

**PENGARUH KOMPOSISI CANGKANG KELAPA SAWIT DAN  
SERAT BAMBU TERHADAP SIFAT FISIK DAN SIFAT  
TERMAL KAMPAS REM NON ASBESTOS**

**SKRIPSI**



**Disusun Oleh:**

**Muhammad Auliya Adriyanto**

**3331200106**

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

**2024**

**PENGARUH KOMPOSISI CANGKANG KELAPA SAWIT DAN  
SERAT BAMBU TERHADAP SIFAT FISIK DAN SIFAT  
TERMAL KAMPAS REM NON ASBESTOS**

**SKRIPSI**

**Untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan Mencapai Derajat Sarjana S1  
pada Jurusan Teknik Mesin Universitas Sultan Ageng Tirtayasa**



**Disusun Oleh:**

**Muhammad Auliya Adriyanto**

**3331200106**

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

**2024**

# LEMBAR PENGESAHAN

No : 069/UN.43.3.1/PK.03.09/2024

## TUGAS AKHIR

**Pengaruh Komposisi Cangkang Kelapa Sawit dan Serat Bambu terhadap Sifat Fisik dan Sifat Termal  
Kampas Rem Non Asbestos**

Dipersiapkan dan disusun Oleh :

**Muhammad Auliya Adriyanto  
3331200106**

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

Pembimbing Utama

  
Sunardi, S.T., M.Eng.  
NIP.197312052006041002

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

Anggota Dewan Penguji

  
Slamet Wiyono, ST., MT.  
NIP.197312182005011001

  
Miftahul Jannah, S.T., M.T.  
NIP. 199103052020122000

  
Sunardi, S.T., M.Eng.  
NIP.197312052006041002

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

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

Tanggal, 24 Juli 2024

Ketua Jurusan Teknik Mesin UNTIRTA

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

## PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

### PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Yang bertanda tangan dibawah ini,

Nama : Muhammad Auliya Adriyanto

NPM : 3331200106

Judul : Pengaruh Komposisi Cangkang Kelapa Sawit dan Serat Bambu terhadap Sifat Fisik dan Sifat Termal Kampas Rem *Non Asbestos*

Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

#### MENYATAKAN

Bahwa laporan skripsi ini merupakan hasil karya saya sendiri dan tidak ada duplikat dengan karya orang lain, kecuali yang telah disebutkan sumbernya

Cilegon, 18 April 2024



Muhammad Auliya Adriyanto

NPM. 3331200106

## KATA PENGANTAR

Puji serta syukur kita panjatkan atas kehadiran Allah Subhanahu Wata'alla karena memberikan banyak nikmat kepada penulis, baik nikmat Iman, nikmat Islam, dan nikmat ihsan, sehingga saya dapat menyelesaikan laporan tugas akhir ini dengan sebaik-baiknya. Laporan yang berjudul "Pengaruh Komposisi Cangkang Kelapa Sawit dan Serat Bambu terhadap Sifat Fisik dan Sifat Termal Kampas Rem *Non Asbestos*", laporan ini ditunjukkan sebagai salah satu syarat untuk melengkapinya kelulusan pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa. Akan tetapi penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam penulisan laporan ini. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran demi memperbaiki penulisan laporan ini dimasa yang akan datang. Selain itu penulis juga berterimakasih kepada para pihak yang sudah terlibat dalam merealisasikan atas bantuan dan bimbingannya, Kepada :

1. Bapak Dhimas Satria, ST., M.Eng. Selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
2. Bapak Sunardi, S.T., M.Eng. Selaku Dosen Pembimbing I yang telah banyak memberikan motivasi dan arahan sekaligus menyediakan waktu, tenaga dan pikiran untuk mengarahkan penulis dalam penyusunan laporan proposal tugas akhir ini.
3. Ibu Shofiatul Ula, S.Pd.I., M.Eng. Selaku Dosen Pembimbing II yang telah banyak memberikan motivasi dan arahan sekaligus menyediakan waktu, tenaga dan pikiran untuk mengarahkan penulis dalam penyusunan laporan proposal tugas akhir ini.
4. Dr. Ir. Eng. Hendra, ST., M.Eng. Selaku Dosen Akademik yang telah membimbing selama proses perkuliahan penulis dari awal semester hingga penyusunan laporan skripsi
5. Seluruh Dosen dan Civitas Akademik Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa yang tidak dapat disebutkan satu persatu atas ilmu, bimbingan maupun motivasi yang telah diberikan pada selama menjalani perkuliahan

6. Bapak Eko Sutanto dan Ibu Yulyana sebagai orang tua penulis yang sangat berjasa dan istimewa yang selalu menemani dan mendoakan penulis disetiap langkah perjalanan hidup penulis
7. Seluruh teman teman warung padeh yang telah menemani setiap proses penulis dan memberikan motivasi dan semangat dari masa SMA sampai saat ini
8. Seluruh teman teman Teknik Mesin angkatan 2020 yang telah menemani dan memberikan motivasi serta mendoakan penulis dari awal perkuliahan sampai saat ini

Dengan demikian, penulisan laporan tugas akhir yang bisa saya sampaikan dengan segala kekurangan dan segala keterbatasan, dan saya berharap laporan yang saya buat dapat berguna untuk pembaca dan bermanfaat untuk masa yang akan datang. Atas segala kekurangan dan keterbatasan untuk memberikan saran dan kritik yang membangun agar dapat menulis laporan yang baik dan benar dikemudian hari

Cilegon, 18 April 2024

Penulis

## ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi komposisi *filler* cangkang kelapa sawit dan serat bambu terhadap sifat fisik dan termal kampas rem. Komposisi yang digunakan dalam penelitian ini adalah cangkang kelapa sawit dengan variasi 20%, 15%, dan 5%, serta serat bambu dengan variasi 5%, 10%, dan 20%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi komposisi *filler* dan serat bambu mempengaruhi densitas, porositas, dan daya serap air kampas rem. Pengujian stabilitas termal melalui TGA mengungkapkan bahwa komposisi material yang berbeda mempengaruhi suhu dekomposisi dan residu abu yang dihasilkan. Penggunaan kombinasi cangkang kelapa sawit dan serat bambu dalam kampas rem menghasilkan material komposit dengan karakteristik yang menguntungkan, termasuk peningkatan ketahanan aus dan performa pengereman yang konsisten. Penelitian ini menyimpulkan bahwa komposisi material yang tepat dapat meningkatkan performa dan keamanan kampas rem secara signifikan. Sehingga didapatkan hasil *weight loss* tertinggi sebesar 2.471 mg pada varian ke 3 dengan komposisi 5%:20%, dan nilai terkecilnya pada varian ke 1 dengan komposisi 20%:5% sebesar 1.073 mg. Pengurangan massa ini yang dapat dianalisa apakah kampas rem dapat menahan panas dalam berbagai kondisi, selain itu *weight loss* tinggi menunjukkan kampas rem tersebut cepat mengalami keausan

**Kata Kunci :** *Fraksi Volume, Pengujian Fisik, Pengujian TGA, Weight Loss*

## ***ABSTRACT***

*This study aims to determine the effect of variations in the composition of palm shell filler and bamboo fiber on the physical and thermal properties of brake pads. The composition used in this study is oil palm shells with variations of 20%, 15%, and 5%, as well as bamboo fiber with variations of 5%, 10%, and 20%. The results showed that the variation in the composition of filler and bamboo fiber affected the density, porosity, and water absorption of brake pads. Thermal stability testing through TGA revealed that different material compositions affect the decomposition temperature and ash residues produced. The use of a combination of palm shell and bamboo fibre in brake pads results in a composite material with favorable characteristics, including improved wear resistance and consistent braking performance. This study concluded that the right material composition can significantly improve the performance and safety of brake pads. So that the highest weight loss result was obtained at 2,471 mg in the 3rd variant with a composition of 5%:20%, and the smallest value in the 1st variant with a composition of 20%:5% was 1,073 mg. This mass reduction can be analyzed to see if brake pads can withstand heat in various conditions. In addition, the high weight loss indicates that the brake pads wear out quickly*

***Keywords:*** *Volume Fraction, Physical Testing, TGA Testing, Weight Loss*

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	iii
<b>PERNYATAAN KEASLIAN</b> .....	iv
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	v
<b>ABSTRAK</b> .....	vii
<b>DAFTAR ISI</b> .....	ix
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xi
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xiii
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
1.5 Batasan Masalah.....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 <i>State of Art</i> .....	4
2.2 Kampas Rem .....	5
2.2.1 Klasifikasi Kampas Rem .....	7
2.2.2 Karakteristik Kampas Rem.....	8
2.2.3 Standar Kampas Rem.....	9
2.3 Komposit .....	10
2.5.1 Bagian Utama Komposit.....	11
2.5.2 Hubungan Interaksi Penguat dan Matriks.....	12
2.5.3 Klasifikasi Komposit Menurut Jenis Penguatnya.....	13
2.5.4 Klasifikasi Komposit Menurut Jenis Matriksnya .....	14
2.4 Serat Alami.....	16
2.5 Cangkang Kelapa Sawit .....	17
2.6 Serat Bambu .....	19
2.7 Sifat Fisik Komposit.....	20
2.6.1 Densitas.....	20

2.6.2 Porositas.....	21
2.6.3 Daya Serap Air.....	22
2.8 Sifat Termal Komposit .....	22
2.7.1 Pengujian TGA .....	23
2.7.2 Paparan Panas .....	24
2.9 Alumina Powder .....	25
2.10 Graphite Powder .....	26
2.11 ZnO.....	27
2.12 Perlakuan Alkali .....	28
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b>	
3.1 Diagram Alir Penelitian .....	29
3.2 Prosedur Penelitian.....	30
3.3 Alat dan Bahan .....	34
3.3.1 Alat yang Digunakan .....	34
3.3.2 Bahan yang Digunakan .....	38
3.4 Variabel Pengujian .....	40
3.5 Waktu dan Tempat Pelaksanaan Penelitian .....	41
<b>BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN</b>	
4.1 Karakteristik Komposisi Varian Kampas Rem .....	42
4.4.1 Massa Jenis Bahan yang Digunakan.....	43
4.4.2 Fraksi Volume Kampas Rem .....	43
4.2 Sifat Fisik Kampas Rem .....	44
4.2.1 Hasil Pengujian Densitas .....	44
4.2.2 Hasil Pengujian Porositas .....	47
4.2.3 Hasil Pengujian Daya Serap Air .....	50
4.3 Sifat Termal Kampas Rem .....	52
4.3.1 Hasil Pengujian Paparan Panas .....	52
4.3.2 Hasil Pengujian TGA ( <i>Thermogravimetry Analysis</i> ).....	57
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN</b>	
5.1 Kesimpulan.....	58
5.2 Saran.....	59

## Daftar Pustaka

## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
<b>Gambar 2.1</b> Kampas Rem.....	6
<b>Gambar 2.2</b> Kampas Rem <i>Asbestos</i> dan <i>Non Asbestos</i> .....	7
<b>Gambar 2.3</b> Standar SNI 09-9134-1987 .....	10
<b>Gambar 2.4</b> Komposit.....	10
<b>Gambar 2.5</b> <i>Fibre Composite</i> .....	13
<b>Gambar 2.6</b> <i>Particular Composite</i> .....	14
<b>Gambar 2.7</b> <i>Laminates Composite</i> .....	14
<b>Gambar 2.8</b> <i>Polymer Matrix Composite</i> .....	15
<b>Gambar 2.9</b> <i>Metal Matrix Composite</i> .....	15
<b>Gambar 2.10</b> <i>Ceramic Matrix Composite</i> .....	16
<b>Gambar 2.11</b> <i>Carbon Matrix Composite</i> .....	16
<b>Gambar 2.12</b> Cangkang Kelapa Sawit.....	18
<b>Gambar 2.13</b> Serat Bambu.....	19
<b>Gambar 3.1</b> Diagram Alir Penelitian .....	30
<b>Gambar 3.2</b> Saringan Mesh 80 .....	34
<b>Gambar 3.3</b> Neraca Digital.....	35
<b>Gambar 3.4</b> Blender.....	35
<b>Gambar 3.5</b> Cetakan .....	36
<b>Gambar 3.6</b> Sigmat Digital .....	36
<b>Gambar 3.7</b> Oven.....	36
<b>Gambar 3.8</b> Mesin <i>Coldpress</i> .....	37
<b>Gambar 3.9</b> Gelas Ukur .....	37
<b>Gambar 3.10</b> Mixer Pengaduk.....	37
<b>Gambar 3.11</b> Cangkang Kelapa Sawit.....	38
<b>Gambar 3.12</b> Serat Bambu.....	38
<b>Gambar 3.13</b> ZnO .....	39
<b>Gambar 3.14</b> Resin Epoksi .....	39
<b>Gambar 3.15</b> <i>Alumina Powder</i> .....	40
<b>Gambar 3.16</b> <i>Graphite Powder</i> .....	40

<b>Gambar 4.1</b> Grafik Densitas Teoritis dan Aktual.....	46
<b>Gambar 4.2</b> Grafik Pengujian Porositas .....	49
<b>Gambar 4.3</b> Grafik Pengujian Daya Serap Air .....	51
<b>Gambar 4.4</b> Grafik Hubungan Densitas dengan Porositas dan DSA .....	52
<b>Gambar 4.5</b> Grafik Perbandingan pada Suhu 150°C dan Suhu 250°C .....	57
<b>Gambar 4.6</b> Grafik Pengujian TGA (20%:5%).....	59
<b>Gambar 4.7</b> Grafik Pengujian TGA (15%:10%).....	60
<b>Gambar 4.8</b> Grafik Pengujian TGA (5%:20%).....	62
<b>Gambar 4.9</b> Grafik Perbandingan <i>Weight Loss</i> .....	63

## DAFTAR TABEL

	Halaman
<b>Tabel 2.1</b> Standar SNI 09-9134-1987 .....	9
<b>Tabel 2.2</b> Kandungan Cangkang Kelapa Sawit .....	18
<b>Tabel 4.1</b> Fraksi Volume Varian Kampas Rem .....	42
<b>Tabel 4.2</b> Massa Jenis .....	43
<b>Tabel 4.3</b> Data Hasil Pengujian Densitas.....	45
<b>Tabel 4.4</b> Data Hasil Pengujian Porositas.....	48
<b>Tabel 4.5</b> Data Hasil Pengujian Daya Serap Air.....	50
<b>Tabel 4.6</b> Data Hasil Pengujian Paparan Panas 150°C .....	53
<b>Tabel 4.7</b> Data Hasil Pengujian Paparan Panas 250°C .....	54
<b>Tabel 4.8</b> Spesifikasi DSC .....	58
<b>Tabel 4.9</b> <i>Weight Loss</i> Setiap Varian.....	62

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Saat ini perkembangan teknologi dalam bidang otomotif sangat pesat, sehingga permintaan material otomotif pun semakin meningkat. Salah satu kebutuhan material utama pada sebuah kendaraan adalah sistem pengereman. Sistem pengereman dirancang untuk memperlambat dan menghentikan kendaraan yang bergerak, serta mencegahnya bergerak jika kendaraan dalam keadaan diam (Iman, 2020). Umumnya kampas rem terbuat dari dua jenis bahan yaitu *Asbestos* dan *Non Asbestos*. Kampas rem yang terbuat dari serat asbes terkenal dengan ketahanan aus dan ketahanan gesekan yang baik, namun penggunaan material asbes pada kampas rem memiliki komponen yang tidak ramah lingkungan dan bersifat karsinogenik bagi kesehatan manusia. Sedangkan kampas rem non asbes terbuat dari material komposit yang aman dan ramah lingkungan seperti serat organik dan logam yang memiliki sifat tahan aus, panas, dan gesekan yang baik (Suhardiman, 2022).

Pada pembuatan kampas rem *non asbestos*, material pengisi atau *filler* yang digunakan adalah cangkang kelapa sawit dan ZnO sebagai bahan tambahannya. Karakteristik cangkang kelapa sawit memiliki sifat fisik dan termal yang cukup baik untuk memastikan bahwa kampas rem dapat berfungsi dengan baik dalam mencapai koefisien gesek dan ketahanan panas dalam berbagai kondisi dan suhu yang berbeda beda, selain itu penggunaan cangkang kelapa sawit memiliki biaya yang relatif murah dan dapat membantu mengurangi limbah serta ketergantungan pada bahan *non-renewable* seperti asbes, yang dikenal memiliki dampak yang buruk bagi kesehatan dan lingkungan (Rehan, 2021). Penambahan senyawa ZnO mempunyai pengaruh yang sangat penting dalam mengurangi gesekan dan keausan antara kampas rem dengan cakram rem, serta meningkatkan stabilitas termal kampas rem dan mengurangi risiko penurunan performa akibat panas tinggi saat pengereman. Kampas rem yang terbuat dari ZnO umumnya lebih aman bagi kesehatan manusia dari debu yang dihasilkan (Danni, 2023).

Selain itu penggunaan serat bambu sebagai penguat atau *reinforced* merujuk pada penggunaan bahan tambahan dalam pembuatan material komposit, karena mempunyai kekuatan yang cukup tinggi sehingga dapat membantu meningkatkan ketahanan aus pada kampas rem. Ketahanan aus yang baik dapat memastikan kinerja pengereman yang konsisten pada melakukan pengereman (Raliannoor, 2019). Dapat diambil kesimpulan penggunaan komposisi *filler* berupa cangkang kelapa sawit dan penguat berupa serat bambu dalam pembuatan kampas rem dapat menghasilkan produk yang memiliki karakteristik yang menguntungkan

Komposisi bahan pengisi cangkang kelapa sawit yang digunakan pada penelitian ini adalah 20%, 15%, 5% dan komposisi serat bambu sebesar 5%, 10%, 20% serta matriks/pengikat yang digunakan adalah resin epoksi. Selain itu juga dilakukan perlakuan alkali yaitu suatu metode perubahan tegangan permukaan serat bambu dengan perlakuan alkali 5%. Penelitian ini juga bertujuan untuk mengetahui nilai densitas, porositas, daya serap air dan stabilitas termal kampas rem dengan menggunakan material komposit ekologis dari beberapa variasi komposisi material

## 1.2 Rumusan Masalah

Berikut ada beberapa rumusan masalah yang berisikan pertanyaan terhadap suatu masalah yang didapat dan disesuaikan pada saat melakukan penelitian, yaitu ;

1. Bagaimana pengaruh variasi komposisi *filler* cangkang kelapa sawit dan komposisi *reinforced* serat bambu terhadap densitas, serapan air dan porositas?
2. Jelaskan perbandingan nilai stabilitas termal pada pengujian TGA terhadap kinerja kampas rem dengan variasi komposisi *filler* cangkang kelapa sawit dan komposisi *reinforced* serat bambu?

### 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian merupakan suatu bentuk penjelasan untuk meningkatkan pemahaman terhadap suatu penelitian yang sedang dilakukan. Adapun beberapa tujuan yang ingin dicapai, diantaranya sebagai berikut :

1. Mendapatkan pengetahuan tentang pengaruh variasi komposisi *filler* cangkang kelapa sawit dan *reinforced* serat bambu terhadap pengujian densitas, serapan air dan porositas pada kampas rem *non asbestos*
2. Menghitung perbandingan nilai stabilitas termal dan paparan panas terhadap kinerja kampas rem *non asbestos* dengan variasi komposisi *filler* cangkang kelapa sawit dan komposisi *reinforced* serat bambu

### 1.4 Manfaat Penelitian

Adapun beberapa manfaat penelitian yang didapat pada saat melakukan penelitian, yaitu :

1. Dapat memberikan inovasi baru terhadap produk kampas rem yang terbuat dari komposisi *filler* cangkang kelapa sawit dan memberikan inovasi dalam pengembangan material ramah lingkungan
2. Solusi pengolahan sampah yang dapat didaur ulang menjadi suatu produk
3. Dapat berkontribusi pada keselamatan pengguna kendaraan, karena kampas rem yang lebih baik secara termal akan meningkatkan kinerja sistem pengereman dan mengurangi risiko kecelakaan

### 1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah merupakan suatu ruang lingkup masalah yang ingin dibatasi, Adapun batasan masalah pada penelitian ini, yaitu sebagai berikut :

1. Menggunakan limbah cangkang kelapa sawit sebagai *filler* yang berasal dari pandeglang dan serat bambu sebagai penguat/ *reinforced*
2. Mesh yang digunakan berukuran 80
3. Pengujian termal yang dilakukan pengujian TGA (*Thermal Gravimetry Analysis*)
4. Pengujian fisik yang dilakukan yaitu pengujian densitas, daya serap air dan porositas

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 *State of The Art*

*State of the art* merujuk pada tingkat perkembangan terbaru dalam suatu bidang pengetahuan atau topik penelitian tertentu, yang mencakup suatu pemahaman terbaru, metode penelitian terbaru, teknologi terkini, dan hasil penelitian terbaru yang relevan dengan topik yang didasari oleh penelitian yang telah dilakukan sebelumnya oleh peneliti sebagai literatur dan sumber referensi. Dalam penulisan laporan skripsi kali ini ada beberapa referensi terkait penelitian atau pengujian yang ini dilakukan diantaranya, literatur yang berjudul “Pengaruh Variasi Tekanan dan Fraksi Volume pada Hybrid Composite Serat Sabut Kelapa dan Serat Bambu Bermatriks Resin *Polyester*” (Putra, 2023). Penelitian ini memiliki obyek penelitian untuk mengetahui pengaruh fraksi volume dan tekanan pencetakan material komposit terhadap kekuatan tarik. Fraksi volume yang digunakan adalah serat kelapa 25%, 20%, 15%, 10%, 5% dan serat bambu nya 5%, 10%, 15%, 20%, 25% dengan varian tekanannya 40 bar, 50 bar, 60 bar, dan 70 bar terhadap kekuatan tarik dan *bending*. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa kekuatan tarik tertinggi pada komposisi sabut kelapa 5% dan bambu 25% dengan tekanan nya 70 bar didapatkan nilai 23,573 Mpa sedangkan kekuatan *bending* tertinggi pada komposisi dengan sabut kelapa 5% dan bambu 25% dengan tekanan 60 bar didapatkan nilai 38,665 Mpa.

Selain itu penelitian ini merujuk pada literatur yang berjudul “Variasi Campuran *Fly Ash* Batubara untuk Material Komposit” (Sunardi, 2015). Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan komposisi material komposit sebagai bahan alternative kampas rem dengan harga terjangkau, ramah lingkungan dan karakteristik yang baik. Bahan yang digunakan adalah serbuk bambu betung (*dendrocalamus asper*), serbuk *fly ash* batubara, dan resin epoksi. Variasi komposisi antara serbuk bambu dan *fly ash*, masing-masing K1(50:10%),K2(45:15%), dan K3(40:20%). Hasil penelitian ini mendapatkan nilai pengujian densitas tertinggi pada komposisi K3 dengan nilai 1,33

gr/cm<sup>3</sup> dan nilai porositas tertinggi didapatkan pada K1 dengan persentase rata-rata 0,56%. Selanjutnya acuan literature yang digunakan pada penelitian ini berjudul “Pengaruh Sifat Material dan Termal Komposit PLA (*Poly Lactid Acid*) / *Coconut Fiber* (Sabut Kelapa) dengan Modifikasi Perendaman NaOH” (Ridwan, 2022). Obyek penelitian ini adalah variasi komposisi fraksi volume polimer terhadap pengujian termal pada TGA, pada prinsipnya, metode ini mengukur pengurangan massa bahan ketika dipanaskan dari suhu kamar ke suhu tinggi yang biasanya sekitar 900°C. TGA dilengkapi dengan timbangan mikro di dalamnya sehingga berat sampel secara otomatis dapat direkam setiap saat dan disajikan dalam tampilan grafis. Dapat disimpulkan hasil analisis pengujian TGA pada sampel XcN<sub>8</sub> karena semakin banyak penambahan *filler* yang sudah dimodifikasai dengan NaOH 40% memberikan kemampuan wetabiliti yang baik sehingga mempengaruhi stabilitas termalnya

Setelah mengetahui dan menganalisis beberapa literature dan referensi yang mendasari pada penelitian kali ini, maka penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh variasi komposisi *filler* cangkang kelapa sawit terhadap sifat fisik dan termal berupa densitas, serapan air, porositas dan stabilitas termal. Penelitian ini dilakukan untuk memberikan inovasi baru terhadap produk kampas rem organik *non asbestos* yang terbuat dari cangkang kelapa sawit dan serbuk bambu

## 2.2 Kampas Rem

Kampas rem merupakan salah satu komponen sepeda motor yang berfungsi untuk memperlambat atau menghentikan laju sepeda motor secara nyaman. Kampas rem memiliki peranan yang sangat penting sebagai pencengkeram piringan cakram agar laju kendaraan dapat dikurangi atau berhenti. Gesekan yang terjadi antara kampas dengan piringan cakram saat proses pengereman mengharuskan kampas rem memiliki kualitas yang baik agar daya pengeremannya optimal dan umur pemakaiannya tahan lama (Upura, 2019). Dalam penggunaannya, kampas rem harus mempunyai sifat fisik dan faktor keamanan yang baik agar sifat-sifatnya tetap terjaga. Kampas rem merupakan bahan gesekan yang menghentikan putaran pada gesekan roda yang secara

langsung berhubungan dengan beban dan kecepatan putaran. Sebagai media yang bergesekan secara kontinyu, kampas rem harus mempunyai beberapa sifat dan karakteristik, yaitu tingkat keausan dan kekerasan yang sangat baik (Perdana, 2019).

Kampas rem terdiri dari tiga komponen yaitu pengikat, bahan serat dan pengisi. Resin yang memiliki sifat utama sebagai pengikat digunakan untuk menyambung berbagai komponen atau bahan pada komposisi pembuatan kampas rem (Suhardiman, 2022). Pada penelitian ini penggunaan komposisi *filler* berupa cangkang kelapa sawit dan penguat berupa serat bambu dalam pembuatan kampas rem dapat menghasilkan produk yang memiliki karakteristik yang menguntungkan baik dari segi biaya, karakteristik dan keunggulannya



**Gambar 2.1** Kampas Rem

(Upara, 2019)

Material kampas rem pasaran memiliki kekerasan yang lebih tinggi apabila dibandingkan dengan material komposit serat alami, akan tetapi laju keausan kampas rem pasaran lebih tinggi dibandingkan dengan material komposit serat alam, laju keausan yang rendah pada komposit serat alam karena dipengaruhi oleh ikatan yang baik antara serat alam dengan resin epoksi. Pada saat material komposit serat alam dilakukan pengujian gesek, serat alam dan epoksi berikatan dengan baik sehingga sangat sedikit massa/volume komposit yang terbuang. Namun kampas rem pasaran memberikan efek yang buruk bagi kesehatan. Penelitian medis menyebutkan serat asbes dapat menempel di paru-paru sehingga menyebabkan kanker dan permasalahan dalam pernapasan (Ikram, 2023).

### 2.2.1 Klasifikasi Kampas Rem

Komposisi pembentuk kampas rem umumnya terbagi menjadi dua, yaitu kampas rem berbahan asbes, dan berbahan non-asbes. Kampas rem sangat penting dalam sistem pengereman otomotif karena berfungsi untuk memperlambat dan menghentikan laju kendaraan. Adapun klasifikasi kampas rem, sebagai berikut : (Sukamto, 2022)

#### 1. Kampas rem *asbestos*

Kampas rem *asbestos* merupakan kampas rem yang terbuat dari *asbestos* yang direkatkan dengan resin, yang bersifat karsinogenik karena mengandung *asbestos* yang lebih lemah dalam kondisi basah. Karena bahan tersebut hanya terdiri dari satu jenis serat. Komposisi bahan baku kampas rem *asbestos* terdiri dari 50% *asbestos*, 12%-15% resin, dan 14%-15% BaSO<sub>4</sub>. Akan tetapi kampas rem *asbestos* ini dilarang digunakan karena menghasilkan debu yang berbahaya terhadap lingkungan dan kesehatan pada sistem pernafasan manusia

#### 2. Kampas rem *non asbestos*

Kampas rem *non asbestos* terbuat dari bahan organik tanpa menggunakan serat *asbestos* dan memiliki keunggulan lebih aman bagi lingkungan dan kesehatan manusia untuk membantu mengurangi risiko paparan *asbestos* pada lingkungan kerja dan mencegah pencemaran lingkungan. Kampas rem *non asbestos* menggunakan bahan organik untuk menggantikan komposisi *asbestos*. Utamanya menggunakan serat alami dan penggabungan dengan menggunakan matriks kampas rem untuk mengisi ruang kosong yang memiliki sifat tahan aus, panas, dan gesekan yang baik.



**Gambar 2.2** Kampas Rem *Asbestos* dan *Non Asbestos*

(Sukamto, 2022)

### **2.2.2 Karakteristik Kampas Rem Organik**

Kampas rem organik adalah komponen dalam sistem pengereman kendaraan yang berfungsi untuk menghasilkan gaya gesekan yang diperlukan untuk menghentikan atau memperlambat kecepatan kendaraan karena memiliki beberapa karakteristik, diantaranya sebagai berikut :

1. Kampas rem organik dirancang untuk memberikan efisiensi pengereman yang baik dalam berbagai kondisi penggunaan, termasuk dalam kecepatan rendah maupun tinggi
2. Pengereman yang lebih halus dan terkontrol, serta menghasilkan sedikit kebisingan dan getaran saat digunakan, yang meningkatkan kenyamanan dalam berkendara
3. Kampas rem organik adalah tidak mengandung asbestos atau logam berat lainnya yang berpotensi merusak lingkungan dan kesehatan manusia
4. Kampas rem organik dirancang untuk menghasilkan sedikit debu rem yang dapat mengurangi polusi udara di sekitar sistem pengereman dan menjaga lingkungan kerja yang lebih bersih

### **2.2.3 Standar Kampas Rem**

Pada pembuatan kampas rem diperlukan standar yang diperlukan untuk memastikan kampas rem tersebut memenuhi persyaratan keamanan yang ditetapkan seperti kinerja pengereman yang stabil dan dapat diandalkan dalam berbagai kondisi (Upara, 2019). Standar yang digunakan pada penelitian ini adalah Standar Nasional Indonesia (SNI) 09-9134-1987 yang merupakan standar yang mengatur tentang kampas rem kendaraan bermotor. Standar ini menetapkan persyaratan teknis dan metode pengujian untuk memastikan bahwa kampas rem yang digunakan pada kendaraan bermotor memenuhi kualitas dan kinerja yang diharapkan. Standar ini menetapkan persyaratan untuk dimensi sampel yang diuji, termasuk ketebalan, lebar, dan panjang. Dimensi ini dapat bervariasi tergantung pada jenis material dan metode pengujian yang

digunakan (Sumiyanto, 2019). Akan tetapi untuk standar ini web resminya tidak dapat diakses, namun untuk standar SNI 09-9134-1987 menggunakan acuan dari literature

**Tabel 2.1** Standar SNI 09-9134-1987 (Sumiyanto, 2019)

Sifat Pengujian Material	Nilai Standar
Densitas	1,3 – 1,81 g/cm
Daya Serap Air	1,2 – 3,2 %
Kekerasan	68 – 102 (Rockwell R)
Ketahanan Panas	100°C – 350°C
Konduktivitas Termal	0,5 – 0,8 W.m°C
Keausan	$5 \times 10^{-4}$ – $5 \times 10^{-3}$ mm <sup>2</sup> /kg

Selain itu adapun klasifikasi tipe bahan yang mengacu pada standar SNI 09-9134-1987 tentang penggunaan kampas rem, antara lain sebagai berikut : (Sumiyanto, 2019)

1. Bahan kampas rem
  1. Bahan tipe 1 : jenis kampas rem berbahan lunak
  2. Bahan tipe 2 : jenis kampas rem berbahan setengah keras
  3. Bahan tipe 3 : jenis kampas rem berbahan keras, seperti logam
2. Klasifikasi penggunaan :
  1. Kelas 1A : klasifikasi yang digunakan untuk kendaraan beban ekstra ringan, biasanya digunakan untuk center brake kendaraan bermotor dua dan tiga
  2. Kelas 1B : khusus digunakan untuk beban ekstra ringan, biasanya digunakan untuk rem parkir roda dua dan rem cakram (bantalan) kendaraan roda dua dan tiga
  3. Kelas 2 : khusus digunakan untuk muatan ringan, seperti mobil penumpang
  4. Kelas 3 : khusus digunakan untuk truk beban menengah
  5. Kelas 4A : khusus digunakan untuk muatan berat, seperti truk truk besar
  6. Kelas 4B : khusus beban berat untuk rem cakram

Klasifikasi menurut Ciri - Ciri	Klasifikasi menurut Penggunaan	Suhu Permukaan gesek dari cakram					
		100°C	150°C	200°C	250°C	300°C	350°C
Tipe 1,2 dan 3	Kelas 1 A	0.30-0.60	0.25-0.60	--	--	--	--
	Kelas 1 B	0.30-0.60	0.25-0.60	0.20-0.60	--	--	--
	Kelas 2	0.30-0.60	0.25-0.60	0.20-0.60	--	--	--
	Kelas 3	0.30-0.60	0.30-0.60	0.20-0.60	0.15-0.60	--	--
	Kelas 4 A	0.30-0.60	0.30-0.60	0.25-0.60	0.20-0.60	0.15-0.60	--
	Kelas 4 B	0.25-0.60	0.25-0.60	0.25-0.60	0.25-0.60	0.25-0.60	0.20-0.60

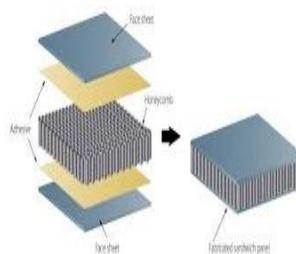
**Gambar 2.3** Standar SNI 09-9134-1987

(Sumiyanto, 2019)

### 2.3 Komposit

Komposit merupakan gabungan dua bahan atau lebih yang mempunyai beberapa sifat yang tidak dimiliki masing-masing komponennya seperti bahan yang berlapis, bahan yang diperkuat, dan kombinasi bahan lainnya. Dengan memanfaatkan secara khusus berbagai sifat material yang ada. Beberapa material komposit yang diperkuat termasuk fiberglass, asbes, dan serat alami (Gibson, 2019). Secara umum bentuk dasar suatu material komposit merupakan suatu singularitas yang terdiri dari dua unsur yang bekerja sama sehingga menghasilkan sifat material yang berbeda dengan unsur-unsur penyusun material tersebut (Wanberg, 2010).

Material penyusun komposit terdiri dari dua jenis material yang berbeda, yaitu: penguat dan matriks. Penguat diartikan sebagai komponen yang dimasukkan ke dalam matriks yang berfungsi sebagai penerima beban yang dialami oleh matriks. Sedangkan matriks adalah bagian dari komposit yang mengelilingi partikel penyusun komposit yang berfungsi sebagai bahan pengikat partikel dan ikut membentuk struktur fisik komposit (Tiwari, 2014)



**Gambar 2.4** Komposit

(Tiwari, 2014)

### 2.3.1 Bagian Utama Komposit

Komposit merupakan sistem material yang terdiri dari dua atau lebih unsur yang berbeda dimana komposisinya tidak dapat dipisahkan satu sama lain (Gibson, 2019). Secara umum komposit terbagi menjadi dua bagian utama, diantaranya sebagai berikut :

#### 1. *Reinforcement*

Salah satu bagian utama komposit yaitu *reinforcement* (penguat) yang berfungsi sebagai penanggung beban utama pada komposit seperti contoh serat. Serat merupakan jenis bahan berupa potongan-potongan komponen yang membentuk jaringan memanjang yang utuh. Serat inilah yang terutama menentukan karakteristik bahan komposit, seperti kekuatan, kekakuan dan sifat sifat mekanis lainnya. Perbandingan antara serat dan matriks juga sangat menentukan dalam memberikan karakteristik mekanis produk yang dihasilkan. Serat dapat diklasifikasikan menjadi dua jenis yaitu: (Harper, 2022)

- A. Serat alami, contohnya seperti serat daun nanas, serat cangkang kelapa, enceng gondok dan pandan
- B. Serat sintetis atau serat buatan manusia, contohnya seperti *fiber glass, carbon, nylon, graphite* dan aluminium

Berbagai jenis serat banyak tersedia untuk kebutuhan komposit dan jumlahnya hampir meningkat. Kekakuan spesifik yang tinggi (kekakuan dibagi oleh berat jenisnya) dan kekuatan spesifik yang tinggi (kekuatan dibagi oleh berat jenisnya) serat-serat tersebut yang disebut *advanced composit* (Tiwari, 2014).

#### 2. Matriks

Matriks dalam material komposit adalah komponen kontinu yang mengelilingi dan mengikat bahan penguat, membentuk material yang homogen secara makroskopik. Fungsi utama matriks adalah mendistribusikan beban ke penguat, melindungi penguat dari kerusakan lingkungan, dan menentukan sifat fisik dan mekanik dari komposit tersebut. Selain itu matriks mempunyai fungsi lain sebagai berikut: (Harper, 2022)

- A. Mentransfer tegangan ke serat secara merata
- B. Melindungi serat dari gesekan mekanik
- C. Memegang dan mempertahankan serat pada posisinya
- D. Melindungi dari lingkungan yang merugikan
- E. Tetap stabil setelah proses manufaktur

Matrik dalam struktur komposit dapat dibedakan menjadi komposit matrik polimer (*Polymer Matrix Composites*). Material ini merupakan material komposit yang sering digunakan, biasa disebut polimer berpenguat serat (*Fibre Reinforced Polymer or Plastic*). Bahan ini menggunakan suatu polimer berbahan resin sebagai matriknya dan suatu jenis serat seperti kaca, karbon dan aramid (*Kevlar*) sebagai penguatnya (Harper, 2022)

### 2.3.2 Hubungan Interaksi Penguat dan Matriks

Hubungan antara penguat dan matriks adalah kunci untuk kinerja material komposit menjadi lebih baik. Beberapa aspek penting dari hubungan antara penguat dan matriks ini, seperti : (Tiwari, 2014)

1. Adhesi yaitu kekuatan ikatan antara penguat dan matriks sangat mempengaruhi transfer beban dan sifat mekanik komposit, selain itu adhesi dapat memastikan bahwa distribusi beban yang merata dan mengurangi risiko delaminasi.
2. Distribusi penguat dalam matriks diperlukan untuk memastikan kinerja yang konsisten dan optimal. Konsentrasi penguat yang tidak merata dapat menyebabkan titik lemah dalam komposit.
3. Proporsi volume adalah rasio antara volume penguat dan matriks juga mempengaruhi sifat mekanik. Proporsi yang diperlukan untuk mencapai keseimbangan antara kekuatan, kekakuan, dan keuletan

Pemilihan jenis penguat dan matriks, serta interaksi mekanik di antara keduanya, menentukan kinerja akhir dari material komposit yang memenuhi kebutuhan spesifik dalam berbagai aplikasi industri, seperti otomotif, *aerospace* hingga produk yang bermanfaat bagi banyak orang (Tiwari, 2014).

### 2.3.3 Klasifikasi Komposit Menurut Jenis Penguatnya

Dimensi struktur penyusun komposit akan mempengaruhi karakteristik komposit, jika terjadi interaksi antara penyusun akan meningkatkan sifat dari komposit (Gibson, 2019). Secara garis besar komposit dapat diklasifikasikan menjadi tiga macam yaitu komposit serat (*Fibre Composite*), komposit partikel (*Particulate Composite*), dan komposit lapis (*Laminates Composite*), yang dijelaskan sebagai berikut : (Wanberg, 2010)

#### 1. *Fibre Composite*

*Fibre composite* merupakan komposit yang penyusunnya adalah serat. Serat dalam komposit jenis ini berfungsi sebagai penopang kekuatan komposit, sehingga tinggi dan rendahnya kekuatan komposit tergantung dari serat yang digunakan. Tegangan yang didapatkan oleh komposit awalnya diterima matrik dan kemudian diteruskan oleh serat. Fiber yang digunakan harus memiliki syarat, yaitu mempunyai diameter yang lebih kecil dari diameter bulk matrik dan harus memiliki *tensile strength* yang tinggi.

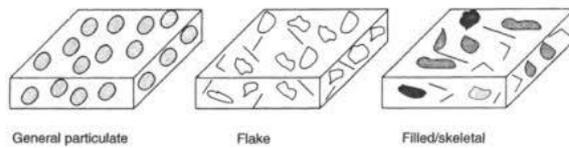


**Gambar 2.5** *Fibre composite*

(Wanberg, 2010)

#### 2. *Particulate Composite*

*Particulate composite* merupakan komposit yang diisi oleh *reinforcement* berbentuk partikel atau serbuk. Komposit jenis ini memiliki beberapa keuntungan diantaranya dapat digunakan untuk meningkatkan kekuatan dan meningkatkan kekerasan material, kekuatannya lebih seragam pada berbagai arah, dan cara penguatan dan pengerasan oleh partikulat adalah dengan menghalangi pergerakan dislokasi.

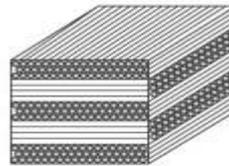


**Gambar 2.6** *Particulate composite*

(Wanberg, 2010)

### 3. *Laminates Composite*

*Laminates composite* merupakan komposit struktural yang dibentuk oleh *reinforce-reinforce* yang memiliki bentuk lembaran-lembaran. Berdasarkan strukturnya, komposit jenis ini dapat dibagi menjadi dua yaitu *laminata structural*, dan *sandwich structural*.



**Gambar 2.7** *Laminates composite*

(Wanberg, 2010)

#### 2.3.4 Klasifikasi Komposit Menurut Jenis Matriks

Komposit dapat diklasifikasikan berdasarkan jenis matriks yang digunakan dalam struktur materialnya. Matriks dalam komposit berfungsi sebagai bahan pengikat yang mengelilingi dan menyatukan bahan penguat (seperti serat atau partikel) untuk membentuk material komposit yang utuh. Berdasarkan jenis matriksnya, komposit dibagi menjadi tiga kategori utama: (Gibson, 2019)

##### 1. Komposit Matriks Polimer (*Polymer Matrix Composites*)

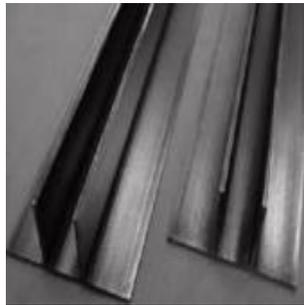
Komposit matriks polimer menggunakan polimer sebagai bahan pengikat. Polimer ini bisa berupa resin termoplastik atau termoset. Beberapa karakteristik umum dari komposit matriks polimer adalah ringan, mudah diproses, dan memiliki ketahanan korosi yang baik. Contohnya, epoksi, poliester, dan vinilester dengan penguatnya serat kaca dan serat karbon. Pengaplikasian bodi mobil dan panel pintu



**Gambar 2.8** *Polymer Matrix Composites*  
(Tiwari, 2014)

## 2. Komposit Matriks Logam (*Metal Matrix Composites*)

Komposit matriks logam menggunakan logam sebagai bahan pengikat. Jenis komposit ini dikenal karena kekuatan dan ketahanan suhu tingginya. MMC biasanya digunakan dalam aplikasi yang memerlukan sifat mekanik tinggi dan ketahanan terhadap suhu ekstrem. Contohnya, aluminium, magnesium, dan nikel dengan jenis penguatnya serat keramik, partikel karbida dan serat logam



**Gambar 2.9** *Metal Matrix Composites*  
(Tiwari, 2014)

## 3. Komposit Matriks Keramik (*Ceramic Matrix Composites*)

Komposit matriks keramik menggunakan bahan keramik sebagai bahan pengikat. Jenis komposit ini memiliki ketahanan terhadap suhu tinggi, kekerasan, dan ketahanan aus yang sangat baik, tetapi cenderung rapuh. Contohnya, silikon karbida, aluminium oksida dan zirkonia dengan jenis penguatnya serat keramik dan serat karbon. Pengaplikasiannya pada komponen mesin, sistem suspensi dan badan pesawat terbang



**Gambar 2.10** *Ceramic Matrix Composites*  
(Harper, 2022)

#### 4. Komposit Matriks Karbon (*Carbon Matrix Composites*)

Komposit ini menggunakan karbon sebagai matriks. Biasanya digunakan dalam aplikasi yang memerlukan ketahanan suhu sangat tinggi dan kinerja mekanik tinggi. Contohnya, karbon amorf atau grafit dengan jenis penguatnya serat karbon. Pengaplikasian seperti nozel roket, sirip rudal dan komponen mesin jet



**Gambar 2.11** *Carbon Matrix Composites*  
(Harper, 2022)

## 2.4 Serat Alami

Serat alam digunakan secara luas di berbagai sektor industri seperti tekstil, produksi kertas, bidang otomotif, dan pembuatan produk berbahan komposit. Dalam konteks penggunaannya sebagai penguat dalam komposit, serat alam menawarkan sejumlah keuntungan. Keuntungan tersebut meliputi densitas yang rendah, biaya yang murah, kekuatan spesifik dan modulus yang tinggi, ketersediaan yang melimpah, emisi polusi yang lebih rendah, dan mudah didaur ulang (Thomas, 2020). Serat alam adalah kelompok serat yang berasal dari tumbuhan, hewan, dan mineral. Contoh sumber serat alam mencakup serat nanas (*ananas comosus*), kapas, rami kasar (*flax*), rami halus (*hemp*), serat buah lontar, dan mesokarp kelapa (Faruk, 2019).

Serat alami dianggap sebagai alternatif untuk serat rekayasa karena memiliki sifat seperti biodegradabilitas, sifat terbarukan, dan ketersediaan yang melimpah dibandingkan dengan serat sintetis. Serat sintetis, yang berasal dari sumber daya terbatas, sangat dipengaruhi oleh fluktuasi harga minyak dan cenderung menumpuk di lingkungan dan tempat pembuangan sampah (Sanjay, 2019). Selain itu serat alami menarik perhatian yang signifikan sebagai pengganti serat sintetis dan sebagai bahan penguat dalam berbagai aplikasi komposit. Hal ini disebabkan karena kemampuannya menyerap karbon dioksida dan mengurangi polusi, dikarenakan serat alami tidak melepaskan gas berbahaya selama pemrosesan dan tidak menyebabkan keausan pada alat saat pemrosesan (Thomas, 2020).

## **2.5 Cangkang Kelapa Sawit**

Cangkang kelapa sawit adalah bagian dari buah kelapa sawit yang melindungi daging buah dan inti (kernel). Cangkang ini merupakan produk sampingan dari industri minyak kelapa sawit dan seringkali dihasilkan dalam jumlah besar di pabrik pengolahan kelapa sawit (Abdullah, 2022). Secara umum, cangkang kelapa sawit memiliki karakteristik yang sangat keras dan kokoh dengan warna coklat kehitaman. Cangkang kelapa sawit diketahui mempunyai karakteristik fisik dan mekanik yang baik yaitu kekerasan dan kerapatannya tinggi serta serapan airnya yang rendah (Thiruchelvam, 2020).

Cangkang kelapa sawit (*Palm Kernel Shell*) adalah produk sampingan dari industri minyak kelapa sawit yang telah menarik perhatian sebagai bahan pengisi (*filler*) dalam komposit. Penggunaan cangkang kelapa sawit sebagai *filler* dalam komposit menawarkan berbagai keunggulan terkait sifat fisik dan mekanik (Abdullah, 2022). Karakteristik cangkang kelapa sawit memiliki sifat fisik dan termal yang cukup baik untuk memastikan bahwa kampas rem dapat berfungsi secara baik dalam mencapai koefisien gesek dan dapat memberikan ketahanan panas dalam berbagai kondisi suhu yang berbeda beda, selain itu cangkang kelapa sawit dapat membantu mengurangi limbah serta ketergantungan pada bahan *non-renewable* seperti asbes, yang memiliki dampak yang buruk bagi kesehatan dan lingkungan (Rehan, 2021).

Cangkang kelapa sawit yang diperoleh ini nantinya dapat digunakan sebagai bahan dasar kampas rem yang dipadukan dengan polimer yaitu epoksi sehingga membentuk material komposit (Perdana, 2019). Pada penelitian ini cangkang kelapa sawit yang digunakan berasal dari pandeglang yang dijadikan bahan pengisi atau *filler* dengan memanfaatkan material alam yang terbuang atau limbah menjadi produk dengan melakukan pengujian densitas, porositas, daya serap air dan stabilitas termal



**Gambar 2.12** Cangkang Kelapa Sawit  
(Perdana, 2019)

Cangkang kelapa sawit merupakan bahan alami yang dapat terurai secara alami, sehingga memiliki dampak lingkungan yang lebih rendah daripada bahan sintetis, selain itu penggunaan cangkang kelapa sawit sebagai bahan baku alternatif dapat memberikan nilai tambah bagi industri pengolahan kelapa sawit dan industri lainnya, serta mengurangi limbah dan dampak lingkungan (Rehan, 2021). Cangkang kelapa sawit mengandung komponen utama seperti selulosa, hemi-selulosa, dan lignin, serta sejumlah kecil abu dan bahan ekstraktif. Komposisi kimia ini memberikan sifat-sifat tertentu yang bermanfaat ketika digunakan sebagai *filler* dalam komposit (Abdullah, 2022).

**Tabel 2.2** Kandungan Cangkang Kelapa Sawit (Abdullah, 2022)

Komponen	Kandungan	Fungsi
Selulosa	30%	Memberikan kekuatan struktural cangkang
Hemiselulosa	24%	Memberikan sifat elastis dan fleksibilitas
Lignin	45%	Memberikan kekakuan dan ketahanan terhadap degradasi biologis dan kimia
Abu	1%	Menunjukkan mineral setelah pembakaran

## 2.6 Serat Bambu

Serat bambu adalah serat alami yang diperoleh dari batang tanaman bambu. Bambu adalah tanaman jenis rumput-rumputan yang memiliki batang yang keras dan serat yang kuat. Serat bambu telah digunakan dalam berbagai aplikasi selama berabad-abad karena memiliki kekuatan, kelenturan yang baik, dan ketersediaannya yang melimpah. Adapun beberapa karakteristik serat bambu, yaitu sebagai berikut : (Ahmad, 2020)

1. Serat bambu memiliki kekuatan tarik yang tinggi, yang membuatnya cocok sebagai bahan penguat dalam berbagai aplikasi konstruksi dan manufaktur
2. Memiliki kelenturan yang baik, yang membuatnya mudah dibentuk dan diolah
3. Bambu merupakan tanaman yang cepat tumbuh dan dapat ditemukan di berbagai wilayah, sehingga serat bambu tersedia dalam jumlah yang melimpah
4. Relatif ringan tetapi tetap kuat, sehingga cocok untuk digunakan dalam produk-produk yang membutuhkan bahan ringan
5. Serat bambu memiliki ketahanan terhadap korosi, yang membuatnya cocok untuk digunakan dalam aplikasi rem yang membutuhkan ketahanan terhadap lingkungan yang keras.
6. Dengan menggunakan serat bambu sebagai penguat dalam pembuatan kampas rem, sehingga dapat meningkatkan performa dan ketahanan kampas rem tersebut
7. Dapat membantu meningkatkan kekuatan komposit secara keseluruhan
8. Bambu merupakan bahan alami dan dapat terurai secara alami, sehingga meminimalkan dampak lingkungan setelah masa pakainya



**Gambar 2.13** Serat Bambu

(Ahmad, 2020)

Pada penelitian ini serat pendek bambu digunakan sebagai penguat atau *reinforced* merujuk pada penggunaan yang berasal dari bambu sebagai bahan tambahan dalam pembuatan material komposit. Bambu memiliki sifat termal dan sifat akustik yang baik. Dengan menambahkan serbuk bambu ke dalam material komposit, dapat meningkatkan sifat-sifat termal dan akustik dari bahan tersebut. Selain itu ketersediaan bambu yang melimpah membuat serat bambu menjadi pilihan yang ekonomis dan ramah lingkungan (Khalil, 2019).

Serat pendek bambu merujuk pada serat yang berasal dari bambu yang telah diproses menjadi panjang yang relatif pendek. Proses ini biasanya melibatkan pemotongan atau pemecahan serat bambu menjadi potongan-potongan yang lebih kecil dengan berbagai jenis bahan pengikat seperti resin *epoxy* atau *fenolik* yang umumnya digunakan dalam pembuatan komposit kanvas rem (Khalil, 2019). Kompatibilitas yang baik antara serat bambu dan bahan pengikat dapat memastikan adhesi yang kuat antara serat dan matriks, sehingga dapat meningkatkan kekuatan dan kestabilan suatu material komposit (Ahmad, 2020).

## 2.7 Sifat Fisik Komposit

Komposit adalah material yang terdiri dari dua atau lebih fase yang berbeda, seperti matriks dan penguat, yang digabungkan bersama untuk menciptakan sifat-sifat yang unik. Sifat fisik komposit material mencakup berbagai karakteristik yang dapat dipengaruhi oleh jenis matriks, jenis penguat, metode produksi, dan proporsi relatif antara matriks dan penguat (Drastinawati, 2023).

### 2.7.1 Densitas

Densitas merupakan besaran fisis, perbandingan massa dengan volume benda. Densitas teoritis dapat dihitung berdasarkan standar ASTM E252-06. Sedangkan densitas aktual dapat dicari menggunakan teori archimides dengan menimbang sampel dan mencatat berat sampel. Kemudian diukur dan dicatat panjang, lebar dan tinggi sampel, dan dihitung volume sampel. Nilai densitas teoritis dan aktual dapat dihitung dengan menggunakan persamaan : (Sudibyo, 2021)

$$\rho m = \frac{m}{v} \dots \dots \dots (2.1)$$

Dimana :

$\rho_m$  = Densitas aktual (gram/cm<sup>3</sup>)

m = Massa (gram)

v = Volume (cm<sup>3</sup>) = panjang (cm) x lebar (cm) x tinggi (cm)

Sedangkan densitas teoritis dapat diketahui dengan mengukur volume zat secara langsung dan diperoleh melalui :

$$\rho_{th} = V_a\rho_a + V_b\rho_b + V_c\rho_c + V_d\rho_d + V_e\rho_e \dots \dots \dots (2.2)$$

Dimana :

$\rho_{th}$  = Densitas teoritis (gram/cm<sup>3</sup>)

$V_a$  = Fraksi volume zat (gram)

$\rho_a$  = Densitas massa (gram/cm<sup>3</sup>)

### 2.7.2 Porositas

Porositas pada komposit merujuk pada keberadaan rongga-rongga atau ruang-ruang kosong dalam struktur material komposit. Porositas dapat terjadi karena beberapa faktor seperti proses manufaktur, pengaturan serat, atau kualitas bahan matriks dan penguat. Tingginya tingkat porositas dalam komposit dapat mempengaruhi sifat mekanik, termal, dan listrik dari material tersebut. Untuk mengukur porositas pada komposit, kita dapat membandingkan densitas teoritis dan densitas aktual dari material tersebut : (Sudiby, 2021)

$$\rho (\%) = \frac{\rho_{th} - \rho_m}{\rho_{th}} \times 100\% \dots \dots \dots (2.3)$$

Dimana :

$\rho$  = Porositas (%)

$\rho_{th}$  = Densitas teoritis (gram/cm<sup>3</sup>)

$\rho_m$  = Densitas aktual (gram/cm<sup>3</sup>)

### 2.7.3 Daya Serap Air

Daya serap air adalah salah satu sifat fisis komposit yang menunjukkan kemampuan komposit untuk menyerap air setelah direndam di dalam air. Spesimen uji ditimbang massa awalnya ( $m_k$ ), kemudian direndam dalam air selama 24 jam dan ditiriskan lalu ditimbang massa akhirnya ( $m_b$ ). Nilai daya serap air dihitung dengan persamaan berikut : (Drastinawati, 2023)

$$DSA = \frac{m_b - m_k}{m_k} \times 100\% \dots \dots \dots (2.4)$$

Dimana :

DSA = Daya serap air (%)

$m_k$  = Massa kering sebelum direndam (gram)

$m_b$  = Massa basah sesudah direndam 24 jam (gram)

## 2.8 Sifat Termal Komposit

Sifat termal komposit merujuk pada massa bahan terhadap perubahan suhu dan waktu. Sifat termal komposit sangat dipengaruhi oleh jenis matriks, penguat, jenis pengisi, fraksi volumetrik, dan kondisi lingkungan termal digunakan (Hagwood, 2019). Pada penelitian ini pengujian yang dilakukan adalah pengujian TGA (*Thermal Gravimetry Analysis*) dan paparan panas untuk mengetahui stabilitas dimensi terhadap suhu yang ditentukan

### 2.8.1 Pengujian TGA (*Thermogravimetric Analysis*)

*Thermogravimetric Analysis* (TGA) adalah teknik analisis termal yang digunakan untuk mengukur perubahan massa suatu material sebagai fungsi dari suhu atau waktu. Pengujian TGA pada komposit memberikan informasi penting tentang sifat termal material termasuk stabilitas termal, kandungan *filler*, dekomposisi, dan residu abu. Stabilitas termal suatu komposit mengacu pada kemampuan material untuk mempertahankan integritasnya pada suhu tinggi. TGA mengukur perubahan massa material saat dipanaskan, sehingga penurunan massa yang signifikan menunjukkan dekomposisi material (Poowadin, 2020).

Pengujian TGA dapat menunjukkan pengurangan massa yang lebih lambat atau bagian massa yang tersisa setelah dekomposisi utama yang seringkali dapat dikaitkan dengan kandungan bahan pengisi anorganik yang tahan panas. Selain itu bagian material yang terdekomposisi pada rentang suhu tertentu biasanya menunjukkan kandungan polimer (Poowadin, 2020). Laju pemanasan dapat mempengaruhi hasil TGA di mana laju pemanasan yang lebih cepat dapat menyebabkan pergeseran suhu dekomposisi ke suhu yang lebih tinggi (Mukesh, 2018).

Setelah pengujian TGA selesai, residu abu yang tersisa pada suhu tinggi memberikan informasi tentang bahan pengisi yang tidak terdekomposisi. Massa residu abu sering digunakan untuk menghitung persentase bahan pengisi yang tahan panas seperti serat karbon, logam, atau pengisi anorganik lainnya (Poowadin, 2020). Pengujian TGA menggunakan standar ASTM E1131-08, yang menjelaskan tentang prosedur pada pengujian TGA secara lengkap beserta ukuran dan berat yang sesuai yaitu antara 5-20 mg untuk dapat mendapatkan hasil pengujian yang baik dan akurat (Hagwood, 2019).

Pada saat pengujian TGA didapatkan dua kurva yaitu kurva TGA dan DSC atau *Differential Scanning Calorimetry*. DSC (*Differential Scanning Calorimetry*) adalah metode lain untuk menganalisis sifat bahan secara termal, pada DSC yang diukur adalah entalpi pada sampel akibat perubahan fisik dan kimia pada sampel sebagai fungsi suhu dan waktu. Perubahan panas yang terjadi pada sampel saat dipanaskan memungkinkan pengukuran perubahan termal yang terjadi di dalam suatu sampel terhadap suhu (Hybler, 2020). Metode ini memberikan informasi tentang transisi fasa, seperti titik leleh, titik beku, dan reaksi kimia yang terjadi di dalam suatu sampel. DSC juga digunakan untuk mengevaluasi stabilitas termal, kapasitas kalor, entalpi perubahan fasa, dan kinetika reaksi termal. Dengan demikian, DSC merupakan suatu metode yang sangat berguna dalam penelitian material, pengembangan produk, dan kontrol kualitas dalam pengaplikasian diberbagai dunia industri (Zhang, 2020).

### 2.8.2 Paparan Panas

Proses paparan bahan komposit terhadap panas dapat diamati melalui dekomposisi termal, yang merupakan proses di mana senyawa tunggal memecah menjadi dua atau lebih saat menerima energi panas. (Poowadin, 2020). Metode ini dianggap cepat, efektif, dan biaya yang efisien. Dalam proses paparan panas, prosedur pengujian yang digunakan menggunakan standar ASTM D 1758-06 dengan dimensi atau ukuran sampel pengujian yaitu 3cm x 3cm x 1cm, yang dipanaskan dalam oven dengan suhu yang sudah ditentukan 150°C dan 250°C selama 60 menit (Hagwood, 2019). Selama proses dekomposisi, terjadi perubahan fisik dan kimia, termasuk transisi dari keadaan padat ke cairan, dan kemudian menjadi gas (Rahaman, 2019).

Pengujian paparan panas bertujuan untuk menentukan stabilitas dimensi, sifat mekanik, dan perubahan fisik atau kimia material komposit ketika dipanaskan pada suhu tertentu untuk jangka waktu tertentu. Adapun beberapa faktor yang memengaruhi stabilitas dimensi terhadap paparan panas, yaitu sebagai berikut : (Mukesh, 2018)

1. Sifat material yang memiliki koefisien ekspansi termal yang rendah cenderung lebih stabil secara dimensi saat dipanaskan karena ekspansi termalnya yang kecil
2. Suhu pemanasan yang lebih tinggi cenderung menyebabkan ekspansi termal yang lebih besar, yang dapat mengakibatkan perubahan dimensi material
3. Durasi paparan panas yang lama dapat meningkatkan kemungkinan perubahan dimensi karena material memiliki lebih banyak waktu untuk meregang atau mengalami degradasi termal

Setelah melakukan pengujian stabilitas dimensi akibat paparan panas, maka selanjutnya dilakukan uji visual, yaitu pemeriksaan visual sebelum dan setelah paparan panas untuk mengidentifikasi perubahan dimensi, seperti perubahan bentuk dan mengukur dimensi sampel sebelum dan setelah paparan panas menggunakan alat pengukur yang akurat, seperti mikrometer atau jangka sorong (Mukesh, 2018).

## 2.9 Alumina Powder

*Alumina powder* adalah serbuk halus yang terbuat dari aluminium oksida ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) merupakan senyawa kimia yang mengandung aluminium dan oksigen. Serbuk ini memiliki berbagai aplikasi industri karena sifat fisik dan kimianya yang unggul (Mrozowski, 2020). Dalam pembuatan komposit kanvas rem, *alumina* digunakan sebagai bahan tambahan untuk meningkatkan kekuatan, kekerasan, dan ketahanan aus. Serbuk alumina dapat dicampur dengan material dasar seperti resin untuk membentuk komposit yang lebih kuat dan tahan terhadap gesekan dan panas yang tinggi. Komposit kanvas rem yang mengandung *alumina powder* biasanya memiliki performa yang lebih baik dalam kondisi ekstrem (Taktak, 2019)

Selain itu dalam pembuatan komposit kanvas rem, *alumina powder* sering digunakan sebagai bahan tambahan untuk meningkatkan sifat-sifat tertentu dari kanvas rem tersebut (Padture, 2022). Ketika ditambahkan ke dalam bahan dasar dalam pembuatan kanvas rem yang terbuat dari komposit lebih tahan lama dan mampu menghadapi kondisi operasional, seperti pengereman dalam kecepatan tinggi atau penggunaan di lingkungan dengan suhu tinggi. Sehingga penggunaan *alumina powder* membantu meningkatkan performa dan umur pakai kanvas rem secara keseluruhan (Taktak, 2019)

Penggunaan serbuk alumina dalam industri memerlukan pemenuhan standar tertentu yang mencakup berbagai aspek mulai dari sifat fisik dan kimia hingga prosedur pengujian dan aplikasi (Lange, 2019). Standar ASTM E247-01 merupakan standar yang mencakup metode analisis kimia alumina, untuk memastikan kemurnian yang sesuai untuk aplikasi tertentu, selain itu ada standar keamanan dalam penggunaan alumina powder yaitu REACH (*Registration, Evaluation, Authorization, and Restriction of Chemicals*), regulasi Uni Eropa ini mengatur pendaftaran, evaluasi, otorisasi, dan pembatasan bahan kimia untuk memastikan keselamatan penggunaan serbuk alumina untuk diaplikasi ke dalam beberapa aplikasi, dan OSHA (*Occupational Safety and Health Administration*) 29 CFR 1910.1200, merupakan standar yang mengatur bahaya dan keselamatan kerja terkait penanganan bahan kimia, termasuk serbuk alumina (Mrozowski, 2020).

## 2.10 Graphite Powder

*Graphite powder* merupakan serbuk halus yang terbuat dari grafit, sebuah allotrop dari karbon. Grafit memiliki struktur kristal yang terdiri dari lapisan-lapisan tipis atom karbon yang terikat secara longgar. Serbuk *graphite* ini memiliki warna abu-abu hingga hitam, dan teksturnya halus sehingga sering digunakan dalam berbagai aplikasi, termasuk sebagai bahan tambahan dalam pembuatan komposit sebagai bahan pelumas, dalam industri pembuatan kertas, dan banyak lagi (Park, 2019).

Grafit memiliki sifat yang berguna dalam pembuatan komposit kampas rem karena ketahanan terhadap panas, konduktivitas listrik, dan kemampuan pelumasan. Ketika digunakan dalam pembuatan komposit kampas rem, *graphite powder* dapat membantu mengurangi gesekan antara kampas rem dan cakram, sehingga mengurangi keausan dan memperpanjang umur pakai kampas rem (Park, 2019). Proses pembuatan komposit kampas rem dengan menggunakan *graphite powder* melibatkan pencampuran serbuk *graphite* dengan bahan lain, seperti resin untuk penguatnya. Campuran ini kemudian dicetak dan dipanaskan untuk membentuk kampas rem yang keras dan tahan lama. Penggunaan *graphite powder* dalam komposit kampas rem juga dapat meningkatkan performa pengereman dengan memberikan stabilitas panas dan ketahanan terhadap keausan pada suhu tinggi (Sharma, 2019).

Dalam penggunaannya adapun standar keamanan dalam penggunaan *graphite powder* yaitu REACH (*Registration, Evaluation, Authorization, and Restriction of Chemicals*), regulasi Uni Eropa ini mengatur pendaftaran, evaluasi, otorisasi, dan pembatasan bahan kimia untuk memastikan keselamatan penggunaan serbuk grafit untuk diaplikasi kedalam beberapa aplikasi, dan OSHA (*Occupational Safety and Health Administration*) 29 CFR 1910.1200, merupakan standar yang mengatur bahaya dan keselamatan kerja penanganan bahan kimia (Mrozowski, 2020).

## 2.11 ZnO

ZnO atau biasa disebut oksida seng adalah senyawa kimia yang terdiri dari atom seng dan oksigen. Dalam pembuatan komposit kampas rem, ZnO sering digunakan sebagai bahan tambahan dalam pembuatan komposit karena memiliki sifat abrasi yang baik, yang membantu meningkatkan ketahanan aus komposit kampas rem (Danni, 2023). Saat digunakan dalam campuran komposit, ZnO membantu mengurangi gesekan antara kampas rem dan cakram, sehingga mengurangi keausan, selain itu senyawa ini dapat meningkatkan daya cengkram kampas rem terhadap cakram. Hal ini dapat meningkatkan performa pengereman yang lebih baik (Nguyen, 2020).

ZnO juga memiliki stabilitas termal yang baik, sehingga dapat menahan suhu tinggi yang dihasilkan selama proses pengereman tanpa mengalami degradasi yang signifikan (Bokarev, 2020). Proses pembuatan komposit kampas rem dengan menggunakan ZnO melibatkan pencampuran serbuk ZnO dengan bahan lain, seperti serat atau resin. Campuran ini kemudian diproses dan diformat menjadi kampas rem yang sesuai dengan kebutuhan aplikasi. Penggunaan ZnO dalam komposit kampas rem dapat membantu meningkatkan performa pengereman, ketahanan aus, dan stabilitas termal dari kampas rem tersebut (Nguyen, 2020).

## 2.12 Perlakuan Alkali

Perlakuan alkali dalam pembuatan komposit kampas rem adalah salah satu langkah yang penting dalam proses produksi. Perlakuan alkali umumnya dilakukan pada serat yang akan digunakan sebagai penguat dalam komposit kampas rem, seperti serat bambu. Tujuan dari perlakuan alkali ini adalah untuk meningkatkan ikatan antara serat dan matriks komposit, yang pada gilirannya akan meningkatkan kekuatan dan keandalan komposit. Adapun pada penelitian ini perlakuan alkali pada serat bambu bertujuan sebagai berikut : (Gao, 2019)

1. Dapat meningkatkan kekuatan serat bambu dengan meningkatkan ikatan antara serat dan matriks komposit, hal ini dapat menghasilkan komposit yang lebih kuat dan lebih tahan terhadap beban mekanis

2. Perlakuan alkali dapat mengurangi sifat higroskopis ini dengan menghilangkan sebagian lignin dan hemiselulosa dari serat bambu, sehingga membuat serat lebih tahan terhadap perubahan dimensi akibat penyerapan air
3. Perlakuan alkali dapat meningkatkan reaktivitas permukaan serat bambu, sehingga meningkatkan ikatan antara serat dan matriks komposit, hal ini dapat menghasilkan komposit yang lebih homogen dan memiliki sifat mekanis yang lebih baik
4. Perlakuan alkali dapat mengurangi kemungkinan korosi serat bambu, terutama jika digunakan dalam lingkungan yang korosif

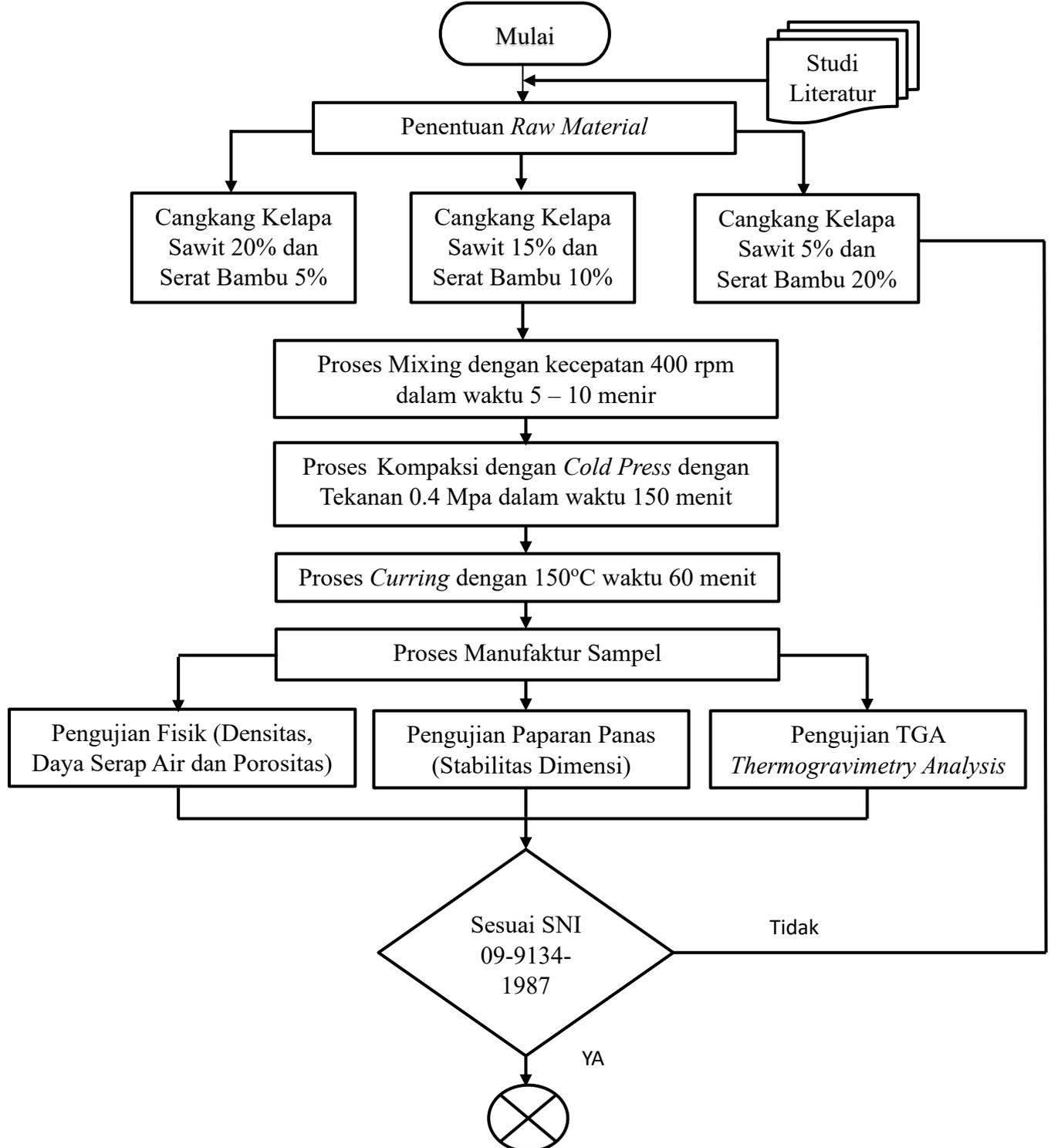
Perlakuan alkali adalah teknik yang digunakan untuk membersihkan dan mengubah struktur permukaan serat dengan tujuan menurunkan tegangan permukaan serta meningkatkan daya lekat antara serat alami dan matriks polimer (Nakagaito, 2021). Pemilihan konsentrasi larutan alkali untuk perlakuan serat bambu dalam pembuatan komposit kanvas rem tergantung pada berbagai faktor, termasuk jenis larutan alkali yang digunakan dan sifat-sifat yang diinginkan dari komposit tersebut (Ahmad, 2020). Dengan menggunakan larutan NaOH konsentrasi larutan alkali yang lebih rendah, seperti 5%, lebih baik untuk aplikasi seperti komposit daripada konsentrasi yang lebih tinggi seperti 10%, dikarenakan konsentrasi larutan alkali yang lebih rendah dapat membantu mengurangi risiko kerusakan serat bambu akibat pemrosesan kimia yang agresif. Serat bambu yang terlalu terpapar larutan alkali yang kuat dapat mengalami degradasi, yang dapat mengurangi kekuatan dan keandalan komposit (Kumar, 2019).

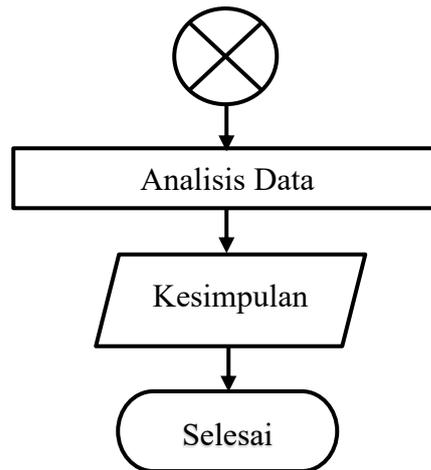
# BAB III

## METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Diagram Alir Penelitian

Pada diagram alir ini ditentukan prosedur dalam melakukan atau melaksanakan penelitian yang dapat dilihat pada diagram atau Gambar 3.1





**Gambar 3.1** Diagram Alir Penelitian

### 3.2 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian merupakan langkah-langkah yang digunakan sebagai alat untuk mengumpulkan data dan menyelesaikan permasalahan dalam suatu penelitian, adapun prosedur penelitian yang dilakukan sebagai berikut :

#### 1. Studi Literatur

Studi literatur merupakan tahapan awal untuk mendapatkan referensi terkait penelitian yang akan dilakukan. Studi literatur ini bertujuan untuk mengetahui masalah yang akan dihadapi. Sumber literatur didapatkan dari jurnal, buku, laporan penelitian sebelumnya dan sumber dari internet

#### 2. Penentuan *Raw Material*

Proses pembuatan cangkang kelapa sawit menjadi serbuk dengan ukuran 80 mesh dengan cara sebagai berikut

- a. Memisahkan cangkang kelapa sawit dari biji kelapa sawit tersebut
- b. Membersihkan cangkang kelapa sawit dengan air yang mengalir dari kotoran dan kontaminan lainnya
- c. Mengeringkan cangkang kelapa sawit dibawah sinar matahari
- d. Melakukan pengovenan pada cangkang kelapa sawit dengan suhu 200°C dalam waktu 60 menit untuk menghilangkan *oil* dan kadar air yang terdapat pada cangkang kelapa sawit tersebut
- e. Menumbuk cangkang kelapa sawit yang sudah dioven agar cangkang tersebut dapat dilakukan pengayakan

- f. Melakukan pengayakan yang sesuai dengan ukuran mesh yang digunakan yaitu 80 mesh

Selain itu terdapat juga langkah atau proses untuk serat bambu sebagai penguat, sebagai berikut :

- a. Memotong bambu hingga menjadi serat-serat pendek
- b. Melakukan proses perlakuan alkali 5% dan aquades 95% yang bertujuan untuk meningkatkan kekuatan, ketahanan, kelenturan pada bambu
- c. Melakukan pembersihan serat bambu untuk menghilangkan perlakuan alkali sebanyak 2 kali
- d. Mengeringkan bambu setelah dilakukan pembersihan dibawah sinar matahari

3. Proses Preparasi Komposisi dan Proses *Curing*

- 1. Melakukan proses *mixing filler* cangkang kelapa sawit dengan bahan penguat serat bambu dan bahan komposisi lainnya seperti *graphite powder, alumina powder, ZnO*, dan resin epoksi agar tercampur secara merata selama 5-10 menit dengan kecepatan 400 rpm
- 2. Melakukan kompaksi menggunakan *cold press* pada cetakan untuk membuat sampel dengan tekanan 0.4 Mpa dalam waktu (150 menit)
- 3. Melakukan proses *curing* dengan cara sampel yang sudah di kompaksi dengan *cold press* dimasukan ke dalam oven dengan suhu (150°C) dalam waktu (60 menit)

4. Memotong sampel dengan gerinda agar sesuai dengan ukuran 3 cm x 3 cm x 1 cm untuk pengujian fisik, dan melakukan pemotongan dengan mesin *endmill* agar menghasilkan serbuk untuk pengujian TGA

5. Pengujian Densitas

- 1. Mempersiapkan sampel kampas rem dengan dimensi yang sesuai
- 2. Membersihkan benda uji dengan alkohol lalu dikeringkan
- 3. Menimbang massa benda uji
- 4. Mengukur volume benda uji
- 5. Melakukan perhitungan untuk mendapat nilai densitas dari benda uji

$$\rho_m = \frac{m}{v} \dots \dots \dots (3.1)$$

Dimana :

$\rho m$  = Densitas aktual (gram/cm<sup>3</sup>)

m = Massa (gram)

v = Volume (cm<sup>3</sup>)

$$\rho_{th} = V_a\rho_a + V_b\rho_b + V_c\rho_c + V_d\rho_d + V_e\rho_e \dots \dots \dots (3.2)$$

Dimana :

$\rho_{th}$  = Densitas teoritis (gram/cm<sup>3</sup>)

$V_a$  = Fraksi volume zat (gram)

$\rho_a$  = Densitas zat (gram/cm<sup>3</sup>)

## 6. Pengujian Porositas

1. Mempersiapkan sampel benda uji
2. Melakukan pengukuran panjang, lebar dan tinggi pada sampel benda uji
3. Menimbang massa sampel benda uji
4. Melakukan perhitungan untuk mendapat nilai porositasnya dengan menggunakan persamaan

$$P (\%) = \frac{\rho_{th} - \rho m}{\rho_{th}} \times 100\% \dots \dots \dots (3.3)$$

Dimana :

$\rho$  = Porositas (%)

$\rho_{th}$  = Densitas teoritis (gram/cm<sup>3</sup>)

$\rho m$  = Densitas aktual (gram/cm<sup>3</sup>)

## 7. Pengujian Daya Serap Air

1. Mempersiapkan sampel yang akan diuji
2. Melakukan penimbangan sampel untuk mengetahui massa sebelum perendaman
3. Merendamkan sampel kedalam air selama 24 jam
4. Membersihkan permukaan hingga kering
5. Menimbang kembali sampel yang sudah kering
6. Melakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai daya serap air dengan menggunakan persamaan

$$DSA = \frac{m_b - m_k}{m_k} \times 100\% \dots \dots \dots (3.4)$$

Dimana :

DSA = Daya serap air (%)

$m_k$  = Massa sebelum direndam (gram)

$m_b$  = Massa sesudah direndam 24 jam (gram)

8. Pengujian TGA mengikuti standar ASTM E1131-08. Standar ini menjelaskan tentang bagaimana prosedur pada pengujian TGA

1. Persiapan sampel dengan ukuran dan berat yang sesuai untuk memastikan hal yang akurat
2. Melakukan kalibrasi dengan memastikan instrumen TGA telah dikalibrasi dengan baik menggunakan standar suhu
3. Mengatur kondisi pengujian dengan menentukan atmosfer pengujian dan rentang suhu pengujian, misalnya dari suhu kamar hingga 800°C atau lebih tinggi tergantung pada stabilitas termal material
4. Menempatkan sampel dalam wadah yang bersih dan kompatibel dengan instrumen TGA
5. Memulai pengujian dengan mengatur program suhu yang telah ditentukan dan jalankan instrumen TGA
6. Menganalisis kurva TGA yang menunjukkan perubahan massa sebagai fungsi suhu atau waktu
7. Menghitung massa residu pada suhu akhir untuk menentukan kandungan bahan yang tidak terdekomposisi

9. Pengujian Paparan Panas

1. Menimbang massa sebelum dilakukan paparan panas
2. Mengatur suhu pengujian 150°C dan 250°C dengan waktu 60 menit
3. Memasukan sampel kedalam oven untuk dilakukan pengujian
4. Melakukan pengujian visual dan menimbang massa sesudah dilakukan paparan panas
5. Melakukan perhitungan dengan menggunakan persamaan

$$KB (\%) = \frac{B_1 - B_2}{B_1} \times 100\% \dots \dots \dots (3.5)$$

Dimana :

$KB$  = Kehilangan Berat (%)

$B_1$  = Berat sebelum dilakukan paparan panas (gram)

$B_2$  = Berat sesudah dilakukan paparan panas (gram)

#### 10. Analisis Data

Melakukan analisis data dengan variasi komposisi sampel *filler* cangkang kelapa sawit, *reinforced* serat bambu dan pengikat yaitu resin epoksi yang telah dilakukan pengujian densitas, porositas, daya serap air dan pengujian TGA

### 3.3 Alat dan Bahan

Ada beberapa alat dan bahan yang digunakan pada saat melakukan pengujian atau penelitian agar pengujian tersebut dapat berjalan dengan lancar dan baik

#### 3.3.1 Alat yang Digunakan

Adapun beberapa alat yang digunakan pada penelitian dalam pembuatan kampas rem dengan komposisi *filler* cangkang kelapa sawit, yaitu sebagai berikut :

##### 1. Saringan Mesh 80

Saringan Mesh 80 merupakan alat yang digunakan dalam ayakan untuk mengetahui ukuran partikel agar menjadi serbuk. Dengan jumlah bukaannya 80 per inci linear dan ukuran bukaan 0,117 mm



**Gambar 3.2** Saringan Mesh 80

## 2. Neraca Digital

Neraca digital adalah alat yang berfungsi untuk menimbang bahan setiap komposisi untuk pembuatan kampas rem dalam satuan gram. Alat ini memiliki tingkat ketelitian 0,001 dengan menggunakan standar Jurusan Teknik Mesin Untirta



**Gambar 3.3** Neraca Digital

## 3. Blender

Blender digunakan pada saat proses pembuatan serat bambu agar lebih halus dan dapat dilakukan pengayakan. Blender yang digunakan Miyako BL-152 PF/AP, dengan spesifikasi daya 300 watt, dan kapasitas 1,5 liter serta memiliki 3 *pulse* kecepatan



**Gambar 3.4** Blender

## 4. Cetakan

Cetakan merupakan alat yang digunakan untuk membentuk sampel agar sesuai dengan ukuran pada saat proses pengujian sampel yang terbuat dari besi dengan ukuran cetakan adalah 100 mm x 50 mm x 15 mm



**Gambar 3.5** Cetakan

#### 5. Sigmat digital

Sigmat digital digunakan untuk mengukur dimensi sampel dengan akurat sesuai ukuran dimensi yang diinginkan. Standar pengukuran 0-150 mm, dengan tingkat ketelitian 0,01 dan dilengkapi baterai kecil CR2032



**Gambar 3.6** Sigmat Digital

#### 6. Oven

Oven digunakan sebagai alat untuk memanaskan cangkang kelapa sawit agar menghilangkan kadar air dan *oil* yang terdapat pada cangkang tersebut. Oven yang digunakan merk Haneda dengan kapasitas 18 liter dan daya 600 watt. Pengaturan suhu pada oven ini adalah 100°C – 250°C dan pengaturan waktu maksimal 60 menit



**Gambar 3.7** Oven

### 7. Mesin *Cold Press*

Mesin *Cold press* digunakan pada saat proses pembuatan sampel dengan memberikan tekanan. Merk mesin yang digunakan adalah *straw project* yang mampu menghasilkan tekanan 10-250 bar



**Gambar 3.8** Mesin *Cold Press*

### 8. Gelas Ukur

Gelas ukur digunakan pada saat melakukan pengadukan pada saat mencampurkan bahan bahan yang sebelumnya sudah ditimbang. Gelas ukur yang digunakan memiliki ukuran sampai 500 ml



**Gambar 3.9** Gelas Ukur

### 9. *Mixer* Pengaduk

*Mixer* pengaduk digunakan untuk meratakan berbagai komposisi sehingga tercapai pencampuran yang homogen. Spesifikasi mixer ini memiliki lima kecepatan dengan rpm yang berbeda beda, dengan daya listrik 190 watt dan berat sekitar 1kg



**Gambar 3.10** *Mixer* Pengaduk

### 3.3.2 Bahan yang Digunakan

Adapun beberapa bahan yang diperlukan dalam penelitian pembuatan kampas rem dengan komposisi *filler* cangkang kelapa sawit, yaitu sebagai berikut :

#### 1. Serbuk Cangkang Kelapa Sawit

Serbuk cangkang kelapa sawit merupakan bahan utama yang digunakan pada pengujian sebagai *filler* pengisi dalam pembuatan sampel kampas rem. Cangkang yang digunakan berasal dari pandeglang dengan melakukan perlakuan pertama yaitu dipanaskan dalam oven untuk menghilangkan kadar air dan minyak yang berada didalam cangkang kelapa sawit tersebut



**Gambar 3.11** Cangkang Kelapa Sawit

#### 2. Serat Bambu

Serat bambu merupakan bahan utama yang digunakan pada pengujian sebagai *reinforced* atau penguat pada pembuatan sampel kampas rem. Bambu yang berasal dari pandeglang yang dipotong hingga membentuk serat yang kemudian dilakukan perlakuan alkali sebesar 5% dengan tujuan menurunkan tegangan permukaan serta meningkatkan daya lekat antara serat alami dan matriks



**Gambar 3.12** Serat Bambu

### 3. ZnO

ZnO merupakan senyawa organik yang digunakan sebagai *filler* atau pengisi untuk membantu menjaga kestabilan *friction* pada pembuatan sampel kampas rem. ZnO yang digunakan crest brand dengan berat 100 gr



**Gambar 3.13** ZnO

### 4. Resin Epoksi

Resin epoksi merupakan bahan yang digunakan untuk pengikat atau matriks pada serbuk cangkang kelapa sawit dalam proses pembuatan sampel dengan takaran 2 : 1



**Gambar 3.14** Resin Epoksi

### 5. Alumina Powder

*Alumina Powder* merupakan bahan yang digunakan untuk meningkatkan kualitas kekerasan permukaan dan penggunaan *alumina powder* membantu meningkatkan performa dan umur pakai kampas rem secara keseluruhan.



**Gambar 3.15** *Alumina Powder*

#### 6. *Graphite Powder*

*Graphite powder* merupakan bahan untuk pelumas padat yang berfungsi untuk pembuatan sampel kampas rem agar menurunkan koefisien gesekan yang terjadi, selain itu grafit memiliki sifat yang berguna dalam pembuatan komposit kampas rem karena ketahanan terhadap panas, dan kemampuan pelumasan



**Gambar 3.16** *Graphite Powder*

### 3.4 Variabel Pengujian

Variabel penelitian merupakan suatu nilai atau obyek yang mempunyai variasi tertentu. Adapun tiga variabel pada pengujian ini, diantaranya sebagai berikut :

#### 1. Variabel Bebas

Variabel bebas yang digunakan pada penelitian ini adalah fraksi volume pada komposisi cangkang kelapa sawit yaitu 20%, 15%, dan 5% serta komposisi pada serat bambu yaitu 20%, 10%, dan 5%

#### 2. Variabel Terikat

Variabel terikat yang digunakan pada pengujian kali ini adalah nilai densitas, daya serapan air, porositas, stabilitas termal dan paparan panas

### 3. Variabel Kontrol

- a. Cangkang kelapa sawit sebagai *filler*
- b. *reinforced* serat bambu sebagai penguat atau *reinforced*
- c. Perlakuan alkali 5%
- d. Mesh ukuran 80
- e. Waktu *curing* (60 menit)
- f. Temperature *curing* (150°C)
- g. Waktu *cold press* (150 menit)
- h. Tekanan *cold press* (0.4 Mpa)

### 3.5 Waktu dan Tempat Pelaksanaan Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan dalam jangka waktu April 2024 sampai dengan Juni 2024 di Laboratorium Material Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Provinsi Banten dan Laboratorium Uji Kimia Departemen Kimia, Universitas Indonesia. Jalan Lingkar Kampus Raya, Pondok Cina, Kota Depok, Jawa Barat 16424, Indonesia. Bahan yang digunakan adalah cangkang kelapa sawit sebagai *filler* (bahan pengisi) dan zat perekat (matriks) yang digunakan adalah resin epoksi, serta penguatnya atau *reinforced* adalah serat bambu. Uji yang dilakukan terhadap komposit adalah analisis sifat fisik berupa densitas, serapan air dan porositas. Sedangkan analisis sifat termal nya yaitu stabilitas termal (20 mg).

## BAB IV

### HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Karakteristik Komposisi Varian Kampas Rem

Komposisi yang digunakan pada pembuatan kampas rem ini menggunakan jenis serat alami dengan bahan cangkang kelapa sawit sebagai *filler* dan serat bambu sebagai penguatnya yang memiliki sejumlah karakteristik unggul yang membuatnya menarik untuk diaplikasikan pada pembuatan kampas rem. Cangkang kelapa sawit merupakan bahan limbah pertanian yang memiliki kekuatan mekanik tinggi dan daya tahan aus yang baik, menjadikannya bahan pengganti potensial untuk serat logam tradisional. Serat bambu dikenal karena kekuatannya yang luar biasa serta sifatnya yang ramah lingkungan. Kombinasi kedua bahan ini dalam komposisi kampas rem dapat menghasilkan produk dengan kekuatan dan ketahanan terhadap suhu tinggi, serta kemampuan mengurangi suara saat pengereman, dan berkontribusi pada pemanfaatan limbah. Selain itu ada beberapa bahan tambahan pada pembuatan kampas rem, seperti *alumina powder* yang dapat meningkatkan densitas serta ketahanan termal kampas rem, *graphite powder* dapat memberikan sifat pelumas yang penting untuk mengurangi gesekan dan keausan, serta ZnO dapat menambahkan kekuatan dan stabilitas termal dan resin epoksi sebagai matriks pengikat yang menyatukan semua bahan

**Tabel 4.1** Fraksi Volume Varian Kampas Rem

Bahan	Persentase (%)		
	Sampel V1	Sampel V2	Sampel V3
Cangkang Kelapa Sawit	20	15	5
Serat Bambu	5	10	20
Resin Epoksi	50	50	50
ZnO	5	5	5
Alumina Powder	10	10	10
Graphite Powder	10	10	10
Total		100	

#### 4.1.1 Massa Jenis Bahan yang Digunakan

Penelitian ini memanfaatkan berbagai komposisi bahan yang masing-masing memiliki keunggulan tersendiri dalam pembuatan kampas rem. Massa jenis bahan-bahan ini sangat memengaruhi kekuatan mekanik dan daya tahan kampas rem. Selain itu, mengetahui massa jenis setiap bahan sangatlah penting untuk menyesuaikan komposisi dalam cetakan agar lebih presisi dan akurat.

**Tabel 4.2** Massa Jenis (Faruk, 2019)

No	Komposisi Bahan	Massa Jenis (gr/cm <sup>3</sup> )
1	Cangkang Kelapa Sawit	1,17
2	Serat Bambu	0,60
3	Graphite Powder	0,641
4	Alumina Powder	3,99
5	ZnO	5,61
6	Resin Epoksi	1,2
	Total	13,221

#### 4.1.2 Fraksi Volume Kampas Rem

Setelah mengetahui massa jenis pada setiap komposisi bahan yang digunakan. Selanjutnya, pada penelitian ini menggunakan beberapa bahan selama proses pembuatan sampel kampas rem untuk dilakukan pengujian densitas, daya serap air, porositas, stabilitas termal dan paparan panas. Perhitungan kebutuhan bahan yang digunakan menggunakan fraksi volume dengan mempertimbangkan ukuran dari cetakan yang digunakan. Ukuran cetakan sampel yang digunakan adalah 100 mm x 50 mm x 15 mm. Estimasi kebutuhan dari beberapa bahan yang digunakan adalah sebagai berikut:

a. Komposisi *filler* 20% dan *reinforced* 5%

- Serbuk cangkang kelapa sawit = 17,55 gr
- Serat bambu = 2,25 gr
- ZnO = 21 gr
- Resin epoksi = 45 gr

- *Alumina powder* = 29,9 gr
- *Graphite powder* = 4,8 gr
- b. Komposisi *filler* 15% dan *reinforced* 10%
  - Serbuk cangkang kelapa sawit = 13,16 gr
  - Serat bambu = 4,5 gr
  - ZnO = 21 gr
  - Resin epoksi = 45 gr
  - *Alumina powder* = 29,9 gr
  - *Graphite powder* = 4,8 gr
- c. Komposisi *filler* 5% dan *reinforced* 15%
  - Serbuk cangkang kelapa sawit = 4,4 gr
  - Serat bambu = 9 gr
  - ZnO = 21 gr
  - Resin epoksi = 45 gr
  - *Alumina powder* = 29,9 gr
  - *Graphite powder* = 4,8 gr

## 4.2 Sifat Fisik Kampas Rem

Sifat fisik kampas rem merujuk pada karakteristik material yang menentukan bagaimana kampas rem berperilaku dalam berbagai kondisi operasional, terutama selama proses pengereman. Sifat-sifat ini sangat penting untuk memastikan bahwa kampas rem dapat bekerja secara efektif, aman, dan tahan lama. Pada penelitian ini ada beberapa pengujian untuk mengetahui sifat fisik, yaitu pengujian densitas, daya serap air dan porositas.

### 4.2.1 Hasil Pengujian Densitas

Densitas merupakan besaran fisis, perbandingan massa dengan volume benda. Densitas teoritis dapat dihitung berdasarkan standar ASTM E252-06 yaitu perhitungan massa dikali fraksi volume setiap komponen bahan. Sedangkan densitas aktual dapat dicari menggunakan teori archimides dengan menimbang sampel dan mencatat berat sampel. Kemudian diukur dan dicatat panjang, lebar dan tinggi sampel, dan dihitung volume sampel

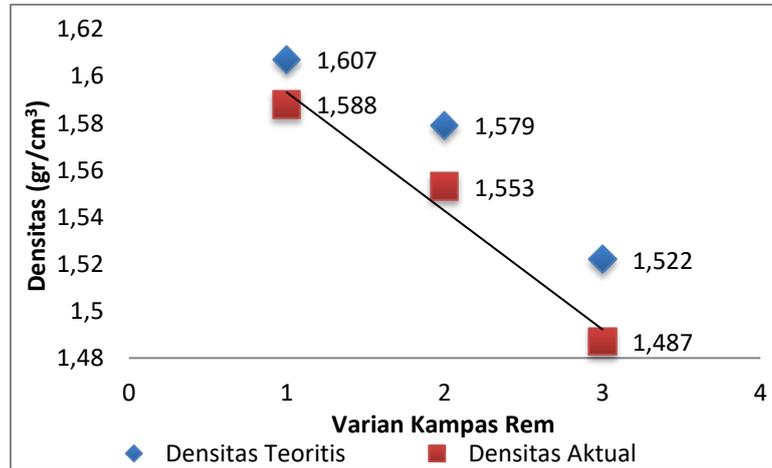
**Tabel 4.3** Data Hasil Pengujian Densitas

Sampel	Densitas	Densitas	Rata-rata	Rata-rata	Standar
	Aktual (gr/cm <sup>3</sup> )	Teoritis (gr/cm <sup>3</sup> )	Densitas Aktual (gr/cm <sup>3</sup> )	Densitas Teoritis (gr/cm <sup>3</sup> )	Deviasi Densitas Aktual
V1A	1.586	1.607			
V1B	1.59	1.607	1.588	1.607	0.0020
V1C	1.588	1.607			
V2A	1.553	1.579			
V2B	1.556	1.579	1.553	1.579	0.0035
V2C	1.549	1.579			
V3A	1.488	1.522			
V3B	1.484	1.522	1.487	1.522	0.0031
V3C	1.49	1.522			

Pengujian densitas merupakan pengujian yang bertujuan untuk memahami karakteristik serta kerapatan pada suatu material dengan menggunakan komposisi *filler* dan *reinforced* yang berbeda beda. Dapat dilihat pada tabel 4.3 menunjukkan nilai densitas teoritis dan nilai densitas aktual pada setiap varian kampas rem. Pengujian densitas teoritis yang dilakukan pada penelitian ini dengan menggunakan standar ASTM E252-06 yaitu perhitungan massa jenis setiap bahan yang digunakan dikali fraksi volume setiap komponen bahan, sedangkan densitas aktual menggunakan teori archimedes dengan cara massa dikali volume sampel kampas rem tersebut.

Sehingga didapatkan nilai tertinggi pada densitas teoritis sebesar 1.607 gr/cm<sup>3</sup> pada varian ke 1 dengan menggunakan komposisi bahan *filler* 20% dan *reinforced* 5%, sedangkan nilai densitas teoritis terendahnya sebesar 1.522 gr/cm<sup>3</sup> pada varian ke 3 dengan komposisi bahan *filler* 5% dan *reinforced* 20%. Sementara itu didapatkan nilai densitas aktual tertinggi pada varian V1B sebesar 1,590 gr/cm<sup>3</sup> dan nilai terendahnya pada varian V3B sebesar 1,484 gr/cm<sup>3</sup>

Dari data tersebut terdapat faktor human error (standar deviasi) pada saat proses manufaktur sebesar 0,0020 pada varian 1, sebesar 0,0035 pada varian 2 dan pada varian 3 sebesar 0,0031. Akan tetapi nilai densitas teoritis dan densitas aktual pada setiap varian kampas rem masih sesuai dengan standar kampas rem SNI 09-9134-1987.



**Gambar 4.1** Grafik Densitas Teoritis dan Densitas Aktual

Pada gambar 4.1 diatas menampilkan diagram batang yang membandingkan nilai densitas aktual dan densitas teoritis dari berbagai varian kampas rem. Pada diagram tersebut, batang berwarna merah menunjukkan nilai densitas aktual, sedangkan batang berwarna kuning menunjukkan nilai densitas teoritis. Nilai densitas teoritis memberikan acuan kualitas dan karakteristik pada suatu material, sedangkan densitas aktual memberikan kondisi nyata pada material tersebut

Pada grafik batang terlihat adanya penurunan pada densitas teoritis dan densitas aktual, sehingga dapat disimpulkan bahwa nilai densitas teoritis berbanding lurus dengan komposisi *filler* yang digunakan, semakin banyak *filler* yang digunakan maka akan semakin besar nilai densitas yang dihasilkan. Nilai densitas teoritis tertinggi ditemukan pada varian 1 sebesar 1,607 gram/cm<sup>3</sup>, sementara nilai densitas teoritis terendah pada varian 3 sebesar 1,522 gram/cm<sup>3</sup>. Sementara itu nilai tertinggi densitas aktual didapatkan pada varian 1 dengan nilai rata-rata sebesar 1,588 gram/cm<sup>3</sup> dan nilai terendah pada varian 3 dengan nilai rata-rata sebesar 1,487 gram/cm<sup>3</sup>

Dari nilai densitas teoritis tersebut didapatkan beberapa faktor yang mempengaruhi, yaitu penggunaan komposisi bahan yang digunakan terutama pada fraksi volume *filler* dan *reinforced* yang menjadi pembeda dari setiap varian kampas rem. Penggunaan cangkang kelapa sawit sebagai *filler* yang besar sangat berpengaruh terhadap nilai densitas teoritis dikarenakan cangkang kelapa sawit memiliki massa jenis yang lebih besar serta memiliki kandungan lignin dan selulosa .

Sementara itu nilai densitas aktual tidak hanya disebabkan oleh pengaruh *filler* dan *reinforced* saja, akan tetapi pada saat melakukan pengempaan sampel kampas rem, *proses curing* serta proses manufaktur pemotongan sampel

#### 4.2.2 Hasil Pengujian Porositas

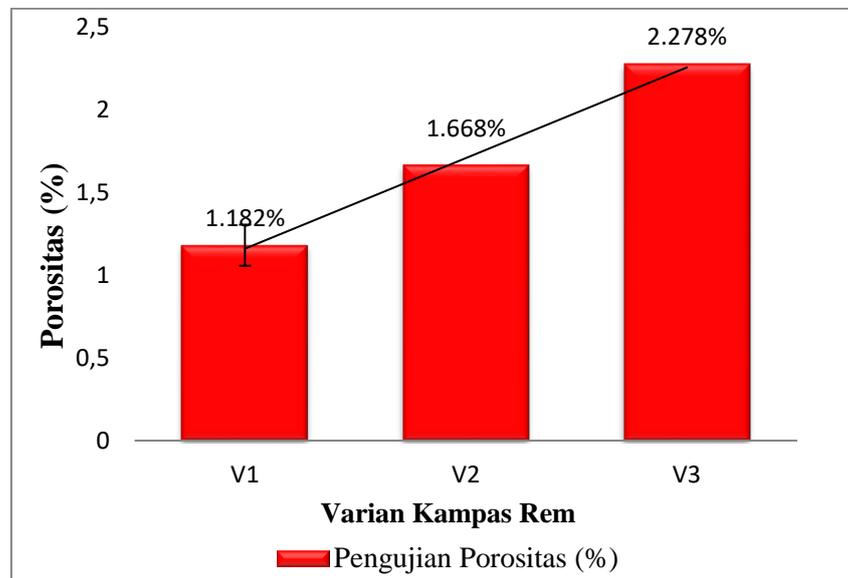
Pengujian porositas pada kampas rem mempunyai tujuan untuk menentukan kualitas keseluruhan material kampas rem. Tingkat porositas yang tinggi bisa menunjukkan adanya cacat atau kekurangan dalam proses manufaktur. Untuk melakukan pengujian porositas dapat menggunakan persamaan dengan membandingkan densitas teoritis dan densitas aktual dari material tersebut

**Tabel 4.4** Data Hasil Pengujian Porositas

Sampel	Densitas (gr/cm <sup>3</sup> )		Porositas (%)	Rata - Rata (%)	Standar Deviasi Porositas
	Aktual	Teoritis			
V1A	1.586	1.607	1.307		
V1B	1.59	1.607	1.058	1.182	0.125
V1C	1.588	1.607	1.182		
V2A	1.553	1.579	1.647		
V2B	1.556	1.579	1.457	1.668	0.222
V2C	1.549	1.579	1.9		
V3A	1.488	1.522	2.234		
V3B	1.484	1.522	2.497	2.278	0.201
V3C	1.49	1.522	2.102		

Pengujian porositas bertujuan untuk menentukan kinerja setiap varian kampas rem dan tingkat porositas yang tinggi bisa menunjukkan kualitas suatu material tersebut karena adanya cacat atau kekurangan dalam proses manufaktur. Pada tabel 4.4 disajikan data pengujian porositas terhadap setiap varian kampas rem dengan menggunakan persamaan perbandingan nilai densitas teoritis dan densitas aktual, yang dimana nilai porositas sangat dipengaruhi oleh nilai densitas teoritis dan densitas aktual yang dihasilkan pada setiap varian kampas rem

Sehingga didapatkan nilai tertinggi pada pengujian porositas sebesar 2.497% pada varian 3B dengan menggunakan komposisi bahan *filler* 5% dan *reinforced* 20%, sedangkan nilai pengujian porositas terendahnya sebesar 1.058% pada varian ke 1B dengan komposisi bahan *filler* 20% dan *reinforced* 5%, dan didapatkan error bar standar deviasi sebesar 0.125 pada varian ke 1, dan 0,222 pada varian ke 2 serta 0,201 pada varian ke 3 kampas rem. Secara keseluruhan, semakin tinggi nilai porositas, maka akan semakin buruk kualitas dan kinerja kampas rem dalam hal kekuatan, daya tahan, efisiensi pengereman, dan ketahanan terhadap kondisi lingkungan.



**Gambar 4.2** Grafik Pengujian Porositas

Pada gambar 4.2 disajikan diagram batang yang menunjukkan nilai pengujian porositas terhadap varian kampas rem dengan bahan cangkang kelapa sawit sebagai *filler* dan serat bambu sebagai penguat dengan persentase fraksi volume yang berbeda beda pada setiap varian. Pada diagram batang terlihat adanya peningkatan nilai porositas dari setiap varian kampas rem, sehingga dapat diambil kesimpulan pengujian porositas berbanding lurus terhadap nilai densitas teoritis dan densitas aktual, yang masih berhubungan dengan komposisi *filler* dan penguat yang digunakan.

Sehingga didapatkan nilai rata rata porositas tertinggi pada kampas rem dengan melakukan 3 kali percobaan sebesar 2.278% pada varian 3 dengan komposisi *filler* yang digunakan 5% dan serat bambu yang digunakan 20%. Sementara itu, nilai terbesar kedua didapatkan pada varian ke 2 yaitu 1,668% dengan komposisi *filler* yang digunakan 15% dan komposisi serat bambu 10%, sedangkan didapatkan nilai porositas terkecil sebesar 1.182% pada varian 1 dengan komposisi *filler* 20% dan serat bambu 5%

Hasil data pengujian porositas dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya komposisi *filler* yang digunakan, dikarenakan pengujian porositas dipengaruhi oleh nilai densitas aktual dan teorisi. *Filler* cenderung mengisi ruang kosong dalam matriks material, sebaliknya komposisi penguat serat bambu yang digunakan maka akan sedikit pula struktur untuk mengikat dan memperkuat matriks material yang dapat meningkatkan nilai porositas, selain itu faktor lainnya yang mempengaruhi porositas yaitu proses manufaktur seperti pada saat melakukan kompaksi, pemotongan sampel dan pada saat proses *curing*

Oleh karena itu, kontrol terhadap porositas adalah aspek penting dalam produksi kampas rem untuk memastikan performa yang optimal dan keamanan pengguna. Nilai porositas yang dihasilkan disebabkan oleh beberapa faktor diantaranya proses manufaktur pada saat pencampuran komposisi antara *filler* dan serat bambu, pada saat melakukan kompaksi dan pada saat melakukan pemotongan sampel

### 4.2.3 Hasil Pengujian Daya Serap Air

Daya serap air adalah salah satu sifat fisik kampas rem yang menunjukkan kemampuan suatu material kampas rem untuk menyerap air setelah direndam di dalam air. Spesimen uji ditimbang massa awalnya ( $m_k$ ) atau massa kering, kemudian direndam dalam air selama 24 jam lalu ditimbang massa akhirnya ( $m_b$ ) atau massa basah

**Tabel 4.5** Data Hasil Pengujian Daya Serap Air

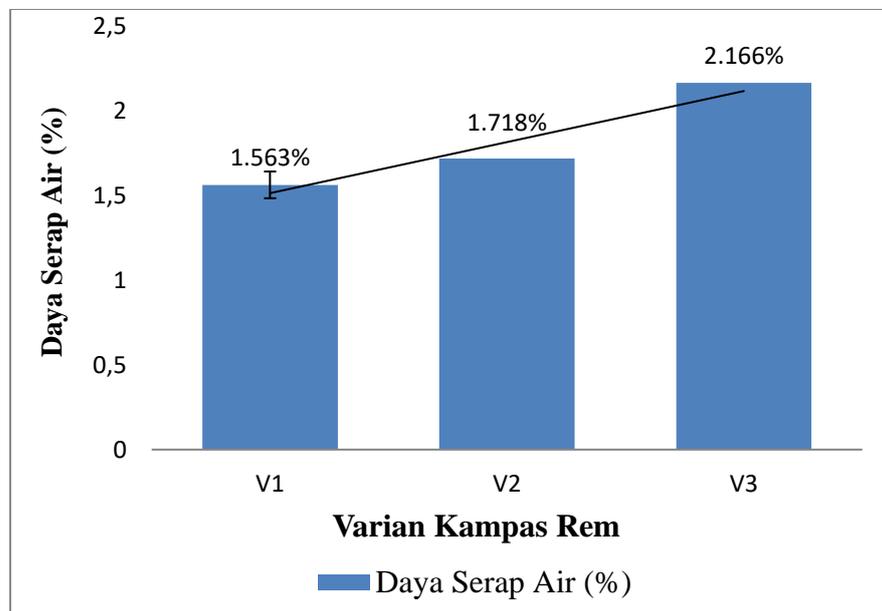
Sampel	Daya Serap Air			Rata - Rata (%)	Standar Deviasi DSA
	Massa Kering (gr)	Massa Basah (gr)	Hasil (%)		
V1A	14.27	14.48	1.472		
V1B	14.31	14.54	1.607	1.563	0.079
V1C	14.29	14.52	1.610		
V2A	13.98	14.24	1.860		
V2B	14	14.22	1.571	1.718	0.144
V2C	13.94	14.18	1.722		
V3A	13.39	13.66	2.016		
V3B	13.36	13.65	2.171	2.166	0.148
V3C	13.41	13.72	2.312		

Pengujian daya serap air pada kampas rem dilakukan untuk mengetahui kualitas material kampas rem agar tidak mudah menyerap air dan menentukan daya tahan kampas rem terhadap berbagai kondisi terutama kondisi basah, serta memastikan kampas rem tidak mengalami penurunan performa yang signifikan saat terkena air. Nilai daya serap air berbanding lurus dengan nilai porositas, semakin tinggi nilai porositas maka akan semakin tinggi nilai daya serap air nya. Hal ini dikarenakan pori pori atau kecacatan yang berlebih pada suatu material akan menyerap air lebih banyak

Pada tabel 4.5 ditampilkan massa sebelum perendaman (massa kering) dan massa sesudah perendaman (massa basah), sehingga didapatkan nilai daya serap air dari setiap varian kampas rem, dan

didapatkan nilai tertinggi daya serap air pada sampel V3C sebesar 2.312%, dengan komposisi *filler* yang digunakan 5% dan penguatnya 20%, sementara itu nilai terendah dalam pengujian daya serap air pada V1C sebesar 1.610% dengan komposisi *filler* yang digunakan 20% dan penguatnya 5%.

Dari data tersebut terdapat faktor human error (standar deviasi) pada saat proses manufaktur sebesar 0,079 pada varian 1, sebesar 0,114 pada varian 2 dan pada varian 3 sebesar 0,148. Akan tetapi nilai daya serap air pada setiap varian kanvas rem masih sesuai dengan standar kanvas rem SNI 09-9134-1987



**Gambar 4.3** Grafik Pengujian Daya Serap Air

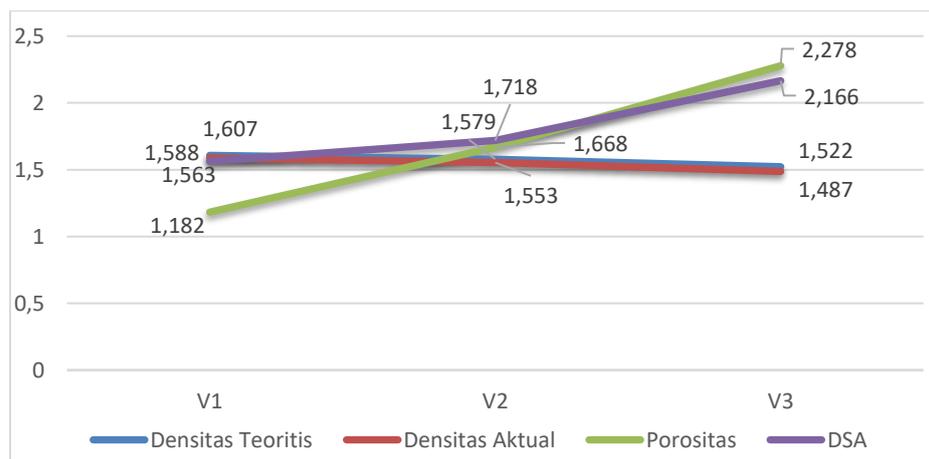
Pada gambar 4.3 terdapat diagram batang yang memperlihatkan hasil pengujian daya serap air pada berbagai varian kanvas rem, dengan cangkang kelapa sawit sebagai *filler* dan serat bambu sebagai penguat dengan proporsi yang berbeda-beda. Pada diagram batang terlihat adanya peningkatan nilai daya serap air dari setiap varian kanvas rem, yang dimana pengujian daya serap air dipengaruhi oleh massa atau berat disetiap varian, yang masih berhubungan dengan persentase fraksi volume *filler* dan penguat yang digunakan pada setiap varian kanvas rem

Sehingga didapatkan nilai rata-rata daya serap air tertinggi pada kanvas rem dengan melakukan 3 kali percobaan sebesar 2.116% pada varian 3 dengan komposisi *filler* yang digunakan 5% dan serat bambu yang digunakan 20%. Sementara itu, nilai terbesar kedua didapatkan pada varian ke 2 yaitu 1.718% dengan komposisi *filler* yang digunakan 15% dan komposisi serat bambu 10%, sedangkan didapatkan nilai daya serap air terkecil sebesar 1.563% pada varian 1 dengan komposisi *filler* 20% dan serat bambu 5%

Hasil data pengujian daya serap air dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya massa suatu material itu sendiri, komposisi *filler* yang digunakan, dikarenakan pengujian daya serap air berbanding lurus dengan nilai porositas, selain itu faktor lainnya yang mempengaruhi daya serap air yaitu proses manufaktur seperti pada saat melakukan kompaksi, pemotongan sampel dan pada saat proses *curing*

#### 4.2.4 Hubungan Nilai Densitas dengan Porositas dan Daya Serap Air

Nilai densitas teoritis dan densitas aktual sangat mempengaruhi nilai porositas dan daya serap air suatu material yang memiliki keterkaitan erat dengan sifat fisik dan struktur materialnya. Hal ini disebabkan karena massa jenis setiap komponen bahan dan proses manufaktur pada saat melakukan pembuatan material tersebut



**Gambar 4.4** Grafik Hubungan Densitas dengan Porositas dan DSA

Secara umum, densitas dan porositas memiliki hubungan invers. Artinya, semakin tinggi densitas suatu material, maka biasanya porositasnya akan lebih rendah karena partikel-partikelnya lebih padat dan tidak ada banyak ruang kosong di antara mereka. Sebaliknya, semakin rendah densitasnya, porositasnya cenderung lebih tinggi karena ada lebih banyak ruang kosong di dalam material. Selain itu, nilai densitas juga mempengaruhi nilai daya serap air sebuah material. Material dengan densitas tinggi cenderung lebih sedikit menyerap air karena porositasnya yang rendah membuat air sulit masuk ke dalamnya, sedangkan material dengan densitas rendah biasanya memiliki porositas yang tinggi, sehingga dapat menyerap lebih banyak air. Dapat dilihat dari grafik diatas dimana nilai porositas berbanding lurus dengan nilai daya serap airnya, dan berbanding terbalik dengan nilai densitas, hal ini menimbulkan garis yang bersinggungan di angka 1,50

### **4.3 Sifat Termal Kampas Rem**

Sifat termal kampas rem merupakan karakteristik material kampas rem yang berkaitan dengan performanya terhadap panas yang dihasilkan selama proses pengereman. Sifat-sifat ini sangat penting karena pengereman yang intens menghasilkan panas yang signifikan mampu mengelola dan memastikan bahwa kampas rem dapat berfungsi secara efektif di berbagai kondisi suhu dan aman tanpa mengalami degradasi signifikan. Pada penelitian ini untuk mengetahui sifat termal pada kampas rem dilakukan pengujian TGA (*Thermogravimetric Analysis*) dan paparan panas pada suhu 150°C dan 250°C

#### **4.3.1 Hasil Pengujian Paparan Panas**

Proses pemaparan bahan komposit terhadap panas dapat diamati melalui dekomposisi termal, yang merupakan proses di mana senyawa akan kehilangan massa pada saat menerima energi panas. Dalam proses pemaparan panas, prosedur pengujian yang digunakan menggunakan standar ASTM D 1758-06 dengan dimensi atau ukuran sampel pengujian yaitu 3cm x 3cm x 1cm, yang dipanaskan dalam oven dengan suhu yang sudah ditentukan 150°C dan 250°C selama 60 menit

1. Paparan Panas pada suhu 150°C

**Tabel 4.6** Data Hasil Pengujian Paparan Panas 150°C

Sampel	Paparan Panas		Kehilangan Berat (%)	Rata-Rata (%)	Standar Deviasi
	Massa Sebelum	Massa Sesudah			
	(gram)	(gram)			
V1A	14.27	13.99	1.962		
V1B	14.31	14.04	1.887	1.936	0.043
V1C	14.29	14.01	1.959		
V2A	13.98	13.64	2.432		
V2B	14	13.7	2.143	2.314	0.152
V2C	13.94	13.61	2.367		
V3A	13.39	13.05	2.539		
V3B	13.36	13	2.695	2.590	0.091
V3C	13.41	13.07	2.535		

Pengujian paparan panas merupakan suatu pengujian yang bertujuan untuk mengetahui sejauh mana kampas rem dapat menahan suhu yang dihasilkan selama pengereman intensif, serta untuk memastikan kampas rem tidak mengalami deformasi atau perubahan dimensi yang signifikan akibat paparan panas. Pada tabel 4.6 ditampilkan hasil pengujian paparan panas pada setiap varian kampas rem dengan menggunakan prosedur pengujian paparan panas adalah menghitung massa sebelum paparan panas dan massa sesudah paparan untuk mengetahui pengurangan dimensi pada setiap sampel

Sehingga didapatkan varian 1 dengan komposisi *filler* cangkang kelapa sawit 20% dan serat bambu 5% mendapatkan hasil perubahan dimensi sebesar 0,27 - 0,28 gram, sedangkan pada varian 2 dengan komposisi *filler* cangkang kelapa sawit 15% dan serat bambu 10% didapatkan hasil stabilitas dimensi sebesar 0,3 – 0,34 gram, serta pada varian 3 dengan komposisi *filler* 20% dan serat bambu 5% mendapatkan hasil stabilitas dimensi sebesar 0,34 – 0,36 gram

Dari nilai paparan panas pada suhu 150°C tersebut didapatkan beberapa faktor yang mempengaruhi, yaitu penggunaan komposisi bahan yang digunakan terutama pada persentase fraksi volume *filler* dan *reinforced* yang menjadi pembeda dari setiap varian kampas rem. Penggunaan cangkang kelapa sawit sebagai *filler* yang besar sangat berpengaruh terhadap paparan panas dikarenakan cangkang kelapa sawit memiliki karakteristik nilai kerapatan yang besar dan mampu menahan panas dalam kondisi yang berbeda beda, selain itu cangkang kelapa sawit memiliki kandungan lignin dan selulosa

Dari data tersebut terdapat faktor human error (standar deviasi) pada saat proses manufaktur sebesar 0,043 pada varian 1, sebesar 0,152 pada varian 2 dan pada varian 3 sebesar 0,091. Akan tetapi nilai paparan panas pada suhu 150°C setiap varian kampas rem masih sesuai dengan standar

## 2. Paparan Panas pada suhu 250°C

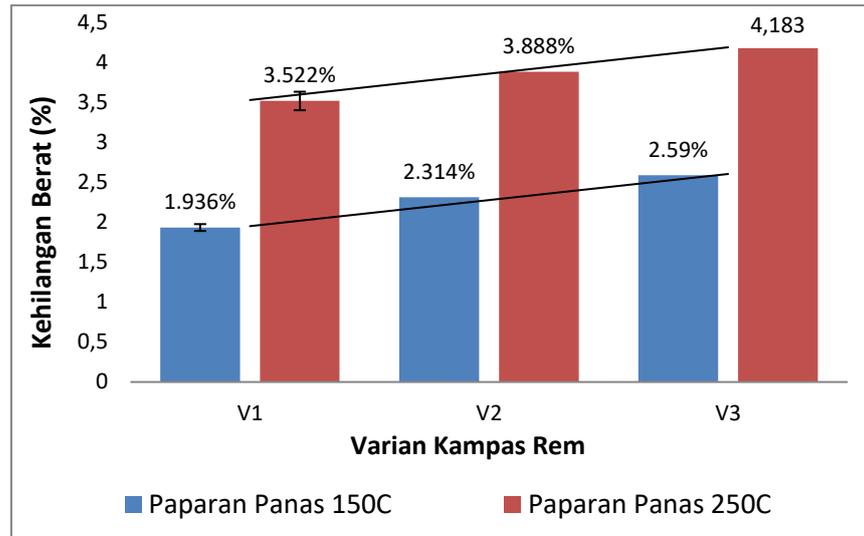
**Tabel 4.7** Data Hasil Pengujian Paparan Panas 250°C

Sampel	Paparan Panas		Kehilangan Berat (%)	Rata-Rata (%)	Standar Deviasi Paparan Panas
	Massa Sebelum	Massa Sesudah			
	(gram)	(gram)			
V1A	14	13.52	3.429		
V1B	14.24	13.72	3.652	3.522	0.116
V1C	14.06	13.57	3.485		
V2A	13.98	13.43	3.934		
V2B	14	13.46	3.857	3.888	0.041
V2C	13.94	13.4	3.874		
V3A	13.7	13.12	4.234		
V3B	13.78	13.21	4.136	4.183	0.049
V3C	13.64	13.07	4.179		

Pengujian paparan panas bertujuan untuk mengetahui sejauh mana kampas rem dapat menahan suhu yang dihasilkan selama pengereman intensif serta memastikan kampas rem tidak mengalami deformasi atau perubahan dimensi signifikan akibat paparan panas. Hasil pengujian ini ditampilkan dalam tabel 4.7, yang menunjukkan pengujian pada setiap varian kampas rem. Prosedur pengujiannya adalah menghitung massa sebelum dan sesudah paparan panas untuk mengetahui pengurangan dimensi pada setiap sampel.

Dari hasil pengujian, varian 1 dengan komposisi *filler* cangkang kelapa sawit 20% dan serat bambu 5% menunjukkan perubahan dimensi sebesar 0,48 - 0,52 gram. Varian 2 dengan komposisi *filler* cangkang kelapa sawit 15% dan serat bambu 10% menunjukkan stabilitas dimensi sebesar 0,54 – 0,55 gram. Sementara itu, varian 3 dengan komposisi *filler* 20% dan serat bambu 5% menunjukkan stabilitas dimensi sebesar 0,57 gram.

Dari hasil paparan panas pada suhu 250°C, beberapa faktor yang mempengaruhi hasil adalah komposisi bahan yang digunakan, terutama persentase fraksi volume *filler* dan reinforced yang membedakan setiap varian kampas rem. Penggunaan cangkang kelapa sawit sebagai *filler* sangat berpengaruh terhadap paparan panas karena cangkang kelapa sawit memiliki kerapatan tinggi dan mampu menahan panas dengan baik dibandingkan dengan serat bambu. Data tersebut juga menunjukkan adanya faktor human atau error bar (standar deviasi) selama proses manufaktur, yaitu sebesar 0,116 pada varian 1, sebesar 0,041 pada varian 2, dan sebesar 0,049 pada varian 3. Meskipun demikian, nilai paparan panas pada suhu 250°C untuk setiap varian kampas rem masih sesuai dengan standar yang ditetapkan.



**Gambar 4.5** Grafik Perbandingan Suhu 150°C dan Suhu 250°C

Pada grafik gambar 4.4 menampilkan diagram batang yang menunjukkan persentase kehilangan berat. Pada diagram tersebut, batang berwarna merah menunjukkan nilai paparan panas 250°C, sedangkan batang berwarna biru menunjukkan nilai paparan panas 150°C. Nilai perbandingan persentase kehilangan berat ini bertujuan untuk mengetahui ketahanan panas pada varian kampas rem dengan suhu yang berbeda beda dengan menggunakan prosedur percobaan standar ASTM D 1758-06

Penyerapan paparan panas pada suhu 150°C dan 250°C dalam waktu 60 menit dapat dihitung dengan membandingkan massa sebelum dan setelah paparan panas untuk mengestimasi stabilitas dimensi dari berbagai varian kampas rem. Pada diagram diatas menunjukkan peningkatan yang tidak terlalu signifikan di setiap varian kampas rem pada suhu 150°C dan 250°C

Sehingga didapatkan pada suhu 250°C nilai tertinggi sebesar 4.183% pada V3 dengan komposisi *filler* 5% dan penguat 20%, sementara nilai terendah sebesar 3.522% pada V1 dengan komposisi *filler* 20% dan penguat 5%. Sedangkan pada suhu 150°C nilai tertinggi sebesar 2.59% pada V3 dengan komposisi *filler* 5% dan penguat 20%, sementara nilai terendah sebesar 1.396% pada V1 dengan komposisi *filler* 20% dan penguat 5%

Hal ini disebabkan oleh komponen bahan yang mudah menguap ketika dipanaskan yang dapat dilihat dari massa jenis setiap bahan. Massa jenis yang tinggi cenderung memiliki struktur yang lebih padat dan ikatan antar partikel yang lebih kuat, hal ini dapat membuat material lebih stabil terhadap degradasi termal dan penguapan komponen volatil, sehingga mengurangi penurunan massa saat terkena panas. Pada persentase fraksi volume, kandungan *filler* dan *reinforced* yang menjadi pembeda dari setiap varian kampas rem. Cangkang kelapa sawit memiliki karakteristik massa jenis yang tinggi dan mampu menahan panas dengan baik apabila dibandingkan dengan serat bambu

Nilai kehilangan berat pada suhu 150°C dan 250°C mengalami penurunan atau deformasi yang tidak signifikan dikarenakan komponen tambahan seperti *graphite powder* yang dapat membantu menahan panas dengan baik. Perbandingan perbedaan suhu paparan panas terhadap sampel kampas rem dapat dilihat juga dari warna disetiap materialnya. Pada suhu 150°C material masih tetap solid dengan warna yang tidak terlalu berubah setelah dilakukan paparan panas, sementara pada suhu 250°C material masih tetap solid, akan tetapi terdapat perubahan warna menjadi hitam yang sebelumnya sampel tersebut berwarna abu abu

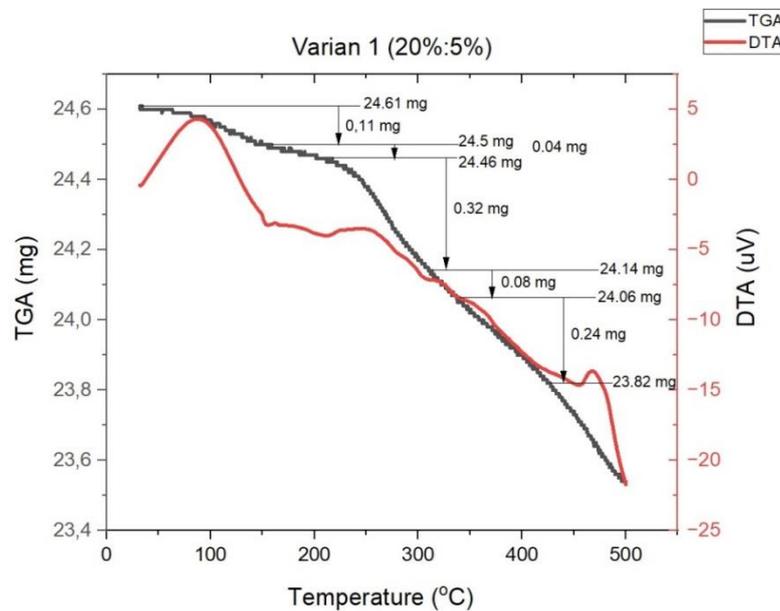
#### **4.3.2 Hasil Pengujian TGA (*Thermogravimetric Analysis*)**

Pengujian *Thermogravimetric Analysis* (TGA) adalah metode analisis termal yang digunakan untuk mengukur perubahan massa suatu bahan sebagai fungsi dari suhu atau waktu dalam lingkungan terkontrol. Pengujian TGA memberikan informasi penting tentang komposisi bahan, stabilitas termal, dan proses degradasi. Prinsip kerjanya ngan cara memanaskan sampel secara terprogram dalam suatu perangkat yang disebut *thermogravimetric analyzer*. Perangkat ini mengukur perubahan massa sampel saat suhunya dinaikkan atau diturunkan dalam atmosfer tertentu misalnya, udara

**Tabel 4.8** Spesifikasi DSC Peak

Sampel	DSC Peak						
	Start (min)	End (min)	Peak (°C)	Onset (°C)	Endset (°C)	Heat (J/g)	Height (uV)
V1	43.24	48.72	467.63	458.58	492.28	26.5	2.86
V2	42.63	49.99	470.97	454.19	493.95	86.56	10.22
V3	42.81	48.66	479.51	465.4	469.07	73.74	13.15

1. Pengujian TGA (*Thermogravimetry Analsys*) 20%:5%



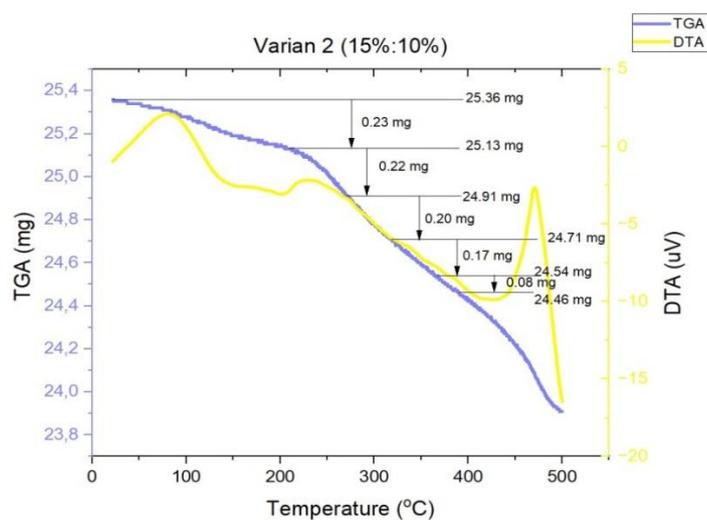
**Gambar 4.6** Grafik Pengujian TGA (20%:5%)

Pada gambar 4.5 menjelaskan tentang grafik pengujian nilai TGA (mg) dan DTA (uV) terhadap temperature dengan menggunakan prosedur percobaan sesuai standar ASTM E1131-08, yaitu dengan memasukkan sampel varian yang ingin diuji, lalu dilakukan kalibrasi sesuai dengan standar suhu atmosfer udara dan mengontrol laju suhu 10°C/menit dengan *hold temperature* 500°C. Sehingga didapatkan 6 puncak endotermal DTA atau penyerapan panas pada sampel kampas rem dengan perubahan massa terbesar yaitu 0.32 mg, dan perubahan massa terkecilnya 0.08 mg

Penurunan massa pada varian 1 (20%:5%) terjadi dengan 5 tahap. Tahap pertama (50°C – 100°C) menunjukkan penurunan berat sebesar 0.11 mg, hal ini disebabkan oleh penguapan air atau pelarut yang mudah menguap. Tahap kedua (150°C – 250°C) terjadi penurunan sebesar 0.04 mg yang terjadi karena penguapan atau dekomposisi awal material organik. Tahap ketiga (250°C – 350°C) terjadi penurunan berat sebesar 0.32 mg yang disebabkan terdekomposisi nya serat bambu. Tahap keempat (400°C – 450°C) terjadi penurunan sebesar 0.08 mg yang disebabkan hilangnya residu abu pada serat bambu. Tahap Kelima (450°C – 500°C) terjadi pengurangan massa sebesar 0.24 mg, tahap ini menunjukkan dekomposisi akhir penurunan yang cukup signifikan pada material cangkang kelapa sawit dan resin epoksi akan tetapi masih ada residu abunya, sedangkan ZnO, *graphite* dan *alumina* masih stabil

Perubahan termal yang signifikan mulai terjadi (*onset*) pada 458°C, dengan *peak* atau nilai puncak terbesar atau signifikan pada 467.63°C, dan titik akhir puncak perubahan termal (*endset*) pada suhu 492.28°C, dengan jumlah energi (*Heat*) yang diserap sebesar 26.5 J/g, dan tinggi puncak yang menunjukkan besarnya sinyal DSC pada suhu puncak adalah 2.86 uV. Penurunan ini disebabkan dekomposisi pada material organik seperti cangkang kelapa sawit, serat bambu dan resin epoksi

## 2. Pengujian TGA (*Thermogravimetry Analysis*) 15%:10%



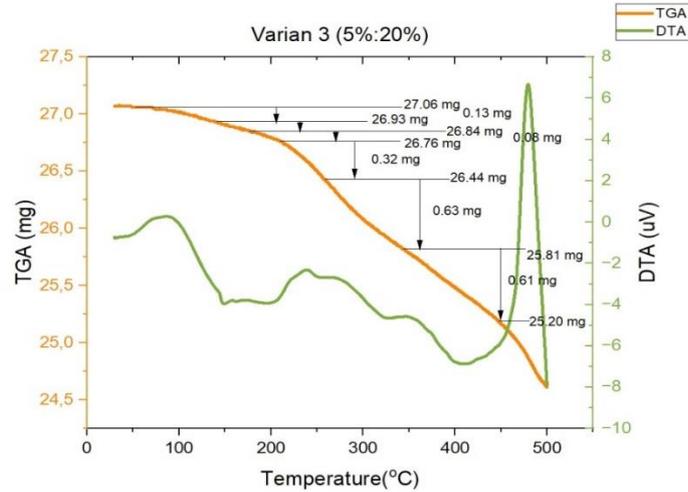
**Gambar 4.7** Grafik Pengujian TGA (15%:10%)

Pada gambar 4.6 menjelaskan tentang grafik pengujian nilai TGA (mg) dan DTA (uV) terhadap temperature dengan menggunakan prosedur percobaan sesuai standar ASTM E1131-08, yaitu dengan memasukkan sampel varian yang ingin diuji, lalu dilakukan kalibrasi sesuai dengan standar suhu atmosfer udara dan mengontrol laju suhu 10°C/menit dengan *hold temperature* 500°C.

Penurunan massa pada varian 2 (15%:10%) terjadi dengan 5 tahap. Tahap pertama (50°C – 100°C) menunjukkan penurunan berat sebesar 0.23 mg, hal ini disebabkan oleh penguapan air atau pelarut yang mudah menguap. Tahap kedua (150°C – 250°C) terjadi penurunan sebesar 0.22 mg yang terjadi karena penguapan atau dekomposisi awal material organik. Tahap ketiga (250°C – 350°C) terjadi penurunan berat sebesar 0.20 mg yang disebabkan terdekomposisi nya serat bambu dan cangkang kelapa sawit. Tahap keempat (400°C – 450°C) terjadi penurunan sebesar 0.17 mg yang disebabkan karena terdekomposisinya resin epoksi dan hilangnya residu abu pada serat organik. Tahap Kelima (450°C – 500°C) terjadi pengurangan massa sebesar 0.08 mg, tahap ini menunjukkan dekomposisi akhir pada resin epoksi, sedangkan komponen lainnya dapat menahan suhu dengan baik

Perubahan termal yang signifikan mulai terjadi (*onset*) pada 454.19°C pada 42.63 menit, dengan *peak* atau nilai puncak terbesar atau signifikan pada 470.97°C, dan titik akhir puncak perubahan termal (*endset*) pada suhu 493.95°C pada 49,99 menit, dengan jumlah energi (*Heat*) yang diserap sebesar 86.56 J/g, dan tinggi puncak yang menunjukkan besarnya sinyal DSC pada suhu puncak adalah 10.22 uV. Perubahan termal yang sangat signifikan ini terjadi disebabkan oleh terdekomposisi serat alam yang dipengaruhi oleh persentase fraksi volume, dikarenakan hilangnya kandungan lignin dan selulosa pada cangkang kelapa sawit

### 3. Pengujian TGA (*Thermogravimetry Analysis*) 5%:20%



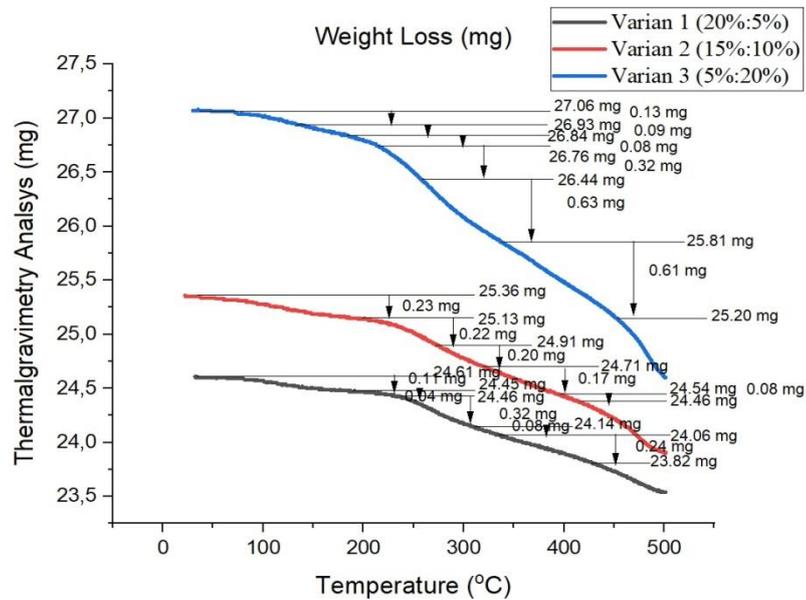
**Gambar 4.8** Grafik Pengujian TGA (5%:20%)

Pada grafik diatas menunjukkan perbandingan nilai TGA (mg) berwarna orange dan nilai DTA berwarna hijau terhadap temperature sampai dengan suhu 500°C dengan menggunakan prosedur percobaan sesuai standar ASTM E1131-08, yaitu dengan memasukkan sampel varian yang ingin diuji, lalu dilakukan kalibrasi sesuai dengan standar suhu atmosfer udara dan mengontrol laju suhu 10°C/menit dengan *hold temperature* 500°C.

Penurunan massa pada varian 3 (5%:20%) terjadi dengan 5 tahap. Tahap pertama (50°C – 150°C) menunjukkan penurunan berat sebesar 0.13 mg, hal ini disebabkan oleh penguapan air atau pelarut yang mudah menguap. Tahap kedua (150°C – 250°C) terjadi penurunan sebesar 0.08 mg yang terjadi karena penguapan dan dekomposisi awal. Tahap ketiga (250°C – 350°C) dan penurunan sebesar 0.32 mg yang cukup signifikan karena terdekomposisinya serat bambu dan cangkang kelapa sawit. Tahap keempat (400°C – 450°C) terjadi penurunan sebesar 0.63 mg yang disebabkan karena terdekomposisinya resin epoksi dan hilangnya residu abu komponen volatile cangkang dan serat bambu. Tahap Kelima (450°C – 500°C) terjadi pengurangan massa sebesar 0.61 mg, tahap ini menunjukkan dekomposisi akhir pada resin epoksi, sedangkan komponen lainnya dapat menahan suhu dengan baik

**Tabel 4.9** *Weight Loss* Setiap Varian

SAMPEL	Start (°C)	End (°C)	Berat Awal (mg)	Berat Akhir (mg)	Weight Loss
V1	193.25	498.49	24.613	23.54	1.073
V2	214.16	497.57	25.361	23.91	1.451
V3	149.99	491.56	27.071	24.6	2.471



**Gambar 4.9** Grafik Perbandingan *Weight Loss*

*Weight loss* merupakan kehilangan atau pengurangan suatu massa benda yang disebabkan karena penyerapan panas pada suatu material tersebut. Kehilangan berat atau massa pada suatu material dapat diketahui dengan cara menimbang sampel sebelum dilakukan pengujian TGA, dan menimbang sampel akhir setelah melakukan pengujian TGA, lalu mengurangkan massa awal dengan massa akhirnya.

Sehingga didapatkan hasil *weight loss* tertinggi sebesar 2.471 mg pada varian ke 3 dengan komposisi 5%:20%, dan nilai terkecilnya pada varian ke 1 dengan komposisi 20%:5% sebesar 1.073 mg. Pengurangan massa ini yang dapat dianalisa apakah kampas rem dapat menahan panas dalam berbagai kondisi, selain itu *weight loss* tinggi menunjukkan kampas rem tersebut cepat mengalami keausan

Hal ini disebabkan karena persentase fraksi volume *filler* cangkang kelapa sawit dikarenakan cangkang kelapa sawit memiliki karakteristik yang dapat menahan panas dan karena cangkang kelapa sawit mengandung lignin serta selulosa. Hal ini dapat dilihat pada perbandingan pengujian grafik TGA pada masing masing varian. Pada varian 1 cangkang kelapa sawit baru terdekomposisi signifikan pada suhu 450°C – 500°C dan masih ada sisa bekas pembakarannya (residu abu), sedangkan pada varian 2 cangkang kelapa sawit terdekomposisi signifikan pada suhu 300°C – 450°C, serta pada varian 3 cangkang kelapa sawit terdekomposisi pada suhu 300°C – 400°C

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Setelah melakukan prosedur dan pengambilan data dari penelitian kali ini, ada beberapa kesimpulan yang dirangkum, yaitu sebagai berikut :

1. Variasi komposisi *filler* cangkang kelapa sawit dan komposisi *reinforced* serat bambu sangat mempengaruhi sifat fisik kampas rem *non-asbestos*. Pada pengujian densitas komposisi yang lebih tinggi dari *filler* cangkang kelapa sawit meningkatkan densitas kampas rem. Hasil tertinggi pada densitas aktual adalah pada komposisi 20% *filler* cangkang kelapa sawit dan 5% serat bambu dengan nilai 1,581 gram/cm<sup>3</sup>, dan nilai daya serap air terkecil adalah 1,563% pada varian dengan komposisi *filler* 20% dan serat bambu 5%. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi kandungan *filler*, semakin rendah daya serap air karena berkurangnya porositas, serta pengujian porositas menunjukkan bahwa porositas berbanding terbalik dengan densitas. Porositas tertinggi didapatkan pada varian dengan komposisi *filler* 5% dan serat bambu 20%, dengan nilai 3,89%. Porositas yang tinggi cenderung meningkatkan daya serap air karena lebih banyak pori-pori yang tersedia untuk menyerap air
2. Hasil TGA menunjukkan bahwa sampel dengan komposisi *filler* cangkang kelapa sawit yang lebih tinggi cenderung memiliki stabilitas termal yang lebih baik. Hal ini disebabkan oleh karakteristik massa jenis cangkang kelapa sawit yang tinggi dan kemampuannya untuk menahan panas dengan baik dibandingkan dengan serat bambu. Pada suhu 150°C dan 250°C, kampas rem dengan kandungan *filler* yang lebih tinggi menunjukkan penurunan massa yang tidak signifikan dan warna yang tetap solid, menunjukkan bahwa material tersebut lebih stabil secara termal. Nilai penyerapan panas tertinggi adalah pada komposisi *filler* 5% dan serat bambu 20%, menunjukkan bahwa komposisi ini paling banyak dalam menyerap panas dan mengalami deformasi yang signifikan

## 5.2 Saran

Setelah melaksanakan prosedur dan pengambilan data pada penelitian ini, dengan melakukan beberapa pengamatan dan analisa. Ada beberapa saran yang akan saya sampaikan, diantaranya sebagai berikut :

1. Melakukan perlakuan alkali pada cangkang kelapa sawit untuk menghilangkan kadar air dan minyak tidak hanya dengan perlakuan oven saja
2. Menggunakan metode pengujian porositas yang lebih canggih dan akurat, seperti pemindaian mikrotomografi (micro-CT) dapat memberikan gambaran tiga dimensi yang lebih detail mengenai distribusi pori dalam material
3. Menggunakan standar keselamatan kerja dalam penggunaan *alumina powder* dan *graphite powder*

## DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, N. &. (2022). *Soil Properties with Oil Palm Empty Fruit Bunch (EFB) and Palm Kernel Shell (PKS) Composts*. *Sustainability*, 14(5), 2580-2592.
- Ahmad, M. &. (2020). *Mechanical Properties of Bamboo Fiber-Based Polymer Composites*. *Mechanical Properties of Bamboo Fiber-Based Polymer Composites. A Review*. *Polymer Composites*, 41(7), 2419-2430.
- Bokarev, A. S. (2020). *The effect of ZnO nanoparticles on the tribotechnical characteristics of brake shoe friction materials*. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 871(1), 012022.
- Danni, E. R. (2023). Pengaruh Penambahan Filler dari Selulosa Tongkol Jagung dan Zink Oksida Pada Plastik Biodegradable. *Jurnal Ilmiah Sain dan Teknologi*, 92 - 95.
- Drastinawati, C. D. (2023). Pembuatan Komposit dari Serat Sabut Kelapa dan Resin Polyester sebagai Material untuk Helm. *Journal of the Bioprocess, Chemical, and Environmental Engineering Science*, 59-64.
- Faruk, d. (2019). *Biocomposites Reinforced with Natural Fibers*. *Progress in Polymer Science*, 37(11), 1552-1596.
- Gao, S. &. (2019). *Effects of alkali treatment on the mechanical properties of bamboo fiber and bamboo fiber/polylactic acid composites*. *Journal of Natural Fibers*, 16(3), 339-350.
- Gibson, R. F. (2019). *Principles of Composite Material Mechanics*. New York: 2nd Edition.
- Hagwood, C. T. (2019). *Thermal Analysis of Polymers*. *Jurnal Chemical Reviews*.
- Harper, C. A. (2022). *Handbook of Plastics, Elastomers, and Composites, 4th Edition*. The McGraw-Hill Companies, Inc.
- Hybler, P. K. (2020). *Applications of Differential Scanning Calorimetry (DSC) in Quality Control and Research of Polymers*. *Literature Review*.
- Ikram, M. A. (2023). Karakteristik Komposit Cangkang Kelapa Sawit/Alumina/Epoksi sebagai Material Kampas Rem Sepeda Motor. *Jurnal Teknik Mesin Institut Teknologi Padang*, 13 - 17.

- Iman, N. (2020). Karakteristik Komposit Partikel Arang Kayu Akasia Bermatrik Epoxy Sebagai Salah Satu Alternatif Kampas Rem Non-Asbestos. *Iman, dkk./ ROTASI, Vol. 22 No. 1*, 7 -12.
- Khalil, H. P. (2019). *Bamboo Fiber Reinforced Biocomposites: A Sustainable Alternative to Conventional Structural Materials*. Springer.
- Kumar, R. &. (2019). Alkali treatment of bamboo and its effect on mechanical properties of bamboo fibers. *Journal of Natural Fibers* 16(6), 832-840.
- Lange, F. F. (2019). *Powder Processing Science and Technology for Increased Reliability*. Springer.
- Mrozowski, T. &. (2020). Mechanical Properties of Alumina Ceramics Based on Different Powder Batches. *Materials*, 13(20), 4601-4609.
- Mukesh, d. (2018). Applications of thermal analysis techniques in the quality control of medicines. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*.
- Nakagaito, A. N. (2021). A simple chemical treatment for the surface modification of bamboo fibers. *Cellulose*, 22(1), 637-647.
- Nguyen, H. (2020). The tribological performance of brake friction composites reinforced by ZnO. *Advanced Materials and Devices*, 5(4), 579-586.
- Padture, N. P. (2022). Thermal Barrier Coatings for Gas-Turbine Engine Applications. *Science*, 296(5566), 280-284.
- Park, C. &. (2019). Graphite Powder for Thermal Management Applications. A Review." *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 133(3), 1399-1410.
- Perdana, M. (2019). Pengaruh Fraksi Volume Komposit Serbuk Cangkang Kelapa Sawit/Epoksi terhadap Kekerasan dan Laju Keausan. *Jurnal Iptek Terapan Research of Applied Science and Education* V13, 45 - 54.
- Poowadin, S. S. (2020). A review of thermogravimetric analysis (TGA) techniques. *Kasetsart Journal of Natural Science*.
- Rahaman, M. (2019). Applications of thermal analysis characterizing the thermal properties of natural fibers. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*.
- Raliannoor. (2019). Pengaruh Fraksi Volume Penguat 2, 2,5 dan 3% Serat Bambu Haur dan Fiberglass terhadap Kekuatan Tarik Matriks Poliester. *Info Teknik, Volume 20No. 2* , 141 - 145.

- Rehan, M. &. (2021). *Effect of Palm Kernel Shell and Rice Husk on Properties of Sustainable Lightweight Concrete*. *Journal of Building Materials and Structures*, 8(2), 109-120.
- Ridwan, d. (2022). Pengaruh Sifat Material dan Termal Komposit PLA (Poly Lactid Acid) /Coconut Fiber (Sabut Kelapa) dengan Modifikasi Perendaman NaOH. *Jurnal Reaksi (Journal of Science and Technology) Jurusan Teknik Kimia Politeknik Negeri Lhokseumawe Vol. 20 No.02, Desember 2022 ISSN 1693-248X*, 1 - 5.
- Sanjay, A. (2019). *Applications of Natural Fibers and Its Composites. An Overview*. *Natural Resources*, 7(3), 108 - 114.
- Sharma, P. &. (2019). *Electrical Conductivity of Graphite Powders: Effects of Particle Size and Compaction Pressure*. *Carbon*, 147, 558-567.
- Sudibyo, A. (2021). Pengaruh Penampang Ingate terhadap Cacat Porositas dan Nilai Kekerasan pada Proses Pengecoran Alumunium menggunakan Cetakan Pasir. *Jurnal Mekanika Volume 12 Nomor 1*, 53 - 56.
- Suhardiman, M. S. (2022). Analisa Keausan Kampas Rem Non Asbes dari Komposit Polimer Serbuk Padi dan Tempurung Kelapa. *Jurnal Invontek Polbeng*, VOL. 07, NO. 2.
- Sukamto. (2022). Analisis Keausan Kampas Rem pada Sepeda Motor. *Jurnal Teknik VOL. 2 NO. 1*, 36.
- Sumiyanto, A. (2019). Analisa Pengujian Gesek, Aus dan Lentur pada Kampas Rem Tromol Sepeda Motor. *Bina Teknika, Volume 15 Nomor 1, Edisi Juni* , 49 - 59.
- Sunardi, d. (2015). Variasi Campuran Fly Ash Batubara Material Komposit. *Jurnal Volume I Nomor 1 ISSN 2407-7852*, 90 - 98.
- Taktak, S. (2019). *Development and Characterization of Alumina-Based Ceramic Powders for Biomedical Applications*. *Ceramics International*, 44(9), 11000-11007.
- Thiruchelvam, S. &. (2020). *Strength Characteristics of Stabilized Soft Soil with Cement and Palm Kernel Shell Powder*. *International Journal of Engineering Research & Technology*, 9(2), 221-229.

- Thomas, S. &. (2020). *Natural Fiber Reinforced Polymer Composites. A Review*. Nova Science Publishers.
- Tiwari, N. &. (2014). *Composite Materials: Properties, Characteristics, and Applications*. Scrivener Publishing LLC.
- Upara, N. (2019). Analisis Komparasi Kualitas Produk Kampas Rem Cakram. *Jurnal ASIIMETRIK: Jurnal Ilmiah & Inovasi Volume 1.1*, 27 -31.
- Wanberg, J. (2010). *Composite Materials: Fabrication Handbook #1*. CreateSpace Independent Publishing Platform.
- Zhang, W. (2020). *Differential Scanning Calorimetry Study of Epoxy–Graphene Nanoplatelet Composites*. *Journal of Applied Polymer Science*.

## **LAMPIRAN**

## A. Lampiran Perhitungan

### 1. Perhitungan Volume Cetakan

Berikut merupakan perhitungan volume cetakan pada pembuatan sampel kampas rem

Diketahui : Panjang = 10 cm, lebar = 5 cm dan tinggi = 1,5 cm

Ditanya :  $V = \dots\dots?$

Jawab :  $V = P \times L \times T$

$$V = 10 \text{ cm} \times 5 \text{ cm} \times 1,5 \text{ cm}$$

$$V = 75 \text{ cm}^3$$

### 2. Perhitungan Komposisi Bahan

Berikut merupakan komposisi dari setiap bahan yang digunakan untuk mengetahui berapa gram pencampuran bahannya tersebut

Diketahui :  $P =$  massa jenis bahan ( $\text{gram}/\text{cm}^3$ )

$V =$  volume cetakan ( $\text{cm}^3$ )

Fraksi Volume = komposisi bahan (%)

Ditanya : massa =  $\dots\dots?$

Jawab : massa =  $p \times v \times$  fraksi volume

$$\text{massa} = 1.17 \text{ gram}/\text{cm}^3 \times 75 \text{ cm}^3 \times 0.2 \%$$

$$\text{massa} = 17,55 \text{ gram (misalnya, cangkang kelapa sawit)}$$

### 3. Perhitungan Kompaksi

Adapun perhitungan pada saat melakukan kompaksi pada pembuatan sampel kampas rem, diantaranya :

Diketahui :  $A_1$  Luas penampang hidrolik =  $490,874 \text{ mm}^2$

$A_2$  Luas penampang komapksi =  $5000 \text{ mm}^2$

$P_1$  Tekanan hidrolik =  $40 \text{ bar} = 4 \text{ Mpa}$

Ditanya :  $P_2$  (Tekanan kompaksi)....?

Jawab ;  $P = \frac{F}{A} \dots \text{ Mpa}$

$$F = P \times A$$

$$= P_1 \times A = P_2 \times A$$

$$= \frac{P_1 \times A_1}{A_2} = \frac{4 \times 490,874 \text{ mm}^2}{5000 \text{ mm}^2} = 0.4 \text{ Mpa}$$

#### 4. Perhitungan Densitas

Berikut merupakan contoh perhitungan densitas teoritis pada varian 1

$$\rho_{th} : \rho_{Al} \cdot V_{Al} + \rho_{Si} \cdot V_{Si}$$

$$\rho_{th} : (5.61 \cdot 0.05) + (0.641 \cdot 0.1) + (3.99 \cdot 0.1) + (1.2 \cdot 0.5) + (0.60 \cdot 0.1) + (1.17 \cdot 20)$$

$$\rho_{th} : 1.607 \text{ gram/cm}^3$$

Selain itu, adapun contoh perhitungan densitas aktual

Diketahui : massa = 14.27 gram

$$\text{volume} = 9 \text{ cm}^3$$

Ditanya :  $\rho_m$ .....?

$$\text{Jawab} : \rho_m = \frac{m}{v}$$

$$\rho_m = \frac{14.27}{9} = 1.585 \text{ gram/cm}^3$$

#### 5. Perhitungan Porositas

Adapun perhitungan untuk mengetahui nilai porositas pada sampel kanvas rem, sebagai berikut :

$$\text{Diketahui} : \rho_{th} = 1.607 \text{ gram/cm}^3$$

$$\rho_m = 1.586 \text{ gram/cm}^3$$

Ditanya : Porositas....?

$$\text{Jawab} : P (\%) = \frac{\rho_{th} - \rho_m}{\rho_{th}} \times 100\%$$

$$P (\%) = \frac{1.607 - 1.586}{1.607} \times 100\%$$

$$P (\%) = 1.307\%$$

#### 6. Perhitungan Daya Serap Air

Adapun perhitungan untuk mengetahui nilai daya serap air pada sampel kanvas rem, sebagai berikut :

$$\text{Diketahui} : m_k = 14.27 \text{ gram}$$

$$m_b = 14.48 \text{ gram}$$

$$\text{Ditanya} : DSA = \frac{m_b - m_k}{m_k} \times 100\%$$

$$DSA = \frac{14.48 - 14.27}{14.27} \times 100\% = 1.427\%$$

## 7. Perhitungan Paparan Panas

Adapun perhitungan untuk mengetahui kehilangan berat pada pengujian paparan panas dengan sampel kampas rem, sebagai berikut :

Diketahui :  $B_1 = 14.27$  gram (sebelum paparan panas)

$B_2 = 13.99$  gram (sesudah paparan panas)

Ditanya : KB.....?

Jawab :  $KB (\%) = \frac{B_1 - B_2}{B_1} \times 100\%$

$$KB (\%) = \frac{14.27 - 13.99}{14.27} \times 100\% = 1.96 \%$$

## 8. Perhitungan TGA

Adapun perhitungan pada pengujian TGA dengan sampel kampas rem, sebagai berikut :

1. Perbedaan temperature

$$\Delta T = T \text{ sampel} - T \text{ referensi}$$

2. *Weight loss*

$$\text{Weight loss} = \text{Massa Awal} - \text{Massa Akhir}$$

$$\text{Weight loss} = 24.613 \text{ mg} - 23.54 \text{ mg} = 1.073 \text{ mg}$$

3. Heat J/g

$$\text{Heat J/g} = \frac{\text{Total Panas yang diserap (j)}}{\text{massa sampel (g)}}$$

## B. Lampiran Dokumentasi Percobaan



Perlakuan Alkali



Perlakuan oven pada cangkang



Proses Pengempaan



Proses Penimbangan



Proses Pematangan Bambu



Proses Endmill



Proses pengujian DSA



Serbuk untuk TGA

## C. Lampiran Pengujian *Thermalgravimetry Analysys*



ABORATORIUM UJI KIMIA  
DEPARTEMEN KIMIA-UKK LST,  
FMIPA UNIVERSITAS INDONESIA

Gedung G Departemen Kimia, Gedung Multidisiplin It.7  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Kampus UI  
Depok 16424  
Tlp. : +6221 78849006  
Email : uichemlab@gmail.com

### ANALYTICAL REPORT

101/AR/06/2024

Prepared For:

**Muhammad Auliya Adriyanto**

Date : June 28<sup>th</sup> 2024



ABORATORIUM UJI KIMIA  
DEPARTEMEN KIMIA-UKK LST,  
FMIPA UNIVERSITAS INDONESIA

Gedung G Departemen Kimia, Gedung Multidisiplin It.7  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Kampus UI  
Depok 16424  
Tlp. : +6221 78849006  
Email : uichemlab@gmail.com

### **LABORATORY TEST RESULTS**

Customer : Muhammad Auliya Adriyanto  
Date Completed: June 28<sup>th</sup> 2024  
Date Received : June 11<sup>th</sup> 2024  
Parameter : TGA  
Test Number : 134-SPK-024  
Sample Matrix : Serbuk Oksida

No.	Sample Name	Sample Code	Parameter	Method
1	Variasi 1	120624-0550	TGA Graph	TGA
2	Variasi 2	120624-0551		
3	Variasi 3	120624-0552		

Catatan:

1. Hasil yang ditampilkan hanya berhubungan dengan sampel yang diuji
2. Laporan Pengujian tidak boleh digandakan tanpa persetujuan tertulis dari laboratorium

Depok, June 28<sup>th</sup> 2024



**Dr. Hedi Surahman, S.T., M.Si.**  
Lab UI-CHEM Departemen Kimia  
FMIPA Universitas Indonesia