

SKRIPSI

**KARAKTERISTIK MEKANIK KOMPOSIT RESIN
POLYESTER BERPENGUAT SERBUK BAMBU DENGAN
VARIASI KOMPOSISI DAN TEMPERATUR**

Disusun dan diajukan oleh:

**AM DIAZ MIFTAH
D021191101**



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2023**

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI**KARAKTERISTIK MEKANIK KOMPOSIT RESIN
POLYESTER BERPENGUAT SERBUK BAMBUR DENGAN
VARIASI KOMPOSISI DAN TEMPERATUR**

Disusun dan diajukan oleh

AM Diaz Miftah

D021 19 1101

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka
Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Mesin
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
Pada tanggal 15 November 2023
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

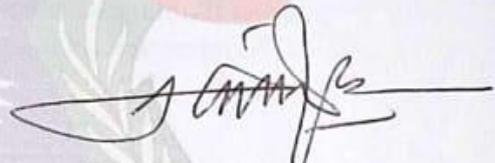
Menyetujui,

Pembimbing Utama,

Pembimbing Pendamping,



Dr. Eng. Lukmanul Hakim Arma, ST., M.T.
NIP 19740415 199903 1 001



Dr. Hairul Arsyad, ST., M.T.
NIP 19750322 200212 1 001

Ketua Program Studi



Prof. Dr. Eng. Jalaluddin, ST., MT.
NIP 19720825200003 1 001

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini;

Nama : AM Diaz Miftah

NIM : D021191101

Program Studi : Teknik Mesin

Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

{Karakteristik Mekanik Komposit Resin Polyester Berpenguat Serbuk Bambu Dengan Variasi Komposisi Dan Temperatur}

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain dan bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasi oleh Penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari Dosen Pembimbing.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 5 November 2023

Yang Menyatakan



AM Diaz Miftah

ABSTRAK

AM DIAZ MIFTAH. *Karakteristik Mekanik Komposit Resin Polyester Berpenguat Serbuk Bambu Dengan Variasi Komposisi Dan Temperatur* (dibimbing oleh Dr. Eng. Lukmanul Hakim Arma, ST., MT dan Dr. Hairul Arsyad, ST., MT)

Seiring dengan perkembangan teknologi yang semakin pesat mendorong banyaknya penemuan beberapa teknologi alternatif sebagai cara dalam memenuhi kebutuhan masyarakat. Komposit adalah salah satu alternatif untuk menghasilkan material yang dari sifat mekaniknya lebih baik dari material lainnya. Dari segi material komposit sebagian besar yang di pakai saat ini menggunakan bahan sintesis seperti *fiber glass* atau plastik yang tidak ramah lingkungan. Oleh karena itu penelitian ini bermaksud menggunakan serat alam berupa serbuk bambu karena sifatnya terbaharui, murah, mudah diperoleh, ringan, memiliki sifat mekanik yang kuat, tahan korosi, dan ramah lingkungan. Adapun tujuan penelitian yaitu untuk Menganalisa pengaruh komposisi resin *polyester* berpenguat serbuk bambu dengan variasi komposisi (60% : 40%, 55% : 45%, 50% : 50%) dan temperatur (28°C dan 40°C) terhadap kekuatan tarik, regangan, dan modulus elastisitas. Penelitian ini menggunakan bahan berupa resin polyester sebagai matriks dan serbuk bambu sebagai filler. Adapun untuk variasi kompoisinya yaitu resin *polyester* : serbuk bambu (60% : 40%, 55% : 45%, 50% : 50%). Spesimen dibentuk dalam cetakan kaca kemudian spesimen dibentuk dengan ukuran yang mengacu pada ASTM D3039 untuk kemudian dilakukan pengujian tarik dan untuk pengujian tariknya sendiri dilakukan dengan dua metode variasi temperatur yaitu pada 28°C dan 40°C. Dari hasil penelitian diperoleh hasil pengujian tarik untuk masing-masing variasi pada suhu penarikan 28°C menghasilkan kekuatan tarik masing-masing sebesar 24,64 MPa, 21,17 MPa, dan 20,03 MPa. Dan pada suhu penarikan 40°C masing-masing sebesar 15,46 MPa, 13,93 MPa dan 13,92 MPa. Untuk nilai regangan pada temperatur 28°C masing-masing sebesar 2,223%, 2,183%, dan 1,841%. Dan pada suhu penarikan 40 °C menghasilkan regangan masing-masing sebesar 2,889%, 3,023%, dan 2,457%. Dan nilai modulus elastisitas pada temperatur 28°C masing-masing sebesar 1,720 GPa, 1,758 GPa, 1,789 GPa. Dan pada suhu 40 °C masing-masing sebesar 1,148 GPa, 1,134 GPa, dan 1,155 GPa.

Kata Kunci: *Bamboo Powder Composite, Composition Variations, Tensile Test.*

ABSTRACT

AM DIAZ MIFTAH. *Mechanical Characteristics of Bamboo Powder Reinforced Polyester Resin Composite with Variations in Composition and Temperature* (dibimbing oleh Dr. Eng. Lukmanul Hakim Arma, ST., MT dan Dr. Hairul Arsyad, ST., MT)

As technology continues to advance rapidly, it drives the discovery of various alternative technologies to meet the needs of society. Composites are one of the alternatives to produce materials with superior mechanical properties compared to other materials. In terms of materials, most composites used today are made from synthetic materials like fiberglass or plastic, which are not environmentally friendly. Therefore, this research aims to use natural fibers in the form of bamboo powder because of their renewability, affordability, easy availability, lightweight nature, strong mechanical properties, corrosion resistance, and eco-friendliness. The research's objective is to analyze the influence of polyester resin composition reinforced with bamboo powder with variations in composition (60%: 40%, 55%: 45%, 50%: 50%) and temperature (28°C and 40°C) on tensile strength, strain, and elastic modulus. This study uses polyester resin as the matrix and bamboo powder as the filler material. The composition variations include polyester resin: bamboo powder (60%: 40%, 55%: 45%, 50%: 50%). Specimens are molded in glass molds, following the ASTM D3039 standard size, and then subjected to tensile testing. Tensile testing is performed at two different temperatures, 28°C and 40°C. The results of the research show that for each composition variation at a pulling temperature of 28°C, the tensile strengths are 24.64 MPa, 21.17 MPa, and 20.03 MPa, respectively. At a pulling temperature of 40°C, the tensile strengths are 15.46 MPa, 13.93 MPa, and 13.92 MPa, respectively. The strain values at 28°C are 2.223%, 2.183%, and 1.841%, while at 40°C, they are 2.889%, 3.023%, and 2.457%, respectively. The elastic modulus values at 28°C are 1.720 GPa, 1.758 GPa, and 1.789 GPa, and at 40°C, they are 1.148 GPa, 1.134 GPa, and 1.155 GPa,

Key Words: *Bamboo Powder Composite, Composition Variations, Tensile Test.*

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI.....	ii
PERNYATAAN KEASLIAN.....	iii
ABSTRAK.....	iv
ABSTRACT.....	v
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR.....	viii
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL.....	xi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xii
KATA PENGANTAR.....	xiii
BAB I.....	1
PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	2
1.3. Tujuan Penelitian.....	2
1.4. Manfaat Penelitian.....	3
1.5. Batasan Penelitian.....	3
BAB II.....	5
TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1. Material Komposit.....	5
2.2. Jenis Resin Komposit.....	7
2.3. Matriks.....	10
2.4. <i>Filler/Reinforcement</i>	13
2.5. Bambu.....	19
2.6. Definisi Bambu.....	20
2.7. Pemanfaatan Bambu Saat Ini.....	20
2.8. Bambu Apus.....	21
2.9. Resin <i>Polyester</i>	22
2.10. Uji Tarik.....	23

2.11. <i>Heat Distortion Temperatur (HDT)</i>	24
2.12. Potensi Pengaplikasian.....	25
BAB III.....	28
METODOLOGI PERCOBAAN	28
3.1. Waktu dan Tempat.....	28
3.2. Alat dan Bahan.....	28
3.2. Diagram Alur Penelitian	37
3.3. Prosedur Penelitian.....	39
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	41
4.1. Daya Serap Air.....	47
4.2. Karakteristik Resin <i>Polyester vs Bamboo Powder Composite</i>	48
4.2. Analisa Kekuatan Tarik.....	52
4.4. Analisa Data Regangan	54
4.5. Analisa Modulus Elastisitas	56
BAB V PENUTUP.....	58
5.1. Kesimpulan	58
5.2. Saran.....	59
DAFTAR PUSTAKA	60
LAMPIRAN	63

DAFTAR GAMBAR

Gambar. 1 Contoh Material Komposit: (a) Helikopter dari CFRP (<i>Carbon Fiber Reinforced Composite</i>), (b) Sepeda ringan dari CFRP (<i>Carbon Fiber Reinforced Composite</i>), (c) Ekondeck 890 dengan matriks dari baja dan penguat dari beton	6
Gambar. 2 Grafik Tegangan Regangan Fiber, Matriks, dan Komposit	7
Gambar. 3 (a) Silinder blok dari MMC dengan matriks aluminum memiliki keunggulan dapat menaikkan efisiensi mesin dan beratnya lebih ringan 1/3 dari berat material asli (dari besi cor). (b) <i>Drum brake</i> dari material komposit dengan matriks aluminum	10
Gambar. 4 (a) <i>Shaft sleeves</i> untuk bantalan geser keramik pompa dengan matriks keramik dan penguat SiC (b) Ventilator untuk gas panas dengan matriks keramik dan penguat serat alumina (Al ₂ O ₃)	11
Gambar. 5 (a) Kayaks/kano dengan matriks polimer (PE) dan penguat <i>fiber glass</i> . (b) Box speaker dari papan partikel komposit dengan matriks resin <i>polyester</i> , katalis, dan limbah media tanam jamur. (c) <i>Wood Polymer Composite</i>	12
Gambar. 6 Klasifikasi Komposit berdasarkan <i>Reinforcement</i>	13
Gambar. 7 Skema pengisi partikel yang menunjang material komposit lebih memiliki kekuatan tarik, tekan dan tegangan yang lebih tinggi	13
Gambar. 8 Skema penguat partikel dispersi	14
Gambar. 9 Geometri penguat partikel	14
Gambar. 10 Material komposit dengan penguat fiber	16
Gambar. 11 Skema komposit berlapis	18
Gambar. 12 Skema bentuk penguat sandwich panels	19
Gambar. 13 Bambu apus	21
Gambar. 14 Mesin uji tarik	24
Gambar. 15 (a) Gambar Kapal <i>Fiber Glass</i> , (b) Gambar Kerusakan Pada <i>Fiber Glass</i> ...	25
Gambar. 16 Penambahan komposit pada geladak kapal	25
Gambar. 17 Contoh Hasil Pemasangan <i>Glass fiber</i> pada geladak kapal	26
Gambar. 18 (a) Gambar <i>Paving Block</i> (b) Gambar Keretakan pada <i>Paving Block</i>	27
Gambar. 19 <i>universal testing mechine</i>	28
Gambar. 20 <i>Chamber</i>	29
Gambar. 21 Lampu pemanas	29
Gambar. 22 Termokopel	29
Gambar. 23 <i>Disk Mill</i>	30
Gambar. 24 Gurinda	30
Gambar. 25 Mesin Amplas	30
Gambar. 26 <i>Vibrator</i>	31
Gambar. 27 Pencekam	31
Gambar. 28 Kaca	32
Gambar. 29 Gelas ukur	32
Gambar. 30 Timbangan Digital	32
Gambar. 31 Jangka sorong	33
Gambar. 32 wadah akrilik	33
Gambar. 33 Lakban	33

Gambar. 34 Saringan <i>mesh</i> 60 dan 80	34
Gambar. 35 <i>Thermo gun</i>	34
Gambar. 36 Stiker cetakan	34
Gambar. 37 <i>Moisturemeter</i>	35
Gambar. 38 Resin <i>Polyester</i>	35
Gambar. 39 Katalis jenis MEKPO	35
Gambar. 40 Serbuk Bambu	36
Gambar. 41 <i>Mirror Glaze</i>	36
Gambar. 42 Amplas	36
Gambar. 43 Spesimen Benda Uji	42
Gambar. 44 a) Alat <i>Universal Testing Machine</i> (b) Pengujian Tensile pada Temperatur 40 °C	43
Gambar. 45 Daya Serap Air	47
Gambar. 46 Hubungan Tegangan dengan Regangan <i>Bamboo Powder Composite</i> (55%:45%) 28°C dan 40°C	48
Gambar. 47 Hubungan Tegangan dengan Regangan <i>Bamboo Powder Composite</i> (60%:40%) 28°C dan 40°C	48
Gambar. 48 Hubungan Tegangan dengan Regangan Resin <i>Polyester</i> 28°C dan 40°C	48
Gambar. 49 Hubungan Tegangan dengan Regangan <i>Bamboo Powder Composite</i> (50%:50%) 28°C dan 40°C	49
Gambar. 50 Hubungan Tegangan dengan Regangan <i>Glass Fiber Composite</i>	50
Gambar. 51 Resin <i>Polyester & Bamboo Powder Composite</i> Setelah Penarikan	51
Gambar. 52 Hubungan Kekuatan Tarik dengan Komposisi <i>Bamboo Powder Composite</i>	52
Gambar. 53 Hubungan Regangan dengan Komposisi <i>Bamboo Powder Composite</i>	54
Gambar. 54 Hubungan Modulus Elastisitas dengan Komposisi <i>Bamboo Powder Composite</i>	56

DAFTAR TABEL

Tabel. 1 <i>Mechanical Properties of Polyester Resin</i>	10
Tabel. 2 Keunggulan dan kelemahan empat penguat fiber sintesis	17
Tabel. 3 Sifat mekanik bambu apus	22
Tabel. 4 Luas Penampang	42
Tabel. 5 Hasil Perhitungan Kekuatan Tarik, Regangan, Modulus Elastisitas.	46
Tabel. 6 Daya Serap Air.....	47
Tabel. 7 Regangan pada Tegangan Maks <i>Bamboo Powder Composite</i> dibandingkan dengan Regangan Resin <i>Polyester</i>	50

DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL

Lambang/Singkatan	Arti dan keterangan
g	gram
mm	milimeter
m	meter
cm	centimeter
MPa	megapascal
GPa	gigapascal
°C	temperatur
%	persentase
Al	Aluminium
μm	mikrosiemens
ha	hektare
\bar{l}	Rata Rata Lebar
\bar{t}	Rata Rata Tebal
Lp	Luas Penampang
Kn	Kilo newton
σ	Tegangan
P	Gaya Penarikan
A	Luas Penampang
N	Newton
Pa	Pascal
Δl	Pertambahan panjang
l	Panjang awal
E	Modulus Elastisitas
σ_2	Tegangan Tarik Batas Atas
σ_1	Tegangan Tarik Batas Bawah
ε_2	Regangan Batas Atas
ε_1	Regangan Batas Bawah

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Data Hasil Penelitian	63
Lampiran 2 Gambar Proses Penelitian	80

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur peneliti panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas kasih dan segala limpah rahmatnya sehingga peneliti dapat melaksanakan dan menyelesaikan Skripsi ini dengan baik yang dilaksanakan di Laboratorium Metalurgi Fisik Fakultas Teknik Jurusan Teknik Mesin Universitas Hasanuddin.

Skripsi ini disusun berdasarkan hasil penelitian mengenai Karakteristik Mekanik Komposit Resin Polyester Berpenguat Serbuk Bambu Dengan Variasi Komposisi Dan Temperatur. Sebagai bentuk syarat dalam menyelesaikan studi pada program studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Pada penulisan skripsi ini, peneliti mengucapkan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua tercinta, Bapak Irwan Dan Ibu Ira Karmila dan juga kepada saudari saya Zalfa Aulia Ramadhani, dan Aira Ain Aziziah yang telah membantu, memberi nasehat, motivasi dan semangat untuk peneliti dalam menyelesaikan skripsi ini.
2. Bapak Dr. Eng. Lukmanul Hakim Arma, ST., MT selaku dosen pembimbing utama yang telah memberikan arahan, bimbingan kepada peneliti sehingga penyusunan skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik.
3. Bapak Dr. Hairul Arsyad, ST., MT selaku dosen pembimbing kedua saya yang telah membantu dan memberi arahan kepada peneliti sehingga dapat menyelesaikan penyusunan skripsi ini dengan baik.
4. Bapak Prof. Dr. Ir. H. Ilyas Renreng, MT selaku dosen penguji pada penelitian saya yang senantiasa memberikan koreksi dan saran guna menjadikan penelitian ini lebih baik
5. Bapak Prof. Dr. Ir. Zulkifli Djafar, MT Selaku dosen penguji pada penelitian saya yang senantiasa memberikan koreksi dan saran guna menjadikan penelitian ini lebih baik.
6. Bapak Edi Iskandar ST. selaku laboran lab metalurgi fisik yang senantiasa membantu dan memberi arahan penulis dalam menjalankan penelitiannya.

7. Bapak Prof. Dr. Eng. Jalaluddin ST., MT, Selaku Ketua Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
8. Bapak dan ibu dosen serta staf Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
9. Rekan dan sekaligus partner dalam penelitian *Bamboo Powder Composite* Muhammad Farhan yang telah menuangkan banyak pikiran serta support dan kerjasamanya selama penelitian ini berlangsung.
10. Seluruh teman-teman asisten lab Metalurgi Fisik dan lab pengecoran yang senantiasa membantu dan memberikan support selama proses penelitian ini berlangsung.
11. Sahabat BRUZHLEZZ19, sebagai teman seperjuangan mulai dari mahasiswa baru sampai sekarang.

Demikian penulis ucapkan terima kasih dan semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat kepada pembaca maupun bagi peneliti.

Makassar, 23 Mei 2023

Peneliti

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Seiring dengan perkembangan teknologi yang semakin pesat mendorong banyaknya penemuan beberapa teknologi alternatif sebagai cara dalam memenuhi kebutuhan masyarakat. Khususnya pada bahan material, bahan material yang dibutuhkan adalah bahan material yang berkualitas dan memiliki sifat mekanik yang tinggi. Komposit adalah salah satu alternatif untuk menghasilkan material yang dari sifat mekaniknya lebih baik dari material lainnya. (Manurung, Septiana.2015).

Dari segi material komposit sebagian besar yang di pakai saat ini menggunakan bahan sintetis seperti *fiber glass* atau *plastic* yang tidak ramah lingkungan. Serta jenis material lainnya menggunakan bahan kayu atau logam yang harganya relatif mahal dan bobotnya relatif lebih berat sehingga kurang praktis. Oleh karena itu penelitian ini bermaksud menggunakan serat alam berupa serbuk bambu yang mana serbuk bambu memiliki potensi sebagai serbuk penguat pengganti *glass powder* dalam pembuatan komposit polimer karena sifatnya terbaharui, murah, mudah diperoleh, ringan, memiliki sifat mekanik yang kuat, tahan korosi, dan ramah lingkungan.

Bambu merupakan tanaman yang cepat tumbuh dan mampu menyerap karbondioksida di udara. Bambu dapat dipanen 3 – 4 tahun (Amada et al., 1997). Bambu dapat digunakan untuk material teknik baik dalam kondisi utuh, bentuk strip dan serat (Nayak and Mishra, 2016). Serat bambu terdiri dari *cellulose*, *hemicellulose* dan lignin. Kandungan *celulose* dan *hemicelulosa* dalam bentuk *holocelulosa* dapat lebih dari 50% (Jain et al., 1992). Serat bambu secara mekanik mempunyai kekuatan tarik yang tinggi (140 – 800 MPa), dan modulus elastisitas yang tinggi (33 GPa) dengan densitas yang rendah 0,6 – 0,8 g/cm³ (Defoirdt et al., 2010). Sehingga kekuatan jenis dan modulus elastis jenis serat bambu sangat tinggi dan sebanding dengan serat *glass*.

Pada penelitian ini matriks atau penguat yang digunakan yaitu resin *polyester*. Resin *polyester* berfungsi sebagai perekat dan pelapis serbuk bambu, pada umumnya resin digunakan pada *body* kapal yang dalam pengaplikasiannya biasa mengalami *cracking* akibat terkena benturan. Lapisan resin *fiberglass* pada kapal bersifat kaku, kurang elastis, dan kurang *flexible* sehingga gampang pecah. Oleh karena itu pada penelitian tidak berfokus pada peningkatan kekuatan mekanik komposit, akan tetapi bermaksud mencari karakteristik sifat komposit yang mana tahan terhadap temperatur. Pada saat peningkatan suhu pada material dapat meningkatkan regangan maksimum, agar pada saat pengaplikasiannya ketika komposit tersebut terkena temperatur panas tidak mengalami kegagalan material, tahan terhadap *cracking* dan tidak mudah pecah dan untuk mendapatkan karakteristik sifat yang *flexible* dan elastis, dengan komposisi (Resin *Polyester*: Serbuk Bambu) 60%:40%; 55%:45%; 50%:50%. Berdasarkan uraian diatas, maka peneliti bermaksud meneliti dengan judul penelitian: “KARAKTERISTIK RESIN *POLYESTER* BERPENGUAT SERBUK BAMBU DENGAN VARIASI KOMPOSISI”

1.2. Rumusan Masalah

1. Bagaimana pengaruh resin *polyester* berpenguat serbuk bambu dengan variasi komposisi (60%:40%, 55%:45%, 50%:50%) dan temperatur (28°C dan 40°C) terhadap kekuatan tarik?
2. Bagaimana pengaruh resin *polyester* berpenguat serbuk bambu dengan variasi komposisi (60%:40%, 55%:45%, 50%:50%) dan temperatur (28°C dan 40°C) terhadap regangan?
3. Bagaimana pengaruh resin *polyester* berpenguat serbuk bambu dengan variasi komposisi (60%:40%, 55%:45%, 50%:50%) dan temperatur (28°C dan 40°C) terhadap modulus elastisitas?

1.3. Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang dan permasalahan penulisan tersebut, maka penelitian ini bertujuan untuk :

1. Menganalisa pengaruh komposisi resin *polyester* berpenguat serbuk bambu dengan variasi komposisi (60%:40%, 55%:45%, 50%:50%) dan temperatur (28°C dan 40°C) terhadap kekuatan tarik.
2. Menganalisa pengaruh komposisi resin *polyester* berpenguat serbuk bambu dengan variasi komposisi (60%:40%, 55%:45%, 50%:50%) dan temperatur (28°C dan 40°C) terhadap regangan.
3. Menganalisa pengaruh komposisi resin *polyester* berpenguat serbuk bambu dengan variasi komposisi (60%:40%, 55%:45%, 50%:50%) dan temperatur (28°C dan 40°C) terhadap modulus elastisitas.

1.4. Manfaat Penelitian

1. Menambah nilai guna atau nilai ekonomis serat alam (serbuk bambu)
2. Menguji secara eksperimental pengaruh perlakuan serat bambu terhadap kekuatan beban statis pada uji tensile dan ketangguhan retak komposit yang bermatriks resin *polyester*
3. Dapat mengembangkan ilmu pengetahuan dalam bidang teknologi non logam khususnya komposit.
4. Memanfaatkan bahan alam yang lebih mudah dan *bio – degradable*.

1.5. Batasan Penelitian

1. Ukuran spesimen menggunakan standar ASTM D3039.
2. Pengujian material meliputi uji tarik.
3. Variasi pembebanan beban statis dengan cara spesimen ditarik hingga spesimen patah.
4. Material cetakan menggunakan material kaca.
5. Temperatur suhu ruang 28°C dan suhu penarikan berkisar pada 40°C
6. Ukuran *mesh* yang digunakan 80 dan 60
7. Menggunakan (komposisi resin : serbuk bambu) : 60% : 40%; 55%:45%; 50%:50%.
8. Serbuk bambu dipanaskan selama 1 hari lalu dilakukan pencetakan.
9. Bambu yang digunakan adalah bambu apus dengan umur 3 tahun

10. Menggunakan Resin Polyester Yukalac 157
11. Menggunakan Filler yaitu jenis serbuk bambu dengan kadar air 0 %

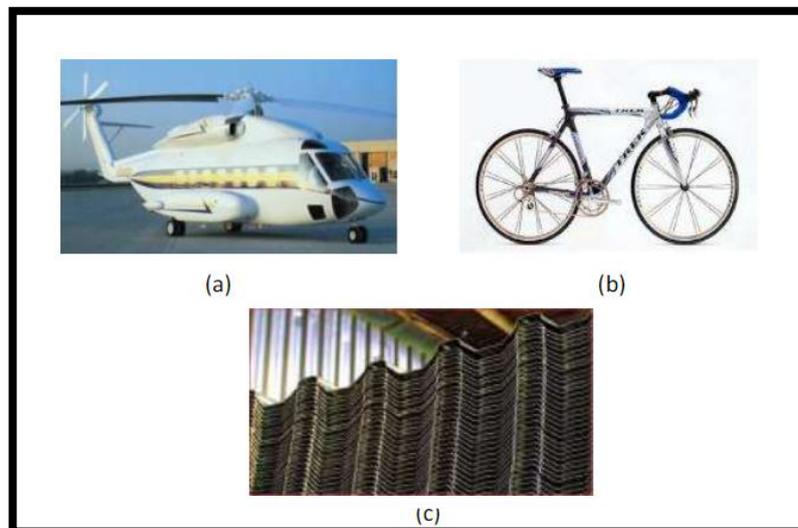
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Material Komposit

Komposit serat alami penguat polimer telah berkembang pesat dalam hal penelitian dan aplikasi industri. Serat alami berfungsi sebagai alternatif serat buatan, karena ketersediaannya yang banyak, ekonomis, dapat didaur ulang, *biodegradable*, dan memiliki kekuatan sifat mekanik yang kuat. Tanaman serat, seperti bambu, sisal, kenaf, kapas, rami, nanas, pisang, dan lain sebagainya, idealnya banyak digunakan sebagai penguat untuk komposit *Natural Fiber Reinforced Polymer* (NFRP). Di samping itu, menawarkan beberapa keuntungan atas penggunaan satu jenis serat sendiri dalam matriks polimer. Komposit serat alami yang tahan lama memiliki pemeliharaan yang baik, terbarukan, dan biaya yang efektif dibandingkan dengan komposit serat sintetis. Para peneliti telah melakukan berbagai penelitian terhadap berbagai jenis kayu (kayu lunak maupun kayu keras), untuk mengekstrak serat sebagai bahan penguatan komposit. Untuk beberapa negara berkembang, serat alam turut mengambil peran penting di bidang perekonomian. Misalnya, kapas di beberapa negara Afrika Barat, rami di Bangladesh, dan sisal di Tanzania. Negara-negara yang mengalami kelangkaan sumber daya hutan, pertanian, dan tanaman telah menjadi pusat pemanfaatan dan perkembangan penelitian terhadap komposit polimer (Rihayat, Teuku et al.2021).

Komposit adalah salah satu jenis material yang ada saat ini disamping material lainnya seperti logam, polimer dan keramik. Material komposit adalah material multi fase yaitu suatu material campuran yang terbuat dari dua atau lebih jenis material, dengan pencampurannya tidak terjadi reaksi secara kimia. Sifat material komposit merupakan paduan dari sifat-sifat material penyusunnya, yaitu matriks dan penguat (*reinforcement*) atau pengisi (*filler*) dimana keduanya memiliki sifat yang berbeda. Ketentuan untuk material penguat, harus dapat menunjang/memperbaiki sifat-sifat matrik dalam membentuk material komposit (Tjahjanti, Prantasi Harmi.2018).



Gambar. 1 Contoh Material Komposit: (a) Helikopter dari CFRP (*Carbon Fiber Reinforced Composite*), (b) Sepeda ringan dari CFRP (*Carbon Fiber Reinforced Composite*), (c) Ekondeck 890 dengan matriks dari baja dan penguat dari beton

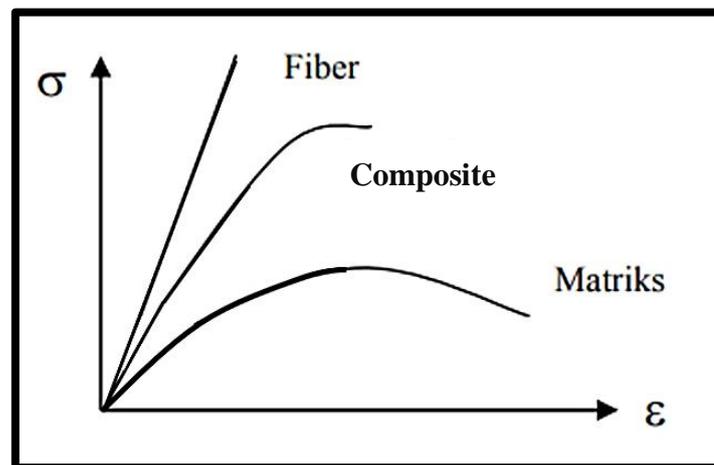
Sifat material komposit secara umum adalah memiliki ikatan yang bervariasi dengan struktur mikro berupa matriks dan penguat. Keunggulan material ini adalah kuat, kaku, dan beratnya ringan, namun kelemahannya pada harga mahal dan mengalami *delamination*. Perkembangan sekarang pada abad milenial ini, material komposit telah banyak diaplikasikan pada peralatan transportasi (darat, udara, laut), permesinan, elektronik, dan bangunan.

Pada umumnya bahan komposit terdiri dari dua unsur, yaitu serat (*fiber*) dan bahan pengikat serat tersebut yang disebut matriks. Unsur utama bahan komposit adalah serat, serat inilah yang terutama menentukan karakteristik bahan komposit, seperti kekakuan, kekuatan serta sifat-sifat mekanik yang lain. Seratlah yang menahan sebagian besar gaya-gaya yang bekerja pada komposit sedang matriks bertugas melindungi dan mengikat serat agar dapat bekerja dengan baik. Karena itu untuk bahan serat digunakan bahan yang kuat dan getas, seperti : karbon, *glass*, dan boron. Sedang bahan matriks dipilih bahan yang lunak seperti plastik dan logam-logam lunak (Hadi, B.K., 2000).

Komposit yang berbahan serat adalah jenis bahan komposit yang banyak dikenal masyarakat umum, paling banyak dipakai dan dibicarakan, karena itu pengertian bahan komposit dalam tulisan ini berarti bahan komposit berpenguat serat. Bahan komposit serat dapat diklasifikasikan kedalam berbagai jenis

bergantung pada geometri dan jenis seratnya. Keunggulan bahan komposit bila dibandingkan dengan bahan logam lainnya (Robert, J. M., 1975).

- a. Komposit dapat dirancang dengan kekuatan dan kekakuan tinggi, dapat memberikan kekuatan dan kekakuan spesifik yang melebihi atau bahkan beberapa kali lipat dibandingkan dengan baja dan aluminium.
- b. Komposit dapat dirancang terhindar dari korosi, hal ini sangat menguntungkan pada pemakaian sebagai elemen-elemen tertentu pada kendaraan bermotor.
- c. Kemampuan menghantarkan panas dan listrik yang dapat diatur.
- d. Kemampuan redam bunyi yang baik.
- e. Bahan komposit dapat memberikan penampilan (*appearance*) dan kehalusan permukaan lebih baik.



Gambar. 2 Grafik Tegangan Regangan Fiber, Matriks, dan Komposit

2.2. Jenis Resin Komposit

2.2.1. Termoplastik

Termoplastik adalah jenis plastik yang melunak jika mengalami pemanasan dan akan mengeras jika mengalami pendinginan. Proses pelunakan dan pengerasan termoplastik dapat berlangsung berulang kali. Termoplastik dalam bentuk komposit paling sering tidak diperkuat, artinya, resin dibentuk menjadi bentuk yang hanya mengandalkan serat pendek dan terputus-putus dari mana mereka dibentuk untuk mempertahankan strukturnya. Di sisi lain, banyak produk yang

dibentuk dengan teknologi termoset ditingkatkan dengan elemen struktural lainnya paling umum *fiberglass* dan serat karbon untuk penguat.

Berikut ini adalah contoh resin termoplastik umum dan produk yang diproduksi dengannya meliputi:

- a) PET (botol air dan soda)
- b) *Polypropylene* (wadah pengemasan)
- c) *Polycarbonate* (lensa kaca pengaman) *Vinyl* (bingkai jendela)
- d) *Polyethylene* (tas belanjaan)
- e) PBT (mainan anak-anak) dll.

Komposit termoplastik menawarkan dua keuntungan utama untuk beberapa aplikasi manufaktur: Yang pertama adalah bahwa banyak komposit termoplastik memiliki ketahanan benturan yang meningkat terhadap termoset yang sebanding. (Dalam beberapa kasus, perbedaannya bisa sampai 10 kali lipat dari ketahanan benturan).

Keuntungan utama lainnya dari komposit termoplastik adalah kemampuannya untuk diubah menjadi lunak. Resin termoplastik mentah berbentuk padat pada suhu kamar, tetapi ketika panas, terjadi perubahan fisik (namun, ini bukan reaksi kimia yang menghasilkan perubahan permanen yang tidak dapat diubah). Hal inilah yang memungkinkan komposit termoplastik dibentuk kembali.

2.2.2. Termoset

Termoset merupakan polimer yang tidak dapat mencair atau meleleh saat mengalami pemanasan. Sifat utama dari termoset adalah adanya ikatan silang sehingga menyebabkan kenaikan berat molekul yang besar. Termoset tidak bisa dibentuk dan tidak dapat larut saat dipanaskan. Sebuah resin termosetting, yang pernah dikatalisasi, tidak dapat dibalik atau direformasi. Artinya, sekali komposit termoset terbentuk, tidak dapat dibentuk kembali atau dibentuk kembali. Karena itu, daur ulang komposit termoset sangat sulit. Resin termoset itu sendiri tidak dapat didaur ulang, namun, ada beberapa perusahaan baru yang telah berhasil mengeluarkan resin melalui pirolisasi dan dapat memperoleh kembali serat penguat. Resin cair suhu kamar cukup mudah digunakan, meskipun membutuhkan ventilasi yang memadai untuk aplikasi produksi di udara terbuka. Dalam laminasi

(pembuatan cetakan tertutup), resin cair dapat dibentuk dengan cepat menggunakan pompa vakum atau tekanan positif, memungkinkan untuk produksi massal. Di luar kemudahan pembuatan, resin termoseting menawarkan banyak keuntungan, seringkali menghasilkan *superior products* dengan biaya bahan baku rendah.

Sifat-sifat resin termoset meliputi (Anonim.2020):

- a) Ketahanan yang sangat baik terhadap pelarut dan korosi
- b) Tahan terhadap panas dan suhu tinggi
- c) Kekuatan lelah
- d) Elastisitas yang disesuaikan
- e) Daya rekat yang sangat baik
- f) Sangat baik finishing (polishing, lukisan, dll.)

2.2.3. Polyester

Polyester adalah bahan termoseting yang banyak beredar karena harganya relatif murah dan dapat diaplikasikan untuk berbagai macam Penggunaan. Penelitian ini menggunakan resin *polyester* tak jenuh sebagai bahan matrik pada komposit yang akan dibuat. Resin *polyester* adalah resin yang bersifat termoset. Resin *polyester* merupakan resin yang sangat banyak digunakan pada pembuatan komposit, karena resin tersebut memiliki keunggulan dibandingkan dengan resin lainnya. Keunggulan resin *polyester* dibanding dengan resin yang lain adalah:

- a. Matriks resin *polyester* lebih keras.
- b. Menghasilkan bahan yang transparan.
- c. Bersifat tegar.
- d. Mempunyai daya tahan yang baik terhadap air, cuaca, dan pengaruh zat-zat kimia.
- e. Dapat dikombinasi dengan semua tipe serat gelas.
- f. Harganya lebih murah.

Sifat fisik dan kimia dari *polyester* tak jenuh sangat berkaitan dengan identifikasi penanganan, pencampuran aplikasi dari *polyester* ini sendiri. Sifat- sifat ini dapat kita lihat pada tabel berikut (Rihayat,Dr. Teuku, et al. 2021).

Tabel. 1 *Mechanical Properties of Polyester Resin*

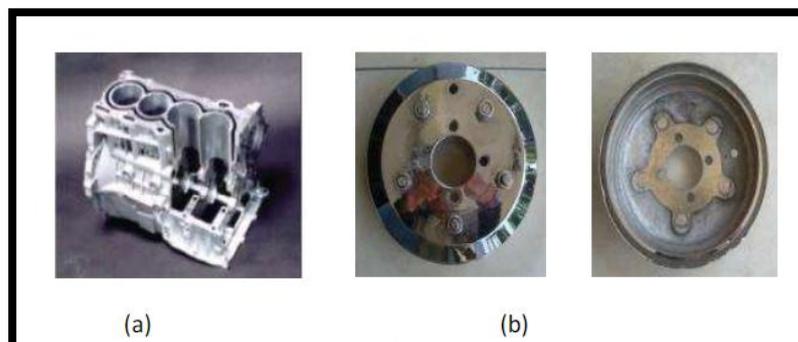
<i>Property</i>	<i>Polyester Resin</i>
<i>Density (g/ cm³)</i>	1,2 - 1,5
<i>Young Modulus (MPa)</i>	2000 - 4500
<i>Tensile Strength (MPa)</i>	40 - 90
<i>Compressive Strength (MPa)</i>	90 - 250
<i>Tensile Elongation at Break (%)</i>	2
<i>Water Absorption at break (%)</i>	0,1 - 0,3
<i>Flexural modulus (GPa)</i>	11
<i>Poisson's ratio</i>	0,37 - 0,38

2.3 Matriks

Matriks adalah fasa dalam material komposit yang mempunyai bagian atau fraksi volume terbesar (dominan). Matriks mempunyai fungsi untuk mentransfer tegangan ke serat, membentuk ikatan koheren, permukaan matrik/serat, melindungi serat, memisahkan serat, melepas ikatan, dan tetap stabil setelah proses manufaktur.

Berdasarkan matriks yang digunakan material komposit dapat dikelompokkan menjadi:

1. *Metal Matriks Composite* (MMC atau MMC's)

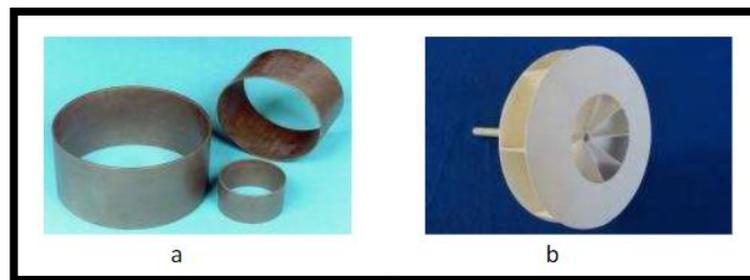


Gambar. 3 (a) Silinder blok dari MMC dengan matriks aluminium memiliki keunggulan dapat menaikkan efisiensi mesin dan beratnya lebih ringan 1/3 dari berat material asli (dari besi cor). (b) Drum brake dari material komposit dengan matriks aluminium

Material komposit dengan matriksnya dari logam. MMC mulai dikembangkan sejak tahun 1996. Pada mulanya yang diteliti adalah *Continuous Filamen* MMC yang digunakan dalam industri penerbangan. MMC dengan matriks logam aluminum (Al) disebut dengan *Aluminum Metal Matrix Composite* (AMMC). AMMC yang dibuat dengan cara pengecoran disebut *Aluminum Metal Matrix Composite Cast Composite* (AMMCC). Gambar 3 menunjukkan aplikasi AMMMC diterapkan dalam bidang otomotif.

Kelebihan MMC adalah transfer tegangan dan regangan yang baik, tahan terhadap temperatur tinggi, tidak menyerap kelembaban, tidak mudah terbakar, dan kekuatan tekan dan geser yang baik.

2. *Ceramic Matrix Composite* (CMC atau CMC's)



Gambar. 4 (a) *Shaft sleeves* untuk bantalan geser keramik pompa dengan matriks keramik dan penguat SiC (b) Ventilator untuk gas panas dengan matriks keramik dan penguat serat alumina (Al_2O_3)

Material komposit dengan matriksnya dari keramik. 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, carbida, nitrida. 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* Gambar 4 menunjukkan aplikasi CMC.

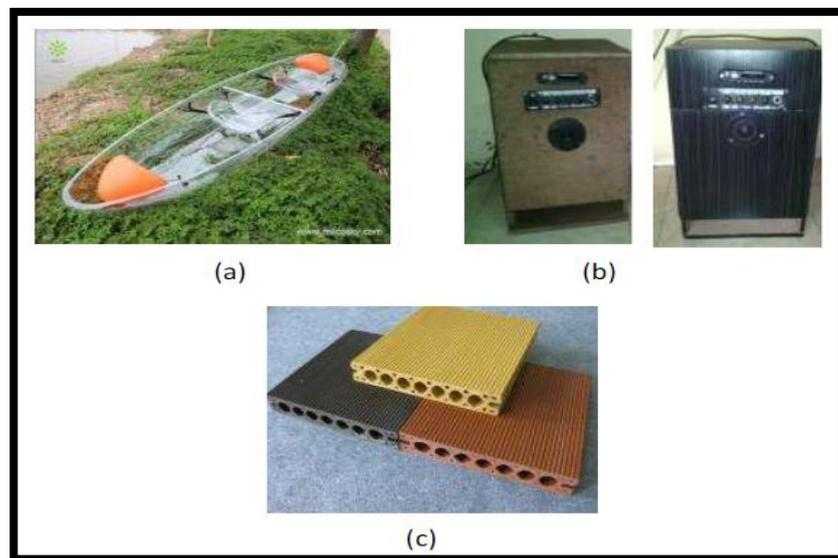
Keuntungan dari CMC adalah dimensinya stabil bahkan lebih stabil daripada logam, sangat tangguh bahkan hampir sama dengan ketangguhan dari besi cor, mempunyai karakteristik permukaan yang tahan

aus, unsur kimianya stabil pada temperatur tinggi, tahan pada temperatur tinggi dan kekuatan serta ketangguhan tinggi, juga tahan terhadap korosi.

3. *Polymer Matrix Composite* (PMC atau PMC's)

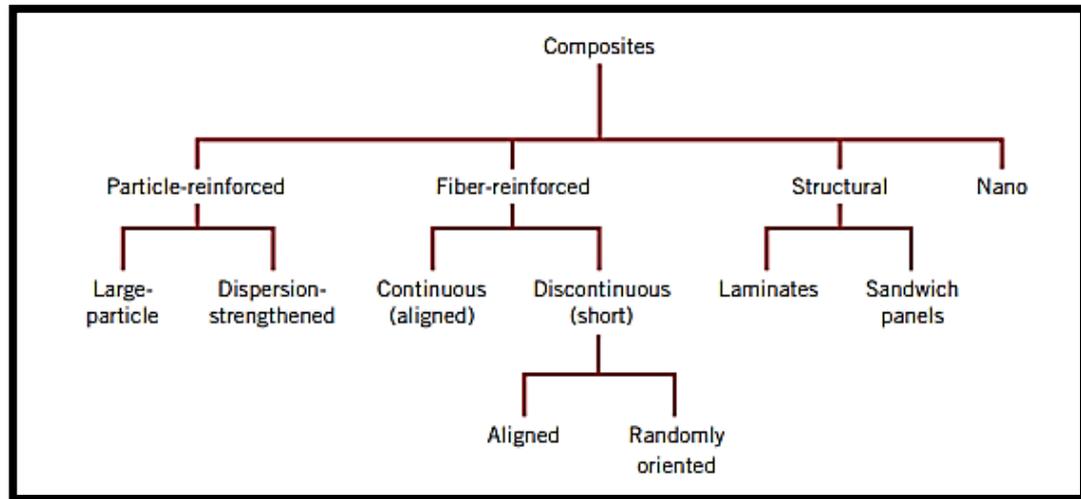
Material komposit dengan matriksnya dari polimer. Polimer merupakan matriks yang paling umum digunakan pada material komposit. Karena memiliki sifat yang lebih tahan terhadap korosi dan lebih ringan. Matriks polimer terbagi 2 yaitu termoset dan termoplastik. Perbedaannya polimer termoset tidak dapat didaur ulang sedangkan termoplastik dapat didaur ulang sehingga lebih banyak digunakan belakangan ini. Jenis-jenis termoplastik yang biasa digunakan adalah *polypropylene* (PP), *polystyrene* (PS), *polyethylene* (PE), dan lain-lainnya. Gambar 5 menunjukkan aplikasi PMC.

Material komposit PMC memiliki keunggulan antara lain biaya pembuatan lebih rendah, dapat dibuat dengan produksi massal, ketangguhan baik, tahan simpan, siklus pabrikasi dapat dipersingkat, kemampuan mengikuti bentuk, lebih ringan, *specific stiffness* dan *strength* tinggi, dan bersifat anisotropik.



Gambar. 5 (a) Kayaks/kano dengan matriks polimer (PE) dan penguat fiber glass. (b) Box speaker dari papan partikel komposit dengan matriks resin polyester, katalis, dan limbah media tanam jamur. (c) *Wood Polymer Composite*

2.4. Filler/Reinforcement

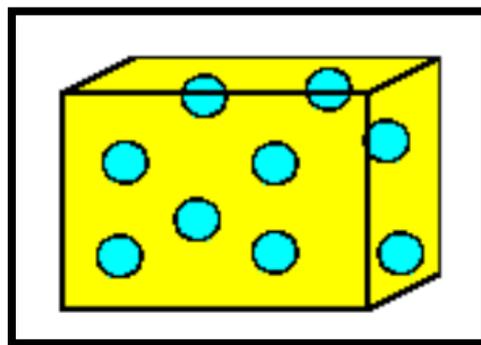


Gambar. 6 Klasifikasi Komposit berdasarkan *Reinforcement*

Penguat (*reinforcement*)/pengisi (*filler*) adalah material yang diisikan kepada matriks dan berfungsi untuk menunjang sifat-sifat matriks dalam membentuk bahan komposit.

Penguat-penguat material komposit dibedakan menjadi:

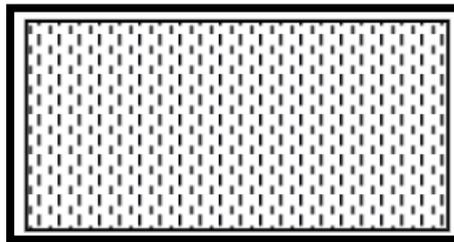
1. Partikel



Gambar. 7 Skema pengisi partikel yang menunjang material komposit lebih memiliki kekuatan tarik, tekan dan tegangan yang lebih tinggi

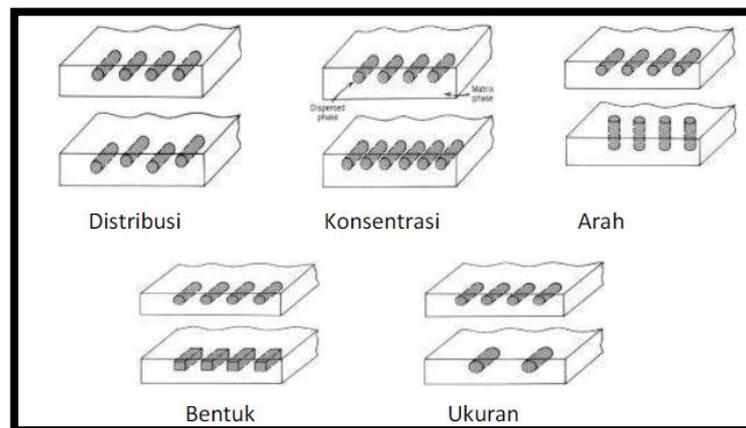
Penguat partikel memiliki ukuran partikel $> 1 \mu\text{m}$. Konsentrasi yang dapat dicampurkan dengan matriks mencapai (20–40) % fraksi volume. Pengisi-pengisi partikel antara lain adalah: SiC, B₄C, TiC, TiB, TiB₂, SiO₂, Al₂O₃, dan Fe₂O₃. Secara skema pengisi partikel ditunjukkan pada gambar 7.

Penguat partikel dibagi menjadi 2 yaitu (a) partikel dengan ukuran besar, dan (b) partikel dispersi yang kuat. Penguat dispersi memiliki ukuran diameter $0,01\mu\text{m} - 0,1\mu\text{m}$, dengan konsentrasi yang dapat dicampurkan dengan matriks mencapai 15%. Kema penguat partikel dispersi ditunjukkan pada gambar 8.



Gambar. 8 Skema penguat partikel dispersi

Berdasarkan geometrinya, penguat partikel dibedakan menjadi: geometri arah, geometri distribusi, geometri ukuran, geometri bentuk dan geometri konsentrasi gambar 9.



Gambar. 9 Geometri penguat partikel

Gambar 9 menunjukkan material komposit dengan penguat partikel yang diaplikasikan pada material komposit baja sferodisasi dengan matriks ferit (besi) bersifat ulet dan penguat Fe_3C (sementit) bersifat getas. Sementara material komposit ban mobil dibuat dari matriks karet dengan penguat karbon sebagai pengaku (*stiffer*). Keunggulan material komposit yang disusun oleh penguat partikel memiliki kekuatan lebih seragam pada berbagai arah, dapat digunakan untuk meningkatkan kekuatan dan meningkatkan kekerasan material serta dengan cara menghalangi pergerakan dislokasi.

(a) Faktor Ikatan *Filler* – Matriks.

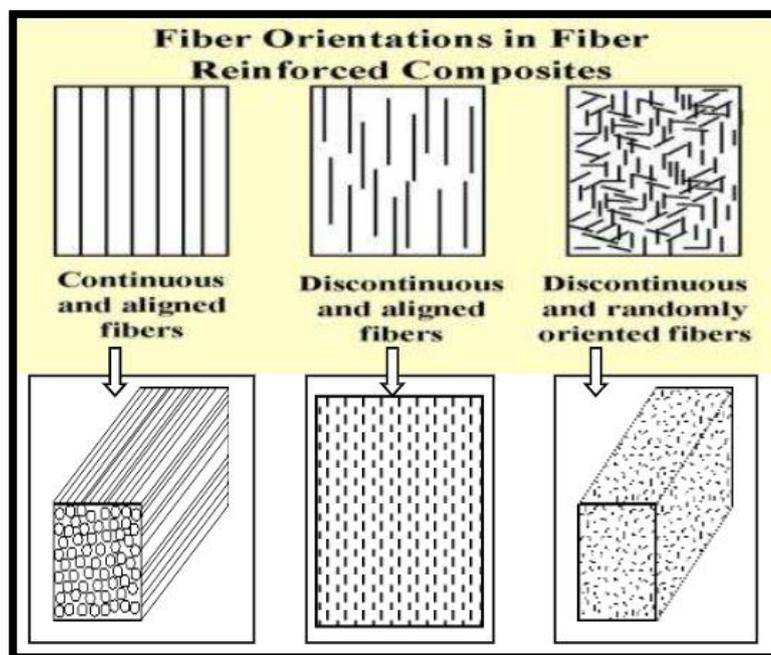
Dengan adanya partikel berupa *filler*, maka pada beberapa daerah pada resin sebagai matriks akan terisi oleh partikel, sehingga pada saat terjadi *interlamellar stretching*, deformasi yang terjadi pada bagian amorf dapat diminimalisir oleh partikel. Mekanisme penguatannya adalah bahwa dengan adanya partikel, maka jarak antara bagian polimer yang strukturnya kristalin (berbentuk seperti lempengan/lamelar) akan di perpendek oleh adanya partikel tadi. Dengan semakin meningkatnya jumlah partikel yang ada (sampai pada batasan tertentu dimana matriks masih mampu mengikat partikel, maka deformasi yang terjadi juga akan semakin berkurang, karena beban yang sebelumnya diterima oleh matriks akan diteruskan atau ditanggung juga oleh partikel sebagai penguat. Ikatan antara matriks dan *filler* harus kuat. Apabila ikatan yang terjadi cukup kuat, maka mekanisme penguatan dapat terjadi. Tetapi apabila ikatan antar permukaan partikel dan matriks tidak bagus, maka yang terjadi adalah *filler* hanya akan berperan sebagai impurities atau pengotor saja dalam spesimen. Akibatnya *filler* akan terjebak dalam matriks tanpa memiliki ikatan yang kuat dengan matriksnya. Sehingga akan ada udara yang terjebak dalam matrik sehingga dapat menimbulkan cacat pada spesimen. Akibatnya beban atau tegangan yang diberikan pada spesimen tidak akan terdistribusi secara merata. Hal inilah yang menyebabkan turunnya kekuatan mekanik pada komposit.

Ikatan antar permukaan yang terjadi pada awalnya merupakan gaya adhesi yang ditimbulkan karena kekasaran bentuk permukaan, yang memungkinkan terjadinya *interlocking* antar muka, gaya elektrostatis yaitu gaya tarik menarik antar atom bermuatan ion, ikatan Van der Waals karena adanya dipol antara partikel dengan resin. Permulaan kekristalan (nukleasi) pada polimer bisa terjadi secara acak di seluruh matriks ketika molekul-molekul polimer mulai bersekutu (nukleasi homogen) atau mungkin juga terjadi disekitar permukaan suatu kotoran (impurities asing), yaitu mungkin suatu

nukleator sengaja ditambahkan sehingga terjadi nukleasi heterogen. Jadi partikel yang ditambahkan pada polimer akan berpengaruh terhadap kristalisasi dari polimer itu sendiri.

Peningkatan volume *filler* mengurangi *deformability* (khususnya pada permukaan) dari matriks sehingga menurunkan keuletannya. Selanjutnya, komposit akan memiliki kekuatan lentur yang rendah. Namun apabila terjadi ikatan antara matriks dan *filler* kuat sifat mekanik akan meningkat karena distribusi tegangan merata. Pola distribusi dari partikel juga akan mempengaruhi kekuatan mekanik. Pola distribusi partikel dalam matriks dapat dianalisa secara sederhana dengan menghitung densitas dari komposit pada beberapa bagiannya dalam satu variabel. Dari hasil perhitungannya, densitas komposit memiliki nilai-nilai yang berbeda-beda dalam satu variabelnya. Hal ini menunjukkan pola sebaran dari partikel yang kurang homogen.

2. Serat (*Fiber*)



Gambar. 10 Material komposit dengan penguat fiber

Penguat serat (*fiber*) memiliki ukuran 0,001 *inch*. Konsentrasi yang dapat dicampurkan dengan matriks mencapai 70% fraksi volume. Penguat serat dibedakan menjadi: (a) serat panjang dan searah (*continuous and aligned fiber*), (b) serat pendek dan searah (*discontinuous and aligned fiber*), dan (c) serat pendek dan random (*discontinuous and randomly oriented fiber*) semuanya ditunjukkan seperti pada gambar 10.

Tabel. 2 Keunggulan dan kelemahan empat penguat fiber sintesis

Fiber	Keunggulan	Kelemahan
<i>Fiber Glass</i>	1.Kekuatan Tinggi 2.Relatif Murah	Kurang Elastis
<i>Fiber Carbon</i>	1.Kuat hingga sangat kuat 2. <i>Stiffness</i> (kuat-keras) besar 3.Koefisien Pemuaian Kecil 4.Menahan Getaran	1.Agak getas 2.Nilai peregangan kurang 3.Agak mahal
<i>Fiber Graphite</i>	1.Lebih <i>Stiffnes</i> dari <i>Carbon</i> 2.Lebih Ulet	Kurang kuat dibanding <i>Carbon</i>
<i>Fiber Nylon (aramid)</i>	1.Agak <i>stiff</i> (kuat-keras) dan sangat ulet 2.Tahan terhadap benturan 3.Kekuatannya besar (lebih kuat dari baja) 4.Lebih murah dari <i>carbon</i>	1.Kekuatan tekan lebih rendah dari <i>carbon</i> 2.Ketahanan panas lebih rendah dari <i>carbon</i> (hingga 180 C)

Penguat *fiber* untuk material komposit dibedakan menjadi 2 jenis, yaitu penguat *fiber* natural (alami) dan penguat *fiber* buatan (sintesis). Beberapa jenis penguat *fiber* sintesis yang umumnya dipakai dalam pembuatan material komposit antara lain: *fiber – glass*, *fiber – carbon*, *fiber – nylon*, dan *fiber – Graphite*. Keunggulan dan kelemahan empat penguat *fiber* di atas, ditulis pada tabel 2. Sedangkan penguat natural yang sering dipakai untuk pembuatan material komposit adalah serbuk kayu, eceng gondok, bambu, dan serat pisang.

{a} Faktor Ikatan *Fiber – Matriks*

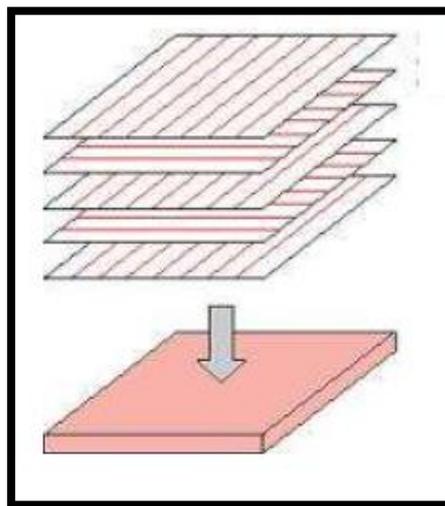
Komposit berpenguat serat banyak diaplikasikan pada alat-alat yang membutuhkan material yang mempunyai perpaduan dua sifat dasar yaitu kuat namun juga ringan. Komposit serat yang baik harus mampu menyerap matriks yang memudahkan terjadi antara dua fase. Selain itu komposit serat juga harus mempunyai kemampuan untuk menahan

tegangan yang tinggi, karena serat dan matriks berinteraksi dan pada akhirnya terjadi pendistribusian tegangan. Kemampuan ini harus dimiliki oleh matriks dan serat. Hal yang mempengaruhi ikatan antara serat dan matriks adalah void, yaitu adanya celah pada serat atau bentuk serat yang kurang sempurna yang dapat menyebabkan matriks tidak akan mampu mengisi ruang kosong pada cetakan. Bila komposit tersebut menerima beban, maka daerah tegangan akan berpindah ke daerah void sehingga akan mengurangi kekuatan komposit tersebut.

3. Komposit Berlapis (*Structural Composite*)

Penguat komposit berlapis terdiri dari sekurang-kurangnya dua material berbeda yang direkatkan bersama-sama. Proses pelapisan dilakukan dengan mengkombinasikan aspek terbaik dari masing-masing lapisan untuk memperoleh bahan yang berguna. Dibedakan menjadi 2 jenis yaitu komposit lapisan (*laminar composites*), dan *sandwich panels*. Komposit lapisan adalah lapisan dua dimensi atau panel yang memiliki arah kekuatan yang lebih tinggi. Contoh penguat komposit berlapis natural/alami adalah kayu yang dibuat untuk *plywood* pada gambar 11.

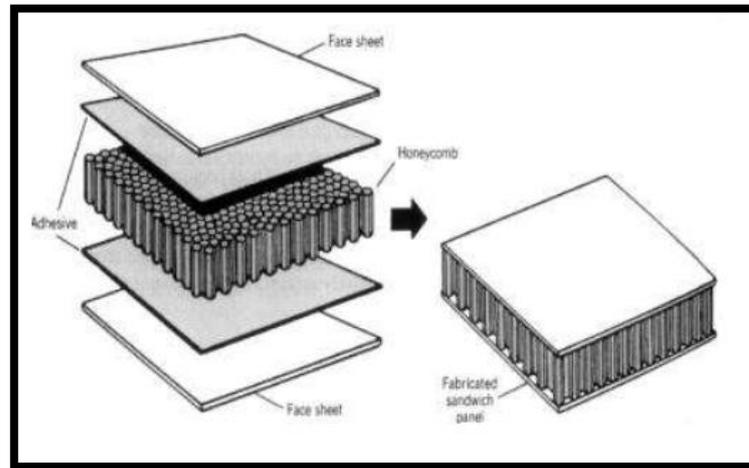
Sementara penguat *sandwich panels* adalah dua lapisan dengan



Gambar. 11 Skema komposit berlapis

lapisan luar yang kuat biasa disebut lapisan muka (*faces*). Dua lapisan tersebut dipisahkan oleh lapisan material atau inti (*core*) yang kurang padat (memiliki modulus elastisitas dan kekuatan yang lebih

rendah). Pemisahan permukaannya tahan terhadap deformasi yang tegak lurus dengan strukturnya berbentuk *honeycomb*. Biasanya dipakai untuk atap, dinding dan sayap pesawat. Gambar 12 menunjukkan skema bentuk penguat *sandwich panels* (Tjahjanti, Prantasi Harmi.2018).



Gambar. 12 Skema bentuk penguat *sandwich panels*

2.5. Bambu

Bambu merupakan komoditas lokal yang telah dikenal oleh masyarakat sejak dulu. Bambu merupakan tanaman yang mudah dijumpai di Indonesia terutama di Jawa, Bali, Sulawesi Selatan, dan Sumatera. Selain mudah dibudidayakan, juga memiliki jumlah produksi yang tinggi yaitu sekitar 33,4 – 109,2 ton/ha/tahun (Dransfield and Widjaja, 1995) dengan masa panen yang cukup singkat yaitu berkisar 1 – 3 tahun serta dapat dipanen sepanjang tahun sehingga kontinuitas bahan baku ini selalu terjaga (Anonim. 2022).

Luas hutan bambu tersebar di berbagai provinsi di Indonesia dengan luas total sekitar 164.312,36 ha. Namun ini belum termasuk dalam tanaman pada kebun-kebun masyarakat. Salah satu sentra produsen bambu di Indonesia adalah Sulawesi Selatan. Di Sulawesi Selatan tegakan bambu tersebar pada lahan milik petani secara monokultur baik berupa areal kebun khusus. Jenis bambu yang umum dibudidayakan di Sulawesi Selatan terdiri atas 4 jenis, yaitu *Gigantochloa ater*, *Schizostachyum brachyladum*, *Bambusa vulgaris*, dan *Dendrocalamus asper* dengan potensi sebesar 8.975 batang/ha.

2.6. Definisi Bambu

Bambu adalah tanaman jenis rumput-rumputan dengan rongga dan ruas pada batangnya. Bambu memiliki banyak jenis. Nama lain dari bambu adalah buluh, aur, pring dan eru. Di dunia ini bambu merupakan salah satu tanaman dengan pertumbuhan paling cepat.

Bambu adalah tanaman dengan laju pertumbuhan tertinggi di dunia yang ditentukan oleh kondisi tanah lokal, iklim, dan jenis spesies. Laju pertumbuhan yang paling umum adalah sekitar 3– 12 cm per hari. Beberapa dari spesies bambu dapat tumbuh hingga tingginya melebihi 30 m dan diameter batang mencapai 30 cm. Namun spesies tertentu hanya bisa tumbuh hingga ketinggian beberapa sentimeter saja.

2.7. Pemanfaatan Bambu Saat Ini

Tanaman bambu merupakan tanaman yang serba guna, mulai dari akarnya sampai daunnya dapat dimanfaatkan. Batangnya yang kuat, keras, ringan, ukurannya beragam dan mudah dikerjakan membuat bambu banyak digunakan sebagai bahan bangunan, pagar, jembatan, alat angkutan/rakit, pipa saluran air, atap rumah alat musik dan peralatan rumah tangga. Selain itu, saat ini, bambu juga telah mulai dimanfaatkan sebagai bahan pembuat *pulp* dan kertas, arang, sumpit (*chopstick*), *plywood/plybambu*, *furniture*, barang kerajinan tangan yang merupakan komoditi ekspor. Tunas mudahnya (rebung) dapat dijadikan bahan makanan dan telah dimanfaatkan sebagai makanan kaleng, daunnya dapat dijadikan sebagai pembungkus makanan. Akarnya yang kuat dapat dijadikan sebagai bahan kerajinan dan bahan pertanian. Selain itu, tanaman bambu dapat dijadikan sebagai tanaman konservasi karena mempunyai daya dukung terhadap lingkungan yang tinggi (Kementerian Lingkungan Hidup Dan Kehutanan. 2017).

Dari segi material komposit sebagian besar yang di pakai saat ini menggunakan bahan sintesis seperti *fiber glass* atau plastik yang tidak ramah lingkungan. Serta jenis material lainnya menggunakan bahan kayu atau logam yang harganya relatif mahal dan bobotnya relatif lebih berat sehingga kurang praktis. Oleh karena itu penelitian ini bermaksud menggunakan serat alam berupa serbuk

bambu yang mana serbuk bambu memiliki potensi sebagai serbuk penguat pengganti *glass powder* dalam pembuatan komposit polimer karena sifatnya terbaharui, murah, mudah diperoleh, ringan, tahan korosi, dan ramah lingkungan. Dan untuk penelitian kali ini menggunakan serbuk dari bambu apus sebagai bahan yang digunakan sebagai pengisi (*filler*) pada material.

Kandungan kimia dasar bambu adalah *selulosa*, *hemiselulosa* dan *lignin*. Dalam bambu, *selulosa* dan *hemiselulosa* hadir dalam bentuk *holoselulosa* yang berjumlah lebih dari 50% dari total konstituen kimia. Sebagian besar *selulosa* hadir dalam serat. Konstituen kimia paling melimpah kedua dari bambu adalah lignin. Ini berfungsi sebagai pengikat atau karya sebagai matriks serat *selulosa*. Lignin adalah energi sistem penyimpanan dan merespon mekanik tegangan sebagai komponen material komposit (Jain S. et al, 1992).

2.8 Bambu Apus



Gambar. 13 Bambu apus

Bambu apus (*Gigantochloa apus*) dikenal pula dengan sebutan bambu tali. Ini merupakan jenis tanaman bambu yang tersebar luas di Indonesia dan negara-negara di Asia tropis lainnya. Bambu apus sering kali digunakan sebagai bahan baku untuk membuat kerajinan tangan.

Bambu apus/tali merupakan tanaman yang merumpun. Pohonnya tegak dan rapat. Rebungnya hijau, tertutupi bulu-bulu miang berwarna cokelat dan hitam. Bentuk bambunya lurus ke atas dengan ujung yang meruncing serta mampu tumbuh hingga tingginya mencapai 22 m dengan diameter sekitar 4 – 15 cm. Buluhnya berwarna hijau kelabu, hijau terang, atau hijau kekuningan. Panjang ruasnya sekitar 20 – 60 cm. Sedangkan bentuk buku-bukunya sedikit menonjol keluar.

2.8.1 Kelebihan bambu apus

Berikut ini kelebihan-kelebihan yang dimiliki oleh bambu apus, antara lain (Anonim. 2022) :

1. Memiliki Struktur yang Kuat dan Kokoh

Bambu apus atau bambu tali selama ini dikenal sebagai salah satu jenis bambu yang mempunyai struktur yang sangat kuat dan kokoh. Bambu ini tidak mudah rusak atau patah. Meski mengalami kerusakan, titik terjadinya kerusakan tidak langsung putus. Sehingga bambu apus ini dinilai aman untuk dipakai dalam pekerjaan konstruksi bangunan. Bambu ini sering dibuat menjadi dinding, tiang, lantai, langit-langit, dan atap. Bahkan ada pula yang memanfaatkannya sebagai tulangan dalam pembuatan beton bertulang menggantikan besi baja.

2. Mempunyai Tingkat Elastisitas Sangat Baik

Tingkat elastisitas yang dimiliki oleh bambu apus terbukti sangat baik. Bambu ini bisa melengkung dalam jarak yang cukup jauh sehingga tidak mudah patah dan aman digunakan.

3. Mudah Diolah Menjadi Beragam Produk

Bambu tali atau bambu apus merupakan bahan baku yang sangat baik untuk digunakan dalam proses pembuatan produk kerajinan tangan. Salah satunya karena bambu ini mudah diolah lebih lanjut menjadi suatu produk jadi.

Tabel. 3 Sifat mekanik bambu apus

Sifat Mekanik	MPa
Kekuatan Tarik	53,53
Kekuatan Luluh	32,06
Modulus Elastisitas	9901,96
Kekuatan Tekan	49,41
Kekuatan Geser	3,872
Kekuatan tarik tegak lurus serat	2,77

2.9. Resin Polyester

Bahan yang bertugas sebagai pelindung dan pengikat serat di sebut sebagai matrik. Matrik juga berfungsi sebagai penyatu, perekat dan pelapis serat. Matrik yang digunakan dalam penelitian kali ini yaitu jenis resin poliyeter 157. Resin jenis ini

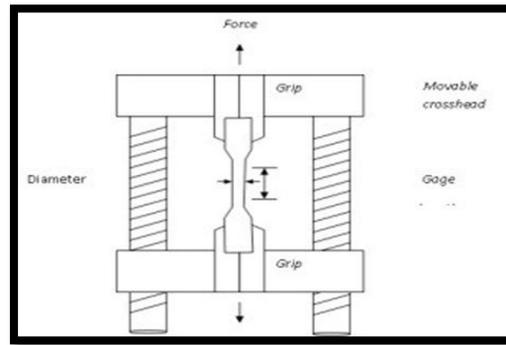
merupakan resin tidak jenuh yaitu polimer zat organik yang terdiri dari unsur-unsur karbon, hidrogen dan oksigen yang berbentuk padat atau cair. Tipe resin ini tahan terhadap air (suhu normal), asam lemah dan resin ini dapat digunakan pada suhu kerja sampai 79 °C.

Polyester sebagai resin *thermosetting* mempunyai kekuatan mekanis yang cukup bagus memiliki kemampuan ketahanan terhadap bahan kimia, isolator listrik Selain itu harganya yang cukup relatif murah. Dalam pengerjaan resin ini cukup mudah, karena tidak mengalami perubahan dimensi yang di signifikan saat proses *curing*. Dalam pemakaian resin *polyester*, untuk mendapatkan hasil sebagai matrix pengikat harus melalui proses *curing*. Resin *polyester* dapat mengalami proses curing dalam suhu kamar dengan cara mereaksikan peroksida organik atau dapat juga melalui penyinaran sinar ultraviolet. Kemampuan proses curing ini dapat dipercepat dengan mereaksikan resin *polyester* bersama katalis (sebagai periode organik) (Widjayarto, Adji. 2007).

Bahan tambahan yang digunakan untuk mengeraskan resin yaitu menggunakan katalis. Katalis yang digunakan dalam penelitian kali ini yaitu *katalis metil etil keton peroksida* (MEKPO) dengan berbentuk cair dan berwarna bening. Fungsi dari katalis ini ialah untuk mempercepat terjadinya proses pengerasan pada bahan matrik suatu komposit(Wahid, Misbah Z. 2017).

2.10 Uji Tarik

Uji Tarik adalah suatu metode yang digunakan untuk menguji kekuatan suatu bahan/material dengan cara memberikan beban gaya yang berlawanan arah dalam satu garis lurus. Kekuatan tarik merupakan salah satu sifat bahan yang dapat digunakan untuk memperkirakan karakteristik bahan sewaktu mengalami lenturan dan pemesian.



Gambar. 14 Mesin uji tarik

Hasil yang didapatkan dari pengujian tarik sangat penting untuk rekayasa teknik dan desain produk karena menghasilkan data kekuatan material. Pengujian Uji Tarik digunakan untuk mengukur ketahanan suatu material terhadap gaya statis yang diberikan secara lambat. Sampel atau benda uji dengan ukuran dan bentuk tertentu ditarik dengan beban kontinu sambil diukur pertambahan panjangnya. Bentuk dan besaran pada kurva tegangan regangan suatu material tergantung pada sifat sifat dari material tersebut. Data yang didapat berupa perubahan panjang dan perubahan beban yang selanjutnya ditampilkan dalam bentuk grafik tegangan-regangan, sebagaimana ditunjukkan oleh Gambar (Ahmad Khoiri, et al, 2017)

2.11 Heat Distortion Temperatur (HDT)

Heat distortion temperatur (HDT) adalah sifat penting dari polimer. Ini menentukan kemampuan mereka untuk tetap kaku dan mempertahankan bentuknya dibawah suhu tinggi dan beban konstan. HDT merupakan indikator penting suhu maksimum material untuk aplikasi struktural. Ini bisa menjadi ukuran yang baik untuk membandingkan bahan satu sama lain. HDT juga penting dalam industri cetakan injeksi karena membantu laju pendinginan dan suhu material selama pencetakan. HDT juga membantu menunjukkan bagaimana kinerja bagian plastic yang dicetak ketika ditempatkan di bawah beban mekanis dan terkena panas.

Menurunnya nilai kekuatan tarik seiring naiknya temperatur disebabkan oleh nilai *heat distortion temperatur* (HDT) resin *polyester* lebih rendah dari temperatur perlakuan sehingga ikatan antar rantai monomernya terlepas. Besaran nilai HDT resin *polyester* berada pada 54°C, di atas temperatur HDT maka sifat resin mulai getas. Suhu yang tinggi menyebabkan putusya ikatan rantai monomer sehingga

daya ikat *interface* serat menjadi lemah dan mudah terlepas ketika dikenai beban. Hal ini berakibat pada menurunnya kekuatan tarik komposit (Kristomus, Boimaua, 2022).

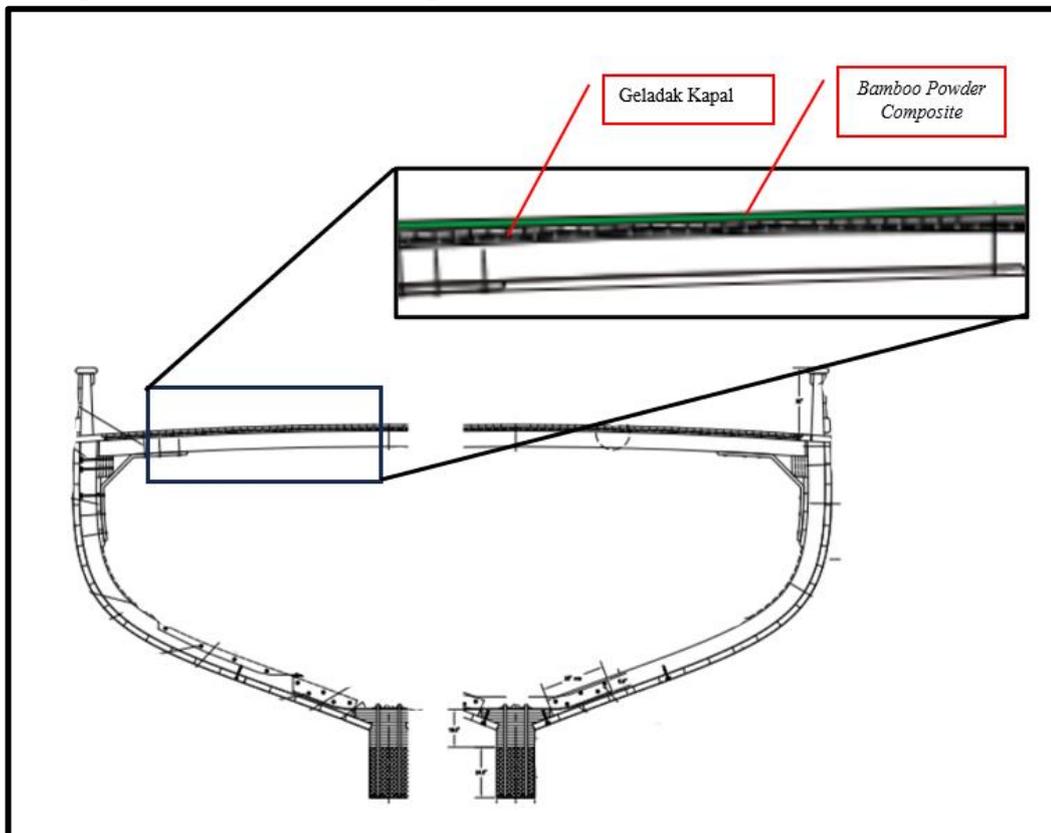
2.12 Potensi Pengaplikasian

2.11.1. *Body* kapal



Gambar. 15 (a) Gambar Kapal *Fiber Glass*, (b) Gambar Kerusakan Pada *Fiber Glass*

Pengaplikasian komposit resin *polyester* berpenguat serat bambu ini dapat digunakan pada *body* kapal sebagai pengganti dari resin *fiber glass* yang memiliki sifat mudah terbakar, kaku, kurang elastis atau kurang fleksibel sehingga gampang retak apabila terkena benturan dan panas secara terus menerus.



Gambar. 16 Penambahan komposit pada geladak kapal

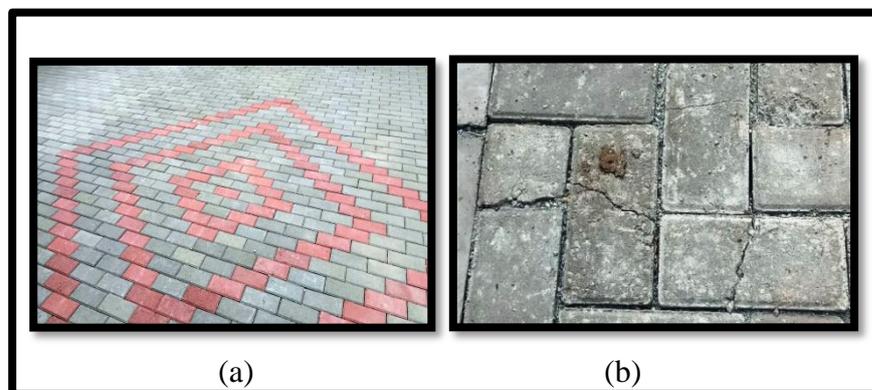
Dapat dilihat juga pada gambar 17, penambahan *bamboo powder composite* pada geladak kapal dapat melindungi geladak kapal, oleh karena itu material komposit ini dapat digunakan untuk meminimalisir kerusakan tersebut dengan cara melapisi seluruh geladak kapal dengan resin *polyester* berpenguat serbuk bambu tersebut, dengan adanya peningkatan regangan ketika berhadapan dengan suhu yang panas dapat mengatasi pemuaian kayu yang ada pada perahu sehingga dapat mencegah lapisan resin yang mengalami *cracking* dari dalam akibat pemuaian konstruksi kayu pada perahu.



Gambar. 17 Contoh Hasil Pemasangan *Glass fiber* pada geladak kapal

2.12.2. Paving block

Paving block pecah atau retak merupakan kerusakan yang paling umum terjadi. Penyebabnya adalah karena *paving block* menerima beban melebihi dari kemampuannya dan biasanya cara memperbaiki *paving block* yang mengalami kerusakan seperti ini adalah dengan melakukan penggantian *paving block* yang rusak atau pecah dengan *paving block* yang baru. Oleh karena untuk meminimalisir terjadinya pergantian *paving block* secara berulang dan untuk lebih menghemat biaya kita dapat menggunakan komposit ini untuk melindungi kerusakan tersebut dengan cara melapisi seluruh bagian dari *paving block* untuk meminimalisir terjadinya keretakan.



Gambar. 18 (a) Gambar Paving Block (b) Gambar Keretakan pada Paving Block