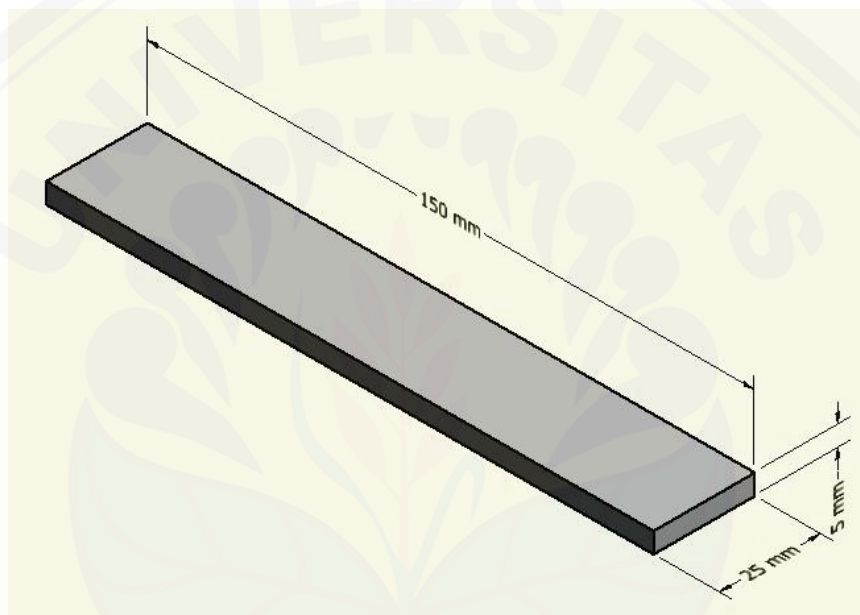
Tabel 2.2 Skala molekul dan skala makro proses pembakaran

Skala Molekul	Tahap I Pemanasan	Persediaan sumber panas eksternal menyebabkan suhu substansi meningkatkan. Tingkat perubahan suhu tergantung pada spesifik panas bahan. Fisik, sifat mekanik, dan termal perubahan dalam kasus polimer. Ini mungkin termasuk pelunakan, mencair dan penguapan.
	Tahap II Dekomposisi	Pada suhu yang lebih tinggi sebagian besar obligasi mencapai titik kegagalan, menyebabkan pelepasan molekul gas yang berbeda tergantung pada pembakaran bahan. Hal ini dapat dipercepat oleh serangan oksigen pada permukaan polimer, memproduksi karbon dioksida dan karbon monoksida.
	Tahap III Oksidasi	Dalam kehadiran oksigen pada suhu tinggi, oksidasi fragmen gas hasil lebih cepat, melepaskan panas, dan produk pembakaran (sebagian besar karbon dioksida dan air).
Skala Makro	Tahap I Pemanasan	Panas menyebabkan kenaikan suhu yang akan tergantung pada inersia termal (kpC) dari bahan.
	Tahap II Pirolisis	Panas menyebabkan dekomposisi bahan bakar, diikuti oleh pirolisis bahan bakar ke fase gas.
	Tahap III Pengapian	Bahan bakar terakumulasi di atas permukaan, dan bereaksi dengan oksigen. Setelah konsentrasi kritis radikal bebas tercapai, <i>flashing</i> akan terjadi. Ketika total fluks panas ke permukaan dari oksidasi bahan bakar untuk <i>pyrolyse</i> cukup, bahan bakar menggantinya, pengapian akan terjadi, laju reaksi akan meningkat dan menghasilkan karbon dioksida dan air.
	Tahap IV Penyebaran api	Radiasi fluks panas meningkat yang akan <i>pyrolyse</i> bahan-bahan yang berdekatan, yang mengarah serangkaian penyalaan berulang, sehingga mengakibatkan pertumbuhan api.
	Tahap V Pengembangan api	Api bertambah besar, itu tidak akan lagi dapat menjadikan naiknya oksigen yang cukup, dan produk-produk dari pembakaran tidak sempurna seperti karbon monoksida dan jelaga akan diproduksi, meningkatkan komponen radiasi perpindahan panas.

Sumber: (witkowski, A., Stec, Anna. A., and Hull, Richard., 2016)

2.6 Pengujian Termal Mekanis

ASTM D 3039 merupakan standard pengujian sifat tarik pada komposit bermatrik polimer. Material komposit terbatas pada serat kontinu maupun serat diskontinu dengan laminate yang seimbang dan simetris. Metode pengujiannya dengan menggunakan sebuah flat strip tipis yang berbentuk persegi panjang dengan penampang dipasang pegangan dan beban yang tetap. Kekuatan ultimate material dapat ditentukan dari beban maksimum dilakukan sebelum kegagalan. Metode pengujian ini bertujuan untuk mendapatkan kekuatan tarik ultimate.



Gambar 2.11 Standar persiapan sampel uji astm d 3039

Perhitungan ultimate tensile strength menggunakan persamaan dibawah ini:

$$\sigma_{tu} = F_{max} / A_0 \quad \dots\dots\dots(6)$$

$$\sigma_i = P_i / A \text{ Matrik} \quad \dots\dots\dots(7)$$

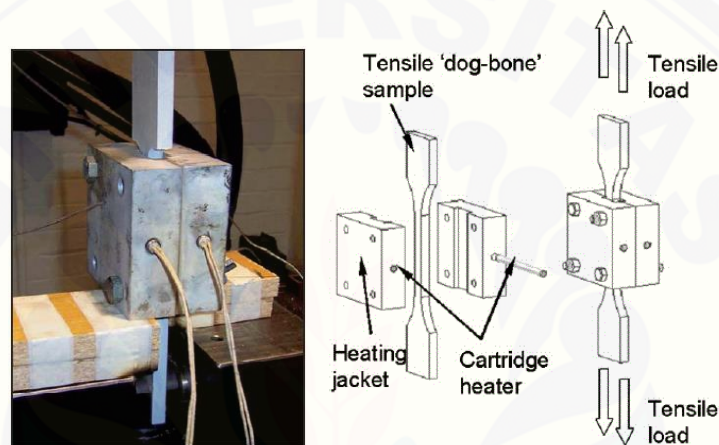
$$\epsilon = \Delta L / L_0 \text{ Matrik} \quad \dots\dots\dots(8)$$

dimana:

- σ_{tu} = kekuatan tarik ultimate MPa [psi];
- F_{max} = beban maksimum sebelum kegagalan, N [lbf];
- σ_i = tegangan tarik pada data yang ke-, MPa [psi];
- P_i = beban pada data yang ke-, N [lbf];
- A_0 = luasan seksi silang rata-rata dari lebar x tebal, mm² [in²], sebesar 125 mm²
- ϵ = besar regangan (mm)
- ΔL = pertambahan panjang (mm)
- L_0 = panjang mula-mula (mm)

Pengujian termal mekanis merupakan pengujian kekuatan mekanis dengan diberi pemanasan pada material tersebut. Pada penelitian ini kekuatan mekanis yang diukur ialah kekuatan tarik. Pengukuran kekuatan tarik ini mengalami beberapa kesulitan karena temperatur sering melewati jarak uji pemanasan dan juga masalah

mengenai pegangan yang selip atau kegagalan pada pegangan selama proses. Satu metode yang dapat mengatasi masalah tersebut dengan menggunakan *heated gauge length set-up* yang tertera pada gambar. Sampel konvensional untuk uji tarik dengan temperatur kontrol terdiri atas balok metal dan pemanas kartrid dengan desain jepit seperti gambar. Keuntungan dari desain ini ialah menjaga pegangan sampel tetap dingin, jadi mencegah keselipan atau deformasi. Penambahan penyekatan secara umum dibutuhkan di sekitar pegangan atas, untuk mencegahnya menjadi hangat dengan konveksi udara dari balok panas (Mouritz, dkk., 2006).

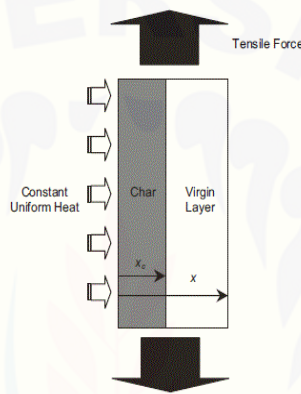


Gambar 2.12 Sampel uji termal mekanis (Sumber: Mouritz & Gibson, 2006 dan Easby, dkk., 2007)

Sampel berbentuk '*dog bone*' digunakan untuk uji tarik pada spesimen, ketebalan dimensi 8 mm dan variasi temperature uji antara 25 °C hingga 400 °C dengan sebuah box berisi pemanas (Easby, dkk., 2007). Pada referensi lain, uji tarik dengan variasi temperatur 20 °C hingga 300 °C dengan spesimen berdasarkan ASTM D 3039 berdimensi 150 mm x 25 mm x 4 mm (Feih, dkk., 2007).

Analisis termal-mekanis bisa digambarkan melalui pemodelan dua lapis. Model dua lapis (*two layer model*) digunakan untuk menghitung sifat mekanis dari laminate dibawah kombinasi pembebanan tarik dan pemanasan pada satu sisi serta model laminasi untuk memprediksi sifat dibawah pengaruh pembebanan tarik dan pemanasan pada salah satu sisi. Model diasumsikan mengalami pemanasan pada laminate-nya pada kedua lapisannya: salah satunya tidak terkena panas dan yang

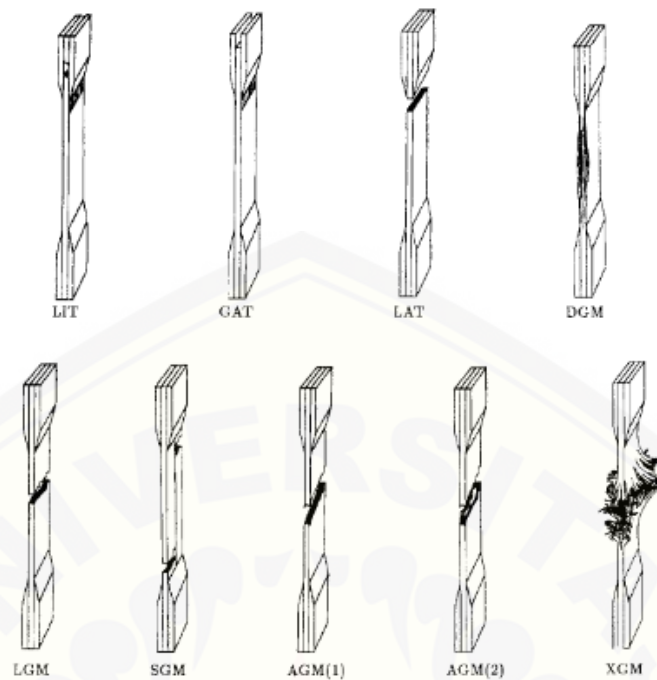
lainnya menjadi arang. Skema dari kondisi material tertera pada gambar di bawah ini. Secara sederhana, kekuatan tarik mempengaruhi lapisan arang diasumsikan konstan. Kekuatan tarik dari lapisan yang belum terkena panas tersebut juga diasumsikan konstan dan juga nilai kekuatan tariknya berdasarkan suhu kamar meskipun kenyataannya kekuatan tarik dari lapisan yang belum terkena panas ialah tidak konstan. Kekuatannya terendah pada batas arang dan meningkat pada permukaan yang tidak terkena panas. Setidaknya pendekatan ini sangat membantu dalam menginterpretasikan sifat sisa setelah pemanasan.



Gambar 2. 13 Skema dari sebuah laminate dibawah pembebanan tarik dengan pemodelan dua lapis yang terdiri atas arang dan daerah yang belum terkena panas (Sumber: Mouritz & Gibson, 2006)

2.7 Pengujian Morfologi

Pada pengujian makro, material komposit difoto dengan menggunakan kamera. Hal ini dilakukan untuk mengetahui jenis patahan dan bagaimana morfologi dari patahan dengan mata telanjang setelah material komposit dilakukan perlakuan uji tarik dengan paparan panas. Berikut contoh jenis patahan beserta kode kegagalan pada komposit berdasarkan ASTM D 3039.



Gambar 2.14 Jenis – jenis patahan pengujian tarik (Sumber: ASTM D3039)

Tabel 2.3 Kode kegagalan uji tarik

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

(Sumber: ASTM D3039)

2.8 Karakteristik Patahan

Menurut Schwartz (1984), klasifikasi patahan dibedakan menjadi beberapa macam antara lain:

1. Patah Banyak

Pada umumnya, serat dan matrik memiliki besar regangan yang berbeda saat retak. Ketika komponen dengan regangan patah yang lebih kecil retak, misalnya serat atau matrik keramik yang rapuh, maka beban yang semula didistribusikan oleh komponen tersebut akan dialihkan ke komponen lainnya. Bila komponen dengan regangan retak yang lebih tinggi dapat memikul beban tambahan tersebut maka komposit akan menunjukkan retak banyak pada komponen yang rapuh. Wujud fenomena ini adalah bridging serat pada matrik keramik akhirnya; penampang lintang tertentu dari komposit menjadi sedemikian lemah sehingga komposit tidak mampu lagi memikul bebannya dan terjadilah kegagalan.

2. Patah Tunggal

Patah yang disebabkan ketika serat putus akibat beban tarik, matrik mampu lagi menahan beban tambahan. Patahan terjadi pada satu bidang. Semua serat putus hampir pada satu bidang, maka komposit juga akan patah pada bidang tersebut. Maka serat-seratnya akan putus menjadi potongan-potongan pendek sampai regangan retak matrik tercapai.

3. *Debonding*

Debonding merupakan lepasnya ikatan pada bidang kontak dengan serat, serat yang terlepas dari ikatan tidak lagi terbungkus oleh resin. Hal ini disebabkan gaya geser pada *interface* atau gaya tarik antara dua elemen yang saling kontak yang tidak mampu ditahan oleh resin.

4. *Fiber Pull Out*

Fiber Pull Out yaitu tercabutnya dari matrik yang disebabkan ketika matrik retak akibat beban tarik, kemampuan untuk menahan beban akan segera berkurang namun komposit masih mampu menahan beban yang mampu ditahan menurun. Seiring dengan bertambahnya deformasi, serat akan tercabut dari matrik akibat *debonding* dan patahnya serat.

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental, yaitu suatu metode yang digunakan untuk menguji pengaruh dari suatu perlakuan atau desain baru dengan cara membandingkan desain tersebut dengan desain tanpa perlakuan sebagai kontrol atau pembanding. Atau membandingkan pengujian beberapa variasi perlakuan dengan pengujian tanpa variasi sebagai pembanding.

3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Teknologi Terapan dan Laboratorium Uji Bahan Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember. Waktu penelitian dimulai pada bulan April 2016.

3.3 Alat dan Bahan Penelitian

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

Tabel 3.1 Alat dan bahan penelitian

No.	Alat	No.	Bahan
1	<i>Universal Testing Machine.</i>	1	Resin <i>unsaturated polyester</i>
2	<i>Heater.</i>	2	Partikel <i>montmorillonite.</i>
3	<i>TGA Machine.</i>	3	Serat kaca.
4	<i>Vacuum Machine.</i>	4	Katalis / <i>Hardener.</i>
5	<i>Vacuum Chamber.</i>		
6	<i>Microscope.</i>		
7	Kamera.		

3.4 Prosedur Penelitian

3.4.1 Langkah-Langkah Pembuatan Sampel

3.4.1.1 Sampel Uji Termal Mekanis:

1. Menyiapkan alat dan bahan yang diperlukan dalam pembuatan spesimen.
2. Potong serat gelas sesuai dimensi sampel yang dibutuhkan.

3. Menyiapkan cetakan.
4. Menata serat gelas dalam cetakan.
5. Ukur dan timbang resin, *montmorillonite* dengan massa jenis dan persentase sesuai dengan rencana penelitian. Kemudian campur resin dengan katalis dilanjut penambahan *montmorillonite*.
6. Campuran bahan tersebut kemudian dihubungkan ke cetakan.
7. Menghidupkan mesin vacuum.
8. Biarkan campuran sampai mengisi cetakan.
9. Setelah campuran bahan terisi penuh dalam cetakan, lalu matikan mesin vacuum kemudian diamkan cetakan selama 12 jam.
10. Terakhir keluarkan sampel dari cetakan.

3.4.1.2 Sampel Uji Dekomposisi Termal:

Pembuatan sampel sama dengan uji termal hanya saja perbedaannya terletak pada ukuran sampel yang digunakan.

3.4.2 Langkah-Langkah Pengujian Sampel

3.4.2.1 Uji Termal Mekanis:

Sampel dipasang pada mesin uji tarik bersamaan pemanas / *heater* dipasangkan pada sampel. Kemudian heater dinyalakan mencapai suhu seperti rencana dan ditahan 20 menit kemudian dilanjut uji tarik. Hasil data pengujian dicatat dan sampel di foto. Proses ini terus berulang sampai pada kenaikan suhu yang diinginkan.

3.4.2.2 Uji Dekomposisi Termal:

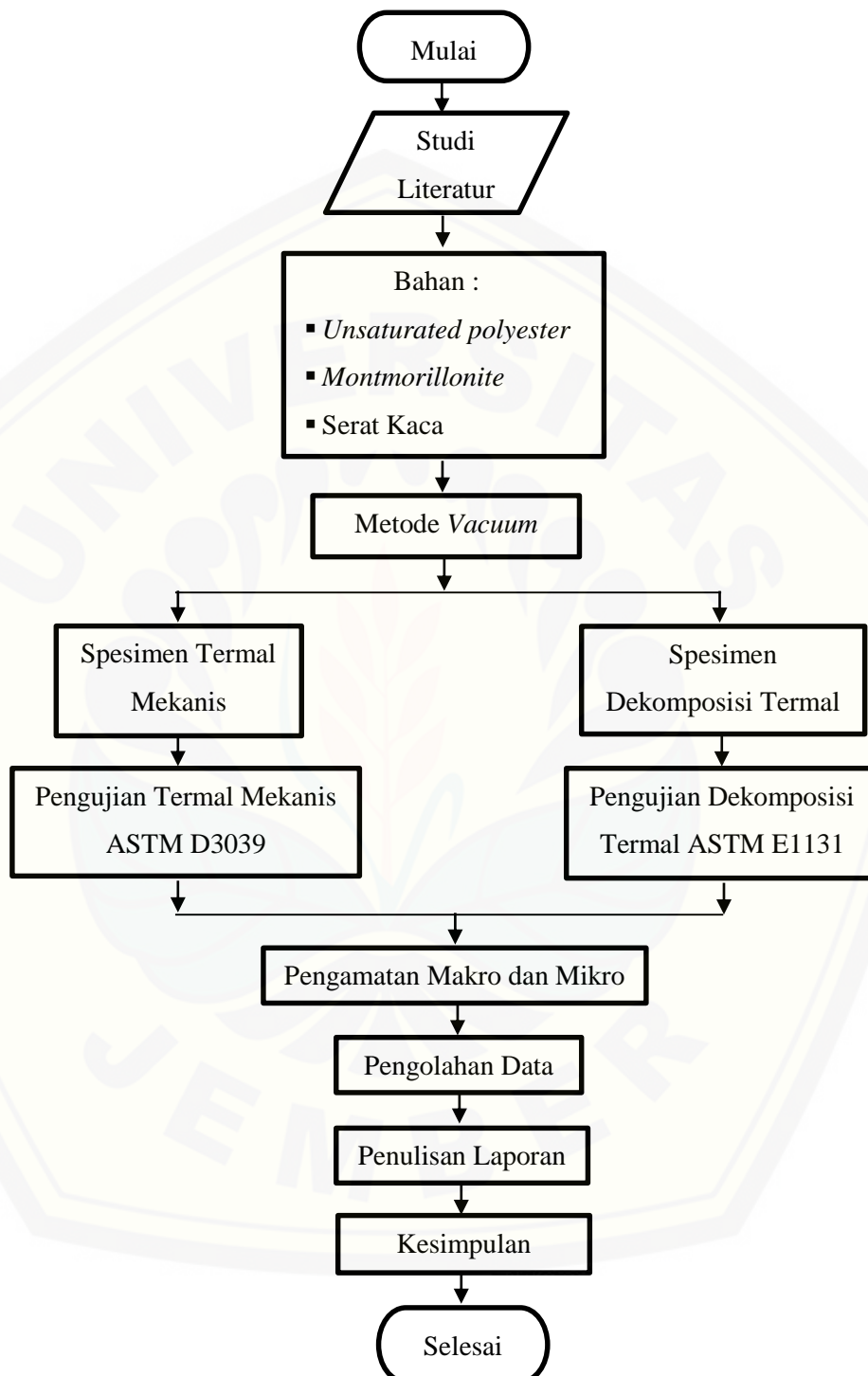
Sampel diletakkan di tungku / *furnace*, kemudian atur suhu seperti yang telah direncanakan. Kemudian catat hasil dan foto sampel setelah mencapai suhu yang diinginkan. Proses ini terus berulang sampai pada kenaikan suhu yang diinginkan.

3.5 Analisa Data

Analisa data dilakukan setelah diperoleh hasil pengujian morfologi, pengujian uji tarik dan uji dekomposisi terhadap komposit *unsaturated polyester* dengan *montmorillonite* dan serat kaca ialah sebagai berikut :

1. Analisis pengaruh paparan panas terhadap kekuatan tarik pada komposit *unsaturated polyester* dengan *montmorillonite* dan serat kaca.
2. Analisis bentuk morfologi komposit *unsaturated polyester* dengan *montmorillonite* dan serat kaca setelah dilakukan pengujian tarik dengan paparan panas.
3. Analisis pengaruh dekomposisi termal pada komposit *unsaturated polyester* dengan *montmorillonite* dan serat kaca terhadap karakteristik kekuatan tarik.

3.6 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa:

1. Seiring dengan peningkatan pertambahan suhu paparan panas yang diberikan mengakibatkan kekuatan tarik komposit mengalami penurunan yang signifikan. Selain itu, penambahan *montmorillonite* pada komposit menurunkan kekuatan tarik, namun dapat dipulihkan lagi dengan penambahan serat kaca. Dimana kekuatan tarik tertinggi sebesar 112 MPa.
2. Bentuk morfologi komposit mengalami patah getas dan patah pull out, dimana semakin tinggi suhunya maka semakin besar wilayah pull out yang terjadi. Penambahan *montmorillonite* dan serat kaca dapat mengurangi kerusakan yang terjadi akibat paparan panas.
3. Dalam uji TGA penambahan *montmorillonite* dapat menghambat sejenak proses dekomposisi termal. Karna itulah ketahanan panas komposit dapat ditingkatkan. Namun lain halnya ketahanan panas dalam uji termal mekanis dimana penambahan serat kaca lebih unggul dibandingkan penambahan *montmorillonite*.

5.2 Saran

1. Saran untuk penelitian selanjutnya perlu adanya peningkatan pembaruan vacuum chamber dan vacuum pump untuk mempercepat proses menghilangkan udara pada campuran bahan.
2. Menggunakan metode vacuum bag agar dapat meningkatkan kualitas spesimen.
3. Membarui alat uji TGA agar lebih sensitif dalam membaca data yang diperoleh.

DAFTAR PUSTAKA

- Abduh, Muhammad. 2017. *Pengaruh Variasi Lamina Fiber Glass Pada Sifat Tahan Api Komposit Montmorillonite Dengan Pembebanan Tarik*. Jurusan Teknik Mesin. Universitas Jember.
- ASTM D3039. *Standar Test Method For Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials*. American National Standard.
- ASTM E1131. *Standard Test Method for Compositional Analysis by Thermogravimetry*. American National Standard.
- Beyler, Craig. L., and Hirschler, Marcelo. M.. 2002. *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering Third Edition*. Massachusetts: National Fire Protection Association.
- Chieruzzi, Manila., Miliozzi, Adio., & Kenny, Josè. M. 2012. *Effects of the nanoparticles on the thermal expansion and mechanical properties of unsaturated polyesterclay nanocomposites*. *Composites: Part A* 45 (2013) 44–48.
- Diharjo, K., Afandi, R., et al. 2012. *Sifat Tahan Api Dan Kekuatan Bending Komposit Geopolimer: Analisis Pemilihan Jenis Partikel Geomaterial*.
- Diharjo, K., Afandi, R., et al. 2013. *Hambatan Panas Komposit Serbuk Genteng Sokka Bermatrik Bisphenolik LP-1Q-EX 1-6*.
- DiNenno, Philip. J. 2002. *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering Third Edition*. Springer.
- Drzal, Lawrence T. 2001. *ASM Handbook Volume 21 Composites*. ASM International.
- Easby, R. C., Feih, S., et al. 2007. *Failure Model for Phenolic and Polyester Pultrusions Under Load in Fire*. *Plastics, Rubber and Composites*.
- Fartini, M. S., Majid, M.S. Abdul., et al. 2014. *Effects of elevated temperatures on the compression strength of nanoclay filled unsaturated polyester resin*. *Applied Mechanics and Materials* Vol. 554 (2014) pp 208-212.

- Ferreira, J. M., Errajhi, O. A. Z., & Richardson, M. O. W. 2006. *Thermogravimetric analysis of aluminised E-glass fibre reinforced unsaturated polyester composites*. *Polymer Testing*, 25, 1091–1094.
- Gibson, Ronald. F. 2012. *Principles of composite material mechanics third edition*. Columbus Division, Battelle Memorial Institute and Departemen Of Mechanical Engineering The Ohio State University Columbus, Ohio: CRC Press.
- Hull, D. & Clyne, T.W. 1996. *An Introduction to Composite Materials*. London : Cambridge University Press.
- Hurley, Morgan. J. 2016. *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering Fifth Edition*. Springer.
- Kandare, E., Kandola, B. K., et al. 2008. *Study of the thermal decomposition of flame-retarded unsaturated polyester resins by thermogravimetric analysis and Py-GC/MS*. *Polymer Degradation and Stability*, 93(11), 1996-2006.
- Kusairi, Ahmad. 2016. *Pengaruh variasi ukuran partikel montmorillonite terhadap nilai konduktifitas termal komposit partikel dengan matrik polyester eterset 2504 apt*. Jurusan Teknik Mesin. Universitas Jember.
- Mouritz, A. P., and Gibson, A. G. 2006. *Fire Properties of Polymer Composite Materials*. Springer.
- Nasiruddin. 2014. *Analisis Termal-Mekanis Komposit Matrik Polyester Dengan Aditif Partikel Montmorillonite Berpenguat Serat Kenaf Anyam*. Jurusan Teknik Mesin. Universitas Jember.
- Schwartz, M.M. 1984. *Composite material handbook*. McGraw Hill Inc. New York.
- Shofiyanto, Ahmad. 2016. *Pengaruh Lamina Fiberglass Terhadap Cacat Void Komposit Montmorillonite Dengan Metode Vacuum Molding*. Jurusan Teknik Mesin. Universitas Jember.
- Tibiletti, L., Longuet, C., et al. 2011. *Thermal degradation and fire behaviour of unsaturated polyesters filled with metallic oxides*. *Polymer Degradation and Stability*, 96(1), 67-75.
- Xie, Wei., Gao, Zongming., et al. 2000. *Thermal Characterization of organically modified montmorillonite*. *Thermochimica Acta*, 367-368 (2001) 339-350.

LAMPIRAN

Lampiran A1. Contoh Perhitungan Fraksi Volume Bahan Campuran Komposit

Diketahui:

$$\text{Densitas resin} = 1,12 \text{ g/ml}$$

$$\text{Densitas MMT} = 1,37 \text{ g/ml}$$

$$\text{Densitas serat kaca} = 2,3 \text{ g/ml}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume cetakan} &= \text{Panjang} \times \text{Lebar} \times \text{Tinggi} \\ &= 15 \text{ cm} \times 2,5 \text{ cm} \times 0,5 \text{ cm} \\ &= 18,75 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume resin} &= \text{Volume cetakan} \times \text{Persentase resin} \\ &= 18,75 \text{ cm}^3 \times 60\% \\ &= 11,25 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume MMT} &= \text{Volume cetakan} \times \text{Persentase MMT} \\ &= 18,75 \text{ cm}^3 \times 40\% \\ &= 7,5 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume serat kaca} &= \frac{\text{Massa serat kaca}}{\text{Densitas serat kaca}} \\ &= \frac{6,33 \text{ g}}{2,3 \text{ g/ml}} \\ &= 2,752 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa resin} &= \text{Volume resin} \times \text{Densitas resin} \\ &= 11,25 \text{ cm}^3 \times 1,12 \text{ g/ml} \\ &= 12,6 \text{ g} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa MMT} &= \text{Volume MMT} \times \text{Densitas MMT} \\ &= 7,5 \text{ cm}^3 \times 1,37 \text{ g/ml} \\ &= 10,275 \text{ g} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Hardener} &= 1 \% \times \text{Volume resin} \\ &= 1 \% \times 11,25 \text{ cm}^3 \\ &= 0,1125 \end{aligned}$$

Lampiran A2. Perhitungan Persentase Bahan Campuran Komposit

Diketahui:

Berat rata – rata spesimen

Komposit UP = ± 23 g

Komposit UP + MMT = ± 31, 15 g

Komposit UP + SK = ± 28, 3 g

Komposit UP + MMT + SK = ± 32,25 g

$$\text{Persentase serat kaca} = \frac{\text{Volume serat kaca}}{\text{Volume cetakan}} \times 100\%$$

$$= \frac{2,752 \text{ cm}^3}{18,75 \text{ cm}^3} \times 100\%$$

$$= 14,67 \%$$

$$\text{Persentase UP} = \frac{\text{Persentase fraksi UP}}{100} \times 85,33$$

$$= \frac{60}{100} \times 85,33$$

$$= 51,198\%$$

$$\text{Persentase MMT} = \frac{\text{Persentase fraksi MMT}}{100} \times 85,33$$

$$= \frac{40}{100} \times 85,33$$

$$= 34,132\%$$

Lampiran B 1. Hasil data Pengujian termal mekanik

Tabel 4.1 Hasil pengujian termal mekanis komposit unsaturated polyester

Temperatur (°C)	Spesimen 1 (Mpa)	Spesimen 2 (Mpa)	Spesimen 3 (Mpa)	Rata-rata (Mpa)
30	67,0965815	100,6448723	35,66156891	67,80101
60	16,9062253	22,45358043	15,32126664	18,22702
80	6,0756747	5,283195394	9,24559194	6,868154
100	0,79247931	0,528319539	1,849118388	1,056639
120	0,26415977	0,792479309	0,792479309	0,616373
140	0,26415977	0,792479309	0,792479309	0,616373

160	0,79247931	0,26415977	0	0,352213
180	0	0,26415977	0,528319539	0,26416
200	0	0	0	0
220	0	0	0	0

Tabel 4.2 Hasil pengujian termal mekanis komposit unsaturated polyester dengan montmorillonite

Temperatur (°C)	Spesimen 1 (Mpa)	Spesimen 2 (Mpa)	Spesimen 3 (Mpa)	Rata-rata (Mpa)
30	53,3602735	48,8695574	26,94429651	43,05804
60	6,60399424	24,30269881	13,20798849	14,70489
80	6,86815401	5,283195394	5,547355164	5,899568
100	1,32079885	1,320798849	1,056639079	1,232746
120	0,79247931	1,320798849	0,792479309	0,968586
140	0,26415977	1,056639079	0,528319539	0,616373
160	0,52831954	0,528319539	1,320798849	0,792479
180	0,52831954	0,528319539	0,792479309	0,616373
200	0,79247931	0,792479309	0,26415977	0,616373
220	0,79247931	0,528319539	0,792479309	0,704426

Tabel 4.3 Hasil pengujian termal mekanis komposit unsaturated polyester dengan serat kaca

Temperatur (°C)	Spesimen 1 (Mpa)	Spesimen 2 (Mpa)	Spesimen 3 (Mpa)	Rata-rata (Mpa)
30	94,5691976	111,2112631	112,7962217	106,1922
60	59,1717884	52,03947463	56,53019072	55,91382
80	71,8514574	43,586362	77,39881253	64,27888
100	72,3797769	50,19035625	39,88812523	54,15275

120	33,8124505	45,69964016	33,01997122	37,51069
140	29,850054	58,64346888	73,70057575	54,0647
160	38,8314861	29,32173444	25,62349766	31,25891
180	17,6987046	42,79388269	26,1518172	28,88147
200	17,4345448	24,03853904	25,35933789	22,27747
220	9,77391148	9,50975171	14,26462756	11,18276

Tabel 4.4 Hasil pengujian termal mekanis komposit unsaturated polyester dengan montmorillonite dan serat kaca

Temperatur (°C)	Spesimen 1 (Mpa)	Spesimen 2 (Mpa)	Spesimen 3 (Mpa)	Rata-rata (Mpa)
30	88,4935229	91,39928032	53,09611371	77,66297
60	59,4359482	62,07754588	64,71914358	62,07755
80	61,0209068	36,98236776	83,47448723	60,49259
100	68,1532206	30,64253329	79,51209069	59,43595
120	42,0014034	33,28413098	44,90716085	40,06423
140	36,9823678	15,05710687	25,09517812	25,71155
160	20,8686218	20,60446204	6,868154013	16,11375
180	4,75487585	16,64206549	10,83055056	10,7425
200	12,4155092	8,717272401	10,30223102	10,47834
220	3,69823678	4,226556316	10,83055056	6,251781

Lampiran B 2. Hasil data Pengujian dekomposisi termal

Tabel 4.5 Hasil pengujian dekomposisi termal komposit unsaturated polyester

Temperatur (°C)	Spesimen 1 (g)	Spesimen 2 (g)	Spesimen 3 (g)	Spesimen 4 (g)	Rata-rata (g)
30	100	100	100	100	100

40	105,4726	98,74214	98,83721	101,1236	101,0439
50	106,7164	92,12469	97,67442	102,5281	99,7609
60	106,4677	97,51162	98,25581	104,2135	101,6121
70	106,9652	99,7539	99,12791	105,3371	102,796
80	109,7015	96,035	98,83721	104,4944	102,267
90	112,6866	97,89445	98,25581	105,618	103,6137
100	110,9453	97,94914	99,12791	105,8989	103,4803
110	112,6866	97,621	99,7093	105,618	103,9087
120	114,6766	95,70686	100,2907	104,7753	103,8624
130	115,6716	98,98824	100	104,4944	104,7886
140	116,6667	97,89445	101,1628	106,4607	105,5461
150	112,4378	97,621	102,0349	105,3371	104,3577
160	116,1692	100,6289	103,1977	105,0562	106,263
170	114,9254	99,80859	101,4535	105,0562	105,3109
180	114,9254	100,3555	103,1977	104,7753	105,8135
190	118,408	99,53514	102,3256	103,9326	106,0503
200	121,1443	95,15997	102,907	104,7753	105,9966
210	121,1443	97,621	104,3605	106,1798	107,3264
220	122,3881	96,52721	103,4884	103,9326	106,5841
230	122,3881	101,9962	102,907	107,0225	108,5784
240	110,6965	106,3713	102,6163	106,7416	106,6064
250	110,4478	93,79273	99,7093	102,809	101,6897
260	109,9502	91,33169	100,8721	102,2472	101,1003
270	112,1891	95,98031	102,6163	101,1236	102,9773
280	113,4328	91,05824	101,4535	101,1236	101,767
290	107,7114	88,05031	101,1628	100,8427	99,44181
300	113,9303	91,60514	102,3256	100,2809	102,0355
310	107,4627	91,05824	101,7442	99,7191	99,99605
320	105,7214	82,8548	100,8721	100,5618	97,50252
330	102,4876	70,82308	99,7093	100,5618	93,39544

340	101,7413	66,17446	96,80233	100	91,17952
350	99,00498	61,79929	96,80233	98,8764	89,12075
360	99,50249	54,68964	97,09302	98,03371	87,32971
370	98,75622	47,30654	96,22093	96,62921	84,72822
380	98,50746	42,38447	91,86047	96,06742	82,20495
390	98,25871	30,35275	88,95349	94,66292	78,05697
400	87,31343	30,0793	80,81395	91,85393	72,51515
410	81,34328	14,21931	78,48837	83,42697	64,36948
420	73,8806	5,742412	66,86047	64,88764	52,84278
430	60,44776	-0,82034	65,11628	39,32584	41,01738
440	37,06468	-9,02379	57,26744	35,67416	30,24562
450	38,55721	-14,7662	50	29,77528	25,89157
460	43,78109	-19,4148	36,62791	24,4382	21,3581
470	44,02985	-22,9696	34,59302	18,82022	18,61836
480	46,51741	-28,1652	30,52326	13,20225	15,51944
490	51,49254	-32,5403	17,44186	9,550562	11,48616
500	52,98507	-32,8138	12,7907	18,82022	12,94555
510	49,25373	-35,8217	9,883721	16,29213	9,901969
520	43,78109	-32,2669	10,46512	14,88764	9,216741
530	48,75622	-33,6341	9,883721	9,269663	8,568869
540	56,46766	-38,0093	9,593023	7,303371	8,83869
550	48,75622	-17,7741	10,46512	1,123596	10,6427

Tabel 4.6 Hasil pengujian dekomposisi termal komposit unsaturated polyester dengan montmorillonite

Temperatur (°C)	Spesimen 1 (g)	Spesimen 2 (g)	Spesimen 3 (g)	Spesimen 4 (g)	Rata-rata (g)
30	100	100	100	100	100
40	104,6632	97,28507	101,4467	100,9225	101,0794
50	103,6269	100,2262	106,1483	100,1845	102,5465

60	104,1451	102,0362	107,0524	100,9225	103,5391
70	101,8135	105,2036	107,5949	101,845	104,1143
80	101,2953	104,7511	108,3183	102,3985	104,1908
90	102,8497	104,0724	109,4033	102,583	104,7271
100	102,8497	103,8462	109,2224	101,845	104,4408
110	104,4041	107,4661	107,4141	101,845	105,2823
120	105,1813	108,1448	107,0524	104,2435	106,1555
130	106,2176	107,4661	105,6058	102,3985	105,422
140	107,513	107,9186	106,1483	101,845	105,8562
150	109,0674	111,5385	104,5208	101,6605	106,6968
160	109,8446	111,7647	105,9675	101,476	107,2632
170	109,5855	113,8009	107,2333	101,476	108,0239
180	106,9948	113,1222	101,9892	101,107	105,8033
190	108,8083	112,6697	102,5316	100,738	106,1869
200	111,658	111,5385	105,6058	100,738	107,3851
210	112,4352	104,7511	103,0741	100,5535	105,2035
220	114,2487	100,6787	104,34	103,1365	105,601
230	115,285	101,1312	105,425	102,952	106,1983
240	112,9534	100,905	101,9892	102,3985	104,5615
250	114,7668	100,2262	103,6166	101,6605	105,0676
260	111,9171	99,54751	101,9892	101,2915	103,6863
270	110,3627	98,64253	101,6275	100,738	102,8427
280	108,8083	97,9638	101,8083	100,369	102,2374
290	110,6218	96,60633	100,9042	100	102,0331
300	110,1036	95,47511	101,2658	100,369	101,8034
310	110,8808	90,95023	99,4575	98,70849	99,99926
320	109,0674	93,21267	100,7233	98,52399	100,3818
330	105,6995	93,43891	100,5425	100,1845	99,96635
340	104,4041	87,78281	100,5425	99,631	98,09011
350	103,1088	84,1629	100,3617	99,07749	96,67771

360	102,8497	78,95928	99,81917	98,52399	95,03804
370	99,2228	76,92308	96,5642	97,60148	92,57789
380	94,30052	73,75566	95,84087	96,49446	90,09788
390	86,5285	68,77828	93,30922	92,06642	85,17061
400	81,34715	65,15837	90,59675	87,08487	81,04678
410	79,01554	62,66968	84,0868	102,0295	81,95039
420	76,94301	59,95475	81,73599	77,85978	74,12338
430	77,97927	56,56109	77,93852	73,80074	71,5699
440	75,90674	55,88235	72,87523	70,2952	68,73988
450	71,24352	52,71493	69,98192	67,15867	65,27476
460	68,65285	54,52489	67,08861	64,02214	63,57212
470	65,28497	55,42986	62,74864	61,99262	61,36403
480	61,65803	56,1086	64,01447	60,3321	60,5283
490	62,6943	53,39367	60,75949	58,67159	58,87976
500	57,51295	53,39367	59,49367	57,19557	56,89897
510	58,29016	52,71493	58,58951	55,16605	56,19016
520	59,32642	53,16742	56,60036	54,61255	55,92669
530	60,36269	52,94118	55,6962	53,69004	55,67253
540	63,21244	52,0362	56,05787	52,02952	55,83401
550	62,43523	52,48869	53,88788	50,92251	54,93358

Lampiran C. Alat dan Bahan



Mesin Uji Tarik



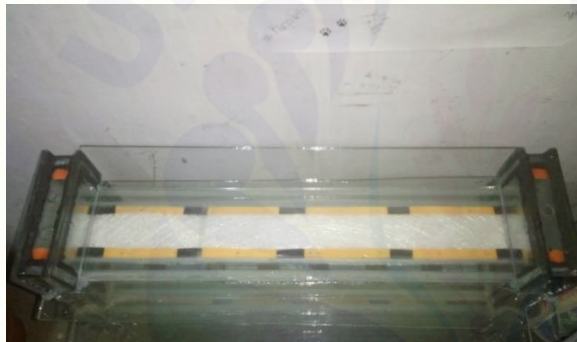
Mesin Uji TGA



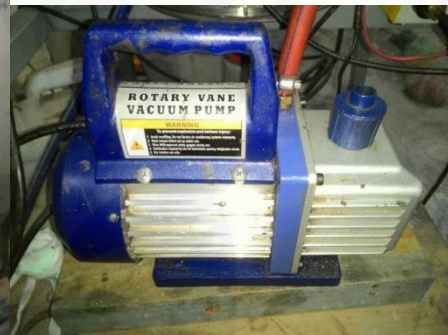
Vacuum Chamber



Resin Trap Chamber



Cetakan



Vacuum Pump



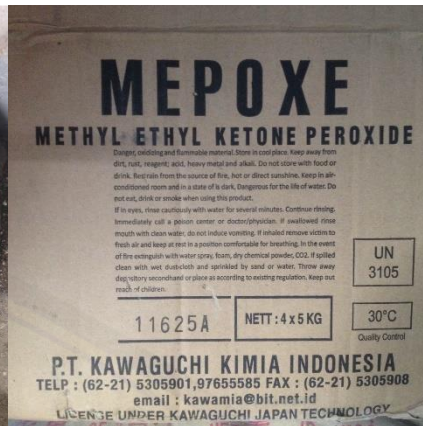
Microscope



Camera



Resin



Katalis



Montmorillonite

