

**Karakteristik Termal Papan Komposit Yang Diperkuat Dengan  
Partikel Cangkang Telur**



**Tugas Akhir**

**Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan mencapai derajat Sarjana  
S1 pada Jurusan Teknik Mesin Universitas Sultang Ageng Tirtayasa**

Disusun oleh

**Arinda Fajar Amrillah**

**3331190093**

**FAKULTAS TEKNIK  
JURUSAN TEKNIK MESIN  
UNIVERSITAS SULTAN AGENG TIRTAYASA  
CILEGON – BANTEN  
2024**

## TUGAS AKHIR

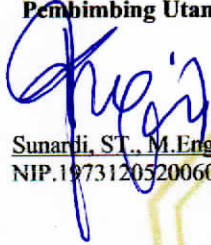
**karakteristik Termal Papan Komposit Yang Diperkuat Dengan Partikel Cangkang Telur**

Dipersiapkan dan disusun Oleh :

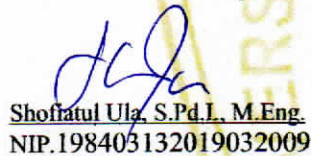
**Arinda Fajar Amrillah**  
**3331190093**

telah dipertahankan di depan Dewan Penguji  
pada tanggal, 03 Juli 2024

**Pembimbing Utama**



Sunardi, ST., M.Eng.  
NIP.197312052006041002

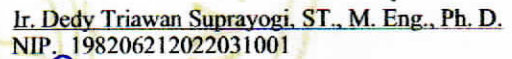


Shofiatal Ula, S.Pd.I., M.Eng.  
NIP.198403132019032009

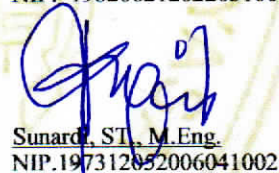
**Anggota Dewan Penguji**



Ir. Dhimas Satria, S.T., M.Eng.  
NIP.198305102012121006



Ir. Dedy Triawan Suprayogi, ST., M. Eng., Ph. D.  
NIP. 198206212022031001



Sunardi, ST., M.Eng.  
NIP.197312052006041002



Shofiatal Ula, S.Pd.I., M.Eng.  
NIP.198403132019032009

**Tugas Akhir ini sudah diterima sebagai salah satu persyaratan  
untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik**

Tanggal, 10 Juli 2024  
Ketua Jurusan Teknik Mesin UNTIRTA



Ir. Dhimas Satria, S.T., M.Eng.  
NIP. 198305102012121006

## PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS

Yang bertanda tangan di bawah ini,

Nama : Arinda Fajar Amrillah

NPM : 3331190093

Judul : Karakteristik Termal Papan Komposit Yang Diperkuat Dengan Partikel Cangkang Telur

Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin Universitas Sultan Ageng Tirtayasa,

### MENYATAKAN

Bahwa tugas akhir ini adalah hasil karya sendiri dan tidak ada duplikasi dengan karya orang lain, kecuali yang telah disebutkan sumbernya.

Cilegon, Juli 2024



Arinda Fajar Amrillah  
NPM. 3331190093

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur mari kita panjatkan ke hadirat Allah SWT karena dengan rahmat serta hidayah nya. Semoga shalawat beserta salam selalu tercurahkan kepada suri tauladan sejati, baginda Nabi dan Rasulullah Muhammad SAW, beserta keluarga, sahabat, dan para pejuang penerus risalahnya hingga akhir zaman. Alhamdulillah dengan pertolongan-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Karakteristik Thermal Papan Komposit Yang Diperkuat Dengan Partikel Cangkang Telur”. Skripsi ini merupakan salah satu syarat untuk menyelesaikan Studi Sarjana Strata Satu (S1) pada Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.

Skripsi ini mungkin tidak dapat diselesaikan dengan baik tanpa adanya bantuan, dukungan, serta motivasi. Oleh karena itu penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Dhimas Satria, S.T., M.Eng., selaku Ketua Program Studi S1 Teknik Mesin Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
2. Sunardi, S.T., M.Eng., selaku Dosen Pembimbing I yang telah memberikan bimbingan, pengarahan serta saran sehingga penyusunan proposal skripsi ini dapat berjalan dengan baik.
3. Shofiatul Ula, S.Pd.I., M.eng., selaku Dosen akademik dan Pembimbing II skripsi yang telah memberikan bimbingan, pengarahan serta saran sehingga penyusunan proposal skripsi ini dapat berjalan dengan baik.
4. Seluruh Dosen dan staff Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa yang telah memberikan ilmunya kepada penulis selama kegiatan perkuliahan.
5. Mahasiswa Teknik Mesin angkatan 2019 dan seluruh pihak yang telah membantu penulis selama penyusunan skripsi ini.

Semoga Allah SWT senantiasa membalas segala kebaikan yang telah diberikan kepada penulis. Penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini jauh dari kesempurnaan, oleh karenanya penulis mengharapkan saran dan masukan yang membangun guna kesempurnaan dan pembelajaran penulis

harapkan. Akhir kata penulis berharap semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca dan penulis khususnya.

Serang, Juni 2024

A handwritten signature in black ink, consisting of several overlapping, stylized lines that form a recognizable name.

Arinda Fajar Amrillah

## ABSTRAK

Material komposit dengan paduan serbuk cangkang telur ayam sebagai filler merupakan salah satu jenis material komposit yang ramah lingkungan dan memiliki sifat yang kuat. Limbah cangkang telur ayam memiliki potensi digunakan sebagai bahan komposit (Dede, 2017). Cangkang telur merupakan salah satu produk sampingan pabrik pengolahan dan pembuatan makanan yang banyak digunakan. Telur merupakan bahan utama dalam berbagai macam produk seperti kue, makanan cepat saji dan lainnya, yang produksinya menghasilkan beberapa ton limbah kulit terus setiap harinya dan mengeluarkan biaya yang cukup besar di dunia. Sekitar 250.000 ton limbah cangkang telur di produksi setiap tahunnya di seluruh dunia (Verma, 2012).

Pengujian Thermogravimetri (TGA) Pada tiga sampel menunjukkan bahwa SCT adalah yang paling tahan akan degradasi termal setelah diberikan suhu  $500^{\circ}\text{C}$  kehilangan bebannya hanya sebesar 0,612mg, dan yang paling banyak kehilangan beratnya yaitu SBCT sebesar 1,231mg. Begitu juga dengan stabilitas dimensi pada paparan panas, SCT menjadi sampel yang paling kuat menahan jika diberi suhu panas. Pada pengujian ini yang menggunakan cangkang telur mendapatkan nilai paling bagus dikarenakan cangkang telur dapat menahan suhu yang panas. Setelah dilakukan pengujian TGA dan stabilitas dimensi pada paparan panas selanjutnya didapatkan nilai hasil dari uji kekerasan dan kerapatan. Untuk SCT dengan nilai rata-rata kekerasan 43.25 setelah diberi paparan panas  $100^{\circ}\text{C}$  naik menjadi 44.33 selanjutnya saat diberi temperatur  $200^{\circ}\text{C}$  naik kembali menjadi 44.75. Untuk nilai yang terendah didapat oleh BS dengan nilai awal rata-rata sebesar 25.75 mengalami penurunan pada suhu  $100^{\circ}\text{C}$  dengan nilai 25 pada suhu  $200^{\circ}\text{C}$  mengalami penurunan kembali menjadi 23.16. Faktor penyebab naik turunnya kekerasan dan kerapatan pada setiap suhu dipengaruhi oleh sifat air yang menguap dan terbakarnya bahan yang menjadi pengisi pada komposit. Adanya cangkang telur dalam komposit ini juga dapat membantu peningkatan densitas pada papan partikel. Dari hasil analisa ini kita bisa mengambil manfaat bahwa pengujian sifat termal papan partikel dengan bahan cangkang telur yaitu mengetahui kekuatan dan kemampuan papan partikel terhadap suhu tinggi. Kita dapat membandingkan kinerja bahan yang menggunakan cangkang telur ini dengan bahan lain, juga

dapat mengevaluasi pengaruh faktor – faktor yang menyebabkan kegagalan pada saat proses pengujian berlangsung.

**Kata Kunci:** Cangkang Telur, Sengon, Bambu, Papan Partikel, Paparan Panas, *Thermogravimetri analysis*

## ABSTRACT

Composite material with a mixture of chicken egg shell powder as a filler is a type of composite material that is environmentally friendly and has strong properties. Chicken egg shell waste has the potential to be used as a composite material (Dede, 2017). Egg shells are one of the widely used by-products of food processing and manufacturing factories. Eggs are the main ingredient in various products such as cakes, fast food and others, the production of which produces several tonnes of shell waste every day and incurs quite large costs in the world. Approximately 250,000 tons of eggshell waste is produced every year throughout the world (Verma, 2012).

Thermogravimetric testing (TGA) on three samples showed that SCT was the most resistant to thermal degradation after being subjected to a temperature of  $500^{\circ}\text{C}$ , losing only 0.612 mg of weight, and the one that lost the most weight was SBCT of 1.231 mg. Likewise with dimensional stability when exposed to heat, SCT is the sample that resists the strongest resistance when exposed to hot temperatures. In this test, those using egg shells got the best score because egg shells can withstand hot temperatures. After testing the TGA and dimensional stability on heat exposure, the results of the hardness and density tests were obtained. For SCT with an average hardness value of 43.25 after being exposed to heat of  $100^{\circ}\text{C}$  it rose to 44.33, then when given a temperature of  $200^{\circ}\text{C}$  it rose again to 44.75. The lowest value was obtained by BS with an initial average value of 25.75 which decreased at a temperature of  $100^{\circ}\text{C}$  with a value of 25 at a temperature of  $200^{\circ}\text{C}$  which decreased again to 23.16. The factors causing the increase and decrease in hardness and density at each temperature are influenced by the nature of the water that evaporates and the burning of the materials that serve as fillers in the composite. The presence of egg shell in this composite can also help increase the density of particle board. From the results of this analysis we can take advantage of testing the thermal properties of particle board with eggshell material, namely knowing the strength and ability of particle board to high temperatures. We can compare the performance of materials that use egg



shells with other materials, and can also evaluate the influence of factors that cause failure during the testing process.

Keywords: Eggshell, Sengon, Bamboo, Particle Board, Heat Exposure, Thermogravimetric analysis

# DAFTAR ISI

	<b>Halaman</b>
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	I
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	II
<b>PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS</b> .....	III
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	IV
<b>ABSTRAK</b> .....	VI
<b>DAFTAR ISI</b> .....	X
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	XII
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	XIV
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	2
1.3 Tujuan Penelitian .....	2
1.4 Manfaat Penelitian .....	2
1.5 Batasan Masalah .....	2
<b>BAB II TEORI DASAR</b>	
2.1 Komposit .....	3
2.2 Klasifikasi Komposit .....	4
2.2.1 Komposit Partikel ( <i>Particulate Composite</i> ) .....	4
2.2.2 Komposit Serat ( <i>Fiber Composite</i> ) .....	4
2.2.3 Komposit Lapis ( <i>Laminate Composite</i> ) .....	6
2.3 Matrik .....	6
2.4 Karakteristik Serat Sebagai Penguat Komposit .....	7
2.5 Papan Partikel .....	8
2.6 Bahan Penyusun Komposit .....	8
2.6.1 Partikel Cangkang Telur .....	8
2.6.2 Kayu Sengon .....	9
2.6.3 Bambu .....	10
2.6.4 Resin <i>Epoxy</i> .....	10

2.6.5 Lem PVAc.....	11
2.7 Sifat Termal.....	11
2.8 Kompaksi .....	12
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b>	
3.1 Diagram Alir Penelitian .....	13
3.2 Variabel Penelitian .....	14
3.3 Alat dan Bahan Penelitian .....	15
3.4 Pembuatan Sampel Pengujian .....	21
3.4.1 Persiapan Bahan .....	21
3.4.2 Proses <i>Mixing</i> .....	22
3.4.3 Proses Kompaksi .....	23
3.4.4 Proses Curing .....	24
3.5 Proses Pengujian .....	24
3.5.1 Proses Thermal.....	24
3.5.2 Stabilitas Dimensi Saat Terpapar Suhu Tinggi .....	24
3.5.3 Proses Pengujian Densitas.....	24
3.5.4 Proses Pengujian Kekerasan Shore D .....	25
<b>BAB IV DATA DAN ANALISIS</b>	
4.1 Pengujian Termal .....	26
4.1.1 Pengujian Stabilitas Dimensi Paparan Panas .....	26
4.1.2 Pengujian <i>Termogravimetri Analisis (TGA)</i> .....	29
4.2 Pengujian Kekerasan .....	33
4.3 Pengujian Densitas .....	35
<b>BAB V PENUTUP</b>	
5.1 Kesimpulan.....	38
5.2 Saran.....	39
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	
<b>LAMPIRAN</b>	

## DAFTAR GAMBAR

	<b>Halaman</b>
<b>Gambar 2.1</b> Ilustrasi komposit berdasarkan penguatnya.....	3
<b>Gambar 2.2</b> Komposit Partikel .....	4
<b>Gambar 2.3</b> Komposit Serat .....	5
<b>Gambar 2.4</b> Tipe <i>Discontinuous Fiber</i> .....	5
<b>Gambar 2.5</b> Tipe Komposit Serat .....	6
<b>Gambar 2.6</b> Ikatan Pada Komposit.....	8
<b>Gambar 2.7</b> Cangkang Telur dan Serbuk Cangkang Telur .....	9
<b>Gambar 3.1</b> Diagram Alir Penelitian.....	13
<b>Gambar 3.2</b> Papan Cetak .....	15
<b>Gambar 3.3</b> Mesin Frais Konvensional dan Mesin Bor Tangan .....	16
<b>Gambar 3.4</b> Timbangan Digital .....	16
<b>Gambar 3.5</b> Gelas Ukur.....	16
<b>Gambar 3.6</b> Jangka Sorong.....	17
<b>Gambar 3.7</b> Oven.....	17
<b>Gambar 3.8</b> <i>Hydraulic Pump</i> .....	17
<b>Gambar 3.9</b> Ayakan Mesh 35 .....	18
<b>Gambar 3.10</b> Blender.....	18
<b>Gambar 3.11</b> Durometer Shore D.....	18
<b>Gambar 3.12</b> Serbuk Cangkang Telur .....	19
<b>Gambar 3.13</b> Serbuk Bambu .....	19
<b>Gambar 3.14</b> Serbuk Kayu Senong .....	20
<b>Gambar 3.15</b> Lem PVAc .....	20
<b>Gambar 3.16</b> Resin Epoxy.....	20
<b>Gambar 3.17</b> Larutan NaOH 5% .....	21
<b>Gambar 3.18</b> Aquades .....	21
<b>Gambar 4.1</b> Grafik Presentase Kehilangan Berat 100° C .....	27
<b>Gambar 4.2</b> Grafik Presentase Kehilangan Berat 200° C .....	28

<b>Gambar 4.3</b> Grafik Hasil Pengujian TGA .....	29
<b>Gambar 4.4</b> Grafik Weight Loss Uji TGA .....	31
<b>Gambar 4.5</b> Grafik Hasil Pengujian DSC.....	32
<b>Gambar 4.6</b> Grafik Pengujian Kekerasan Sebelum diberi paparan panas .....	33
<b>Gambar 4.7</b> Grafik Pengujian Kekerasan dengan suhu 100°C .....	34
<b>Gambar 4.8</b> Grafik Pengujian Kekerasan dengan suhu 200°C .....	34
<b>Gambar 4.9</b> Grafik Hasil Uji Densitas Sebelum diberi Paparan Panas .....	36
<b>Gambar 4.10</b> Grafik Hasil Uji Densitas Setelah diberi Paparan Panas 100°C dan 200°C .....	37

## DAFTAR TABEL

	<b>Halaman</b>
<b>Tabel 2.1</b> Komponen Kimia Kayu Sengon .....	10
<b>Tabel 3.1</b> Fraksi Volume Bahan Papan Partikel Komposit .....	22
<b>Tabel 4.1</b> Pengujian paparan panas dengan suhu $100^{\circ}C$ .....	26
<b>Tabel 4.2</b> Pengujian paparan panas dengan suhu $200^{\circ}C$ .....	27

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Pemanfaatan suatu limbah terus dilakukan oleh para peneliti, pemanfaatan limbah ini bertujuan untuk mendapatkan hasil yang baik agar dapat dimanfaatkan oleh manusia. Selain dapat dimanfaatkan juga dapat mengurangi pencemaran pada lingkungan (Warsy, dkk, 2016).

Perkembangan teknologi bahan saat ini semakin pesat, pemenuhan kebutuhan akan bahan dengan karakteristik tertentu juga menjadi faktor pendorong perkembangan teknologi bahan. Berbagai macam bahan telah digunakan dan juga penelitian lebih lanjut terus dilakukan untuk mendapatkan bahan yang tepat guna. Limbah cangkang telur ayam ini sangat potensial dimanfaatkan sebagai salah satu bahan untuk meningkatkan sifat mekanik seperti bahan komposit resin (Mozartha, dkk, 2015).

Material komposit dengan paduan serbuk cangkang telur ayam sebagai filler merupakan salah satu jenis material komposit yang ramah lingkungan dan memiliki sifat yang kuat. Limbah cangkang telur ayam memiliki potensi digunakan sebagai bahan komposit (Dede, 2017). Cangkang telur merupakan salah satu produk sampingan pabrik pengolahan dan pembuatan makanan yang banyak digunakan. Telur merupakan bahan utama dalam berbagai macam produk seperti kue, makanan cepat saji dan lainnya, yang produksinya menghasilkan beberapa ton limbah kulit terus setiap harinya dan mengeluarkan biaya yang cukup besar di dunia. Sekitar 250.000 ton limbah cangkang telur di produksi setiap tahunnya di seluruh dunia (Verma, 2012).

Dalam beberapa tahun terakhir, banyak cara yang sudah dilakukan untuk merubah limbah cangkang telur menjadi produk yang bernilai (Dupoirieux, 1995). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pembuatan komposit dengan memanfaatkan limbah cangkang telur. Sehingga dapat digunakan sebagai material *meubel* atau *furniture* untuk menggantikan bahan kayu. Dengan adanya komposit ini, diharapkan akan memberi peluang usaha

industri *meubel* lebih kreatif dan inovatif dalam berkreasi juga ikut serta melestarikan lingkungan sekitar.

## **1.2 Perumusan Masalah**

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah seberapa besar pengaruh fraksi volume partikel cangkang telur terhadap sifat thermal papan partikel dan kekuatan lenturnya.

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Tujuan yang ingin dicapai dalam perancangan ini antara lain:

1. Untuk menganalisa kekuatan partikel cangkang telur terhadap komposit.
2. Dapat menganalisa ketahanan thermal dari papan komposit dengan penguat cangkang telur sebagai alternatif bahan baku untuk mebel atau *furniture* yang mengacu pada standar SNI 03-2105-2006.

## **1.4 Manfaat Penelitian**

Manfaat penelitian ini yaitu:

1. Pemanfaatan limbah cangkang telur sebagai *filler* komposit.
2. Hasil penelitian diharapkan bisa menjadi bahan alternatif sebagai papan mebel atau *furniture* yang menjadi standar SNI 03-2105-2006.

## **1.5 Batasan Masalah**

Pada penelitian komposit papan partikel ini perlu adanya batasan masalah, dengan maksud agar pembahasan tidak meluas. Berikut batasan – batasan masalah tersebut adalah :

1. Bahan komposit terdiri dari cangkang telur, bambu betung, kayu sengon dengan penguat resin *epoxy* dan lem fox.
2. Bahan komposit yang sedang diteliti akan dijadikan bahan alternatif untuk meubel atau *furniture*.
3. Tidak membahas unsur- unsur kimia yang ada pada bahan komposit.
4. Karakteristik komposit yang akan di uji adalah uji sifat termal.



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Komposit

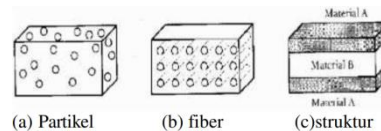
Komposit adalah material yang penting karena mempunyai sifat – sifat yang khusus. Sifat tersebut diantaranya yaitu kekuatan, kekakuan, ringan, tidak korosi dan memiliki usia benda yang lebih baik dibanding bahan konvensional lainnya (Manurung, dkk, 2020).

Kata komposit sendiri berasal dari kata “*to compose*” yang memiliki arti menyusun atau menggabungkan. Komposit memiliki sistem material yang tersusun dari campuran dua atau lebih material yang berbeda (Fajri, dkk, 2013).

Sifat atau karakteristik dari suatu komposit ditentukan oleh:

- 1) Material yang dijadikan penyusun komposit dan karakter komposit ditentukan berdasarkan karakteristik pada suatu material penyusun sehingga hasilnya akan berbanding secara proporsional atau seimbang.
- 2) Bentuk dan cara penyusunan pada komposit sangat mempengaruhi karakteristiknya.
- 3) Bila terjadi suatu interaksi diantara penyusun akan meningkatkan sifat kompositnya.

Adapun ilustrasi komposit berdasarkan penguatnya yang dapat dilihat pada gambar berikut ini:



**Gambar 2.1** Ilustrasi komposit berdasarkan penguatnya

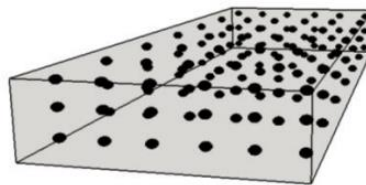
(Sumber: Fajri, dkk, 2013)

## 2.2 Klasifikasi Komposit

Mekanisme penguat pada komposit tergantung pada geometri penguatnya, dalam mengklasifikasikan suatu material komposit yang berbasis pada geometri penguatnya. Komposit diklasifikasikan menjadi 3 macam yaitu:

### 2.2.1 Komposit Partikel (*Particulate Composite*)

Komposit yang di susun atas matrik kontinyu (yang memiliki nilai di semua titik) dan penguat (*reinforced*) yang diskontinyu (tidak memiliki nilai di semua titik) berbentuk serat pendek yang disebut komposit partikel, pada dasarnya penguat partikel kurang efektif untuk mempertahankan ketahanan patah, berbeda dengan komposit yang memiliki penguat serat yang bagus dalam mempertahankan ketahanan patah namun matrik berpenguat partikel memiliki sifat yang bagus untuk mengurangi beban yang mengakibatkan patah, fungsi partikel ini untuk membagi beban agar terdistribusi merata dalam material dan menghambat deformasi plastis, partikel tersebut bisa menggunakan logam maupun non logam (Setiawan, 2017).

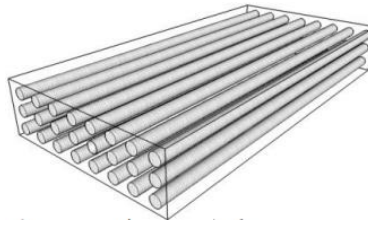


**Gambar 2.2** Komposit partikel

(Sumber: Setiawan, 2017)

### 2.2.2 Komposit Serat (*Fiber Composite*)

Komposit serat yaitu jenis komposit yang menggunakan serat sebagai bahan penguatnya. Serat yang biasa di gunakan yaitu serat karbon, serat aramid, serat gelas dan lainnya. Komposit ini tersusun dengan matrik kontinyu polimer atau logam, serat ini terikat dengan matrik, serat ini juga biasanya berbentuk multifilament (benang yang terbuat dari filament) panjang yang digulung, serat juga bisa disusun secara acak (Setiawan, 2017).



**Gambar 2.3** Komposit Serat

(Sumber: Setiawan, 2017)

Menurut Yani (2018) jika ingin komposit menjadi kuat harus menempatkan serat dengan benar. Terdapat beberapa tipe serat pada komposit berdasarkan penempatannya, yaitu:

1. *Continuous Fiber Composite*

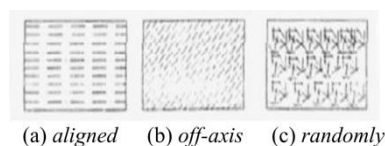
*Continuous Fiber Composite* memiliki susunan serat panjang yang membentuk lamina diantara matrik. Jenis komposit ini paling sering digunakan dan tipe ini memiliki kelemahan pada pemisahan antara lapisan karena hal ini kekuatan antar lapisan dipengaruhi oleh matriknya.

2. *Woven Fiber Composite*

*Woven Fiber Composite* adalah tipe komposit yang tidak mudah dipengaruhi pemisahan antar lapisan karena susunan seratnya mengikat antar lapisan. Tipe ini memiliki kelemahan pada susunan serat memanjang yang tidak lurus mengakibatkan kekuatan dan kekauannya menjadi lemah.

3. *Discontinuous Fiber Composite*

*Discontinuous Fiber Composite* tipe komposit yang memiliki serat pendek. Tipe komposit serat pendek dapat dilihat pada gambar 2.4 sebagai berikut :

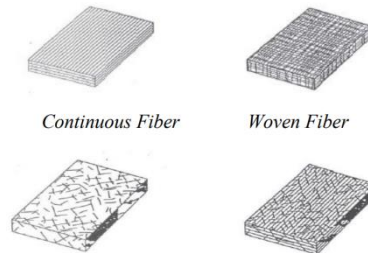


**Gambar 2.4** Tipe *Discontinuous Fiber*

(Sumber: Yani, 2018)

#### 4. Hybrid Fiber Composite

*Hybrid Fiber Composite* yaitu komposit gabungan antara komposit serat lurus dan serat acak. Tipe ini digunakan agar dapat menggantikan kekurangan yang ada pada kedua tipe komposit dan dapat menggabungkan kelebihan keduanya. Tipe komposit serat dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



**Gambar 2.5** Tipe Komposit Serat

(Sumber: Yani, 2018)

#### 2.2.3 Komposit Lapis (*Laminate Composite*)

Komposit lapis terdiri dari komposit yang memiliki beberapa lapisan yang berpenguat serat, berpenguat partikel atau campuran lapisan komposit tipis dengan material yang berbeda dimana lapisan tersebut saling terikat didalam satu matriks (Setiawan, 2017)

#### 2.3 Matrik

Menurut Gibson (1994) bahwa matrik pada struktur komposit bisa berasal dari bahan logam, polimer dan keramik. Matrik berfungsi untuk mengikat serat agar menjadi satu struktur dalam komposit. Diantara jenis matrik yang ada matrik polimer yang paling luas dalam penggunaannya. Berdasarkan ikatan antar penyusun polimer dapat dibedakan menjadi dua macam, yaitu resin *thermoset* dan resin *thermoplastic*. Resin *thermoset* memiliki sifat yang stabil terhadap panas dan tidak mencair jika berada pada suhu panas serta perilakunya bersifat *irreversible* atau tidak bisa kembali pada bentuk semula, sedangkan resin *thermoplastic* jenis polimer yang dapat mencair jika berada di suhu yang panas dan dapat mengeras kembali jika di dinginkan dan memiliki sifat *reversible* atau bisa kembali ke bentuk semula.

## 2.4 Karakteristik Serat Sebagai Penguat Komposit

Menurut Fahmi (2011) ada beberapa faktor yang mempengaruhi matrik dan serat, sebagai berikut:

### 1. Faktor Serat

Serat yaitu bahan untuk pengisi matrik yang dapat digunakan untuk memperbaiki sifat dan struktur matrik yang tidak dimilikinya, serat diharapkan mampu menjadi bahan penguat matrik pada komposit berguna untuk menahan tekanan yang terjadi.

### 2. Letak Serat

Dalam proses pembuatan komposit letak serat dan arah serat dalam matrik yang akan menjadi penentu untuk kekuatan mekanik komposit, dimana letak dan arah serat dapat mempengaruhi kinerja pada komposit.

### 3. Panjang Serat (*Continuous Fiber*)

Panjang serat pada pembuatan komposit sangat berpengaruh terhadap kekuatan, ada 2 penggunaan serat dalam campuran komposit yaitu serat panjang dan serat pendek.

Serat alam dapat dibandingkan dengan serat sintesis karena memiliki panjang dan diameter yang tidak seragam pada setiap jenisnya. Maka dari itu panjang dan diameter sangat berpengaruh pada kekuatan komposit. Panjang serat atau diameter serat sering disebut dengan kata *aspect ratio*. Bila *aspect ratio* semakin besar maka kekuatan tarik serat pada komposit akan semakin besar juga. Serat panjang lebih efisien dalam peletakannya dari pada serat pendek. Tetapi serat pendek lebih mudah peletakannya jika dibandingkan dengan serat panjang karena panjang serat sangat mempengaruhi kemampuan proses dari komposit serat.

### 4. Bentuk Serat

Bentuk serat yang dapat digunakan untuk membuat komposit tidak begitu berpengaruh, yang dapat mempengaruhi komposit yaitu diameter seratnya. Pada umumnya jika diameter serat semakin kecil maka akan menghasilkan kekuatan komposit yang lebih tinggi. Selain

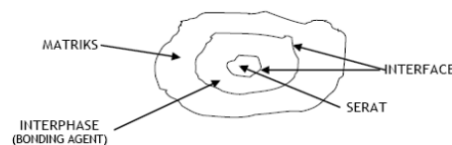
bentuknya kandungan serat juga mempengaruhi dalam pembuatan komposit.

## 2.5 Papan Partikel

Papan partikel yaitu lembaran bahan yang mengandung lignoselulosa yang disatukan menggunakan bahan pengikat organik dengan diberi perlakuan panas, kadar air, tekanan, katalis dan lainnya.

Ada tiga ciri-ciri utama papan yang menentukan sifatnya yaitu (1) species dan bentuk partikel (2) kerapatan (3) kandungan resin dan penyebarannya.

Sutigno (1998) menyatakan faktor utama yang mempengaruhi suatu kerapatan yaitu berat jenis bahan baku dan pemadatan hamparan pada mesin pengempaan. Kerapatan papan harus lebih tinggi dari kerapatan bahan baku agar menghasilkan kekuatan pada papan yang lebih baik. Semakin tinggi kerapatannya maka akan menyeluruh pada papan dari suatu bahan baku tertentu, jika semakin tinggi kekuatan namun sifat pada papan yang lain seperti kestabilan dimensi akan berpengaruh jelek karena naiknya kerapatan tersebut.



**Gambar 2.6** Ikatan Pada Komposit

(Sumber: Schwartz, 1984)

## 2.6 Bahan Penyusun Komposit

Adapun bahan penyusun komposit ini yang akan dijelaskan sebagai berikut :

### 2.6.1 Partikel Cangkang Telur

Struktur cangkang telur memiliki protein yang dilapisi oleh Kristal mineral, biasanya dari senyawa kalsium seperti kalsium karbonat yang menghasilkan komposit yang ringan dan bisa menahan beban rendah. Rata-rata berat satu buah cangkang telur sebesar 7,2 sampai 7,8 gram. Cangkang telur dibersihkan terlebih dahulu secara menyeluruh agar menghilangkan sifat-sifat organiknya lalu di keringkan dibawah terik sinar matahari selama 5 sampai 7 hari untuk dijadikan serbuk. Cangkang telur sudah digunakan

sebagai penguat untuk komposit polimer, umumnya menghasilkan 90 juta ton telur ayam di seluruh dunia setiap tahun (Venkatamuni, 2016).

Menurut Madan Raj, (2015) bahwa pada dua perentase yang berbeda (15%, 20%) penambahan komposit polimer cangkang telur menghasilkan hasil yang signifikan untuk uji kekuatan tarik, kekuatan lentur yang sudah diuji menggunakan gambar SEM (*Scanning Electron Microscopy*). Serbuk cangkang telur menjadi sumber terbarukan untuk industri plastik.



**Gambar 2.7** Cangkang Telur dan Serbuk Cangkang Telur  
(Sumber: Venkatamuni, dkk, 2016)

### 2.6.2 Kayu Sengon

Kayu sengon ataupun serbuk kayu sengon salah satu limbah pada industri pengolahan kayu, serbuk kayu gergaji kayu sengon memiliki temperatur rendah karena kurang dari 400 F (Arif, 2019). Kayu sengon dikenal juga sebagai tanaman yang memiliki sifat cepat tumbuh. Dilakukan penyebaran penanaman kayu sengon diseluruh Jawa, Irian Jaya dan Maluku. Kayu sengon memiliki batang yang lunak jika dibandingkan dengan jenis kayu lainnya sehingga kayu ini mudah di gergaji untuk diubah menjadi alat rumah tangga.

Kayu sengon banyak dipilih oleh industri karena memiliki kadar air diatas 40%, kayu sengon di golongkan menjadi kayu yang besar namun cepat kering (Sandi, 2009). Serbuk kayu sengon memiliki kandungan air yang tinggi jika ingin mengurangi kandungan air yang ada pada serbuk kayu sengon perlu dikeringkan di bawah sinar matahari (Aji, 2011). kelebihan pada kayu ini yaitu membuat para penggunanya menjadi meningkat pada bidang industri sehingga menyebabkan pengolahan kayu ini menjadi barang jadi (Satmoko, 2013). Adapun kekurangan pada kayu sengon ini bila

dikeringkan cenderung menjadi mengkerut dan bergelombang yang dapat menyebabkan produksi kayu sengon menjadi menurun (Iskandar, 2006).

**Tabel 2.1** Komponen Kimia Kayu Sengon

Komponen Kimia	Kandungan (%)
Selulosa	49,4
Lignin	26,8
Pentosa	15,6
Abu	0,6
Silika	0,2

(Sumber: Iskandar, 2006)

### 2.6.3 Bambu

Bambu memiliki peran penting dalam kehidupan masyarakat Indonesia karena bambu memiliki sifat yang baik dan dapat dimanfaatkan, karena bambu mempunyai batang yang lurus, kuat, dan mudah di belah ataupun di bentuk sehingga mudah untuk di distribusikan. Bambu selain ringan juga memiliki harga yang relatif lebih murah dibanding dengan bahan bangunan lainnya. Bambu adalah tanaman yang serbaguna untuk masyarakat Indonesia (Berlin, 1995).

Serat bambu merupakan serat alam yang bisa dijadikan bahan penguat untuk komposit, serat bambu memiliki keunggulan yaitu bahan baku yang melimpah, kuat, elastis, ramah lingkungan (Janssen, 1987).

Serat bambu salah satu bagian untuk komposit karena serat dapat menentukan karakter dari suatu bahan seperti kekakuan, keuletan, kekuatan dan sifat mekanik lainnya (Mesin, 2014).

### 2.6.4 Resin Epoxy

Resin *Epoxy* yaitu polimer termoset yang banyak digunakan untuk pembuatan komposit. Resin *epoxy* memiliki keunggulan yaitu tahan terhadap panas dan kelembaban, tahan terhadap bahan kimia, sifat perekatnya yang baik dan resin *epoxy* mudah untuk diproses (Fred W, 1994).



### 2.6.5 Lem PVAc

*Poly Vinyl Acetate* atau PVAc yaitu suatu polimer termoplastik yang sudah dikenal dalam industri perekat. *Vinyl Acetate* (VAc) pertama kali dikenal di Jerman dengan nomor hak paten 271.381 atas nama DR. F. Klate dari *Grisheim-Electron Chemical Works* pada bulan juni 1912. VAc merupakan bahan cair, tak berwarna, mudah terbakar dan memiliki aroma yang bau, viskositas 0,4 cP dengan suhu  $20^{\circ}\text{C}$ , larut dalam air 2%, pada suhu  $25^{\circ}\text{C}$  titik didih  $72,2^{\circ}\text{C}$ . Bahan ini merupakan bahan pertama untuk produksi PVAc.

Saat ini sudah banyak industri dan distributor yang sudah memasarkan bahan ini dalam bentuk padat atau larutan untuk digunakan dalam industri cat, perekat, pelindung dalam tekstil (Pizzi, 1983). PVAc banyak juga digunakan sebagai matriks pada pembuatan material komposit yang meningkatkan kekuatan pada material tersebut (Valencia, dkk, 2007).

### 2.7 Sifat Termal

Sifat termal merupakan salah satu sifat yang penting, sifat termal dapat menunjukkan respon material terhadap panas yang diterima oleh suatu bahan atau material tersebut. Untuk mengetahui sifat termal suatu bahan diperlukan suatu metode pengukuran yang dapat disebut analisis termal. Analisis termogravimetri (TGA) merupakan pengukuran perubahan berat suatu bahan sebagai fungsi waktu. Hasil analisis berupa rekaman diagram yang kontinu dimana reaksi dekomposisi. Berat suatu bahan yang dibutuhkan saat dianalisis beberapa milligram, yang dipanaskan pada laju konstan. (Rahmayanti, 2016).

Pengujian TGA dilakukan untuk menganalisa perubahan secara fisik dan kimia pada material dengan cara memaksa terjadinya reaksi dengan menggunakan pemanasan. Spesimen akan dipanaskan secara bertahap dan diukur berapa banyak perubahan massanya seiring dengan pertambahan temperatur. Pengujian ini dilakukan pada suhu terprogram yaitu  $30^{\circ}\text{C} - 600^{\circ}\text{C}$  dengan kecepatan pemanasan  $\frac{10^{\circ}\text{C}}{\text{menit}}$ . Pengujian TGA dilakukan berdasarkan standard ASTM E1131.

## **2.8 Kompaksi**

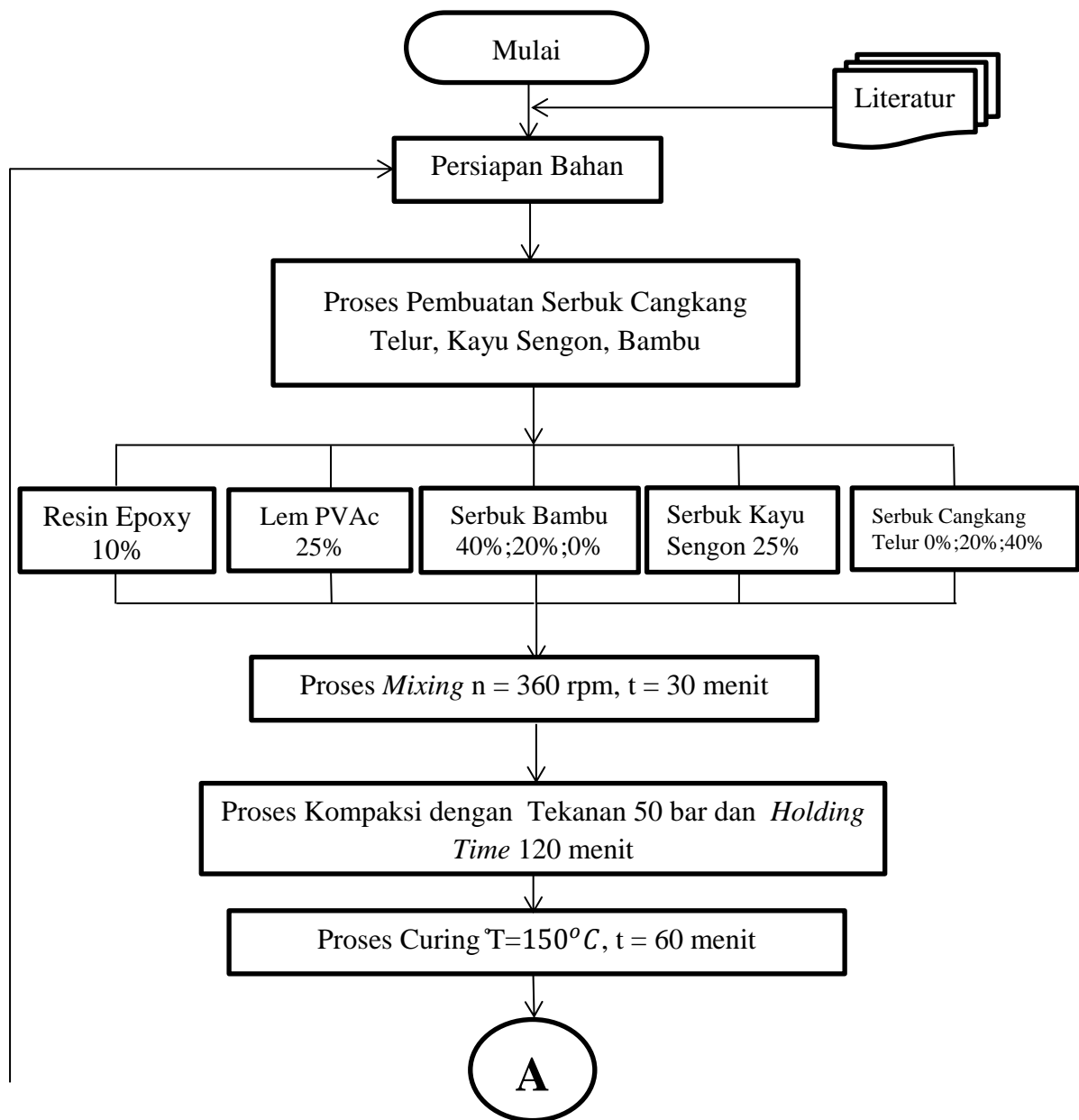
Kompaksi yaitu proses dimana serbuk murni, paduan, atau campuran dari berbagai jenis serbuk dipadatkan atau dibentuk sehingga memiliki bentuk yang khusus dan memiliki kekuatan yang cukup untuk melanjutkan proses berikutnya (Anugrah, V. G., & Susanti, D. 2014).

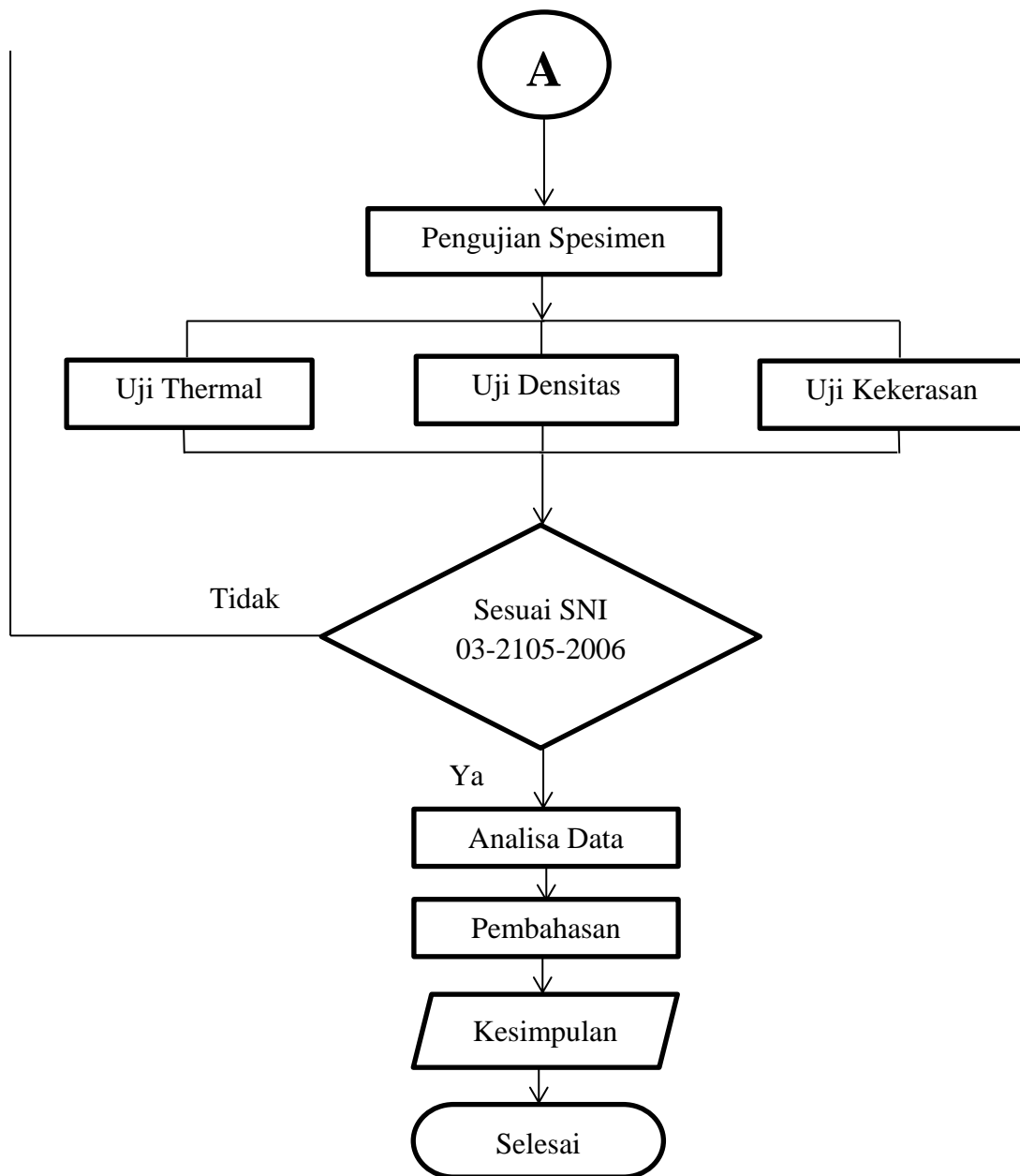
# BAB III

## METODE PENELITIAN

### 3.1 Diagram Alir Penelitian

Penelitian ini dilengkapi dengan adanya diagram alir penelitian. Adapun diagram alir penelitian dapat dilihat pada gambar 3.1.





**Gambar 3.1** Diagram Alir Penelitian Papan Komposit

### 3.2 Variabel Penelitian

Variabel pada penelitian ini dibagi menjadi tiga yaitu variable bebas, variable terikat, dan variabel kontrol. Rancangan variable pada penelitian ini sebagai berikut:

### 1. Variabel Bebas

Variabel bebas yang digunakan dalam penelitian ini yaitu komposisi serbuk cangkang telur sebesar 0%;20%;40%, serbuk kayu sengon 25%;25%;25%, dan serbuk bambu betung 40%;20%;0%.

### 2. Variabel Terikat

Variabel terikat yang digunakan dalam penelitian ini adalah uji termal, kekerasan shore D dan nilai dari densitas.

### 3. Variabel Kontrol

Variabel kontrol yang digunakan dalam penelitian ini yaitu:

- a) Ukuran partikel serbuk kayu sengon, serbuk bambu betung dan serbuk cangkang telur dengan menggunakan mesh 35.
- b) Komposisi serbuk kayu sengon sebesar 25%, resin epoxy 10% dan lem PVAc 25%
- c) Tekanan kompaksi 50 bar, *holding time* selama 2 jam dan temperatur curing sebesar 150°C selama 60 menit.

## 3.3 Alat dan Bahan Penelitian

Adapun alat dan bahan yang digunakan untuk penelitian papan partikel adalah sebagai berikut :

### 1. Alat

#### 1. Papan Cetak

Papan cetak dengan ukuran 212 mm x 212 mm x 17 mm terbuat dari baja yang digunakan untuk mencetak bahan menjadi papan partikel.



**Gambar 3.2** Papan Cetak

#### 2. Mixer

Alat *mixer* yang digunakan untuk mengaduk seluruh bahan yaitu mesin frais konvensional dengan kecepatan putaran 360 rpm selama 30 menit dan mesin bor tangan juga digunakan untuk pengadukan.



**Gambar 3.3** Mesin Frais Konvensional dan Mesin Bor Tangan

3. Timbangan Digital

Timbangan digital dengan merek Goto Kova I-2000 digunakan untuk menimbang berat dari bahan-bahan dan sampel pengujian.



**Gambar 3.4** Timbangan Digital

4. Gelas Ukur

Gelas ukur digunakan untuk mengukur volume aquades pada saat proses alkalisasi.



**Gambar 3.5** Gelas Ukur

5. Jangka Sorong

Jangka sorong digunakan untuk mengukur dimensi spesimen.



**Gambar 3.6** Jangka Sorong

6. Oven

Oven A dengan merek Oxone digunakan untuk mengeringkan serbuk agar mengurangi kadar air pada serbuk serta untuk proses *curing*, pada oven listrik B dengan merek Perobasic digunakan untuk proses termal  $100^{\circ}\text{C}$  dan  $200^{\circ}\text{C}$ .



A

B

**Gambar 3.7** Oven

7. *Hydraulic Pump*

*Hydraulic Pump* digunakan untuk mencetak atau memadatkan bahan saat proses pembuatan papan partikel.



**Gambar 3.8** *Hydraulic Pump*

8. Ayakan Mesh 35

Ayakan mesh 35 digunakan untuk menyaring serbuk.



**Gambar 3.9** Ayakan Mesh 35

9. Blender

Blender digunakan untuk menghaluskan cangkang telur agar menjadi serbuk.



**Gambar 3.10** Blender

10. Durometer Shore D

Durometer digunakan untuk mengukur kekerasan pada sampel uji.



**Gambar 3.11** Durometer Shore D



## 2. Bahan

### 1. Serbuk Cangkang Telur

Serbuk cangkang telur sebagai pengisi pada komposit papan partikel dengan mesh 35.



**Gambar 3.12** Serbuk Cangkang Telur

### 2. Serbuk Bambu

Serbuk bambu betung sebagai *filler* pada komposit papan partikel dengan mesh 35.



**Gambar 3.13** Serbuk Bambu

### 3. Serbuk Kayu Sengon

Serbuk kayu sengon sebagai pengisi pada komposit papan partikel dengan mesh 35.



**Gambar 3.14** Serbuk Kayu Sengon

4. Lem PVAc

Lem PVAc berguna sebagai salah satu matriks pada komposit papan partikel.



**Gambar 3.15** Lem PVAc

5. Resin Epoxy

Resin epoxy berguna untuk matriks pada komposit papan partikel yang terdiri dari resin dan hardener.



**Gambar 3.16** Resin Epoxy

6. Larutan NaOH 5%

NaOH berguna untuk perlakuan alkalisasi pada bambu betung dengan konsentrasi 5%.



**Gambar 3.17** Larutan NaOH 5%

#### 7. Aquades

Aquades berguna untuk perlakuan alkalisasi dan daya serap air.



**Gambar 3.18** Aquades

### **3.4 Pembuatan Sampel Pengujian**

Berdasarkan diagram alir penelitian pada gambar 3.1, maka terbentuk prosedur penelitian sebagai berikut :

#### **3.4.1 Persiapan Bahan**

##### 1. Pembuatan Serbuk Cangkang Telur

Pembuatan papan partikel ini menggunakan cangkang telur ayam, cangkang telur yang digunakan berasal dari limbah UMKM (Usaha Mikro Kecil Menengah) yang berlokasi di Kota Serang. Proses pembuatan serbuk cangkang telur ini yang pertama direndam terlebih dahulu dengan air mengalir untuk menghilangkan kotoran dan direndam juga menggunakan air panas agar menghilangkan kuman yang ada di cangkang telur kemudian di keringkan dan di jemur. Selanjutnya cangkang telur di haluskan menggunakan blender. Setelah menjadi halus dilakukan pengayakan dengan menggunakan ayakan mesh 35.

## 2. Pembuatan Serbuk Bambu Betung

Serbuk bambu betung digunakan sebagai *filler* untuk papan partikel dan bambu dipotong menjadi beberapa bagian kemudian bambu dibersihkan dari kotoran-kotoran yang masih menempel pada bambu dan dilakukan penjemuran selama 24 jam dibawah terik sinar matahari, setelah bambu dirasa sudah kering dilakukan proses pengikiran yang menghasilkan serbuk dan serat bambu. Selanjutnya dilakukan proses pengayakan dengan menggunakan ayakan mesh 35. Setelah pengayakan dilakukan alkalisasi dengan merendam serbuk bambu dalam larutan NaOH 5% selama 2 jam. Setelah dilakukan alkalisasi serat bambu di keringkan dibawah terik sinar matahari hingga serbuk bambu menjadi kering. Serbuk dan serat bambu bambu yang sudah kering dimasukan kedalam oven selama 1 jam dengan suhu  $100^{\circ}$ , tujuan dimasukkannya serat dan serbuk bambu kedalam oven agar menghilangkan kadar air pada bambu tersebut.

## 3. Pembuatan Serbuk Kayu Sengon

Serbuk kayu sengon juga digunakan sebagai *filler* dalam pembuatan papan partikel, serbuk kayu sengon didapatkan dari pabrik yang terletak di daerah Bagesari, Banjar, Pandeglang. Serbuk kayu sengon dijemur di bawah sinar matahari selama 24 jam. Dilakukannya pengeringan ini bertujuan agar mengurangi kadar air yang ada pada serbuk kayu sengon. Setelah kering serbuk kayu sengon dilakukan pengayakan dengan menggunakan ayakan yang berukuran mesh 35. Kemudian serbuk kayu sengon dimasukan kedalam oven dengan suhu  $100^{\circ}$  selama 1 jam yang bertujuan untuk menghilangkan kadar airnya.

### 3.4.2 Proses *Mixing*

Proses *mixing* dilakukan setelah bahan – bahan menjadi serbuk selanjutnya penimbangan bahan dan dilakukan perhitungan *rule of mixture* (ROM) yang berdasarkan fraksi volumenya. Fraksi volume yang digunakan pada bahan papan partikel komposit dapat dilihat pada tabel 3.1.

**Tabel 3.1** Fraksi Volume Bahan Papan Partikel Komposit

Komposisi Bahan	Sampel 1	Sampel 2	Sampel 3
Serbuk Cangkang	0	20	40

Telur			
Serbuk Kayu Sengon	25	25	25
Serbuk Bambu Betung	40	20	0
Lem PVAc	25	25	25
Resin Epoxy	10	10	10

Dilakukannya pengkomposisian bahan untuk mendapatkan nilai massa dari masing-masing bahan yang digunakan. Proses pencampuran bahan dilakukan menggunakan mesin frais konvensional sebagai alat bantu pengadukan dengan kecepatan putaran 360 rpm selama 30 menit. Adapun tahapan pencampuran dari berbagai bahan yaitu sebagai berikut:

1. Menyiapkan dan menimbang semua bahan yang digunakan dengan timbangan digital.
2. Menggabungkan serbuk cangkang telur, serbuk kayu sengon, dan serbuk bambu betung kedalam wadah hingga tercampur merata.
3. Memasukkan lem PVAc dan aduk hingga merata
4. Setelah tercampur rata masukkan resin epoxy dengan hardener yang perbandingannya 1:1.
5. Selanjutnya mengaduk bahan menggunakan mesin frais konvensional hingga bahan tercampur secara merata. Setelah bahan tercampur rata, bahan didiamkan selama 5 menit kemudian dimasukkan kedalam cetakan.

### 3.4.3 Proses Kompaksi

Proses kompaksi dilakukan menggunakan mesin *press* hidrolik dengan tekanan sebesar 50 bar. Proses kompaksi menggunakan metode *cold press single punch*. Bahan yang sudah dilakukan *mixing* selanjutnya dimasukkan dalam cetakan, cetakan yang digunakan berukuran 21 mm x 21 mm x 17 mm. Setelah dimasukkan kedalam cetakan dilakukan *holding time* selama 2 jam, setelah 2 jam sampel didiamkan selama 24jam kemudian dikeluarkan dari cetakan.

### **3.4.4 Proses Curing**

Proses curing bertujuan untuk meningkatkan kualitas material. Papan partikel dipanaskan kedalam oven dengan suhu  $150^{\circ}C$  selama 60 menit.

### **3.5 Proses Pengujian**

Adapun proses pengujian yang akan dilakukan pada penelitian ini yang akan dijelaskan sebagai berikut :

#### **3.5.1 Proses Thermal**

Pengujian termal dilakukan untuk mengetahui sifat termal pada papan partikel dengan prosedur pengujian *Termogravimetri Analisis*. Adapun prosedur pengujian dari termal ini yaitu:

1. Menyiapkan bahan uji komposit yang akan dilakukan pengujian dengan massa 10 – 30 miligram, sesuai dengan standar ASTM E1131.
2. Kemudian bahan uji dipanaskan dengan suhu  $500^{\circ}C$  dalam nitrogen atau udara.
3. Lihat perubahan ukuran dan dilakukan pengukuran beratnya.

#### **3.5.2 Stabilitas Dimensi Saat Terpapar Suhu Tinggi**

Metode ini digunakan untuk mengevaluasi perubahan dalam bobot dan dimensi papan partikel setelah terkena paparan panas. Pengujian ini mengikuti pedoman ASTM D 1758-06 dan melibatkan perhitungan persentase penurunan berat. Rumus untuk mengestimasi persentase penurunan berat adalah :

$$KB = \frac{B1 - B2}{B1} \times 100\%$$

Dimana KB adalah persentase penurunan berat (%). B1 sebagai berat sebelum benda di uji dan B2 sebagai berat setelah dilakukan uji coba.

#### **3.5.3 Proses Pengujian Densitas**

Pengujian densitas dilakukan dengan mengukur panjang, lebar dan tebal pada sampel uji dan dibagi dengan hasil penimbangan massa sampel. Berikut ini langkah-langkah dalam pengujian densitas:

1. Menyiapkan sampel uji yang akan dilakukan pengujian densitas
2. Mengukur panjang, lebar dan tebal sampel uji.
3. Menimbang massa sampel menggunakan timbangan digital.

4. Melakukan perhitungan nilai kerapatan sampel uji.

#### **3.5.4 Proses Pengujian Kekerasan Shore D**

Pengujian kekerasan dilakukan untuk mengetahui nilai kekerasan terhadap papan partikel. Pengujian ini merujuk pada standar ASTM D2240 dengan ukuran spesimen uji memiliki panjang 40 mm, lebar 40 mm dan tebal 17 mm. Adapun tahapan-tahapan dalam pengujian kekerasan sebagai berikut:

1. Menyiapkan sampel uji.
2. Meletakkan sampel pada permukaannya.
3. Mengukur kekerasan dengan durometer secara vertikal dan meletakkan pengukur pada permukaan sampel uji.
4. Menekan durometer dan memastikan jarum pengukur pada sampel uji memiliki kontak yang kuat sehingga didapat nilainya.

## BAB IV

### DATA DAN ANALISIS

#### 4.1 Pengujian Termal

##### 4.1.1 Pengujian Stabilitas Dimensi Paparan Panas

Pengujian stabilitas dimensi paparan panas pada papan partikel adalah pengujian termal, pengujian ini bertujuan untuk mengetahui apakah papan partikel dapat bertahan jika diberi suhu panas yang tinggi.

Pengujian stabilitas dimensi paparan panas ini menggunakan oven listrik dan stabilitas dimensi paparan panas ini mengacu pada standar ASTM D 1758-06 dengan melihat perubahan panjang, berat, dan tebal dari papan partikel yang sudah diuji menggunakan oven yang bersuhu  $100^{\circ}C$  dan  $200^{\circ}C$  dengan waktu 60 menit. Berikut ini adalah tabel hasil dari pengujian termal menggunakan oven.

**Tabel 4.1** Pengujian paparan panas dengan suhu  $100^{\circ}C$

No	Kode Sampel	$m_1$	$m_2$	$PLT_1$	$PLT_2$
1	SCT	30.21	29.56	40x40x17	40x40x17
2	BS	18.59	17.01	40x40x17	40x40x17
3	SBCT	27.69	26.33	40x40x17	40x40x17

Hasil dari pengujian termal dapat dilihat pada tabel diatas, dimana SCT adalah Sengon dan Cangkang Telur, BS adalah Bambu dan Sengon, SBCT adalah Sengon, Bambu, dan Cangkang Telur. Selanjutnya  $m_1$  adalah berat dari sampel uji sebelum diberi paparan panas dan  $m_2$  adalah berat setelah diberi paparan panas. Dapat dilihat BS mengalami penurunan berat paling tinggi hingga mencapai 1.58g sedangkan SBCT dan SCT mengalami penurunan sebesar 1.36g dan 0.65g. Untuk  $PLT_1$  adalah Panjang, Lebar dan Tebal dari papan partikel sebelum diberi paparan panas sedangkan  $PLT_2$  adalah Panjang, Lebar dan Tebal setelah

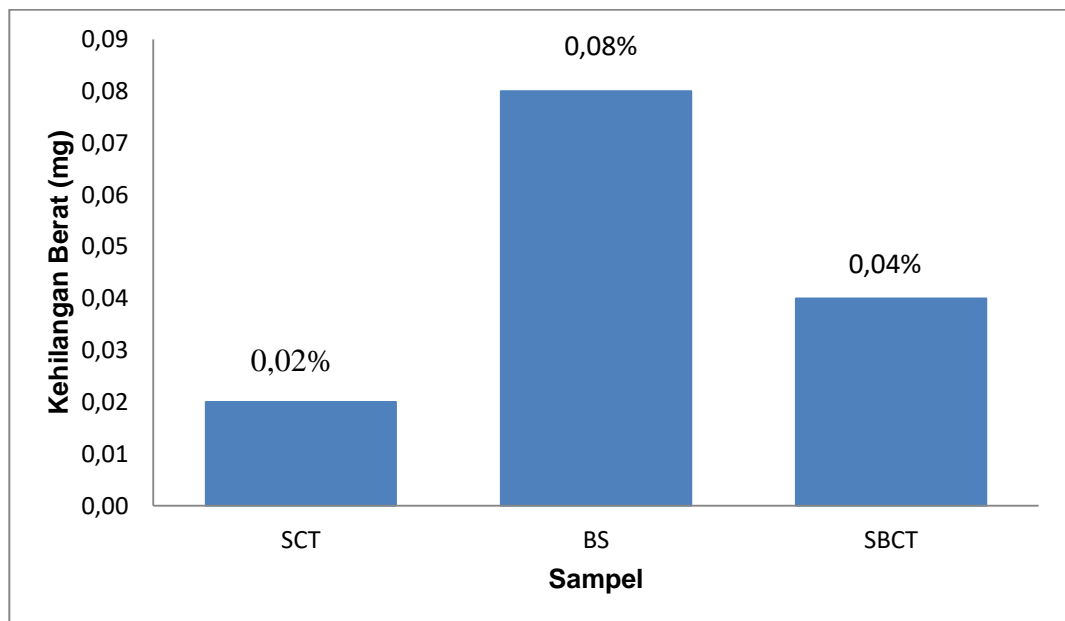


diberi paparan panas, pada saat PLT diberi paparan panas papan partikel tidak mengalami pengurangan.

**Tabel 4.2** Pengujian paparan panas dengan suhu  $200^{\circ}C$

No	Kode Sampel	$m_1$	$m_2$	$PLT_1$	$PLT_2$
1	SCT	30	28.80	40x40x17	40x39x16
2	BS	19.53	10.59	40x40x17	39x38x15
3	SBCT	23.32	19.97	40x40x17	39x39x16

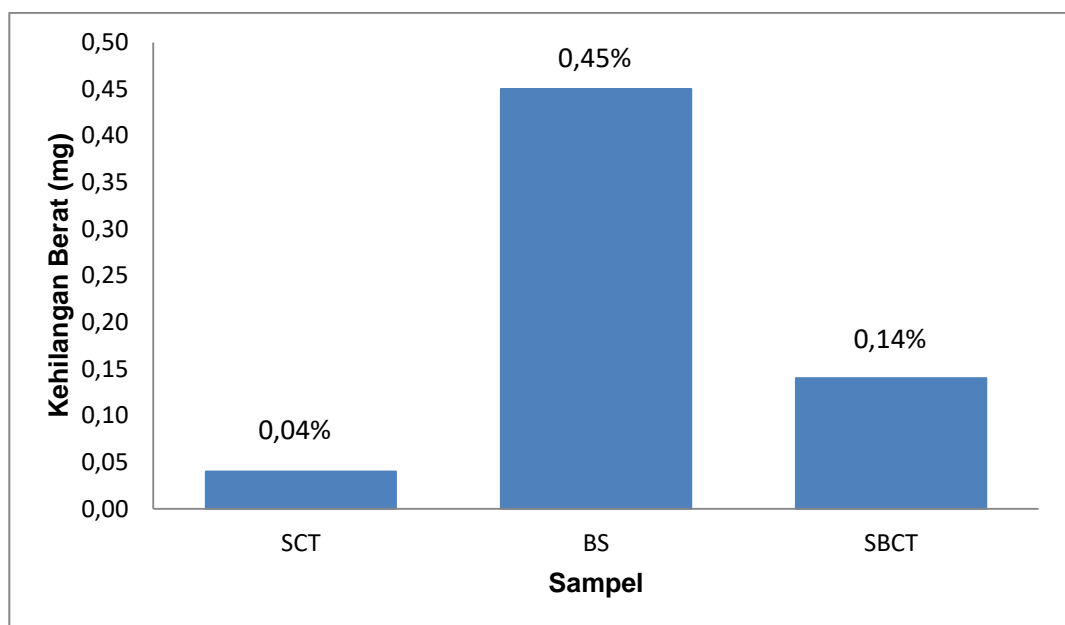
Pada suhu  $200^{\circ}C$  sama seperti pada tabel 4.2, BS mengalami penurunan berat paling tinggi sebesar 8.94g sedangkan SBCT dan SCT mengalami penurunan sebesar 3.35g dan 1.2g. Untuk perubahan dimensi pada papan partikel BS mengalami penurunan lebih banyak dibanding SBCT dan SCT. Adapun grafik presentase kehilangan berat yang akan menunjukkan hasil dari kehilangan berat  $100^{\circ}C$  dan  $200^{\circ}C$  sebagai berikut.



**Gambar 4.1** Grafik Presentase Kehilangan Berat  $100^{\circ}C$

Pada grafik kehilangan berat  $100^{\circ}C$  memperlihatkan hasil dari proses pengujian stabilitas dimensi paparan panas, perhitungan dilakukan menggunakan standar yang sudah digunakan. Dimana BS mengalami penurunan paling tinggi dikarenakan bambu dapat menyerap banyak resin

atau bahan pengikat lainnya yang pada akhirnya akan meninggalkan ruang kosong ketika resin tersebut kering atau mengeras, hal ini yang menyebabkan penurunan berat yang cukup besar, SBCT pun sama seperti BS yang mengalami penyusutan tetapi tidak seburuk BS dikarenakan SCBT memiliki campuran cangkang telur yang bisa menahan suhu panas. Dan SCT mengalami penurunan paling sedikit dikarenakan SCT memiliki campuran cangkang telur paling banyak dibanding 2 sampel lainnya. Dari data diatas BS mengalami kehilangan berat paling tinggi sebesar 0,08%, SBCT 0,04%, dan SCT 0,02%.



**Gambar 4.2** Grafik Presentase Kehilangan Berat 200°C

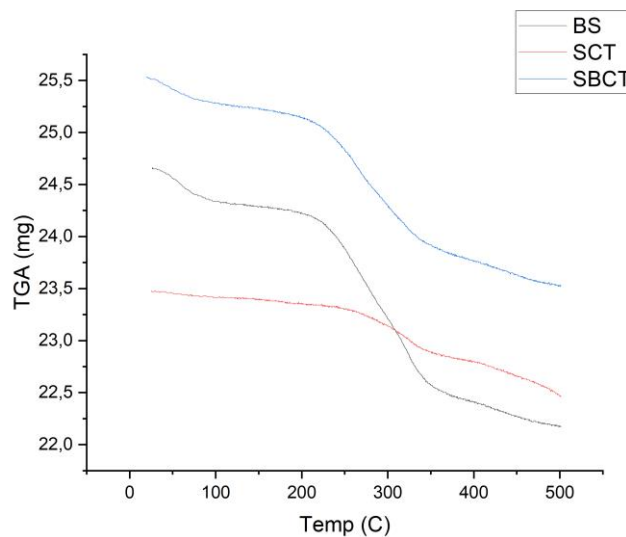
Pada grafik kehilangan berat 200°C BS tetap mengalami kehilangan berat paling tinggi sebesar 0,45%, SBCT 0,14%, dan SCT 0,04%. Penyebab penyusutan tebal terjadi adalah karena papan partikel dibuat dari bahan yang mengandung lignin selulosa, yang dapat dipengaruhi oleh kondisi udara di sekitarnya, sehingga memengaruhi kadar air dan menyebabkan penyusutan pada papan partikel tersebut. Tingkat penyusutan yang berbeda-beda ini disebabkan oleh perbedaan bahan baku yang digunakan dalam pembuatan papan partikel. Kocae et al. (2008) menyatakan hasil menunjukkan bahwa suhu tinggi dan durasi perlakuan yang lama membuat warna kayu menjadi lebih gelap, meningkatkan stabilitas dimensi, tetapi mengurangi sifat mekaniknya. Peningkatan stabilitas dimensi akibat perlakuan panas disebabkan

oleh degradasi hemiselulosa hingga mengalami penyusutan dan pengembangan kayu.

#### 4.1.2 Pengujian *Termogravimetri Analisis* (TGA)

Pengujian termal TGA digunakan untuk mengukur perubahan berat sampel dengan seiring kenaikan suhu secara bertahap. Pengujian TGA berguna untuk memahami stabilitas termal pada campuran komposit.

Pengujian ini perlu diperlukan untuk memperoleh informasi tentang kualitas material khususnya sifat mekaniknya. Prosedur pengujian melibatkan penempatan sampel di atas cawan dalam sebuah mesin, dimana data awal berat untuk setiap sampel, dengan batas maksimal 20mg. Mesin kemudian dialiri dengan udara kering dari tabung gas pada kecepatan tertentu. Pengaturan operasional mesin, termasuk kecepatan pemanasan, rentang temperatur dan pendinginan dikendalikan melalui input data kedalam komputer. Proses analisis melibatkan peningkatan temperatur secara bertahap dan pencatatan berat sampel terhadap temperatur yang kemudian didapatkan kurva hasil pengujian.



**Gambar 4.3** Grafik Hasil Pengujian TGA

Pada Gambar 4.3 menunjukkan kurva perbandingan hasil TGA dari papan partikel yang terdiri dari tiga tahapan degradasi, yang dimana BS adalah Bambu dan Sengon, SCT adalah Sengon dan Cangkang Telur, SBCT adalah Sengon, Bambu, dan Cangkang Telur. Dapat kita lihat

pada tahap pertama sampel BS terjadi degradasi pada kisaran 25,63 - 146°C ini disebabkan karena hilangnya kadar air pada sampel. Pada tahap kedua temperaturnya menjadi 296,22 – 495,72°C, pada tahap ini telah terjadi kerusakan pada struktur serat sampel. Dekomposisi ini disebut hemiselulosa. Titik awal terjadinya dekomposisi yang drastis merupakan stabilitas termal, dimana stabilitas ini dianggap tinggi jika perubahan penurunan dalam massa terjadi pada suhu yang lebih tinggi.

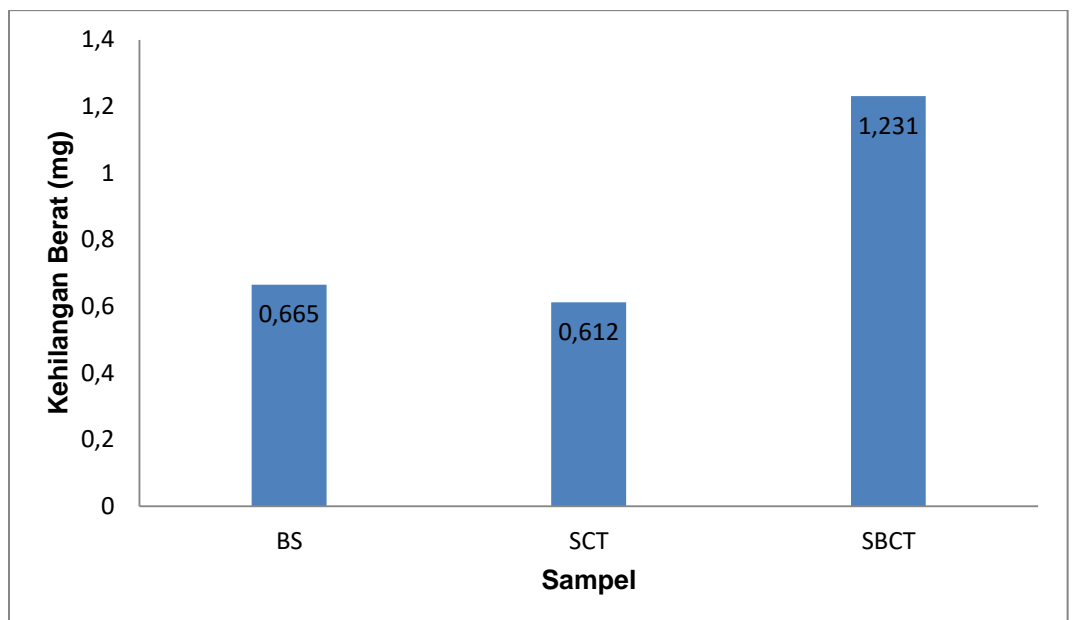
Pada tahap ketiga terjadi penurunan di suhu 497,20 – 500 °C merupakan proses dekomposisi dari lignin sampel papan partikel. Sementara pada tahap kedua dengan suhu 476,40 – 499,53°C merupakan proses dekomposisi hemiselulosa dan selulosa dan sisanya adalah proses dekomposisi lignin. Dari proses ini papan partikel dengan variasi bambu dan sengon mengalami penurunan massa sebanyak 0,665mg atau 2,978%.

Selanjutnya proses kehilangan massa pada papan partikel dengan bahan sengon dan cangkang telur, terjadinya penurunan awal di temperatur 26,44 – 134,32°C terjadi karena hilangnya kadar air lalu terjadi penurunan temperatur akibat kehilangan hemiselulosa dengan temperatur 224,19 – 466,65°C. Pada tahap ketiga terjadi kehilangan massa pada temperatur 471,23 – 500 °C. Pada sampel ini massa yang hilang sebesar 0,612mg atau 2,740%.

Selanjutnya pengujian ketiga dengan bahan sampel sengon, bambu, dan cangkang telur. Dapat dilihat pada tahap pertama terjadi penurunan di temperatur 25,75 – 124,30°C yang merupakan proses kehilangan kadar air yang terkandung dalam sampel. Sementara tahap kedua pada temperatur 237,46 – 419,12°C merupakan proses dekomposisi hemiselulosa dan selulosa, pada tahap ketiga di temperatur 436– 500 °C terjadi karena proses dekomposisi lignin. Pada sampel ini massa yang hilang sebesar 1,231mg atau 4,820%.

Hal ini juga didukung oleh penelitian Vasdazara (2018). Melakukan pengujian TGA menggunakan komposisi Polimer komposit

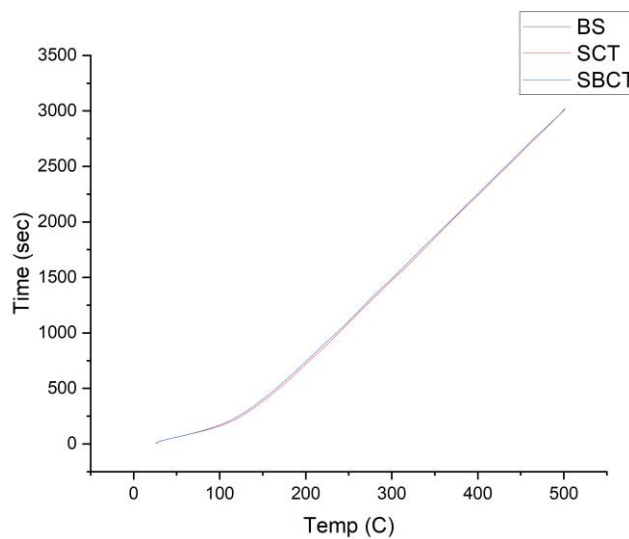
epoksi dan cangkang sawit dengan variasi serat yang berbeda, pada serat cangkang kelapa sawit 0% mengalami penurunan massa sekitar 5% pada temperatur 310°C, pada serat cangkang kelapa sawit 20% mengalami penurunan massa 5% pada temperatur 360°C, serat cangkang kelapa sawit 40% mengalami penurunan massa 5% pada temperatur 350°C, serat cangkang kelapa sawit 60% mengalami  $T_{maks}$  pada temperatur 350°C. Dapat dilihat hasil dari pengujian TGA yang menggunakan cangkang telur mengalami penurunan massa lebih baik dibanding menggunakan serat cangkang kelapa sawit dikarenakan cangkang telur memiliki ketahanan yang kuat terhadap suhu panas.



**Gambar 4.4** Grafik Weight Loss Uji TGA

Grafik diatas menunjukkan hasil pengujian TGA yaitu berupa penurunan massa dari material papan partikel setelah diberi termal. Ada 3 sampel berbeda yang dapat dilihat dimana BS adalah bambu dan sengon, SCT adalah sengon dan cangkang telur yang ketiga SBCT adalah sengon, cangkang telur dan bambu. Dapat dilihat bahwa material dengan media SBCT mengalami kehilangan paling tinggi sebesar 1,321mg diikuti dengan BS sebesar 0,665mg dan yang terakhir paling rendah didapat oleh SCT sebesar 0,612mg. Hal ini bisa terjadi disebabkan oleh beberapa bagian seperti penguapan air dan degradasi termal.

Pada pengujian TGA selain mendapatkan hasil yang menunjukkan antara massa dan temperatur, ditampilkan juga hasil yang menunjukkan temperatur dan massa, yang bisa disebut dengan grafik DSC (*Diferensial Scanning Calorimetry*). Hasil ini menunjukkan stabilitas termal yang terkait dengan adanya perubahan fasa atau pelelehan. Material yang meleleh saat dipanaskan menunjukkan tingkat stabilitas termal yang tinggi, begitupun sebaliknya.



**Gambar 4.5** Grafik Hasil Pengujian DSC

Pada bagian pertama menunjukkan kurva DSC dari Bambu dan sengon, dimana reaksi penyerapan kalor nya terjadi di temperatur 55,17 – 127,32°C puncak penyerapan terjadi pada temperatur 94,11°C. Setelah itu terjadi reaksi eksotermis yang menyatakan bahwa sampel sudah terdegradasi pada temperatur 39,34 – 100,38°C puncak degradasi terjadi pada temperatur 67,72°C.

Yang kedua adalah kurva yang menunjukkan hasil pengujian dari sengon dan cangkang telur. Dapat dilihat kurva diatas terjadi reaksi penyerapan kalor pada temperatur 476,40 – 499,53°C puncak penyerapan terjadi pada temperatur 492,95°C.

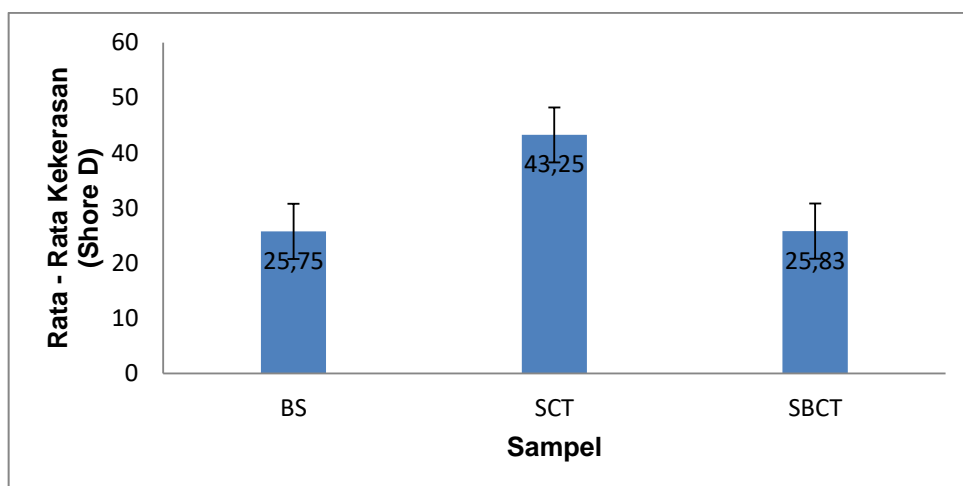
Selanjutnya yang ketiga adalah kurva yang menunjukkan hasil pengujian dari sengon, cangkang telur, dan bambu. Pada sampel ini reaksi penyerapan kalor pada temperatur 33,03 – 248,53°C puncak

penyerapan terjadi pada temperatur 56,33°C. Selanjutnya terjadi degradasi terjadi pada temperatur 232,52 – 375,24°C dengan puncak degradasi pada temperatur 265,23°C.

Hal ini juga didukung oleh penelitian Romadhan (2024). Melakukan pengujian DSC menggunakan komposisi bambu betung dengan media perendaman. Pada media perendaman air laut mengalami puncak degradasi pada temperatur 321,76°C, pada media perendaman air sungai mengalami degradasi pada temperatur 391,51°C, selanjutnya pada media perendaman air destilasi mengalami degradasi pada temperatur 301,86°C. Dapat dilihat hasil dari pengujian DSC yang menggunakan cangkang telur pada saat puncak degradasi mendapatkan hasil yang baik dibanding hanya menggunakan bambu betung dengan variasi perendaman dikarenakan cangkang telur memiliki ketahanan yang kuat terhadap suhu panas.

#### 4.2 Pengujian Kekerasan

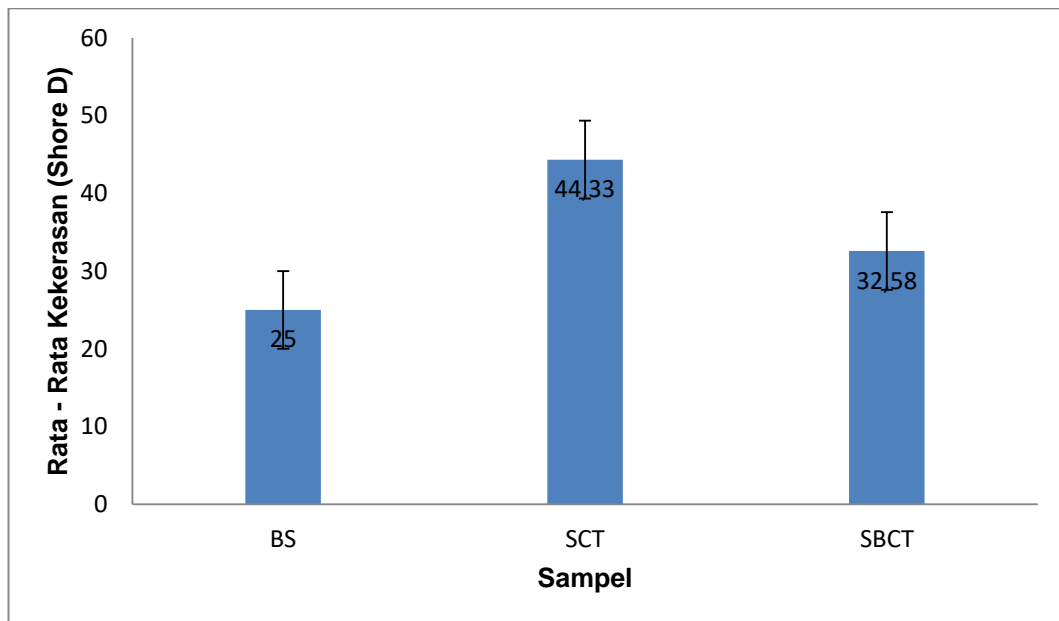
Salah satu karakteristik mekanik dari suatu bahan adalah kekerasan, kekerasan merupakan kemampuan untuk menahan tekanan dan tegangan tanpa mengalami kerusakan, Pengujian kekerasan ini menggunakan alat Durometer Shore D. Berikut adalah hasil pengujian kekerasan papan partikel sebelum proses pemaparan panas dilakukan.



**Gambar 4.6** Grafik Pengujian Kekerasan Sebelum diberi paparan panas

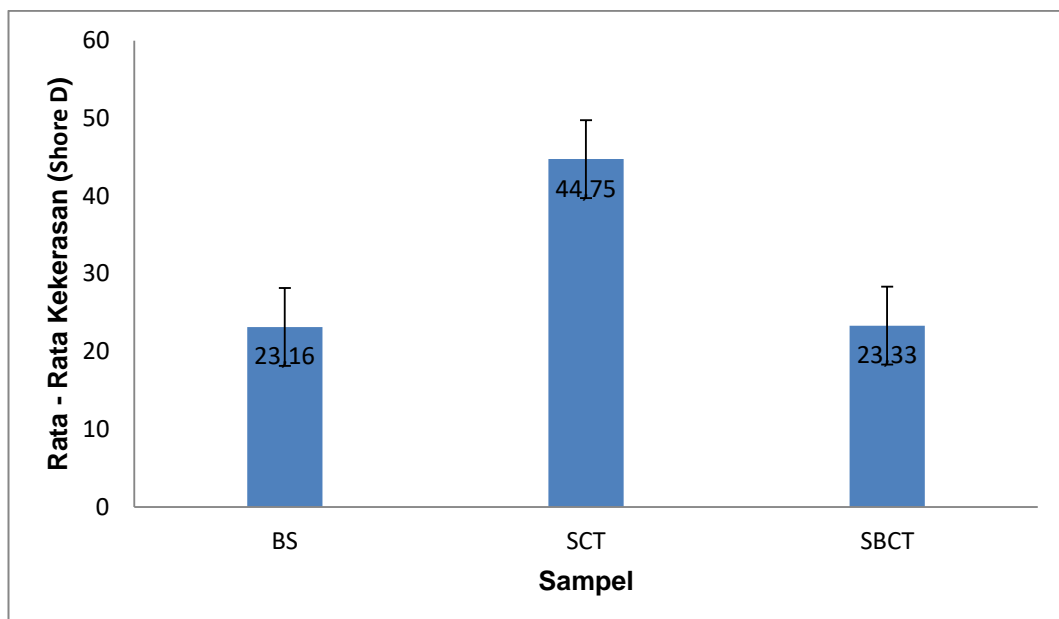
Berdasarkan grafik 4.6 didapat hasil rata-rata kekerasan menggunakan Durometer Shore D sebelum terkena paparan panas, dimana SCT memiliki

hasil yang paling tinggi sebesar 43,25 kemudian SBCT mendapatkan 25,83 dan nilai yang paling terendah yaitu BS dengan hasil 25,75.



**Gambar 4.7** Grafik Pengujian Kekerasan dengan suhu 100°C

Pada grafik 4.7 dengan diberinya suhu 100°C didapatkan nilai rata-rata yang dimana SCT mengalami kenaikan yang sebelumnya mendapatkan 43,25 naik menjadi 44,33 dan SBCT mengalami kenaikan juga yang sebelumnya mendapatkan 25,83 naik menjadi 32,58 akan tetapi pada sampel BS mengalami penurunan yang sebelumnya mendapatkan 25,75 menjadi 25.



**Gambar 4.8** Grafik Pengujian Kekerasan dengan suhu 200°C

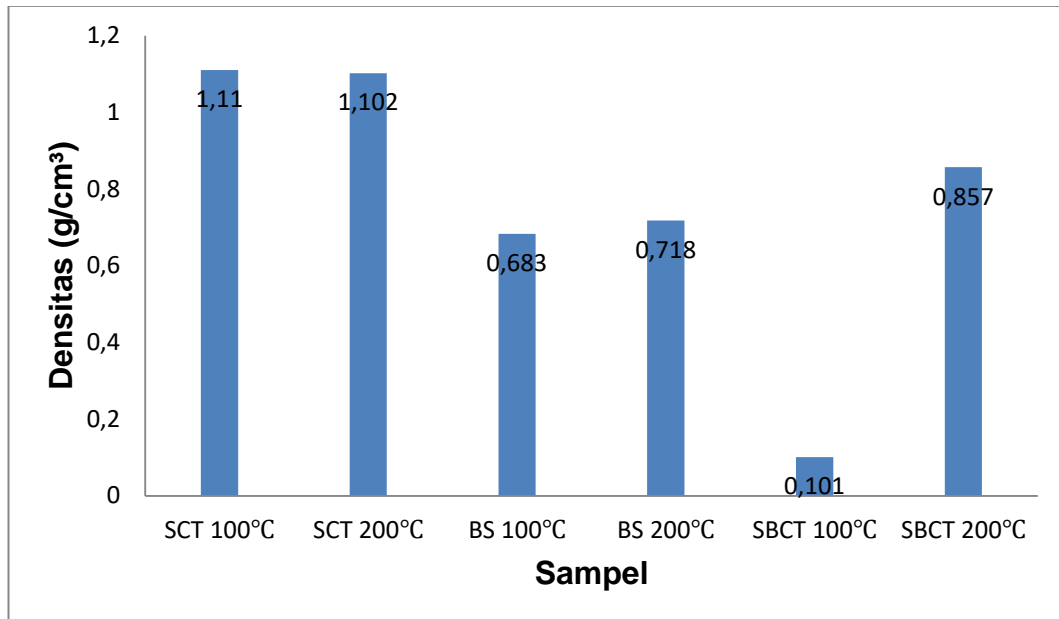


Pada grafik 4.8 dengan diberinya suhu 200°C didapatkan nilai rata-rata yang berbeda dari data sebelumnya dimana SCT mengalami kenaikan dari 44,33 menjadi 44,75 dan SBCT sebelumnya mengalami kenaikan kini menjadi turun yang sebelumnya mendapatkan 32,58 menjadi 23,33 disusul juga oleh BS yang sebelumnya mendapatkan 25 kini mengalami penyusutan menjadi 23,16.

Banga, dkk. (2015) menyatakan bahwa kekerasan komposit menurun seiring dengan bertambahnya serbuk dan serat pada bambu yang disebabkan oleh kelembutan atau rendahnya kekerasan pada serbuk dan serat bambu. Dengan memasukkan lebih banyak fraksi volume serbuk cangkang telur ke dalam matriks, kita bisa memastikan bahwa serbuk tersebut menyebar dengan merata hingga ke dekat permukaan sampel uji. Hal ini memungkinkan jarum pengukur untuk tidak hanya menyentuh matriks dan bahan pengisi lainnya, tetapi juga serbuk cangkang telur. Kekerasan serbuk cangkang telur sendiri berasal dari kandungan kalsium karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) dalam partikelnya, seperti yang dijelaskan oleh (Hassan & Aigbodion 2015).

### **4.3 Pengujian Densitas**

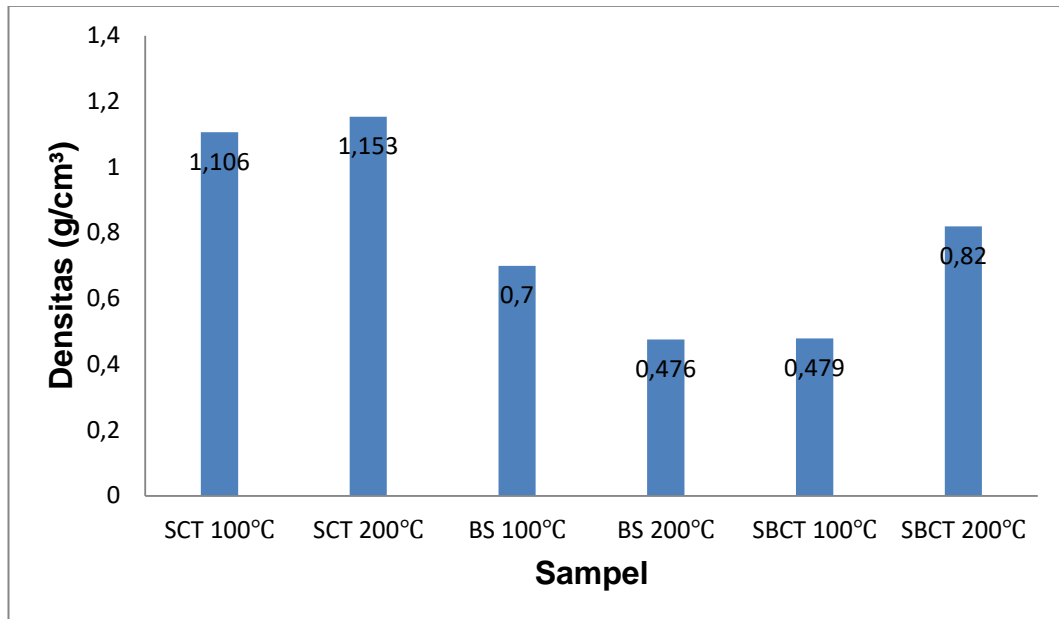
Densitas atau kerapatan merupakan perbandingan antara massa dengan volume benda yang bertujuan untuk mengetahui informasi mengenai kondisi fisik pada bahan yang akan diuji. Untuk penelitian ini menggunakan beberapa komposisi pada material yang digunakan untuk membuat papan partikel yaitu. Kayu sengon, bambu betung, cangkang telur, serta PVAc dan Resin Epoxy sebagai perekatnya. Berikut data hasil pengujian densitas sebelum diberi paparan panas.



**Gambar 4.9** Grafik Hasil Uji Densitas Sebelum diberi Paparan Panas

Berdasarkan gambar grafik 4.9 didapat hasil dengan nilai densitas sebelum diberi paparan panas pada tabel diatas menunjukkan bahwa sampel SCT sebelum diberi suhu 100°C memiliki nilai paling tinggi sebesar 1,110  $g/cm^3$  dan SCT sebelum diberi suhu 200°C 1,102  $g/cm^3$ , diikuti oleh SBCT sebelum diberi suhu 200°C mendapatkan nilai 0,857  $g/cm^3$  dan SBCT 100°C 0,101  $g/cm^3$ , selanjutnya BS 200°C 0,718  $g/cm^3$  dan BS 100°C 0,683  $g/cm^3$ .

Pada pengujian densitas digunakan Standar Nasional Indonesia (SNI) dengan standar SNI 03-2105-2006 dimana dalam standar ini diatur bahwa tingkat densitas pada papan partikel wajib memiliki nilai diantara 0,4 – 0,9  $g/cm^3$ . Sehingga hasil nilai uji yang sudah didapat lalu dilakukan perbandingan dengan standar densitas yang digunakan maka ketiga sampel sudah memenuhi standar SNI 03-2105-2006.



**Gambar 4.10** Grafik Hasil Uji Densitas Setelah diberi Paparan Panas 100°C dan 200°C

Dari gambar grafik 4.10 menunjukkan nilai hasil uji densitas setelah diberi paparan panas dengan suhu 100°C dan 200°C. Pada pengujian densitas dengan temperatur 100°C SCT mengalami kenaikan nilai densitas yang paling tinggi dengan 1,106  $g/cm^3$ , di ikuti oleh BS sebesar 0,700  $g/cm^3$  dan yang ketiga ada SBCT mendapatkan nilai sebesar 0,479  $g/cm^3$ .

Sementara pada temperatur 200°C memiliki hasil yang berbeda walaupun SCT mengalami kenaikan tertinggi sebesar 1,153  $g/cm^3$  diikuti dengan SBCT mendapatkan 0,820  $g/cm^3$ , namun pada sampel BS mengalami penurunan menjadi 0,476  $g/cm^3$ . Tetapi hasil ini tetap menunjukkan bahwa tiga sampel diatas memenuhi standar SNI 03-2105-2006.

Berdasarkan hasil uji densitas diatas yang menyebabkan naik dan turunnya nilai densitas ketika setelah diberi temperatur yang tinggi karena adanya penguapan kadar air dan pelelehan resin. Penguapan kadar air dari papan partikel mengakibatkan penurunan beratnya, yang mengakibatkan peningkatan pada densitasnya. Sementara itu, ketika resin meleleh karena suhu yang terlalu tinggi, dapat mengakibatkan naik dan turunnya densitas karena resin yang meleleh mengisi celah-celah kosong pada papan partikel yang mengakibatkan penambahan berat dan peningkatan pada densitasnya.

## **BAB V PENUTUP**

### **5.1 Kesimpulan**

Setelah dilakukan proses penelitian, pengujian dan pembahasan maka didapat kesimpulan yaitu:

1. Pengujian Thermogravimetri (TGA) Pada tiga sampel menunjukkan bahwa SCT adalah yang paling tahan akan degradasi termal setelah diberikan suhu  $500^{\circ}\text{C}$  kehilangan bebannya hanya sebesar 0,612mg, dan yang paling banyak kehilangan beratnya yaitu SBCT sebesar 1,231mg. Begitu juga dengan stabilitas dimensi pada paparan panas, SCT menjadi sampel yang paling kuat menahan jika diberi suhu panas. Pada pengujian ini yang menggunakan cangkang telur mendapatkan nilai paling bagus dikarenakan cangkang telur dapat menahan suhu yang panas.
2. Setelah dilakukan pengujian TGA dan stabilitas dimensi pada paparan panas selanjutnya didapatkan nilai hasil dari uji kekerasan dan kerapatan. Untuk SCT dengan nilai rata-rata kekerasan 43.25 setelah diberi paparan panas  $100^{\circ}\text{C}$  naik menjadi 44.33 selanjutnya saat diberi temperatur  $200^{\circ}\text{C}$  naik kembali menjadi 44.75. Untuk nilai yang terendah didapat oleh BS dengan nilai awal rata-rata sebesar 25.75 mengalami penurunan pada suhu  $100^{\circ}\text{C}$  dengan nilai 25 pada suhu  $200^{\circ}\text{C}$  mengalami penurunan kembali menjadi 23.16. Faktor penyebab naik turunnya kekerasan dan kerapatan pada setiap suhu dipengaruhi oleh sifat air yang menguap dan terbakarnya bahan yang menjadi pengisi pada komposit. Adanya cangkang telur dalam komposit ini juga dapat membantu peningkatan densitas pada papan partikel.

## 5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, didapat saran terkait pengembangan penelitian ini yaitu:

1. Saat proses pencampuran bahan alangkah baiknya dilakukan dengan hati-hati agar tidak terbuangnya bahan pada saat proses *mixing* dan akan mempengaruhi sifat fisik dan mekanik papan partikel.
2. Memastikan penekanan kempa antar variasi menggunakan angka yang sama sehingga tidak terjadi anomaly seperti yang terjadi pada penelitian kali ini.
3. Perlu adanya penelitian lebih lanjut mengenai tambahan variasi penelitian kali ini agar mendapatkan sifat mekanik yang lebih baik.

## DAFTAR PUSTAKA

- Arif, S. (2019). Karakteristik Sifat Mekanis Disk Pad Komposit Serbuk Kayu Jati–Polyster. Seminar Nasional Teknologi dan Rekayasa (SENTRA).
- Aji, A. S. (2011). Nilai Serapan Bunyi (Noise Absorption Coefficient) Dari Komposit Serbuk Gergaji Kayu Sengon Dengan Matrik Alami.
- Anugrah, V. G., & Susanti, D. (2014). Pengaruh komposisi Sn dan variasi tekanan kompaksi terhadap densitas dan kekerasan komposit Cu-Sn untuk aplikasi proyektil peluru frangible dengan metode metalurgi serbuk. *Jurnal Teknik ITS*, 3(1), F102-F107.
- Berlin, N. V. A., dan Estu, R. 1995. Jenis dan Prospek Bisnis Bambu. Penebar Swadaya. Jakarta.
- Banga, H., Singh, V. K., & Choudhary, S. K. (2015). Fabrication and Study of Mechanical Properties of Bamboo Fibre Reinforced Bio-Composites.
- Dede Mhd Taher Hasibuan, (2017). Pengaruh Penambahan Pengisi Nanopartikel Cangkang Telur ayam Terhadap Sifat-sifat Mekanik Komposit Resin Akrilik Pada Basis Gigi Tiruan, Skripsi Teknik Kimia, Universitas Sumatra Utara.
- Dupoirieux L., Pourquoiier D., Souyris F. (1995): Powdered eggshell: a pilot study on a new bone substitute for use in maxillofacial surgery. *Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery*, 23: 187–194.
- Fajri, R. I., Tarkono, T., & Sugiyanto, S. (2013). *Studi sifat mekanik komposit serat Sansevieria cylindrica dengan variasi fraksi volume bermatrik polyester* (Doctoral dissertation, Lampung University).
- Fahmi, H., & Hermansyah, H. (2011). Pengaruh orientasi serat pada komposit resin polyester/serat daun nenas terhadap kekuatan tarik. *Jurnal Teknik Mesin*, 1(1), 46-52.
- FRED W. BILLMEYER, JR. , *Textbook of Polymer Science*, 3 Ed., John Wiley & Sons, (1994) 445-446,470-471.
- German, R. M. 1984. *Powder Metallurgy Science*. (USA: Metal powder Industries Federation,).

- Hassan, S. B., & Aigbodion, V. S. (2015). Effects of eggshell on the microstructures and properties of Al–Cu–Mg/eggshell particulate composites. *Journal of King Saud University - Engineering Sciences*, 27(1), 49–56. <https://doi.org/10.1016/j.jksues.2013.03.001>
- Iskandar, M. I. (2006). Pemanfaatan Kayu Hutan rakyat Sengon (*Parasarianthes Falcatia*) Nielsen untuk kayu Rakitan. 189-193.
- Janssen. JJA. 1987, "The Mechanical Properties of Bamboo". 250-256.
- Kocaefer, D., Poncsak, S., Dor, G. V., & Younsi, R. (2008). Effect of heat treatment on the wettability of white ash and soft maple by water. *Holz als roh-und werkstoff*, 66(5), 355-361.
- Mozartha, M., Praziandithe, M., Sulistiawati, (2015). Pengaruh Penambahan Hidroksiapatit dari Cangkang Telur terhadap Kekuatan Tarik Semen Ionomer Kaca. *Jurnal B-Dent*, 2 (1), 75- 81.
- Manurung, R., Simanjuntak, S., Sembiring, J., Napitupulu, R. A., & Sihombing, S. (2020). Analisa Kekuatan Bahan Komposit Yang Diperkuat Serat Bambu Menggunakan Resin Polyester Dengan Memvariasikan Susunan Serat Secara Acak Dan Lurus Memanjang. *Sprocket Journal of Mechanical Engineering*, 2(1), 28-35.
- Pizzi, A. 1983. *Wood Adhesive, Chemistry and Technology*. Marcell Dekker, Inc. New York.
- R.F. Gibson, 1994, *Principles of Composite Materials Mechanics*, McGraw Hill, Inc.
- Rahmayanti, D. (2016). Karakteristik Sifat Termal (DTA-TGA) dan Konduktifitas Termal Keramik Cordierite Berbasis Silika Sekam Padi dengan Penambahan Alumina (0, 20, 25, dan 30 wt%). Skripsi. Universitas Lampung, Bandar Lampung.
- Romadhan, M. R. (2024). Studi Sifat Termal Papan Partikel Menggunakan Bambu Betung Dengan Variasi Media Perendaman. Skripsi. Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Cilegon Banten.
- Setiawan, H. B., Yudo, H., & Jokosisworo, S. (2017). Analisis Teknis Komposit Serat Daun Gebang (*Corypha Utan L.*) Sebagai Alternatif Bahan Komponen

- Kapal Ditinjau Dari Kekuatan Tekuk Dan Impak. *Jurnal Teknik Perkapalan*, 5(2).
- Sutigno, P. 1988. *Teknologi papan partikel datar*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Hasil Hutan dan Sosial Ekonomi Kehutanan, Bogor.
- Schwartz, M.M, 1984, *Composite Material Handbook*, Mc Graw Hill, Singapore.
- Senthil J, Madan Raj P, “Preparation and Characterization of Reinforced Eggshell Polymer Composite”, Vol-3, Issue 3, pp. 7-1, 2015.
- Sandi, R. (2009). Pengaruh penambahan Kuat Lentur, Tekan, dan Tarik papan Partikel Dari Serbuk Gergaji Kayu Sengon. *Seminar Nasional Aplikasi teknologi Prasarana Wilayah* , 293 – 297.
- Satmoko, M. A. (2013). Pengaruh Variasi Temperatur cetakan Terhadap karakterisasi Briket Kayu Sengon Pada Tekanan Kompaksi 6000 Psig.
- Verma, N., Kumar, V., & Bansal, M. C. (2012). Utilization of egg shell waste in cellulase production by *Neurospora crassa* under Wheat bran-based solid state fermentation. *Polish Journal of Environmental Studies*, 21: 491–4.
- Venkatamuni, T., Devanathan, R., & Christopherselvam, D. (2016). Effect of eggshell composite material for the replacement of conventional material. *International Journal of Innovative Research and Advanced Studies (IJIRAS)*, 3(11), 44-48.
- Valencia, L.E.C., Alonso, E., Manzano, A., Pe´rez, J., Contreras, M.E., & Signoret, C. (2007) : Improving the Compressive Strengths of Cold-Mix Asphalt Using Asphalt Emulsion Modified by Polyvinyl Acetate, *Construction and Building Materials*, 21, 583 – 589.
- Warsy, W., Chadijah, S., & Rustiah, W. O. (2016). Optimalisasi kalsium karbonat dari cangkang telur untuk produksi pasta komposit. *AlKimia*, 4(2), 185-196.
- Yani, M., & Lubis, F. (2018). Pembuatan dan penyelidikan perilaku mekanik komposit diperkuat serat limbah plastik akibat beban lendutan. *MEKANIK: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 4(2).



## **LAMPIRAN**

## Lampiran A. Proses Pembuatan Papan Partikel

### A1. Proses Pembuatan Serbuk Cangkang Telur



### A2. Proses Pembuatan Serbuk dan Serat Bambu



### A3. Proses Pembuatan Serbuk Kayu Sengon



#### A4. Proses Penimbangan Bahan



#### A5. Proses Pembuatan Sampel Uji



#### A6. Proses *Curing* Papan Partikel



## A7. Proses Pengujian Kekerasan

### A7.1. Sengon dan Cangkang Telur Sebelum Termal



### A7.2. Sengon dan Cangkang Telur diberi Termal 100°C



### A7.3. Sengon dan Cangkang Telur diberi Termal 200°C



### A7.4. Bambu dan Sengon Sebelum Termal



### A7.5. Bambu dan Sengon Diberi Termal 100°C



### A7.6. Bambu dan Sengon Diberi Termal 200°C



### A7.7. Sengon, Bambu dan Cangkang Telur Sebelum Termal



### A7.8. Sengon, Bambu dan Cangkang Telur Diberi Termal 100°C



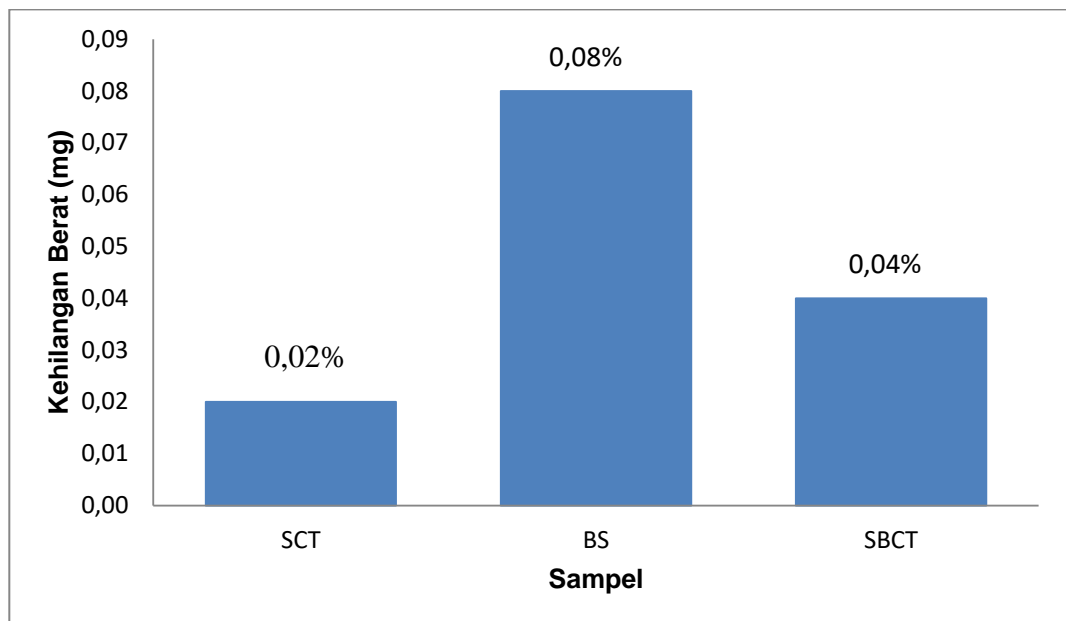
**A7.9. Sengon, Bambu dan Cangkang Telur Diberi Termal 200°C**



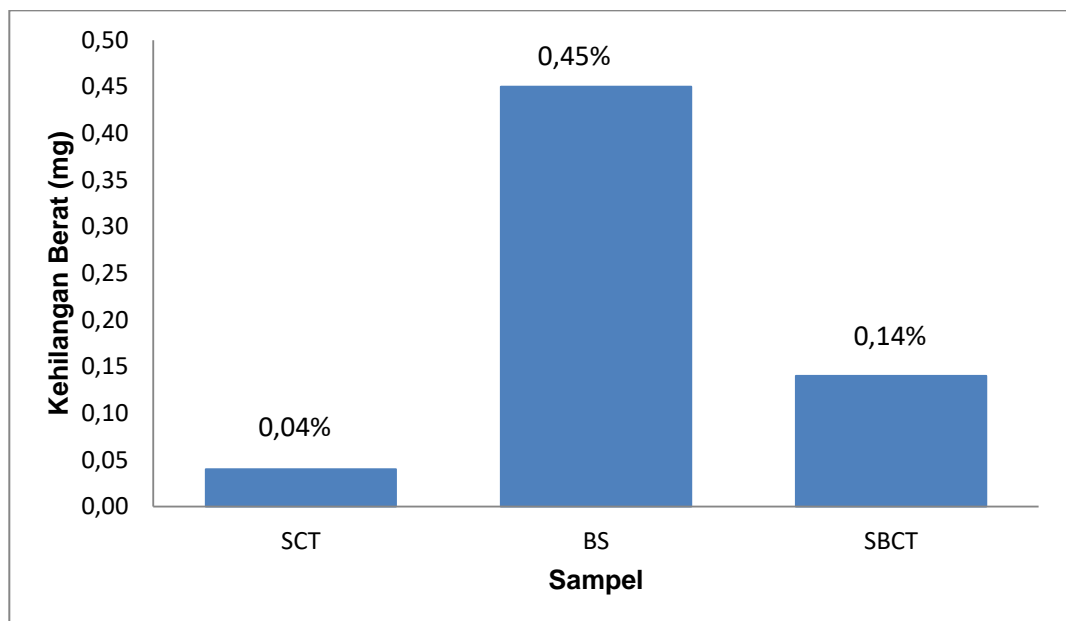


**Lampiran B.**

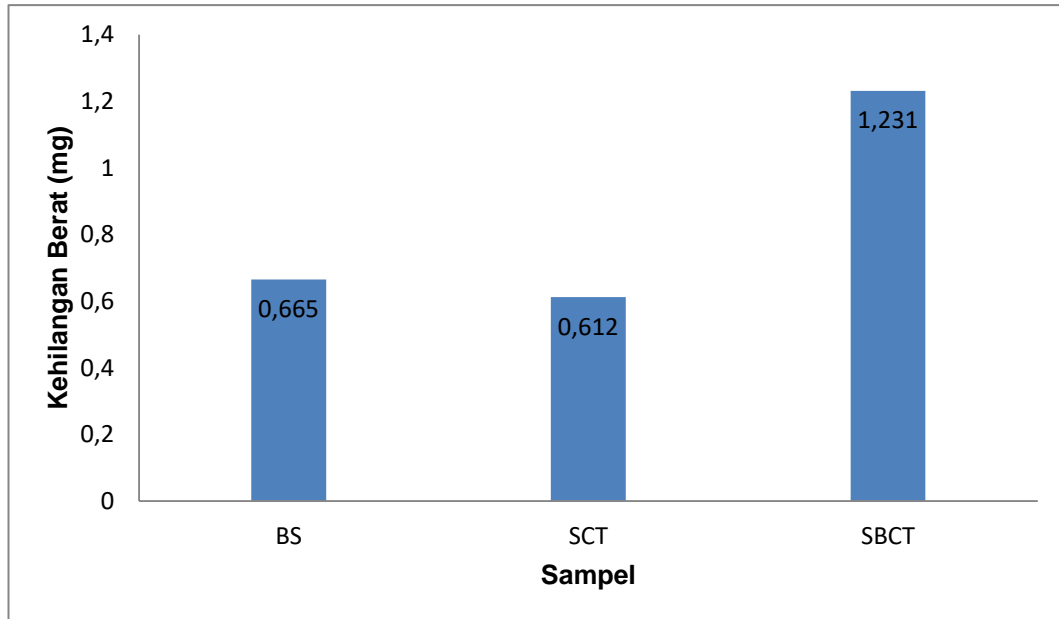
**Lampiran B1.** Grafik Presentase Kehilangan Berat 100°C



**Lampiran B1.1.** Grafik Presentase Kehilangan Berat 200°C



**Lampiran B2.** Grafik Weight Loss Uji TGA



**Lampiran B3.** Tabel Hasil Pengujian Kekerasan

Kode Sampel	Nilai Kekerasan Durometer Shore D	Rata - Rata Kekerasan Durometer Shore D
SCT	40	43.25
	41	
	43.5	
	46	
	45	
	44	
BS	28	25.75
	22.5	
	31	
	26	
	24	
	23	
SBCT	31	25.83
	29.5	
	24	
	22.5	
	21	
	27	

**Lampiran B3.1.**Tabel Hasil Pengujian Kekerasan dengan suhu 100°C

Kode Sampel	Nilai Kekerasan Durometer Shore D	Rata - Rata Kekerasan Durometer Shore D
SCT	44.5	44.33
	44	
	46	
	45.5	
	44	
	42	
BS	21	25
	24.5	
	28.5	
	25	
	24.5	
	26.5	
SBCT	29	32.58
	32	
	33	
	40	
	30	
	31.5	

**Lampiran B3.2.** Tabel Hasil Pengujian Kekerasan dengan suhu 200°C

Kode Sampel	Nilai Kekerasan Durometer Shore D	Rata - Rata Kekerasan Durometer Shore D
SCT	48.5	44.75
	49.5	
	42	
	43.5	
	48.5	
	36.5	
BS	28.5	23.16
	28	
	24	
	20.5	

	18.5	
	19.5	
SBCT	19	23.33
	25	
	25.5	
	27	
	22	
	21.5	

**Lampiran B4.** Tabel Hasil Uji Densitas Sebelum diberi Paparan Panas

Kode Sampel	Densitas ( $g/cm^3$ )
SCT 100	1,110
SCT 200	1,102
BS 100	0,683
BS 200	0,718
SBCT 100	0,101
SBCT 200	0,857

**Lampiran B4.1.** Tabel Hasil Uji Densitas Setelah diberi Paparan Panas 100°C dan 200°C

Kode Sampel	Densitas ( $g/cm^3$ )
SCT 100	1,086
SCT 200	1,153
BS 100	0,625
BS 200	0,476
SBCT 100	0,968
SBCT 200	0,820