



**PENGARUH VARIASI LAYER *FIBER GLASS* DENGAN PEMBEBANAN  
TARIK TERHADAP SIFAT TERMAL KOMPOSIT *POLYESTER-AMPAS***

***KOPI***

**SKRIPSI**

**Rakhmad Fajar Pambudi**

**141910101070**

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

**2018**



**PENGARUH VARIASI LAYER *FIBER GLASS* DENGAN PEMBEBANAN  
TARIK TERHADAP SIFAT TERMAL KOMPOSIT *POLYESTER-AMPAS*  
*KOPI***

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

**Rakhmad Fajar Pambudi**

**141910101070**

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

## HALAMAN PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan :

1. Ayah dan Ibuku tercinta, Imam Ghozali dan Diah Kurniawati;
2. Adik dan Kakakku tersayang, Muhammad Zakaria dan Hernawan Adriansyah;
3. Guru-guruku dari taman kanak-kanak sampai dengan perguruan tinggi;
4. Semua dosen Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember yang senantiasa menularkan ilmunya, semoga menjadi ilmu yang bermanfaat dan barokah dikemudian hari. Ir. Ahmad Syuhri selaku Dosen Pembimbing Utama, Bapak Sumarji, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Anggota yang selalu memberikan saran dan arahan yang sangat membantu dalam proses penyelesaian skripsi ini. Bapak Aris Zainul Muttaqin, S.T., M.T selaku Dosen Penguji Utama dan Bapak Dr. Salahuddin Junus, 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. “Material Research Group”, tim riset material yang telah memotivasi serta mendukung penuh.
6. Almamater yang saya banggakan Fakultas Teknik Jurusan Teknik Mesin Universitas Jember

**HALAMAN MOTTO**

“Orang hebat tidak terlahir secara instan, tetapi melalui proses yang panjang”

(Anonim)

Allah akan meninggikan orang-orang yang beriman di antara kamu dan orang-orang yang diberi ilmu pengetahuan beberapa derajat.

(Surat Al-Mujadalah. Ayat 11)

“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)

**HALAMAN PERNYATAAN**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Rakhmad Fajar Pambudi

NIM : 141910101070

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “Pengaruh Variasi Layer *Fiber Glass* Dengan Pembebanan Tarik Terhadap Sifat Termal Komposit *Polyester-Ampas Kopi* ” 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, 8 Januari 2018

yang menyatakan,

Rakhmad Fajar Pambudi

NIM 141910101070

**SKRIPSI**

**HALAMAN PEMBIMBING**

**PENGARUH VARIASI LAYER *FIBER GLASS* DENGAN PEMBEBANAN  
TARIK TERHADAP SIFAT TERMAL KOMPOSIT *POLYESTER-AMPAS  
KOPI***

Oleh

**Rakhmad Fajar Pambudi**

**NIM 141910101070**

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Ir. Ahmad Syuhri, M.T.

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

**HALAMAN PENGESAHAN**

Skripsi berjudul “Pengaruh Variasi Layer *Fiber Glass* Dengan Pembebanan Tarik Terhadap Sifat Termal Komposit *Polyester*-Ampas Kopi “ karya Rakhmad Fajar Pambudi telah diuji dan disahkan pada:

hari, tanggal : Kamis, 8 Januari 2018

tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

**Tim Pembimbing:**

Dosen Pembimbing Utama,

Dosen Pembimbing Anggota,

Ir. Ahmad Syuhri, S.T, M.T.  
NIP 19670123 1997021 001

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

**Tim Penguji:**

Penguji I,

Penguji II,

Aris Zainul Muttaqin, S.T, M.T.  
NIP 19681207 1995121 002

Dr. Salahuddin Junus, S.T, M.T.  
NIP 19751006 2002121 002

Mengesahkan  
Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember,

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

## RINGKASAN

**Pengaruh Variasi Layer *Fiber Glass* Dengan Pembebanan Tarik Terhadap Sifat Termal Komposit *Polyester-Ampas Kopi***; Rakhmad Fajar Pambudi, 141910101070; 2018: 72 halaman; Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi pada era ini sangat pesat, khususnya pada material komposit yang banyak dikembangkan oleh peneliti. Komposit juga termasuk material yang mempunyai nilai tambah dari pada logam, karena dari segi kekuatan dapat direkayasa, dan ketahanan korosi juga jauh lebih baik daripada logam.. Komposit ampas kopi memiliki nilai konduktivitas yang rendah menyebabkan komposit ampas kopi menjadi salah satu material isolator. Hal ini membuat komposit ampas kopi dapat diaplikasikan diberbagai bidang yang mana lingkungannya memiliki suhu tinggi.

Dalam penelitian ini, dilakukan penambahan partikel ampas kopi sebanyak 40% guna memperbaiki sifat tahan termal yang di distribusikan oleh api maupun pemanas. Untuk memperbaiki kekuatan komposit dilakukan penambahan layer *fiber glass* dengan variasi 1 layer, 2 layer, 3 layer, dan 4 layer. Pada penelitian ini akan dilakukan dua pengujian yaitu analisis ketahanan api dibawah beban tarik sebesar 90 kg terhadap uji komposit matrix *unsaturated polyester* berpenguat *fiber glass* dengan partikel ampas kopi dengan tujuan meningkatkan kinerja komposit akibat perlakuan setelah terbakar dan analisis paparan panas pada suhu pemanasan 25 – 180 °C terhadap komposit dimana kinerja serat kaca dalam meningkatkan kekuatan tarik akan menjadi topik penelitian yang menarik. Penelitian dilakukan di Laboratorium Teknologi Terapan dan Laboratorium Uji Bahan Fakultas Teknik Universitas Jember.

Dari hasil penelitian diperoleh data hasil pengujian tarik tertinggi pada komposit ampas kopi dengan 4 layer *fiber glass* sebesar 37,2 MPa dan terendah pada komposit ampas kopi tanpa layer sebesar 13,6 MPa. Dari hasil pengujian ketahanan bakar dengan beban konstan 90 kg, waktu kegagalan tertinggi pada



komposit ampas kopi dengan 3 layer *fiber glass* sebesar 1566 sekon dan terendah pada komposit ampas kopi tanpa layer sebesar 44,3 sekon. Meskipun nilai kekuatan tarik pada 4 layer sangat tinggi akan tetapi pada pengujian ketahanan bakar hanya mampu dengan waktu kegagalan 351 sekon dan pada pengujian layer 4 terdapat nyala api, hal ini disebabkan degradasi termal pada komposit pada 4 layer terlalu cepat dibandingkan dengan 3 layer. Hal yang mempengaruhi degradasi termal salah satunya komposisi volume matrik yang terbentuk dimana pada 4 layer komposisi matrik sangat sedikit dibandingkan dengan komposisi volume penguatnya. Sedangkan seiring bertambahnya suhu pemanasan diberikan mengakibatkan kekuatan tarik komposit mengalami penurunan yang signifikan. Nilai kekuatan tarik terbesar didapatkan pada komposit 4 layer fiber glass sebesar 37 MPa akan tetapi pada pengujian termal mekanis nilai kekuatan tariknya turun lebih dari 60% pada suhu pemanas 180 °C sebesar 12 MPa. Hal ini juga berlaku pada variasi layer yang lain yang mana nilai kekuatan tarik turun sebesar 60% pada suhu tertinggi pengujian. Bentuk morfologi pada dua pengujian mengalami patah getas dan patah pull out, dimana semakin tinggi suhunya maka semakin besar wilayah pull out yang terjadi.

## SUMMARY

**The Influence of Fiber Glass Layer Variations with pull load on Thermal Properties of Polyester-Coffee Ground Composites;** Rakhmad Fajar Pambudi, 141910101070; 2018: Page; Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

The development of science and technology in this era was very rapid, especially in composite materials which were developed by many researchers. Composites also include materials that have added value than metals, because in terms of strength can be engineered, and corrosion resistance is also much better than metal. Composite coffee grounds have a low conductivity value causing the composite of coffee grounds to be one insulating material. This makes the composite coffee grounds can be applied in various fields where the environment has a high temperature

In this study, the addition of coffee grounds as much as 40% was carried out to improve the thermal resistance properties distributed by fire and heating. To improve the strength of the composite, the addition of a fiber glass layer with a variation of 1 layer, 2 layers, 3 layers, and 4 layers is added. In this study two tests will be carried out, namely fire resistance analysis under a tensile load of 90 kg against the composite test of matrix unsaturated polyester glass fiber reinforced with coffee pulp particles with the aim of improving composite performance due to post-burn treatment and analysis of heat exposure at heating temperatures of 25 - 180 °C on composites where the performance of glass fibers in increasing tensile strength will be an interesting research topic. The research was conducted at the Applied Technology Laboratory and the Material Test Laboratory of the Faculty of Engineering, University of Jember.

From the results of the study, the highest tensile test results were obtained on composite coffee grounds with 4 layers of glass fiber of 37.2 MPa and the lowest in the composite layer of coffee waste without layers of 13.6 MPa. From

the results of the fuel resistance test with a constant load of 90 kg, the highest failure time was in the composite of coffee grounds with 3 layers of glass fiber at 1566 second and the lowest in the layer of coffee residue without layers of 44.3 seconds. Although the tensile strength value at 4 layers is very high, but in the combustion resistance test, it is only able to with failure time of 351 seconds and on layer 4 testing there is a flame, this is due to the thermal degradation of the composite on 4 layers too fast compared to 3 layers. One thing that affects thermal degradation is the composition of the matrix volume which is formed in 4 layers of matrix composition is very little compared to the composition of the volume of the amplifier. Whereas as the heating temperature increases, the composite tensile strength has decreased significantly. The largest tensile strength value was obtained on a 4 layer composite glass fiber of 37 MPa but in mechanical thermal testing the tensile strength value dropped more than 60% at a heating temperature of 180 oC by 12 MPa. This also applies to other layer variations where the tensile strength value drops by 60% at the highest test temperature. The morphological form of the two tests experienced brittle and broken pull out, where the higher the temperature, the greater the pull out area that occurred.

## PRAKATA

Puji syukur kepada Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karuniaNya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini yang berjudul “Simulasi Dinamika Molekul pada Proses Penguapan Partikel Droplet Aluminium”. Shalawat dan salam penulis curahkan kepada Nabi Muhammad SAW yang telah menunjukkan inspirasi, suri tauladan, dan jalan yang terang bagi umat manusia dalam menjalani kehidupan di dunia. Skripsi ini disusun guna memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Univeritas Jember.

Penulis tidak lupa berterima kasih serta mengapresiasi semua pihak yang telah membantu dan mendukung selama penyusunan skripsi ini, khususnya kepada:

1. Bapak Dr. Salahuddin Junus, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Utama, dan Ir. Ahmad Syuhri, M.T. selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah memberikan masukan dan arahan dalam penyusunan dan penulisan skripsi ini. serta Bapak Sumarji, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji Utama dan Bapak Ir. FX. Kristianta, M.Eng. selaku Dosen Penguji Anggota yang telah memberikan kritik dan saran untuk perbaikan skripsi.
2. Rekan kerjaku Waldi dan Ramanda serta keluarga besar MRG yang selalu memberikan dukungan, ide dan motivasi dalam penyelesaian skripsi ini.
3. Semua pihak yang telah membantu dan tidak dapat disebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan. Semoga hasil dari penelitian ini dapat memerikan manfaat bagi dan pembaca.

Jember, 8 Januari 2018

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN PERSEMBAHAN .....</b>	<b>ii</b>
<b>HALAMAN MOTTO .....</b>	<b>iii</b>
<b>HALAMAN PERNYATAAN.....</b>	<b>iv</b>
<b>HALAMAN PEMBIMBING .....</b>	<b>v</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN.....</b>	<b>vi</b>
<b>HALAMAN RINGKASAN .....</b>	<b>vii</b>
<b>HALAMAN SUMMARY .....</b>	<b>ix</b>
<b>PRAKATA .....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xv</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xix</b>
<b>BAB 1 PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Latar Belakang .....</b>	<b>1</b>
<b>1.2 Rumusan Masalah .....</b>	<b>2</b>
<b>1.3 Batasan Penelitian .....</b>	<b>3</b>
<b>1.4 Tujuan Penelitian .....</b>	<b>3</b>
<b>1.5 Manfaat Penelitian.....</b>	<b>3</b>
<b>1.6 Hipotesa .....</b>	<b>3</b>
<b>BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>27</b>
<b>2.1 Material Komposit .....</b>	<b>27</b>
<b>2.2 Jenis-jenis Komposit .....</b>	<b>29</b>
2.2.2 Komposit Laminat .....	30
<b>2.3 Susunan Komposit .....</b>	<b>31</b>
2.3.1 Matrik.....	32
2.3.2 Reinforcement.....	32
2.3.3 <i>Interface</i> .....	33
2.3.4 Interphase.....	35
<b>2.4 Resin Unsaturated Polyester.....</b>	<b>36</b>
<b>2.5 Spent Coffee Ground (SCG).....</b>	<b>38</b>

<b>2.6 Fiber Glass</b> .....	<b>39</b>
<b>2.7 Metode Komposit</b> .....	<b>40</b>
<b>2.8 Karaterisasi Komposit</b> .....	<b>41</b>
2.8.1 Pengujian Morfologi Makro .....	41
2.8.2 Pengujian Morfologi Mikro .....	42
2.8.3 Uji Ketahanan Bakar .....	43
2.8.4 Uji Termal Mekanis .....	45
<b>BAB 3 METODOLOGI</b> .....	<b>48</b>
<b>3.1 Tempat dan Waktu Penelitian</b> .....	<b>48</b>
<b>3.2 Alat dan Bahan Penelitian</b> .....	<b>48</b>
<b>3.2.1 Alat</b> .....	<b>48</b>
<b>3.2.2 Bahan</b> .....	<b>52</b>
<b>3.3 Prosedur Penelitian</b> .....	<b>54</b>
3.3.1 Langkah-langkah Pembuatan Sampel .....	54
3.3.2 Langkah-langkah Pengujian Sampel Uji Ketahanan Bakar .....	55
3.3.3 Langkah-langkah Pengujian Sampel Termal Mekanis.....	56
<b>3.4 Analisa Data</b> .....	<b>56</b>
<b>3.5 Diagram Alir</b> .....	<b>58</b>
<b>BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....	<b>60</b>
<b>4.1 Pengujian Kekuatan Tarik Komposit</b> .....	<b>60</b>
<b>4.2 Pengujian Ketahanan Bakar</b> .....	<b>61</b>
<b>4.3 Pengujian Termal Mekanis</b> .....	<b>62</b>
<b>4.4 Hasil morfologi makro</b> .....	<b>64</b>
4.4.1 Pengujian ketahanan bakar .....	64
4.4.2 Pengujian Termal Mekanis .....	67
<b>4.5 Hasil morfologi mikro</b> .....	<b>79</b>
4.5.1 Pengujian ketahanan bakar .....	79
4.5.2 Pengujian termal mekanis.....	81
<b>BAB 5 PENUTUP</b> .....	<b>89</b>
<b>5.1 Kesimpulan</b> .....	<b>89</b>
<b>5.2 Saran</b> .....	<b>89</b>

<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>90</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>93</b>



**DAFTAR GAMBAR**

Gambar 2.1 Perbedaan wilayah kerusakan akibat kegagalan panas komposit (Mouritz dan Gibson, 2006).....	28
Gambar 2.2 Hasil uji api di bawah beban tarik dengan burner propana heat flux konstan 75 kW/m <sup>2</sup> pada glass/vinylester, glass/polyester dan glass/polypropylene (Mouritz dan Gibson, 2006).....	29
Gambar 2.3 Komposit Serat (Mallick, 2007).....	30
Gambar 2.4 Unidirection Laminate ( Mallick, 2007) .....	30
Gambar 2.5 Komposit Patikel (Mallick, 2007).....	31
Gambar 2.6 Struktur penyusun komposit (R. Jones, 1999) .....	32
Gambar 2.7 Mechanical bonding .....	34
Gambar 2.8 Electrostatic bonding.....	34
Gambar 2.9 Chemical bonding .....	35
Gambar 2.10 Diagram skema dari serat - matriks interphase dan beberapa factor yang berkontribusi terhadap pembentukannya (Lawrence T. Drzal, 2001).....	36
Gambar 2.11 Resin Unsaturated Polyester Eterset 2504 .....	37
Gambar 2.12 Perubahan kandungan gas ammonia yang diserap terhadap waktu (Oiwa & Okuzawa, 2015) .....	39
Gambar 2.13 (a) Continuoud Fiber Mat (CFM) dan (b) Chopped Strand Mat (CSM) (Mallick,2007) .....	40
Gambar 2.14 Metode Hand Lay Up (Mallick, 2007).....	41
Gambar 2.15 Bentuk Patahan Komposit (ASTM D 3039) .....	42
Gambar 2.16 Eksperimental set-up untuk uji bakar bersama dengan pembeban tarik (Mouritz dan Gibson, 2006). .....	43
Gambar 2.17 Skema pengujian bakar di bawah beban konstan (Mouritz dan Gibson, 2006).....	44
Gambar 2.18 Foto skema kerusakan laminasi polymer termoset akibat (paparan Api) kebakaran (Mouritz dan Gibson, 2006). .....	44
Gambar 2.19 Standar persiapan sampel uji (ASTM D 3039) .....	45



Gambar 2.20 Sampel uji termal mekanis (Sumber: Mouritz & Gibson, 2006 dan Easby, dkk., 2007).....	47
Gambar 3. 1 Computer Universal Machine Testing HT-2405.....	48
Gambar 3. 2 Timbangan Kapasitas 200 kg .....	49
Gambar 3. 3 Burner Butana .....	49
Gambar 3. 4 Ayakan dengan Ukuran >80 Mesh.....	50
Gambar 3. 5 Timbangan digital 500 gram. ....	50
Gambar 3. 6 Cetakan Komposit dari Kaca.....	51
Gambar 3. 7 Vacuum Chamber.....	51
Gambar 3. 8 Optical .....	52
Gambar 3. 9 Kamera DSLR .....	52
Gambar 3. 10 Fiber Glass .....	52
Gambar 3. 11 Resin Unsaturated Polyester ETERSET 2504 APT .....	53
Gambar 3. 12 Partikel ampas kopi 80 MESH.....	53
Gambar 3. 13 Katalis MEPOXE .....	54
Gambar 3. 14 Model dan skema pengujian tarik dengan pembakaran salah satu sisinya.....	55
Gambar 3. 15 Skema pengujian termal mekanis.....	56
Gambar 3. 16 Diagram Alir .....	59
Gambar 4. 1 Grafik kekuatan tarik komposit unsaturated polyester-ampas kopi..	60
Gambar 4. 2 Grafik hasil uji bakar di bawah beban tarik konstan pada komposit polyester-ampas kopi dengan variasi layer .....	61
Gambar 4. 3 Grafik Perbandingan kekuatan termal mekanis komposit unsaturated polyester-ampas kopi dengan variasi jumlah layer fibre glass .....	63
Gambar 4. 4 Foto makro letak patahan sampel uji bakar komposit polyester-ampas kopi dengan variasi jumlah layer fiber glass.....	64
Gambar 4. 5 foto makro pada pengujian ketahanan bakar polimer komposit (Mouritz dan Gibson, 2006).....	65
Gambar 4. 6 Tampak samping foto morfologi sampel uji komposit unsaturated polyesster-ampas kopi dengan variasi jumlah layer penguat fiber glass: (a) tanpa layer, (b) 1 layer, (c) 2 layer, (d) 3 layer, dan (e) 4 layer.....	66

Gambar 4. 7 Foto makro patahan komposit polyester-ampas kopi tanpa layer dengan suhu pemanasan 30 °C – 180 °C. .... 67

Gambar 4. 8 Foto makro tampak samping patahan sampel uji komposit polyester-ampas kopi tanpa layer dengan variasi suhu pemanasan: (a) 25 °C, (b) 80 °C, (c) 100 °C, (d) 120 °C, (e) 140 °C , (f) 160 °C, dan (g) 180 °C. .... 68

Gambar 4. 9 Jenis patahan polimer komposit (ASTM D3039) ..... 69

Gambar 4. 10 Foto makro patahan komposit unsaturated polyester-ampas kopi 1 layer fiber glass dengan suhu pemanasan 30 °C – 180°C..... 70

Gambar 4. 11 Foto makro tampak samping patahan sampel uji komposit polyester – ampas kopi 1 layer dengan variasi suhu pemanasan: (a) 25 °C, (b) 80 °C, (c) 100 °C, (d) 120 °C, (e) 140 °C , (f) 160 °C, dan (g) 180 °C..... 71

Gambar 4. 12 Kerusakan akibat degradasi termal a.cracking, b.delaminasi , dan c.fiber pull out (Mouritz & Gibson, 2006)..... 72

Gambar 4. 13 Foto makro patahan komposit unsaturated polyester-ampas kopi 2 layer fiber glass dengan suhu pemanasan 30 °C – 180 ..... °C. .... 73

Gambar 4. 14 Foto makro tampak samping patahan sampel uji komposit polyester – ampas kopi 2 layer dengan variasi suhu pemanasan: (a) 25 °C, (b) 80 °C, (c) 100 °C, (d) 120 °C, (e) 140 °C , (f) 160 °C, dan (g) 180 °C. .... 74

Gambar 4. 15 Foto makro patahan komposit polyester-SCG 3 layer fiber glass dengan suhu pemanasan 30 °C – 180 °C. .... 75

Gambar 4. 16 Foto makro tampak samping patahan sampel uji komposit polyester – ampas kopi 3 layer dengan variasi suhu pemanasan: (a) 25 °C, (b) 80 °C, (c) 100 °C, (d) 120 °C, (e) 140 °C , (f) 160 °C, dan (g) 180 °C. .... 76

Gambar 4. 17 Foto makro patahan komposit unsaturated polyester-ampas kopi 4 layer fiber glass dengan suhu pemanasan 30 °C – 180°C..... 77

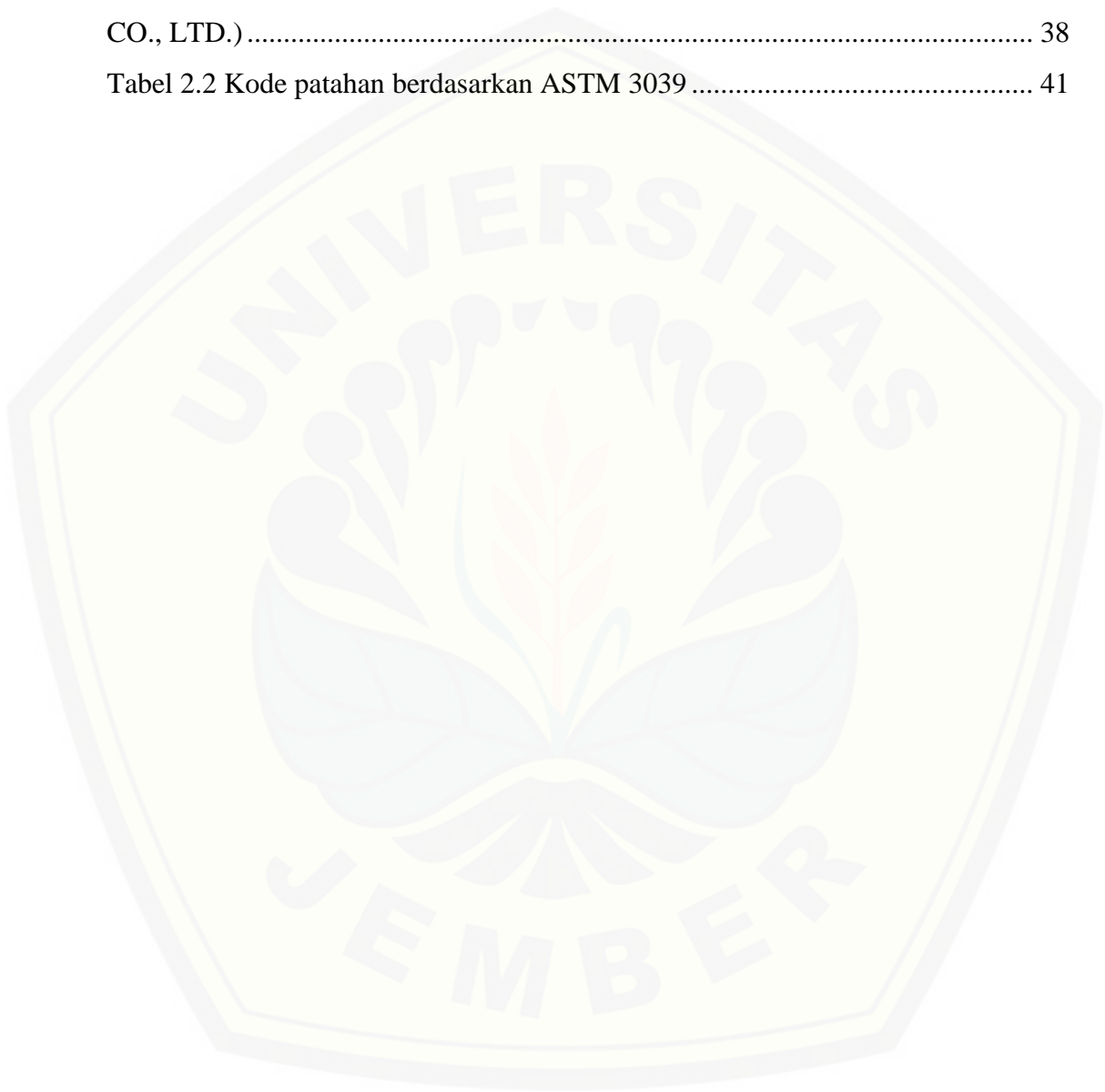
Gambar 4. 18 Foto makro tampak samping patahan sampel uji komposit polyester – ampas kopi 4 layer dengan variasi suhu pemanasan: (a) 25 °C, (b) 80 °C, (c) 100 °C, (d) 120 °C, (e) 140 °C , (f) 160 °C, dan (g) 180 °C. .... 78

Gambar 4. 19 foto mikro sampel uji komposit unsaturated polyesster-ampas kopi dengan variasi jumlah layer penguat fiber glass: (a) tanpa layer, (b) 1 layer, (c) 2 layer, (d) 3 layer, dan (e) 4 layer ..... 80

Gambar 4. 20 Struktur mikro komposit ampas kopi (Sumarji,2017).....	80
Gambar 4. 21 Foto mikro sampel uji komposit unsaturated polyester – ampas kopi 0 layer dengan variasi suhu pemanasan: (a) 25 °C, (b) 80 °C, (c) 100 °C, (d) 120 °C, (e) 140 °C , (f) 160 °C, dan (g) 180 °C. ....	82
Gambar 4. 22 Foto mikro sampel uji komposit unsaturated polyester – ampas kopi 1 layer dengan variasi suhu pemanasan: (a) 25 °C, (b) 80 °C, (c) 100 °C, (d) 120 °C, (e) 140 °C , (f) 160 °C, dan (g) 180 °C. ....	84
Gambar 4. 23 Foto mikro sampel uji komposit unsaturated polyester – ampas kopi 2 layer dengan variasi suhu pemanasan: (a) 25 °C, (b) 80 °C, (c) 100 °C, (d) 120 °C, (e) 140 °C , (f) 160 °C, dan (g) 180 °C. ....	85
Gambar 4. 24 Foto mikro sampel uji komposit unsaturated polyester – ampas kopi 3 layer dengan variasi suhu pemanasan: (a) 25 °C, (b) 80 °C, (c) 100 °C, (d) 120 °C, (e) 140 °C , (f) 160 °C, dan (g) 180 °C. ....	87
Gambar 4. 25 Foto mikro sampel uji komposit unsaturated polyester – ampas kopi 4 layer dengan variasi suhu pemanasan: (a) 25 °C, (b) 80 °C, (c) 100 °C, (d) 120 °C, (e) 140 °C , (f) 160 °C, dan (g) 180 °C. ....	88

**DAFTAR TABEL**

Tabel 2.1 Resin Unsaturated Polyester ETERSET 2504 (ETERNAL CHEMICAL CO., LTD.).....	38
Tabel 2.2 Kode patahan berdasarkan ASTM 3039 .....	41



## BAB 1 PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi pada era ini sangat pesat, khususnya pada material komposit yang banyak dikembangkan oleh peneliti. Komposit juga termasuk material yang mempunyai nilai tambah dari pada logam, karena dari segi kekuatan dapat direkayasa, dan ketahanan korosi juga jauh lebih baik daripada logam. *Polymer Matrix Composite* (PMC) merupakan salah satu jenis komposit yang sering digunakan diberbagai bidang contohnya pada bidang otomotif, aeromodelling, perkakas dan lain-lain. PMC terdiri dari matriks dan reinforced yang tersusun dari polymer-polymer (Marcovikova. L., and ,Viera., Z., 2015).

Komposit juga memiliki sifat yaitu ketahanan terhadap api. Komposit yang memiliki laju pelepasan panas dan hasil asap yang rendah, bisa dikatakan komposit tersebut belum tentu memiliki sifat resitif terhadap api. Dilihat dari sudut keamanan pada komposit menjadi yang ditekankan, sebab saat terbakar komposit akan kehilangan sifat mekanisnya seperti kekuatan, kekakuan, maupun ketahanan mulur dapat mengakibatkan cedera bagi siapapun yang menggunakannya (Mouritz dan Gibson, 2006). Pada penelitian yang dilakukan (Abduh, 2016) pengujian tarik tertinggi pada komposit tanpa *Montmorillonite* (MMt) variasi 3 lamina *fiber glass* sebesar 112,0 MPa dan terendah pada komposit tanpa MMt 1 lamina 32,3 MPa. Sedangkan dari hasil pengujian bakar dengan beban tarik konstan 200 kg, waktu kegagalan tertinggi pada komposit tanpa MMt variasi 3 lamina sebesar 460 detik. Namun, meskipun waktu kegagalannya lebih lama, komposit tanpa MMt terdapat nyala api pada spesimen.

Komposit polimer banyak digunakan diberbagai bidang saat ini, karena komposit polimer mempunyai ketahanan dan kekuatan yang baik juga ringan (Gibson, 2012). Informasi tentang stabilitas termal juga diperlukan untuk mengetahui rentang suhu bahan komposit dapat dipakai tanpa mengalami degradasi (Ferreira et al., 2006). Saat terjadi proses degradasi, komposit

mengalami 3 tahapan. Tahap pertama air mengalami dehidrasi kemudian menguap, tahap kedua terjadinya dekomposisi dimana proses ini yaitu rusaknya rantai polimer pada komposit, dan tahap ketiga tahap dimana molekul udara dikonvensi menjadi H<sub>2</sub>O dan CO<sub>2</sub> melalui oksidasi arang (Kandare et al., 2008; Tibiletti et al., 2011). Berdasarkan penelitian (Nasiruddin, 2014), dalam komposit *polyester* partikel *montmorillonite* berpenguat serat kenaf menunjukkan bahwa Komposit dengan partikel *montmorillonite* mempunyai keunggulan terhadap termal, akan tetapi mempunyai kekuatan tarik yang rendah dibandingkan komposit tanpa *montmorillonite*.

Menurut penelitian (K. John, 2004) bahwa komposit unsaturated polyester dengan berpenguat fiber glass mempunyai kekuatan tarik sebesar 39,85 MPa. Hasil penelitian selanjutnya menunjukkan nilai uji tarik sebesar 85 MPa pada fraksi 40% *fiber glass* dan 100% *unsaturated polyester* (M.B. Kulkarni, 2015). Menurut (R. Daulth) dari hasil penelitian pada fraksi 30% *fiber glass* dan 70% *unsaturated polyester* 75,75 N.mm<sup>-2</sup>. Penelitian berikutnya menunjukkan bahwa persentase fraksi volume fiber glass pada komposit dapat meningkatkan kekuatan tarik sebesar 43 MPa.

Keterbatasan komposit matrik polimer terhadap paparan panas dan ketahanan api serta kemampuan partikel kopi pada ketahanan termal belum diketahui. Pada penelitian ini akan dilakukan dua pengujian yaitu analisis ketahanan api dibawah beban tarik terhadap uji komposit matrix *unsaturated polyester* berpenguat *fiber glass* dengan partikel ampas kopi dengan tujuan meningkatkan kinerja komposit akibat perlakuan setelah terbakar dan analisis paparan panas pada terhadap komposit dimana kinerja serat kaca dalam meningkatkan kekuatan tarik akan menjadi topik penelitian yang menarik.

## 1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimanakah pengaruh variasi layer *fiber glass* terhadap waktu kegagalan komposit ampas kopi pada uji bakar dengan pembebanan tarik ?
2. Bagaimana pengaruh variasi suhu (80,100,120,140,160, dan 180 °C) pada variasi layer *fiber glass* terhadap kekuatan tarik komposit ampas kopi?

3. Bagaimanakah morfologi komposit ampas kopi sesudah dilakukan pengujian ketahanan bakar dan termal mekanis?

### 1.3 Batasan Penelitian

1. Tidak membahas dekomposisi termal komposit ampas kopi.
2. Tidak membahas konduktifitas termal komposit ampas kopi.
3. Fokus penelitian pada sifat mekanik komposit terhadap tahan api dan termal mekanis.

### 1.4 Tujuan Penelitian

1. Mengetahui pengaruh variasi layer *fiber glass* terhadap waktu kegagalan komposit ampas kopi pada uji bakar dengan pembebanan tarik.
2. Mengetahui pengaruh variasi suhu (80,100,120,140,160, dan 180 °C) pada variasi layer *fiber glass* terhadap kekuatan tarik komposit ampas kopi.
3. Mengetahui morfologi komposit ampas kopi sesudah dilakukan pengujian ketahanan bakar dan termal mekanis.

### 1.5 Manfaat Penelitian

1. Dapat memahami pengaruh variasi layer *fiber glass* terhadap waktu kegagalan komposit ampas kopi pada uji bakar dengan pembebanan tarik.
2. Dapat memahami pengaruh variasi suhu (80,100,120,140,160, dan 180 °C) pada variasi layer *fiber glass* terhadap kekuatan tarik komposit ampas kopi.
3. Dapat memahami morfologi komposit ampas kopi sesudah dilakukan pengujian ketahanan bakar dan termal mekanis.

### 1.6 Hipotesa

Penambahan variasi jumlah layer *fiber glass* pada komposit ampas kopi akan menyebabkan semakin lama waktu kegagalan pada kondisi dibakar dengan pembebanan tarik konstan. semakin banyak penambahan variasi layer *fiber glass* pada komposit ampas kopi menyebabkan kekuatan tarik meningkat akan tetapi apabila adanya penambahan variasi suhu pemanasan yang diberikan maka

kekuatan tarik pada komposit ampas kopi menurun dikarenakan komposit telah mencapai suhu dekomposisinya.





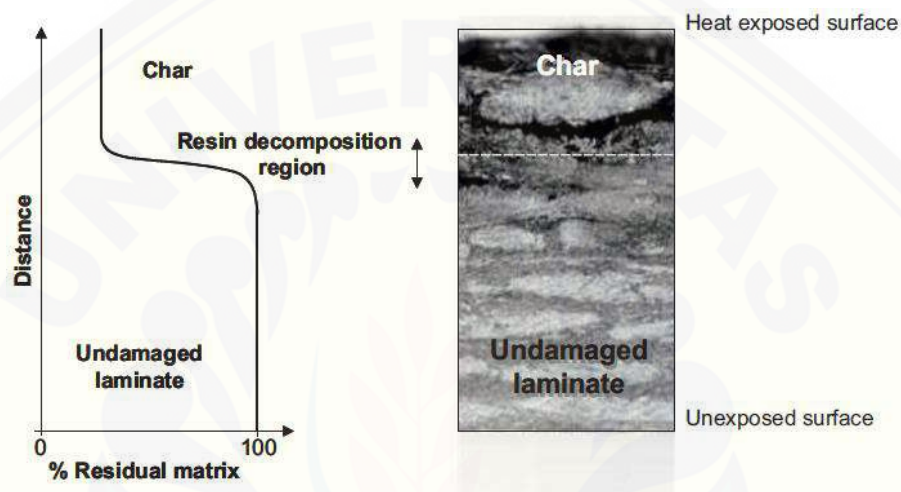
## BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Material Komposit

Komposit merupakan material yang tersusun dari dua atau lebih jenis material yang membentuk suatu karakteristik yang baru. Komposit mempunyai dua komponen sebagai penyusunnya yaitu *matrix* berfungsi sebagai pengikat atau disebut juga resin dan *reinforced* berfungsi sebagai penguat selain itu juga dapat disebut *filler*. *Filler* juga mempunyai beberapa macam seperti partikel atau serat yang mana peran penguat sebagai material yang mendistribusikan gaya yang diterima komposit (Junus, 2011). Menurut (Budinski, 2003), secara makroskopis bagian komposit dapat dibedakan antara penguat dan pengikatnya. Penguat atau *reinforced* mempunyai banyak macam jenisnya seperti *filament* (benang), *fiber* (serat), dan *particle* (serbuk). Penggunaan jenis-jenis penguat ini pada umumnya digunakan pada polimer maupun thermoplastik (Bernins, 1991).

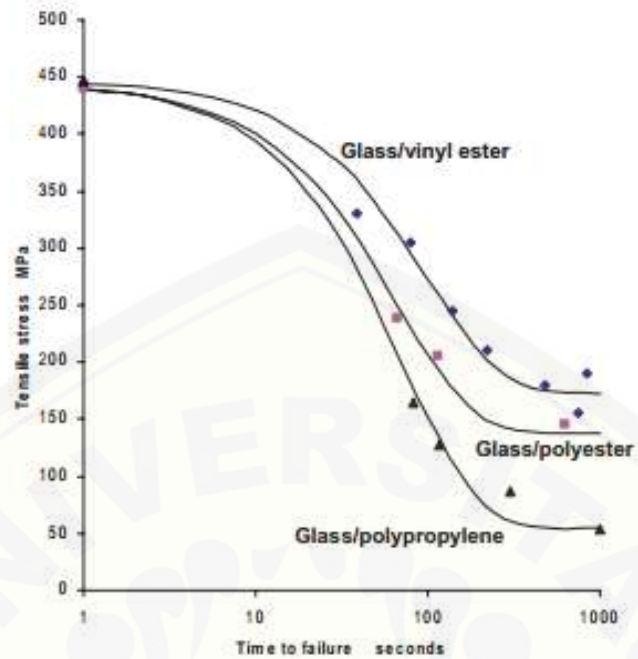
Sebuah komposit yang memiliki sifat reaksi api yang baik, seperti laju pelepasan panas dan hasil asap yang rendah, belum tentu memiliki sifat resistif api yang baik. Komposit dengan *matrix polymer* yang memiliki stabilitas termal yang tinggi, suhu dekomposisi dan hasil arang mungkin tidak selalu memiliki sifat api resistif lebih baik dari bahan yang lebih mudah terbakar. Misalnya, laminasi fenolik umumnya menunjukkan sifat baik terhadap reaksi api dari laminasi poliester tak jenuh, termasuk waktu pengapian lebih lama, laju pelepasan panas yang lebih rendah, lebih lambat api menyebar dan asap yang lebih sedikit, tapi sifat mekanik mereka sering dapat menurunkan lebih cepat ketika terbakar. Sampai saat ini, sedikit yang diketahui tentang sifat-sifat struktural komposit ketika terbakar. Memahami kinerja struktural dalam api adalah masalah keamanan penting karena hilangnya kekakuan, kekuatan dan ketahanan mulur dapat menyebabkan struktur komposit untuk mendistorsi dan runtuhnya; mungkin akan mengakibatkan cedera dan kematian (Mouritz dan Gibson, 2006). Material komposit yang dirancang untuk memberikan sifat ideal untuk banyak aplikasi struktural (Dodds, *dkk*, 2000).

Kegagalan yang terjadi pada komposit laminate akibat panas dapat menyebabkan delaminasi dan *cracking*, Hal ini komposit mengalami *dekomposisi thermal* yaitu rusaknya rantai polimer pada komposit sehingga komposit mengalami pelunakan dan pengurangan pada *matrix* maupun *fiber* organik. Semakin lama waktu pembakaran maka dekomposisi pada permukaan komposit secara *progresive* meluas, Hal ini menyebabkan wilayah arang semakin meluas dengan cepat hingga *matrix* menjadi arang (Mouritz dan Gibson, 2006).



Gambar 2. 1 Perbedaan wilayah kerusakan akibat kegagalan panas komposit (Mouritz dan Gibson, 2006).

Kekuatan tarik saat dilakukan pengujian bakar selama 1000 detik mengalami penurunan yang mana, hal ini terjadi pada tiga komposit : *glass/vinyl ester*, *glass/polyester* dan *glass/polypropylene* (Mouritz dan Gibson, 2006).



Gambar 2. 2 Hasil uji api di bawah beban tarik dengan burner propana *heat flux* konstan  $75 \text{ kW/m}^2$  pada *glass/vinylester*, *glass/polyester* dan *glass/polypropylene* (Mouritz dan Gibson, 2006).

## 2.2 Jenis-jenis Komposit

Komposit di tinjau dari penguatnya dapat dibedakan menjadi beberapa macam antara lain (Miroslava,2015), yaitu:

### 2.2.1 Komposit Serat

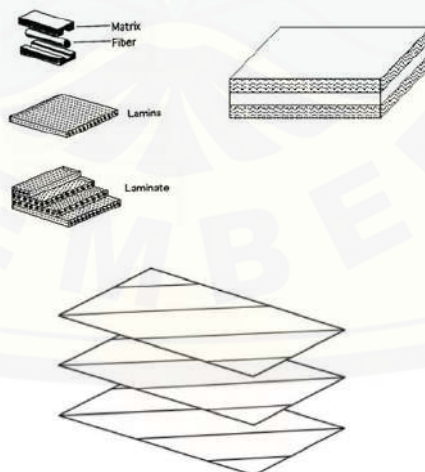
Serat (*fiber*) lebih kuat dari bahan padat (padat / tebal) yang sama. Kekuatan serat terutama tergantung pada penampangnya. Dengan penurunan penampang, kekuatan serat meningkat (karena menerapkan proses penguatan, tergantung pada tingkat deformasi). Serat biasanya memiliki penampang lingkaran dan diameter dalam rentang yang luas. Sebagai perbandingan, rambut manusia memiliki diameter 0,05 mm dan serat laba-laba (Spider fiber) memiliki 0,015 mm..



Gambar 2. 3 Komposit Serat (Mallick, 2007)

### 2.2.2 Komposit Laminat

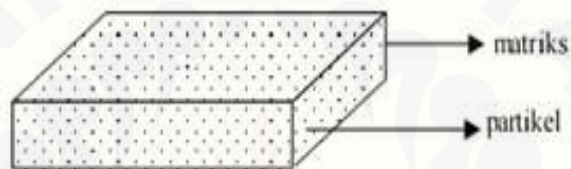
Laminat (komposit laminat) dibentuk dengan menggabungkan beberapa lapisan polimer dan penguat. Produk dari laminat diproduksi dengan melapisi dengan layer atau mats untuk mencapai kekuatan dan kekakuan produk yang diinginkan. Setiap lapisan laminat mempunyai karakteristik berbeda dan komposit laminat mempunyai ketahanan lentur yang lebih baik.



Gambar 2. 4 *Unidirection Laminate* ( Mallick, 2007)

### 2.2.3 Komposit Partikel (Particulate Composite)

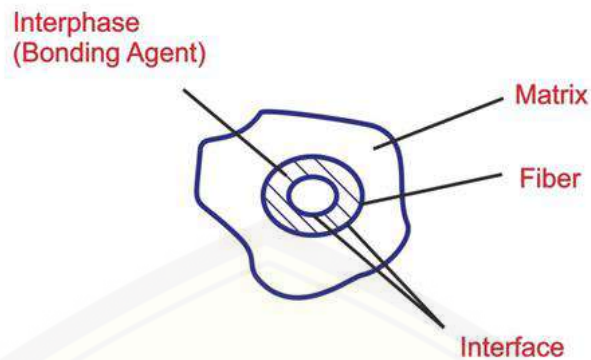
Partikel dalam komposit biasanya digunakan tidak hanya untuk meningkatkan sifat mekanik, tetapi sering (juga) untuk meningkatkan atau memodifikasi sifat seperti tahan panas, konduktivitas listrik, redaman getaran, ketahanan aus, kekerasan, ketahanan terhadap suhu tinggi, dll. tulangan partikulat, dispersi masing-masing, ada dapat digunakan hampir apa saja, tetapi paling sering dispersi partikel keramik digunakan. Partikel yang optimal adalah dimana partikel memiliki ukuran mikrometer ( $\mu\text{m}$ ). Komposit partikel dapat diilustrasikan seperti gambar dibawah ini.



Gambar 2. 5 Komposit Patikel (Mallick, 2007)

## 2.3 Susunan Komposit

Komposit terdiri dari dua fasa utama yaitu matrix dan reinforced yang mana matrix atau bisa disebut fasa pertama berperan sebagai pelindung bagi penguat terhadap gangguan dari luar, mendistribusikan gaya dari luar, dan ketahanan terhadap termal. Reinforced atau bisa disebut penguat berperan penting dalam menyusun karakteristik komposit yang mana penguat sangat berperan dalam memberikan kekuatan dan kekakuan komposit (Miroslava,2015). Terdapat dua fasa yang dominan pada komposit mengakibatkan atau menyebabkan beberapa daerah atau yang sering disebut interphase yang berperan sebagai pengikat antara reinforced dan matrix, dan interface merupakan daerah perbatasan antara fasa reinforced dengan fasa matrix (Schwartz,1986). Struktur penyusun komposit dapat dilihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2. 6 Struktur penyusun komposit (R. Jones, 1999)

### 2.3.1 Matrik

Matriks adalah salah satu fasa pembentuk komposit yang mana komposisinya lebih besar dibandingkan dengan fasa lainnya. Matriks selain berperan untuk melindungi penguat dari keadaan lingkungan diluar juga sebagai fasa yang bertugas untuk menyalurkan atau mendistribusikan gaya dari luar (Gibson, 1994). 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. Tetap stabil setelah proses manufaktur.

### 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 (Miroslava,2015):

#### 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 impurities 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*

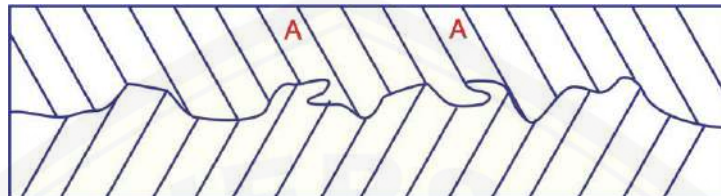
*Fiber Glass* sangat umum digunakan dalam industri karena bahan baku yang sangat banyak tersedia. Komposisi *fiber glass* mengandung silika yang berguna memberikan kekerasan, fleksibilitas dan kekakuan. Proses pembentukan *fiber glass* melalui proses *fusion (melting)* terhadap silika dengan campuran 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*

Ketika beban diterapkan pada material komposit, beban secara langsung dibawa oleh matriks dan dipindahkan ke serat dari matriks melalui interface. Jadi, jelas bahwa transfer beban dari matriks ke serat tergantung pada interface. Interface ini dapat dibentuk oleh ikatan kimia, mekanik, dan reaksi. Dalam kebanyakan kasus, lebih dari satu jenis ikatan terjadi.:

### 1. Ikatan Mekanis

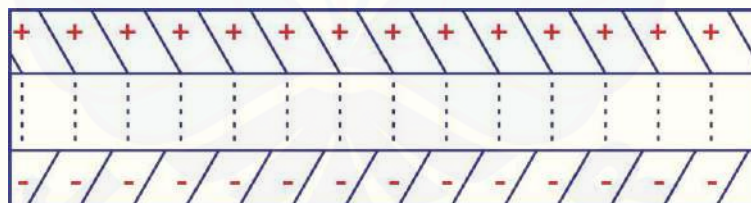
Setiap bahan memiliki kekasaran alami di permukaannya. Dalam material komposit, kekasaran pada permukaan serat menyebabkan saling terkait antara serat dan matriks yang mengarah pada pembentukan ikatan mekanis.



Gambar 2. 7 *Mechanical bonding*

### 2. Ikatan Reaksi

Ikatan ini terjadi ketika molekul serat dan matriks berdifusi satu sama lain hanya di interface. Karena interdifusi ini, lapisan interface yang berbeda, yang disebut interphase, hal ini terbuat dengan sifat yang berbeda dari serat atau matriks. Meskipun lapisan tipis ini membantu membentuk ikatan reaksi, ia juga mengembangkan microcracks dalam serat. Microcracks ini mengurangi kekuatan serat dan akibatnya dari komposit.

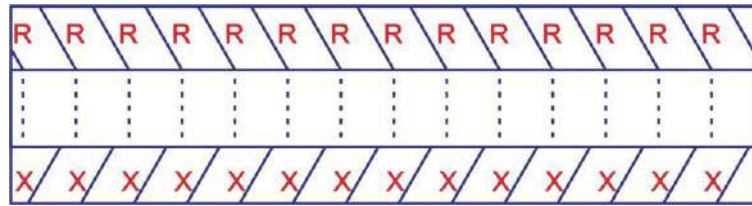


Gambar 2. 8 *Electrostatic bonding*

### 3. *Chemical Bonding*

Terbentuk antara permukaan serat dan matriks. Beberapa serat mengikat secara alami ke matriks dan yang lain tidak. Agen kopling sering ditambahkan untuk membentuk ikatan kimia. Agen kopling adalah senyawa yang diterapkan pada permukaan serat untuk meningkatkan ikatan antara serat dan matriks



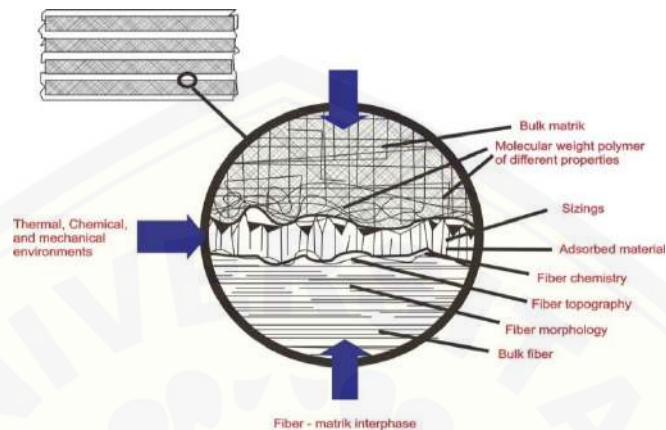
Gambar 2. 9 *Chemical bonding*

*Interface* dan *interphase* merupakan dua hal yang berbeda, Istilah *interface* itu sendiri di definisikan sebagai dua regio dimensional antara serat dan matrik yang memiliki ketebalan nol. Molekul matriks dapat dihubungkan dengan serat melalui reaksi kimia maupun dengan cara absorpsi, kedua hal tersebut menentukan kekuatan *interfacial* antara matriks dengan serat. *Interphase* merupakan daerah polymeric yang mengelilingi serat. *Interphase* mengandung material polymeric dengan ikatan kimia antara matriks dengan serat. *Interphase* antara serat dan matrik berperan dalam transfer beban pada serat. Distribusi beban tidak akan berjalan dengan baik tanpa *interface* yang baik. *Interface* yang kuat akan membuat transfer beban dapat terdistribusi dengan baik meskipun terdapat serat yang rusak. Adhesi antara serat dan matriks adalah factor yang penting untuk menentukan respon dari *interface* dan integritasnya dalam menahan stress

#### 2.3.4 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 (Lawrence T. Drzal, 2001):



Gambar 2. 10 Diagram skema dari serat - matriks interphase dan beberapa factor yang berkontribusi terhadap pembentukannya (Lawrence T. Drzal, 2001)

#### 2.4 Resin Unsaturated Polyester

Pada umumnya jenis resin yang paling sering digunakan adalah resin *epoxy*, *polyester*, *vinylester*, dan resin *polyurethane*. Semua resin tersebut diklasifikasikan sebagai *polymer* termoset. Karakteristik dan sifat *polymer* termoset memiliki banyak kelebihan jika dibandingkan dengan material lain sehingga *polymer* banyak disukai dan dimanfaatkan dalam berbagai sektor industri tersebut. Sifat dan karakteristik *polymer* termoset tersebut antara lain: *chemical reactive adhesives*, *thermal conductive adhesive*, *electrical conductive adhesive*, *corrosion resistance*, kekuatan tarik dan kekuatan bending, namun *thermoset* juga mempunyai kelemahan yaitu sifat sensitif menyerap air, getas dan *notch sensitive* (Mohd, dkk, 2010). Resin bersifat cair dengan fiksitas yang rendah, yang akan mengeras setelah terjadinya proses polimerisasi. *Unsaturated polyester* merupakan salah satu jenis resin termoset yang mempunyai viskositas yang 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 stuktur

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 thermoset 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). Spesifikasi ETERSET 2504 APT dapat dilihat pada Tabel 2.1.



Gambar 2. 11 Resin *Unsaturated Polyester Eterset 2504*

Tabel 2. 1 Resin *Unsaturated Polyester* ETERSET 2504 (ETERNAL CHEMICAL CO., LTD.)

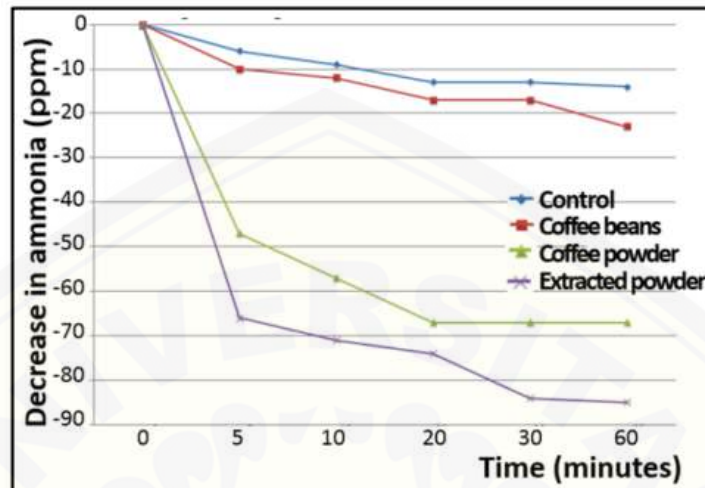
Sifat	Nilai Satuan dalam Matrik	Nilai dalam Satuan US
Densitas	1,12x10 <sup>3</sup> kg/m <sup>3</sup>	70 lb/ft <sup>3</sup>
Modulus Elastisitas	3,4 Gpa	493 Ksi
Kekuatan Tarik	60 Gpa	870 Psi
Penguluran	2 %	2 %
Kekuatan Lendut	113 Mpa	16400 Psi
Ekspansi Termal	31 x 10 <sup>-6</sup> °C	17 x 10 <sup>-6</sup> in/(in.hr)
Konduktivitas Termal	0,17 W/(m.K)	1,18 BTU.in/(hr.ft <sup>2</sup> .°F)
Temperatur Kerja Maksimum	170 °C	325 °F

## 2.5 Spent Coffee Ground (SCG)

Kopi adalah salah satu minuman paling populer dan dihargai di seluruh dunia, dikonsumsi karena sifatnya yang merangsang dan menyegarkan, yang ditentukan oleh komposisi kacang hijau dan perubahan yang terjadi selama proses pemanggangan. Sebagai konsekuensi dari pasar yang besar ini, industri kopi bertanggung jawab untuk menghasilkan residu dalam jumlah besar; di antaranya, ampas kopi yang dihabiskan (*Spent Coffee Ground*) dan silverskin kopi (CS) adalah yang paling signifikan dihasilkan. SCG adalah bahan sisa yang diperoleh selama perawatan bubuk kopi dengan air panas atau uap untuk persiapan kopi instan. Hampir 50% dari produksi kopi di seluruh dunia diproses untuk persiapan kopi yang larut, yang menghasilkan sekitar 6 juta ton SCG per tahun (Mussatto, dkk. 2011).

Kopi mempunyai nilai tambah selain dijadikan minuman yaitu sebagai bahan adiktif yang dapat menyerap bau. Penelitian yang dilakukan (Oiwa & Okuzawa, 2015) uji penyerapan bau antara biji kopi, bubuk kopi dan

ekstrak/ampas kopi terhadap penyerapan bau dari ammonia selama 60 menit dapat dilihat pada grafik dibawah ini :



Gambar 2. 12 Perubahan kandungan gas ammonia yang diserap terhadap waktu (Oiwa & Okuzawa, 2015)

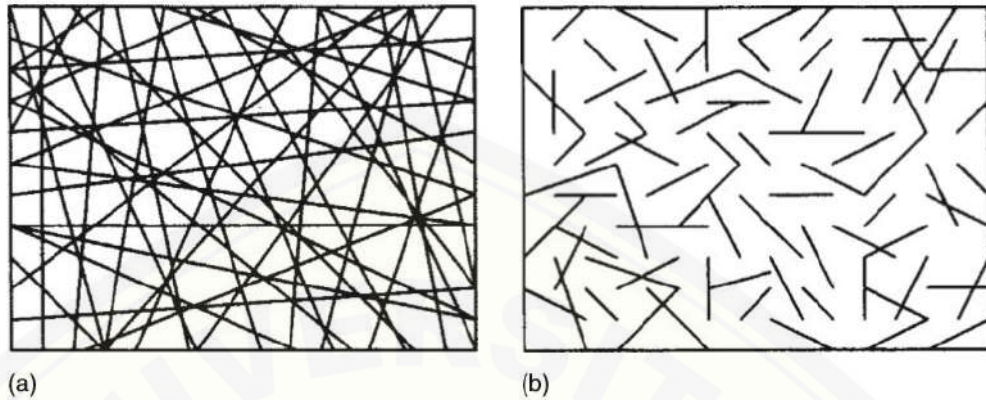
Pada grafik pengujian bau diatas menunjukkan bahwa extracted powder atau ampas kopi mempunyai nilai penyerapan bau amonia sebesar 85 ppm sedangkan coffee bean atau biji kopi mempunyai nilai terendah yaitu sebesar 23 ppm..

## 2.6 Fiber Glass

Serat kaca atau fiber glass terutama digunakan untuk memperkuat matriks polimer. Serat kaca memiliki kekuatan yang relatif tinggi tetapi modulus elastisitas yang relatif rendah dan rapuh. serat sebagian besar terjadi dalam bentuk berbagai mat (Miroslava,2015). Serat kaca memiliki beberapa macam sifat atau properties sebagai berikut :

1. Serat kaca memiliki densitas sebesar  $2,5 \text{ g.cm}^{-3}$
2. ketangguhan (kekakuan / ketegasan) kira-kira seperti aluminium
3. Modulus young  $1/3$  baja,  $E = 80$  hingga  $100 \text{ Gpa}$
4. Mempunyai kekuatan lelah (fatigue) yang kecil
5. Mempunyai nilai konduktivitas termal kurang dari  $1/2$  baja
6. Mempunyai nilai ekspansi termal kurang dari  $1/2$  baja

Menurut Mallick (2007), salah satu produk fiber glass yaitu random mats yang mana seperti berikut:



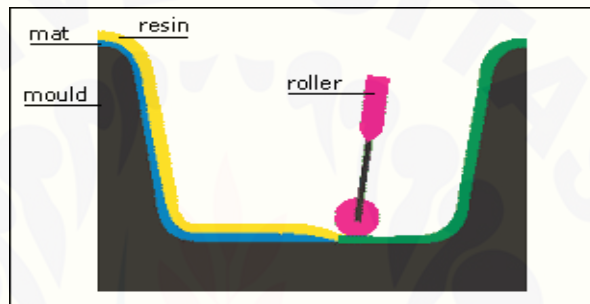
Gambar 2. 13 (a) *Continuoud Fiber Mat (CFM)* dan (b) *Chopped Strand Mat (CSM)* (Mallick,2007)

Komposit laminat dengan berpenguat serat kaca atau fiber glass pada variasi 2 lamina mempunyai kekuatan tarik sebesar 56,68 MPa dan kekuatan bending sebesar 28,81 MPa melalui penelitian tersebut dapat diambil kesimpulan bahwa serat kaca dapat berperan sebagai penguat pada komposit (Braga R.A, 2015).

## 2.7 Metode Komposit

Teknik hand lay-up adalah metode paling sederhana dalam pembuatan komposit. Persyaratan infrastruktur untuk metode ini juga minim. Langkah-langkah pemrosesannya cukup sederhana. Pertama-tama, gel rilis disemprotkan pada permukaan cetakan untuk menghindari menempelnya polimer ke permukaan. Lembaran plastik tipis digunakan di bagian atas dan bawah pelat cetakan untuk mendapatkan hasil akhir yang baik dari produk. Penguatan dalam bentuk mats dipotong sesuai ukuran cetakan dan ditempatkan pada permukaan cetakan setelah lembar plastik. Kemudian polimer termoseting dalam bentuk cair dicampur dengan seksama dalam proporsi yang sesuai dengan pengeras yang ditentukan (curing agent) dan dituangkan ke permukaan mats yang sudah ditempatkan dalam cetakan. Polimer disebarakan secara seragam dengan bantuan sikat. Lapisan kedua mat kemudian ditempatkan pada permukaan polimer dan roller dipindahkan

dengan tekanan ringan pada lapisan mat-polimer untuk menghilangkan udara yang terperangkap serta kelebihan polimer yang ada. Proses ini diulangi untuk setiap lapisan polimer dan mat, sampai lapisan yang diperlukan ditumpuk. Setelah menempatkan lembaran plastik, gel lepas disemprotkan pada permukaan bagian dalam pelat cetakan atas yang kemudian disimpan pada lapisan yang ditumpuk dan tekanan diterapkan. Setelah pengeringan baik pada suhu kamar atau pada suhu tertentu, cetakan dibuka dan bagian komposit yang dikembangkan dikeluarkan dan diproses lebih lanjut (Miroslava,2015). Skema proses hand lay up dapat dilihat pada Gambar 2.14.



Gambar 2. 14 Metode *Hand Lay Up* (Mallick, 2007)

Metode hand lay up banyak diaplikasikan pada bidang seperti komponen pesawat terbang, suku cadang otomotif, lambung kapal, papan diase, dek dll.

## 2.8 Karakterisasi Komposit

### 2.8.1 Pengujian Morfologi Makro

Pengujian Makro digunakan untuk mengetahui posisi patahan yang terjadi pada spesimen pada setelah pengujian. Pengujian makro menggunakan kamera dengan resolusi 13 MP. Berikut kode patahan pada komposit berdasarkan ASTM 3039.

Tabel 2. 2 Kode patahan berdasarkan ASTM 3039

Karakter Pertama		Karakter Kedua		Karakter Ketiga	
Lokasi Kegagalan	Kode	Lokasi Kegagalan	Kode	Lokasi Kegagalan	Kode
Sudut	A	Didalam Cekam	I	Bottom	B

Delaminasi	D	Pada Grip/Cekam	A	Top	T
Grip/Cekam	G	<1 W dari grip	W	Left	L
Lateral	L	Gage	G	Right	R
Multi-mode	M	Multiple Areas	M	Middle	M
Long splitting	S	Various	V	Various	V
Explosive	X	Unknown	U	Unknown	U
Other	O				



Gambar 2. 15 Bentuk Patahan Komposit (ASTM D 3039)

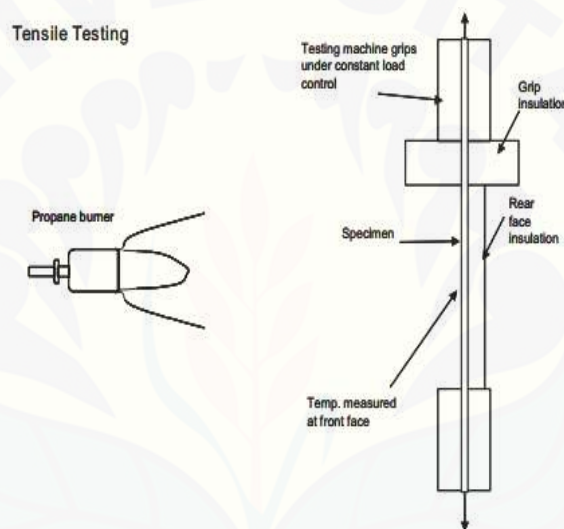
### 2.8.2 Pengujian Morfologi Mikro

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui struktur mikro yang terdapat pada material dengan skala 1 – 100  $\mu\text{m}$ . Pengujian mikro dapat melihat void yang terdapat pada material, patahan, retakan, matriks maupun kerusakan yang terjadi pada material oleh gaya maupun pengujian seperti delaminasi, cracking, patah getas, dan fiber pull out.



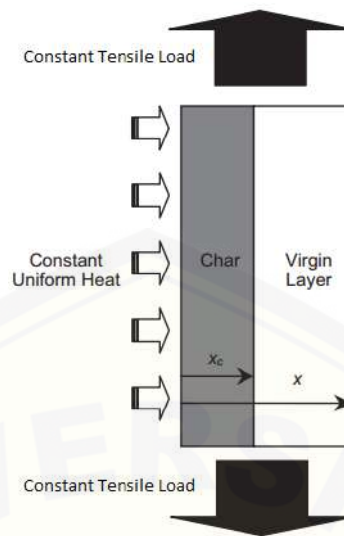
### 2.8.3 Uji Ketahanan Bakar

Pengujian ketahanan api komposit dengan beban tarik, merupakan pengujian membakar komposit di salah satu sisinya dalam beberapa waktu dengan *heat flux* yang dikalibrasi serta diberikan beban tarik konstan. Pada penelitian ini yang diukur adalah *time to failure* yaitu waktu yang dibutuhkan komposit untuk mencapai batas kegagalan atau patah. Dalam metode ini metode ini diperlukan mengisolasi pencekam atas alat uji tarik dengan *kaawol* setebal 15 mm agar tidak terjadi *overheating* (Mouritz dan Gibson, 2006). Skema pengujian yang akan dilakukan seperti Gambar 2.16.



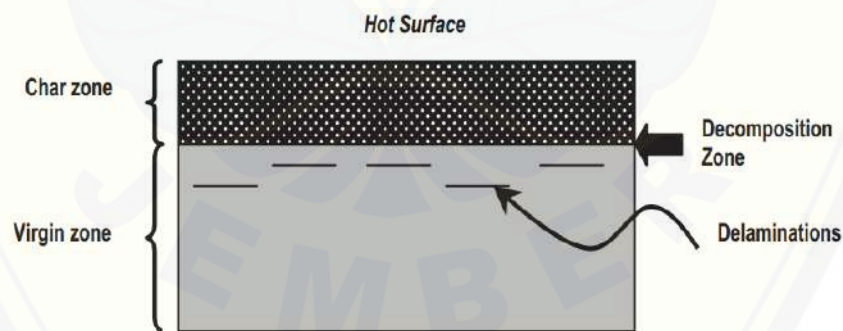
Gambar 2. 16 Eksperimental set-up untuk uji bakar bersama dengan pembebanan tarik (Mouritz dan Gibson, 2006).

Untuk pengujian bakar dengan beban tarik konstan, hal yang dipertahankan ialah beban tarik dan *heat flux* yang dipaparkan api pada spesimen. Skema pengujian dan parameter yang dipertahankan berdasarkan Gambar 2.17.



Gambar 2. 17 Skema pengujian bakar di bawah beban konstan (Mouritz dan Gibson, 2006).

Pengaruh *heat flux* dari paparan api menyebabkan spesimen pecah dan pengurangan pada *matrix* serta terjadi *delaminasi*. Patahan spesimen akan dianalisa setelah pengujian, untuk mengetahui penyebab hasil pengujian. Contoh gambar untuk analisa patahan spesimen komposit berdasarkan pada Gambar 2.19.



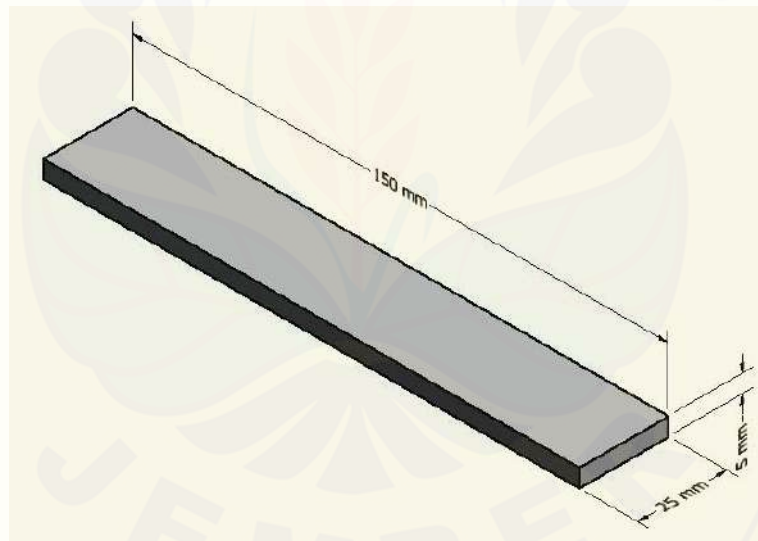
Gambar 2. 18 Foto skema kerusakan laminasi polymer termoset akibat (paparan Api) kebakaran (Mouritz dan Gibson, 2006).

Dibawah wilayah dekomposisi, komposit termasuk delaminasi yang retak diantara lapisan dan retak *matrix* yang baik dalam lapisan. Daerah terdekat permukaan dingin pada laminat tidak terpengaruh panas karena temperatur terlalu

rendah untuk menyebabkan berbagai pelunakan atau dekomposisi pada *matrix*. Dengan menambah waktu pembakaran, wilayah dekomposisi dan wilayah arang bertambah secara progresif pada permukaan yang tidak terkena panas sebelumnya dan secepatnya *matrix polymer* secara sempurna menjadi arang (Mouritz dan Gibson, 2006).

#### 2.8.4 Uji Termal Mekanis

Pengujian termal mekanis adalah pengujian yang melibatkan perlakuan panas saat dilakukan uji tarik maupun uji kekuatan mekanis yang lain. Uji termal mekanis yang dilakukan menggunakan standar ASTM D 3039 yaitu standar pengujian tarik pada polimer komposit. Pada pengujian termal mekanis langkah awal yaitu memberikan paparan panas pada spesimen uji kemudian ditahan selang beberapa waktu setelah itu dilakukan pengujian tarik. Untuk perhitungan uji tarik menggunakan rumus sebagai berikut :



Gambar 2. 19 Standar persiapan sampel uji (ASTM D 3039)

Perhitungan *ultimate tensile strength* menggunakan persamaan dibawah ini (ASTM D 3039) :

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

Keterangan:

- $\sigma_{tu}$  = kekuatan tarik ultimate MPa [psi];  
 $F_{max}$  = beban maksimum sebelum kegagalan, N [lbf];  
 $A_0$  = luasan seksi silang rata-rata dari lebar x tebal, mm<sup>2</sup> [in<sup>2</sup>], sebesar 125 mm<sup>2</sup>

$$\sigma_i = P_i/A_0 \quad (2.2)$$

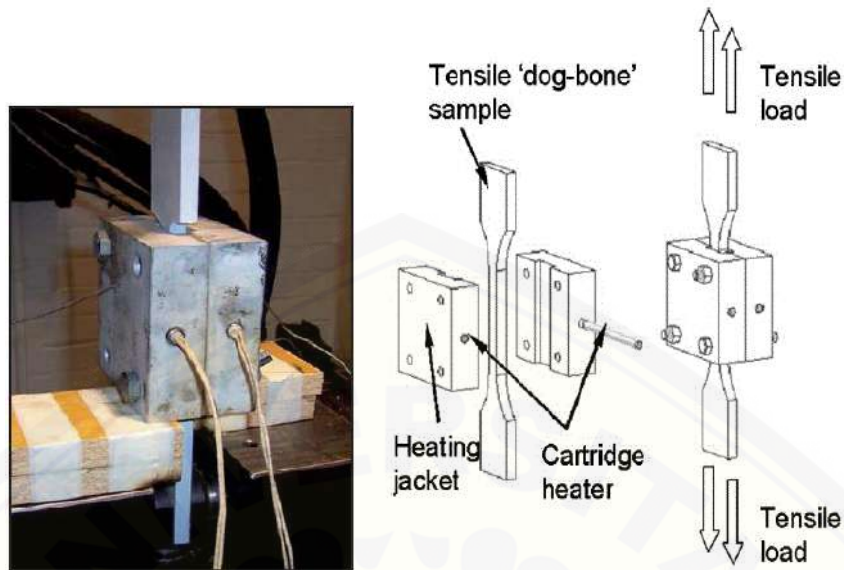
Keterangan:

- $\sigma_i$  = tegangan tarik pada data yang ke-, MPa [psi];  
 $P_i$  = beban pada data yang ke-, N [lbf];  
 $A_0$  = luasan seksi silang rata-rata dari lebar x tebal, mm<sup>2</sup> [in<sup>2</sup>], sebesar 125 mm<sup>2</sup>

$$\varepsilon = \Delta L/L_0 \quad (2.3)$$

Keterangan :

- $\varepsilon$  = besar regangan (mm)  
 $\Delta L$  = pertambahan panjang (mm)  
 $L_0$  = panjang mula-mula (mm)



Gambar 2. 20 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).

## BAB 3 METODOLOGI

### 3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Pelaksanaan penelitian dilaksanakan pada April sampai Mei 2018 di Laboratorium Teknologi Terapan dan Laboratorium Uji Bahan Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Jember.

### 3.2 Alat dan Bahan Penelitian

#### 3.2.1 Alat

1. *Computer Universal Machine Testing HT-2405.*

*Computer Universal Machine Testing HT-2405* yang digunakan pada penelitian dapat dilihat dibawah ini:



Gambar 3. 1 Computer Universal Machine Testing HT-2405.

2. Timbangan Kapasitas 200 kg.

Timbangan Kapasitas 200 kg yang digunakan pada penelitian dapat dilihat dibawah ini:



Gambar 3. 2 Timbangan Kapasitas 200 kg

3. Burner Butana.

Burner butana yang digunakan pada penelitian dapat dilihat dibawah ini:



Gambar 3. 3 Burner Butana

4. Ayakan dengan Ukuran >80 Mesh.

Ayakan dengan Ukuran >80 Mesh yang digunakan pada penelitian dapat dilihat dibawah ini:



Gambar 3. 4 Ayakan dengan Ukuran >80 Mesh.

5. Timbangan digital 500 gram.

Timbangan digital 500 gram yang digunakan pada penelitian dapat dilihat dibawah ini:



Gambar 3. 5 Timbangan digital 500 gram.



6. Cetakan Komposit dari Kaca.

Cetakan Komposit dari Kaca. yang digunakan pada penelitian dapat dilihat dibawah ini:



Gambar 3. 6 Cetakan Komposit dari Kaca.

7. *Vacuum Chamber*

*Vacuum Chamber* yang digunakan pada penelitian dapat dilihat dibawah ini:



Gambar 3. 7 Vacuum Chamber

### 8. *Optical*

*Optical* yang digunakan pada penelitian dapat dilihat dibawah ini:



Gambar 3. 8 Optical

### 9. Kamera DSLR

Kamera DSLR yang digunakan pada penelitian dapat dilihat dibawah ini:



Gambar 3. 9 Kamera DSLR

## 3.2.2 Bahan

### 1. *Fiber Glass*.

*Fiber Glass* yang digunakan pada penelitian dapat dilihat dibawah ini:



Gambar 3. 10 Fiber Glass

2. Resin *Polyester* ETERSET 2504 APT.

Resin *Polyester* ETERSET 2504 APT yang digunakan pada penelitian dapat dilihat dibawah ini:



Gambar 3. 11 Resin *Unsaturated Polyester ETERSET 2504 APT*

3. Partikel ampas kopi ukuran 80 Mesh.

Partikel ampas kopi ukuran 80 Mesh yang digunakan pada penelitian dapat dilihat dibawah ini:



Gambar 3. 12 Partikel ampas kopi 80 MESH

#### 4. Katalis / *Hardener*

Katalis / *Hardener* yang digunakan pada penelitian dapat dilihat dibawah ini



Gambar 3. 13 Katalis MEPOXE

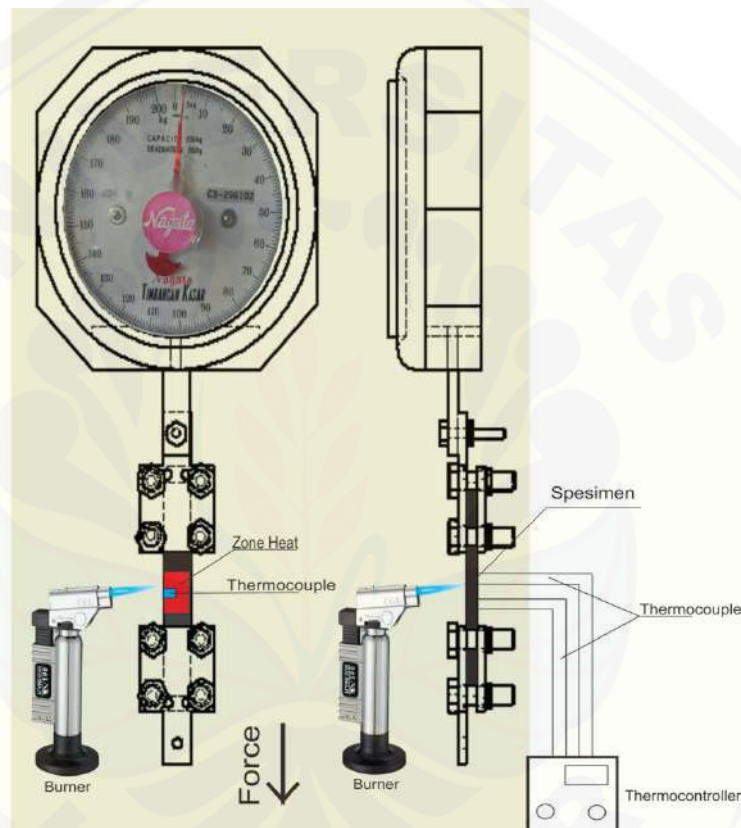
### 3.3 Prosedur Penelitian

#### 3.3.1 Langkah-langkah Pembuatan Sampel

1. Partikel kopi dicuci dengan air terlebih dahulu kemudian dihancurkan dengan mesin penghancur kemudian diayak dengan mesin ayak mesh 80.
2. Partikel kopi dipertahankan pada suhu 80<sup>0</sup>C selama 30 menit.
3. *Fiber glass* dipotong sesuai kebutuhan dimensi sesuai ASTM D 3039 dengan sebanyak variasi lamina 0 layer, 1 layer, 2 layer, 3 layer, 4 layer dan 5 layer.
4. Cetakan kaca di susun dan di rakit sesuai dengan kebutuhan dimensi ASTM D 3039 serta *fiber glass* diletakkan dalam cetakan pada posisi tengah.
5. Cetakan terbuat dari kaca dengan tebal 5 mm dan dirakit sesuai dengan ukuran pada gambar dan direkatkan dengan menggunakan *double tip*.
6. Proses pencampuran bahan, dengan fraksi volume *Unsaturated Polyester* 60 % dan kopi 40%, kemudian masukkan pada *vacuum chamber* untuk meminimalisir void pada campuran komposit.
7. Penambahan katalis 1% volume *matrix*, dan diaduk merata.
8. Setelah itu campuran dituang dalam cetakan, ditekan dan diratakan menggunakan kuas.
9. Pada permukaan cetakan ditutup dengan menggunakan lembaran plastik dan diratakan dengan stik sesuai dengan tebal cetakan.

10. Komposit dilepaskan dari cetakan.
11. Komposit dipotong dengan menggunakan gerinda duduk untuk mendapatkan ukuran spesimen uji.
12. Proses pengukuran dengan menggunakan jangka sorong.

### 3.3.2 Langkah-langkah Pengujian Sampel Uji Ketahanan Bakar



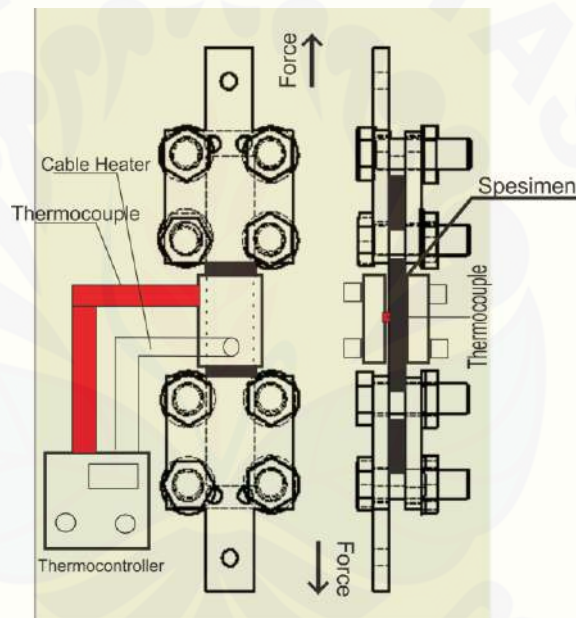
Gambar 3. 14 Model dan skema pengujian tarik dengan pembakaran salah satu sisinya

Cekam spesimen (sesuai ASTM D 3039) diatas dan dibawah. Kemudian, cekaman atas digantung pada timbangan. Cekaman bawah diberikan pembebanan tarik hingga timbangan menunjukkan 90 kg setara dengan 7 MPa. Selanjutnya, pasang *thermocouple* pada permukaan spesimen dan posisikan di titik tengah antara cekaman atas-bawah. Ujung nyala api disejajarkan dengan *thermocouple*. Atur jarak ujung nyala api sampai spesimen sejauh 10 mm dengan menggunakan nyala api normal. Setelah suhu permukaan spesimen mencapai 200°C, kemudian stopwatch dihidupkan dengan menghitung waktu yang dibutuhkan material

komposit untuk mencapai batas kegagalan atau patah dengan. Gambar 3.14 merupakan proses uji bakar dengan pembebanan tarik konstan.

### 3.3.3 Langkah-langkah Pengujian Sampel Termal Mekanis

Sampel dipasang pada mesin uji tarik bersamaan pemanas / *heater* dipasangkan pada sampel. Kemudian *thermocouple* diletakkan antara plat heater dan komposit, 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.



Gambar 3. 15 Skema pengujian termal mekanis

## 3.4 Analisa Data

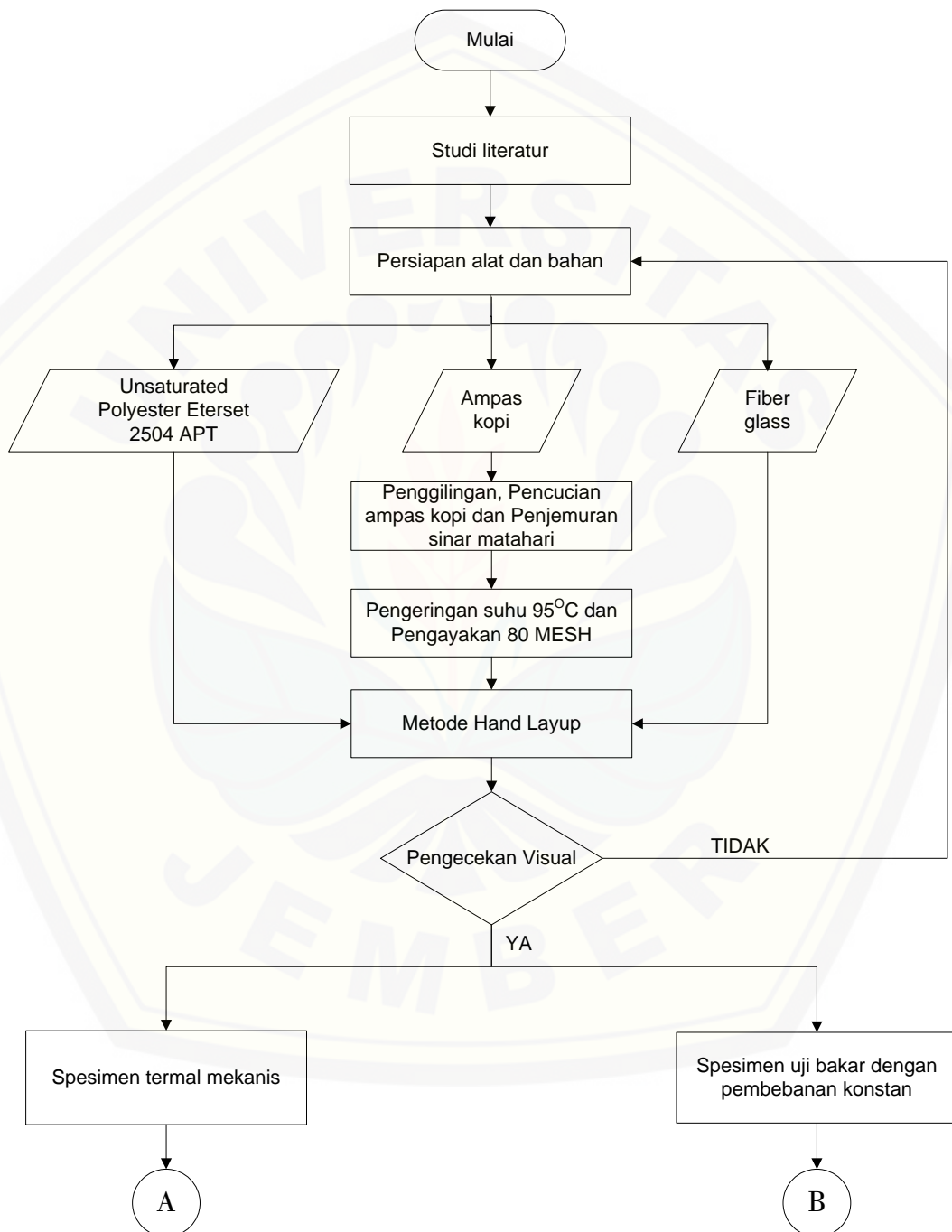
Analisa data dilakukan setelah diperoleh hasil pengujian morfologi, pengujian tarik dengan termal mekanis dan uji tarik dengan pembakaran pada salah satu sisi luarnya terhadap komposit *polyester* serat *fiber glass* aditif kopi ialah sebagai berikut:

1. Analisa pengaruh variasi layer *fiber glass* terhadap waktu kegagalan komposit *matrix polyester* dengan aditif kopi pada saat uji bakar dengan beban tarik konstan.
2. Analisis pengaruh variasi paparan panas terhadap kekuatan tarik pada komposit *unsaturated polyester* dengan *montmorillonite* dan *fiber glass*.
3. Analisis morfologi patahan komposit setelah uji bakar dengan beban tarik konstan.

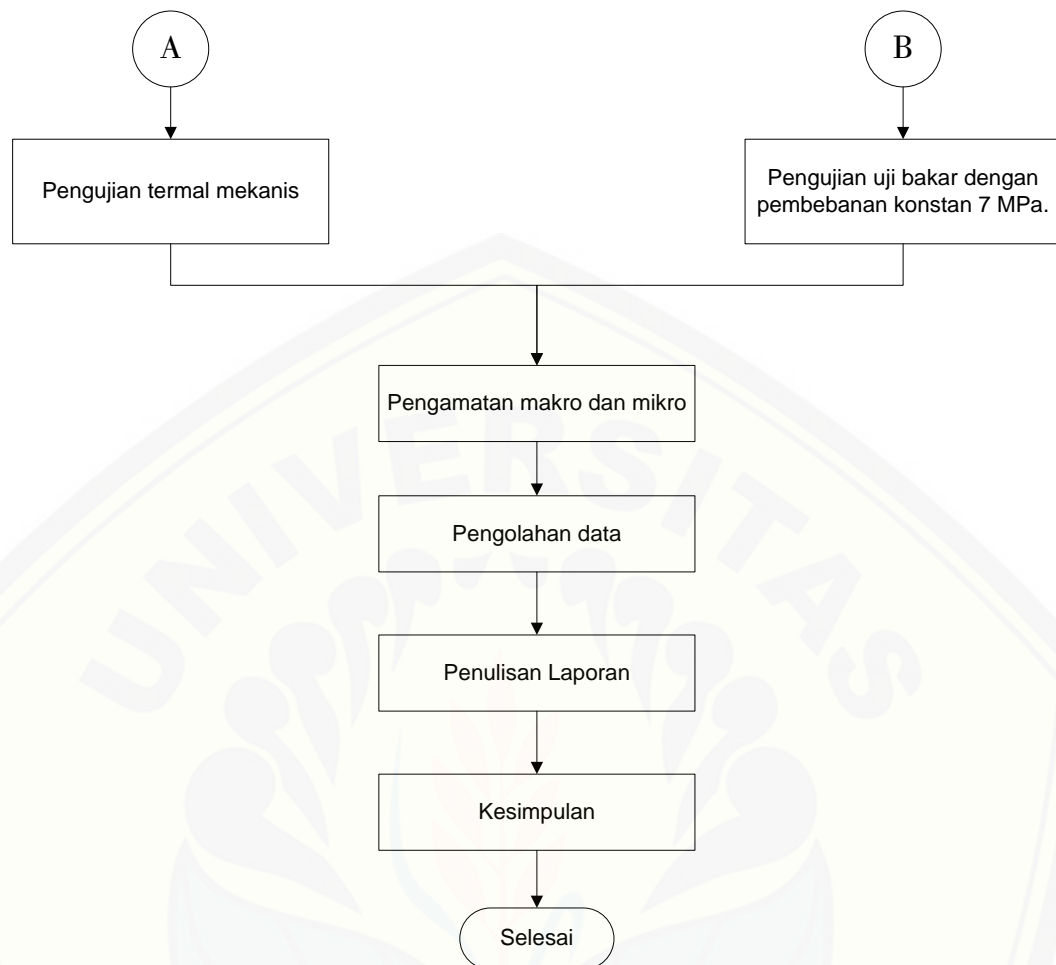


### 3.5 Diagram Alir

Tahapan penelitian yang dilakukan pada penelitian dapat dilihat pada diagram alir dibawah ini :







Gambar 3. 16 Diagram Alir

## BAB 5 PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

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

1. Pengujian tarik pada komposit ampas kopi dengan 4 layer mempunyai nilai kekuatan tarik tertinggi sebesar 38 MPa sedangkan nilai kekuatan tarik terendah pada komposit ampas kopi tanpa layer sebesar 13 MPa.
2. Pada pengujian ketahanan bakar komposit dengan 3 layer fiber glass mempunyai waktu kegagalan (time to failure) tertinggi sebesar 1566 detik dan komposit tanpa layer mempunyai waktu kegagalan terendah sebesar 44 detik.
3. Dengan adanya penambahan suhu yang dipaparkan membuat komposit mengalami patah getas, *fiber pull out*, *delaminasi* dan *cracking*.

### 5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan dari penelitian ini adalah:

1. Perlu adanya penelitian lebih lanjut tentang uji bakar bersamaan diberikan pembebanan tarik pada komposit ampas kopi dengan variasi *heat flux* maupun variasi beban konstan yang diberikan.
2. Penelitian tentang komposit ampas kopi perlu dikembangkan mengingat potensinya dapat menghambat kerusakan struktur komposit *matrix unsaturated polyester*

**DAFTAR PUSTAKA**

- ASTM D3039. *Standard Test Method For Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials*. American National Standard.
- ASTM D3410. *Standard Test Method For Compressive Properties of Polymer Matrix Composite Material with Unsupported Gage Section by Shear Loading*. American National Standard.
- ASTM D5379. *Standard Test Method For Shear Properties of Composite Materials by the V-Notched Beam Method*. American National Standard.
- Abduh, Muhammad. 2017. *Pengaruh Variasi Lamina Fiber Glass Pada Sifat Tahan Api Komposit Montmorillonite Dengan Pembebanan Tarik*. Jurusan Teknik Mesin. Universitas Jember.
- Budinski K., G. 2003. *Engineering Material Properties and Selection*. New Jersey.
- Bernins M., L. 1991. *Spi Plastic Engineering, Hand Book The Society of Pastics Industry Inc*, New York.
- Cesim Atas. 2011. *An experimental investigation on the low velocity impact response of composite plates repaired by VARIM and hand lay-up processes*.
- Changduk Kong. 2014. *Study on structural design and analysis of flax natural fiber composite. Department of Aerospace Engineering, Chosun University*.
- Dodds, N., Gibson, A.G., Dewhurst, D. and Davies, J.M. 2000. *Fire behaviour of composite laminates, Composites*. Vol; 31A:689-702.
- Drzal, Lawrence T. 2001. *ASM Handbook Volume 21 Composites*. ASM International.
- Ercann Sevkata, M., B. 2011. *The Bearing Strength of pin Loaded Woven COMposites Manufactured by Vacuum Assisted Resin Transfer Molding and Hand Lay-Up*.

- Ferreira, J. M., Errajhi, O. A. Z., dan Richardson 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.
- 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.
- Klárová, Miroslava. (2015). *Composite materials*. VSB - Technical University of Ostrava
- Kyung-Won Jung, B. H.-J.-U.-H. (2016). *Fabrications of Granular Activated Carbons Derived From Spent Coffee Grounds by Entrapment in Calcium Alginate Beads for Absorption of Acid Orange 7 and Methylene BLue*.
- Lenka Markovicova, V. Z. (2015). *Composite Materials Based On Pa Reinforced Glass Fibers*.
- M. Ramesh, K., P. (2012). *Mechanical Property Evaluation of Sisal-Jute-Glass Fiber Reinforced Polyester Composites*.
- M. B Kulkarni, H., A. (2015). *Studies on Thermal and Mechanical Properties of Glass Fiber-Reinforced Unsaturated Polyester/Benzoxazine Composites*. Department Polymer Engineering, Maharashtra Institute of Technology, Kothrud, Pune, 411038, India.
- Mallick, P. K., 2008. *Fiber Reinforced Composite*. 3 ed. Michigan : CRC Press Taylor & Francis Group.
- Maria Valderez Ponte Rocha, L. J. (2014). *Ultrasound-Assisted Production Of Biodiesel and Ethanol From Spent Coffee Grounds*. Bioresource Technology.
- Mouritz, A. P., dan Gibson, A. G. (2006). *Fire Properties of polymer Composite Materials*. (Vol. 143). Waterloo : Springer.

- Mussatto, Solange. I. Lina F. Ballesteros. José A. Teixeira. (2014). *Chemical, Functional, and Structural Properties of Spent Coffee Grounds and Coffee Silverskin*. Centre of Biological Engineering, University of Minho. Springer
- Nasiruddin. 2014. *Analisis Termal-Mekanis Komposit Matrik Polyester Dengan Aditif Partikel Montmorillonite Berpenguat Serat Kenaf Anyam*. Jurusan Teknik Mesin. Universitas Jember.
- Oiwa, Y. dan Okuzawa, F., 2015. *Seeding Innovations through Fostering Thailand*. Japan Youth Friendship. Deodorant Effect of Coffee Beans, pp. 1-4.
- R. Daulath Banu, R., V. *Optimization Studies in Flame Retardant Fibre Reinforced Plastic Composites For Roofing Application*.
- Sirichai Kanking, P. N. (2012). *Materials and Design 41 . Use of bagasse fiber ash as secondary filler in silica or carbon black filled*, 74 – 82.
- Yunus, S. 2011. *Komposit Proses, Fabrikasi dan Aplikasi*. Jember: jember university press.

**LAMPIRAN****Lampiran A1. Perhitungan Fraksi Berat Bahan Campuran Komposit****1. 0 layer**

Diketahui :

$$\text{Densitas resin} = 1,12 \text{ g/cm}^3$$

$$\text{Densitas SCG} = 0,53 \text{ g/cm}^3$$

$$\begin{aligned} \text{Volume cetakan} &= \text{Panjang} \times \text{Lebar} \times \text{Tinggi} \\ &= 32 \text{ cm} \times 2,5 \text{ cm} \times 0,5 \text{ cm} \\ &= 18,75 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

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

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

$$\begin{aligned} \text{Volume katalis} &= \text{Volume cetakan} \times \text{Persentase katalis} \\ &= 18,75 \text{ cm}^3 \times 1\% \\ &= 0,18 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} \text{Massa SCG} &= \text{Volume SCG} \times \text{Densitas resin} \\ &= 7,5 \text{ cm}^3 \times 0,53 \text{ g/cm}^3 \\ &= 3,98 \text{ gram} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa Katalis} &= \text{Volume katalis} \\ &= 0,18 \text{ cm}^3 \\ &= 0,18 \text{ ml} \end{aligned}$$

## 2. 1 layer

Diketahui :

$$\text{Densitas resin} = 1,12 \text{ g/cm}^3$$

$$\text{Densitas SCG} = 0,53 \text{ g/cm}^3$$

$$\text{Densitas fiber glass} = 2,6 \text{ g/cm}^3$$

$$\text{Volume cetakan} = \text{Panjang} \times \text{Lebar} \times \text{Tinggi}$$

$$= 32 \text{ cm} \times 2,5 \text{ cm} \times 0,5 \text{ cm}$$

$$= 18,75 \text{ cm}^3$$

$$\text{Volume fiber glass} = \frac{\text{Massa fiber glass}}{\text{Densitas fiber glass}}$$

$$= \frac{6,33 \text{ g}}{2,3 \text{ g/cm}^3}$$

$$= 2,7 \text{ cm}^3$$

$$\text{Volume 1 layer} = \text{Volume cetakan} - \text{volume fiber glass}$$

$$= 18,75 \text{ cm}^3 - 2,7 \text{ cm}^3$$

$$= 16,05 \text{ cm}^3$$

$$\text{Volume resin} = \text{Volume 1 layer} \times \text{Persentase resin}$$

$$= 16,05 \text{ cm}^3 \times 60\%$$

$$= 9,63 \text{ cm}^3$$

$$\text{Volume SCG} = \text{Volume 1 layer} \times \text{Persentase SCG}$$

$$= 16,05 \text{ cm}^3 \times 40\%$$

$$= 6,42 \text{ cm}^3$$

$$\text{Volume katalis} = \text{Volume 1 layer} \times \text{Persentase katalis}$$

$$= 16,05 \text{ cm}^3 \times 1\%$$

$$= 0,16 \text{ cm}^3$$

$$\text{Massa resin} = \text{Volume resin} \times \text{Densitas resin}$$

$$= 9,63 \text{ cm}^3 \times 1,12 \text{ g/cm}^3$$

$$= 10,78 \text{ gram}$$

$$\text{Massa SCG} = \text{Volume SCG} \times \text{Densitas resin}$$

$$= 6,42 \text{ cm}^3 \times 0,53 \text{ g/cm}^3$$

$$= 3,4 \text{ gram}$$

$$\text{Massa Katalis} = \text{Volume katalis}$$

$$= 0,16 \text{ cm}^3$$

$$= 0,16 \text{ ml}$$

### 3. 2 layer

Diketahui :

$$\text{Densitas resin} = 1,12 \text{ g/cm}^3$$

$$\text{Densitas SCG} = 0,53 \text{ g/cm}^3$$

$$\text{Densitas fiber glass} = 2,6 \text{ g/cm}^3$$

$$\text{Volume cetakan} = \text{Panjang} \times \text{Lebar} \times \text{Tinggi}$$

$$= 32 \text{ cm} \times 2,5 \text{ cm} \times 0,5 \text{ cm}$$

$$= 18,75 \text{ cm}^3$$

$$\text{Volume fiber glass} = \frac{\text{Massa fiber glass}}{\text{Densitas fiber glass}}$$

$$= \frac{6,33 \text{ g}}{2,3 \text{ g/cm}^3}$$

$$= 2,7 \text{ cm}^3$$

$$\text{Volume 2 layer} = \text{Volume cetakan} - (2 \times \text{volume fiber glass})$$

$$= 18,75 \text{ cm}^3 - (2 \times 2,7 \text{ cm}^3)$$

$$= 18,75 \text{ cm}^3 - 5,4 \text{ cm}^3$$

$$= 13,35 \text{ cm}^3$$

$$\text{Volume resin} = \text{Volume 2 layer} \times \text{Persentase resin}$$

$$= 13,35 \text{ cm}^3 \times 60\%$$

$$= 8,01 \text{ cm}^3$$

$$\text{Volume SCG} = \text{Volume 2 layer} \times \text{Persentase SCG}$$

$$= 13,35 \text{ cm}^3 \times 40\%$$

$$= 5,34 \text{ cm}^3$$

$$\text{Volume katalis} = \text{Volume 2 layer} \times \text{Persentase katalis}$$

$$= 13,35 \text{ cm}^3 \times 1\%$$

$$= 0,13 \text{ cm}^3$$

$$\text{Massa resin} = \text{Volume resin} \times \text{Densitas resin}$$

$$= 8,01 \text{ cm}^3 \times 1,12 \text{ g/cm}^3$$

$$= 8,9 \text{ gram}$$



$$\begin{aligned} \text{Massa SCG} &= \text{Volume SCG} \times \text{Densitas resin} \\ &= 5,35 \text{ cm}^3 \times 0,53 \text{ g/cm}^3 \end{aligned}$$

$$i \quad = 2,8 \text{ gram}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa Katalis} &= \text{Volume katalis} \\ &= 0,13 \text{ cm}^3 \\ &= 0,13 \text{ ml} \end{aligned}$$

#### 4. 3 layer

Diketahui :

$$\text{Densitas resin} = 1,12 \text{ g/cm}^3$$

$$\text{Densitas SCG} = 0,53 \text{ g/cm}^3$$

$$\text{Densitas fiber glass} = 2,6 \text{ g/cm}^3$$

$$\begin{aligned} \text{Volume cetakan} &= \text{Panjang} \times \text{Lebar} \times \text{Tinggi} \\ &= 32 \text{ cm} \times 2,5 \text{ cm} \times 0,5 \text{ cm} \\ &= 18,75 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume fiber glass} &= \frac{\text{Massa fiber glass}}{\text{Densitas fiber glass}} \\ &= \frac{6,33 \text{ g}}{2,3 \text{ g/cm}^3} \\ &= 2,7 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume 3 layer} &= \text{Volume cetakan} - (3 \times \text{volume fiber glass}) \\ &= 18,75 \text{ cm}^3 - (3 \times 2,7 \text{ cm}^3) \\ &= 18,75 \text{ cm}^3 - 8,1 \text{ cm}^3 \\ &= 10,65 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume resin} &= \text{Volume 3 layer} \times \text{Persentase resin} \\ &= 10,65 \text{ cm}^3 \times 60\% \\ &= 6,4 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume SCG} &= \text{Volume 3 layer} \times \text{Persentase SCG} \\ &= 10,65 \text{ cm}^3 \times 40\% \\ &= 4,25 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Volume katalis} &= \text{Volume 3 layer} \times \text{Persentase katalis} \\ &= 10,65 \text{ cm}^3 \times 1\% \\ &= 0,1 \text{ cm}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Massa resin} &= \text{Volume resin} \times \text{Densitas resin} \\ &= 6,4 \text{ cm}^3 \times 1,12 \text{ g/cm}^3 \\ &= 7,1 \text{ gram}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Massa SCG} &= \text{Volume SCG} \times \text{Densitas resin} \\ &= 4,25 \text{ cm}^3 \times 0,53 \text{ g/cm}^3 \\ &= 2,38 \text{ gram}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Massa Katalis} &= \text{Volume katalis} \\ &= 0,1 \text{ cm}^3 \\ &= 0,1 \text{ ml}\end{aligned}$$

#### 5. 4 layer

Diketahui :

$$\text{Densitas resin} = 1,12 \text{ g/cm}^3$$

$$\text{Densitas SCG} = 0,53 \text{ g/cm}^3$$

$$\text{Densitas fiber glass} = 2,6 \text{ g/cm}^3$$

$$\begin{aligned}\text{Volume cetakan} &= \text{Panjang} \times \text{Lebar} \times \text{Tinggi} \\ &= 32 \text{ cm} \times 2,5 \text{ cm} \times 0,5 \text{ cm} \\ &= 18,75 \text{ cm}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Volume fiber glass} &= \frac{\text{Massa fiber glass}}{\text{Densitas fiber glass}} \\ &= \frac{6,33 \text{ g}}{2,3 \text{ g/cm}^3} \\ &= 2,7 \text{ cm}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Volume 4 layer} &= \text{Volume cetakan} - (4 \times \text{volume fiber glass}) \\ &= 18,75 \text{ cm}^3 - (4 \times 2,7 \text{ cm}^3) \\ &= 18,75 \text{ cm}^3 - 10,8 \text{ cm}^3 \\ &= 7,95 \text{ cm}^3\end{aligned}$$

$$\text{Volume resin} = \text{Volume 4 layer} \times \text{Persentase resin}$$

$$= 7,95 \text{ cm}^3 \times 60\%$$

$$= 4,7 \text{ cm}^3$$

$$\text{Volume SCG} = \text{Volume 4 layer} \times \text{Persentase SCG}$$

$$= 7,95 \text{ cm}^3 \times 40\%$$

$$= 3,18 \text{ cm}^3$$

$$\text{Volume katalis} = \text{Volume 4 layer} \times \text{Persentase katalis}$$

$$= 7,95 \text{ cm}^3 \times 1\%$$

$$= 0,07 \text{ cm}^3$$

$$\text{Massa resin} = \text{Volume resin} \times \text{Densitas resin}$$

$$= 4,7 \text{ cm}^3 \times 1,12 \text{ g/cm}^3$$

$$= 5,26 \text{ gram}$$

$$\text{Massa SCG} = \text{Volume SCG} \times \text{Densitas resin}$$

$$= 3,18 \text{ cm}^3 \times 0,53 \text{ g/cm}^3$$

$$= 1,6 \text{ gram}$$

$$\text{Massa Katalis} = \text{Volume katalis}$$

$$= 0,07 \text{ cm}^3$$

$$= 0,07 \text{ ml}$$

**Lampiran A.2 Perhitungan beban tarik konstan**

Diketahui : Gaya konstan yang digunakan = 7 MPa  
Gaya gravitasi = 9,80665  
Luas penampang spesimen = 125 mm<sup>2</sup>  
Ditanya : Beban tarik yang diberikan ?  
Jawab :

$$\text{Gaya konstan} = \frac{\text{beban tarik} \times \text{gaya gravitasi}}{\text{luas penampang}}$$

$$\text{Beban tarik} = \frac{\text{gaya konstan} \times \text{luas penampang}}{\text{gaya gravitasi}}$$

$$\text{Beban tarik} = \frac{7 \text{ MPa} \times 125 \text{ mm}^2}{9.80665}$$

$$\text{Beban tarik} = \frac{875}{9.80665}$$

$$\text{Beban tarik} = 90 \text{ kg}$$

**Lampiran A.3 Hasil Pengujian Tarik**

Tabel 1 Hasil pengujian tarik komposit

No	Layer <i>Fiber Glass</i>	Kekuatan Tarik (MPa)			Rata-rata (MPa)
		Spesimen 1	Spesimen 2	Spesimen 3	
1	0 Layer	11	14	14	13
2	1 Layer	20	22	17	20
3	2 Layer	26	25	29	26
4	3 Layer	29	30	26	28
5	4 Layer	35	31	44	37

**Lampiran A.4 Hasil Pengujian Ketahanan Bakar**

Tabel 2 Hasil pengujian ketahanan bakar

No	Komposit ampas kopi	Time to failure (detik)			Rata-rata (Sekon)
		Spesimen 1	Spesimen 2	Spesimen 3	
1	No layer	43	46	44	44
2	1 Layer	101	135	140	125
3	2 Layer	155	181	135	157
4	3 Layer	1643	1251	1806	1566
5	4 Layer	293	320	440	351

### Lampiran A.5 Hasil Pengujian Termal Mekanis

Tabel 3 Tabel hasil pengujian termal mekanis komposit unsaturated polyester-ampas kopi tanpa fiber glass

Temperatur (°C)	Pengujian 1 (MPa)	Pengujian 2 (MPa)	Pengujian 3 (MPa)	Rata – rata (MPa)
25	11	14,	14	13,617
80	2	2	2	2
100	2	1	1	1
120	1	1	1	1
140	0,8	0,8	0,4	0,6
160	0,4	0,3	0,9	0,5
180	0,2	0,2	0,1	0,2

Tabel 4 Tabel hasil pengujian termal mekanis komposit unsaturated polyester-ampas kopi dengan 1 layer fiber glass

Temperatur (°C)	Pengujian 1 (MPa)	Pengujian 2 (MPa)	Pengujian 3 (MPa)	Rata – rata (MPa)
25	20	22	17	20
80	12	9	13	11
100	7	8	8	8
120	6	6	7	6
140	5	4	7	5
160	2	2	4	3
180	3	4	3	3

Tabel 5 Tabel hasil pengujian termal mekanis komposit unsaturated polyester-ampas kopi dengan 2 layer fiber glass

Temperatur (°C)	Pengujian 1 (MPa)	Pengujian 2 (MPa)	Pengujian 3 (MPa)	Rata – rata (MPa)
25	26,270272	25	29	26
80	16,23272	15	16	16
100	13,568688	13	14	13
120	8,089312	11	12	10
140	7	7	8	8
160	5	9	8	8
180	6	8	6	7

Tabel 6 Tabel hasil pengujian termal mekanis komposit unsaturated polyester-ampas kopi dengan 3 layer fiber glass

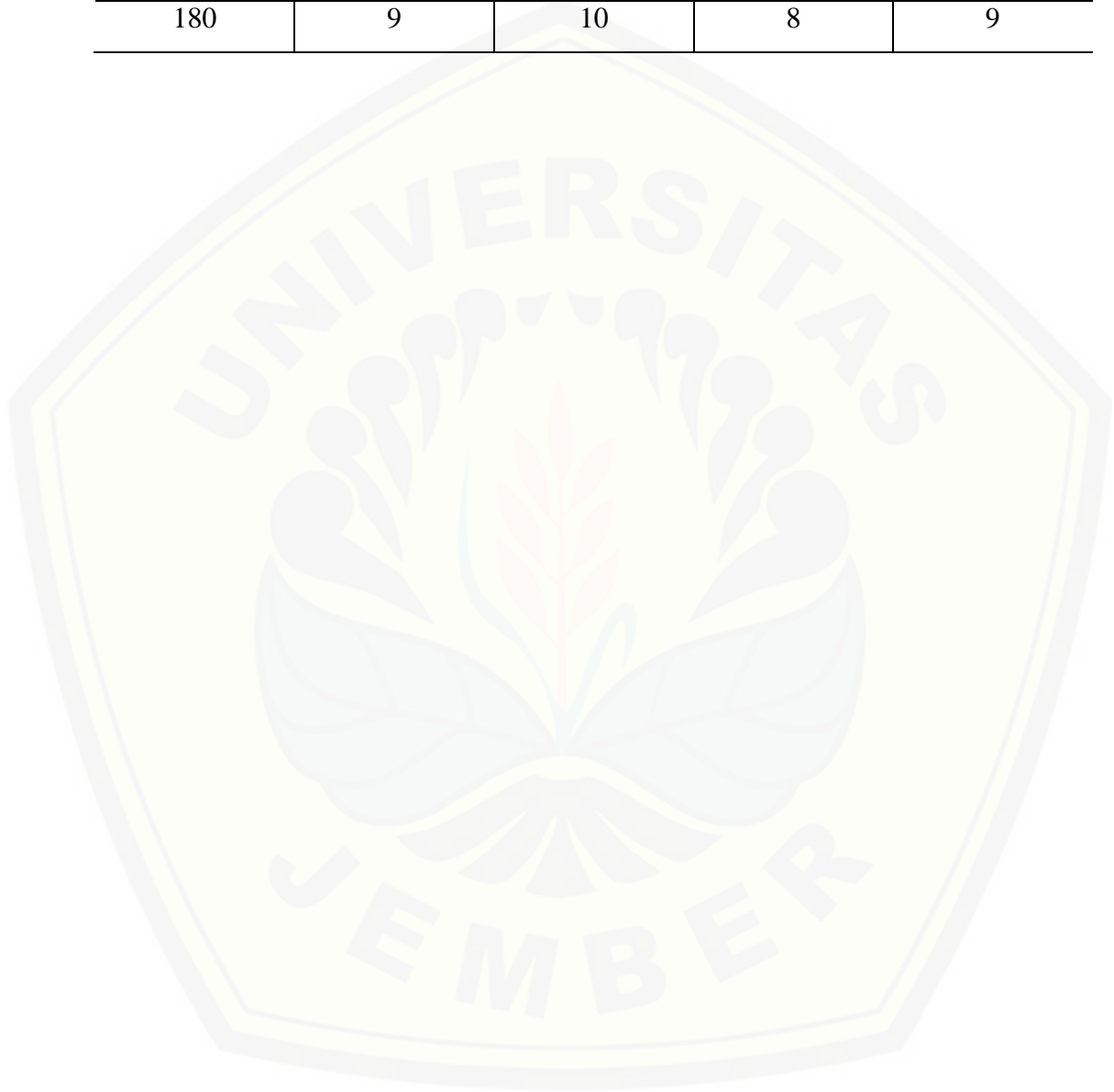
Temperatur (°C)	Pengujian 1 (MPa)	Pengujian 2 (MPa)	Pengujian 3 (MPa)	Rata – rata (MPa)
25	29	30	26	28
80	26	19	27	24
100	17	29	20	22
120	17	15	16	16
140	14	14	15	14
160	10	10	10	11
180	9	9	9	9

Tabel 7 Tabel hasil pengujian termal mekanis komposit unsaturated polyester-ampas kopi dengan 4 layer fiber glass

Temperatur (°C)	Pengujian 1 (MPa)	Pengujian 2 (MPa)	Pengujian 3 (MPa)	Rata – rata (MPa)
25	35	31	44	37
80	27	22	34	28



100	27	22	21	23
120	19	17	19	18
140	15	14	17	15
160	11	11	9	10
180	9	10	8	9



**Lampiran A.6 Dokumentasi**



Penjemuran ampas kopi



Pengayakan ampas kopi



**Proses *vacuum***



**Cetakan komposit**



**Menimbang ampas kopi**



**Proses fabrikasi komposit ampas kopi**



**Pemotongan Spesimen**



**Pengujian tarik komposit**



**Pengujian ketahanan bakar**