

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 ³)
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

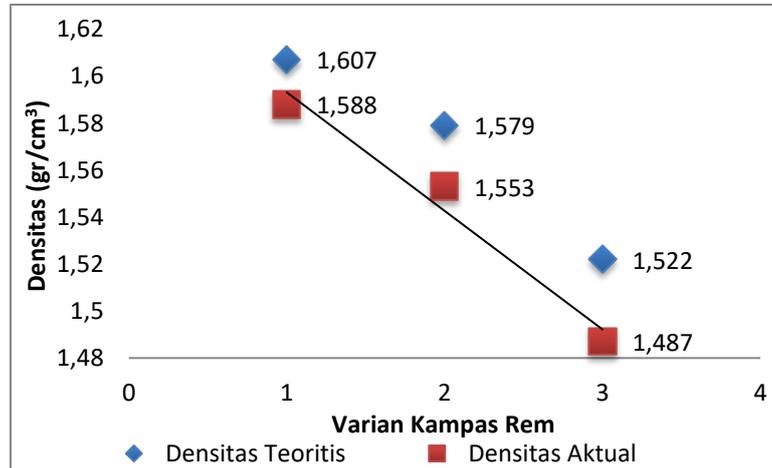
Tabel 4.3 Data Hasil Pengujian Densitas

Sampel	Densitas	Densitas	Rata-rata	Rata-rata	Standar
	Aktual (gr/cm ³)	Teoritis (gr/cm ³)	Densitas Aktual (gr/cm ³)	Densitas Teoritis (gr/cm ³)	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/cm³ pada varian ke 1 dengan menggunakan komposisi bahan *filler* 20% dan *reinforced* 5%, sedangkan nilai densitas teoritis terendahnya sebesar 1.522 gr/cm³ 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/cm³ dan nilai terendahnya pada varian V3B sebesar 1,484 gr/cm³

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/cm³, sementara nilai densitas teoritis terendah pada varian 3 sebesar 1,522 gram/cm³. Sementara itu nilai tertinggi densitas aktual didapatkan pada varian 1 dengan nilai rata-rata sebesar 1,588 gram/cm³ dan nilai terendah pada varian 3 dengan nilai rata-rata sebesar 1,487 gram/cm³

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

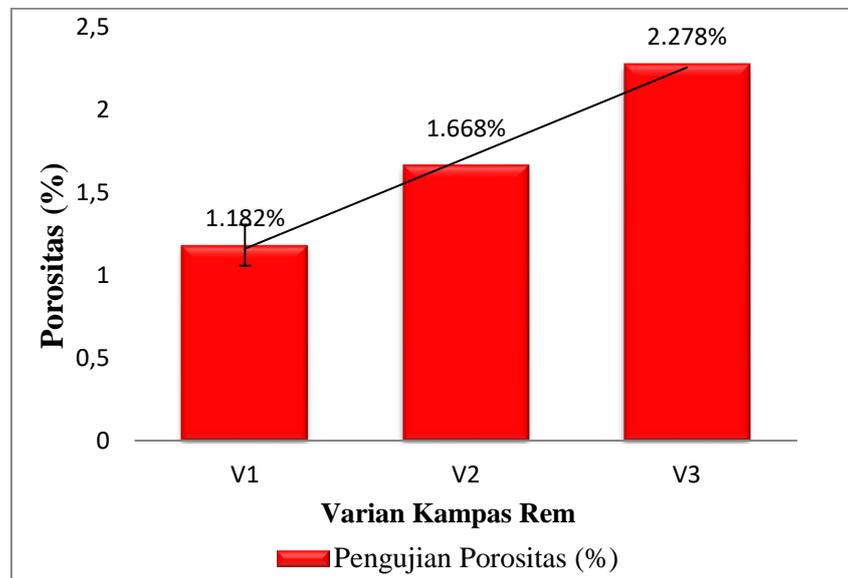
Pengujian porositas pada kampas rem mempunyai tujuan untuk menentukan kualitas keseluruhan material kampas rem. Tingkat porositas yang tinggi bisa menunjukkan adanya cacat atau kekurangan dalam proses manufaktur. Untuk melakukan pengujian porositas dapat menggunakan persamaan dengan membandingkan densitas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

Tabel 4.4 Data Hasil Pengujian Porositas

Sampel	Densitas (gr/cm ³)		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

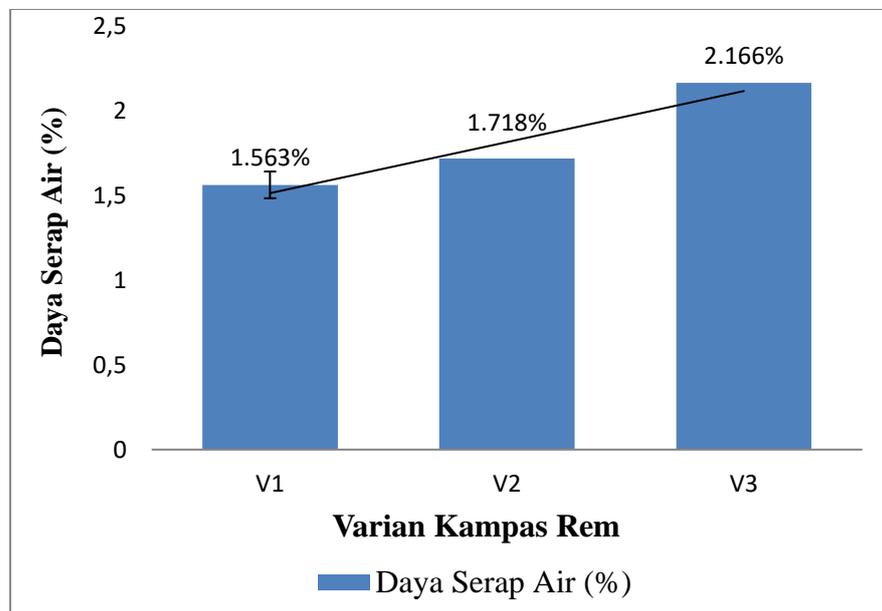
Sampel	Daya Serap Air			Rata - Rata (%)	Standar Deviasi DSA
	Massa Kering (gr)	Massa Basah (gr)	Hasil (%)		
V1A	14.27	14.48	1.472		
V1B	14.31	14.54	1.607	1.563	0.079
V1C	14.29	14.52	1.610		
V2A	13.98	14.24	1.860		
V2B	14	14.22	1.571	1.718	0.144
V2C	13.94	14.18	1.722		
V3A	13.39	13.66	2.016		
V3B	13.36	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 kampas rem masih sesuai dengan standar kampas rem SNI 09-9134-1987



Gambar 4.3 Grafik Pengujian Daya Serap Air

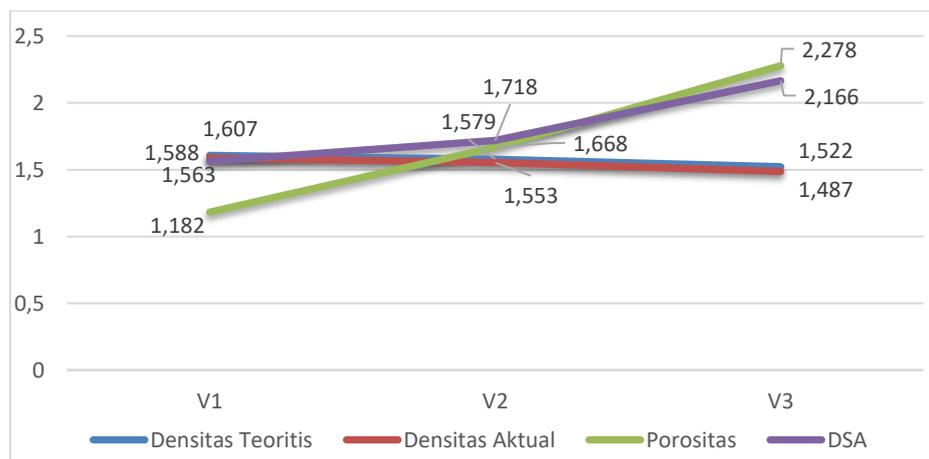
Pada gambar 4.3 terdapat diagram batang yang memperlihatkan hasil pengujian daya serap air pada berbagai varian kampas rem, dengan cangkang kelapa sawit sebagai *filler* dan serat bambu sebagai penguat dengan proporsi yang berbeda-beda. Pada diagram batang terlihat adanya peningkatan nilai daya serap air dari setiap varian kampas 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 kampas 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

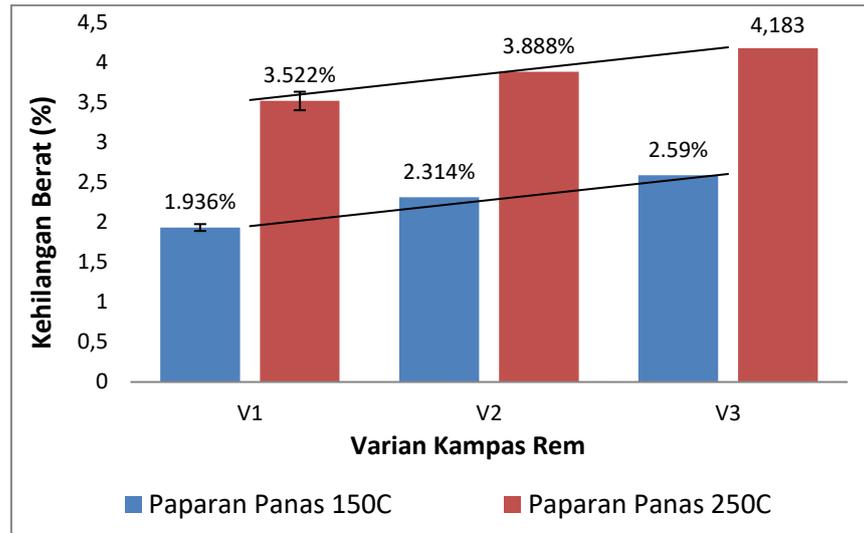
Tabel 4.7 Data Hasil Pengujian Paparan Panas 250°C

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

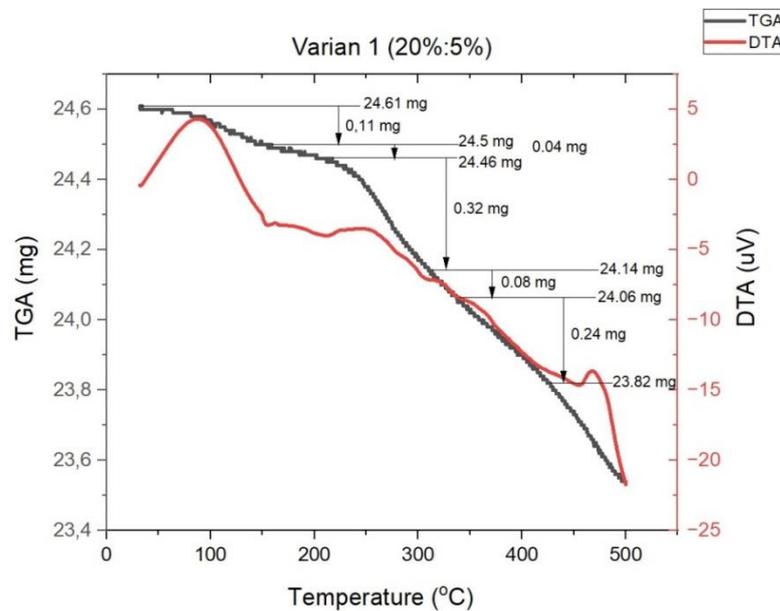
4.3.2 Hasil Pengujian TGA (*Thermogravimetric Analysis*)

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%



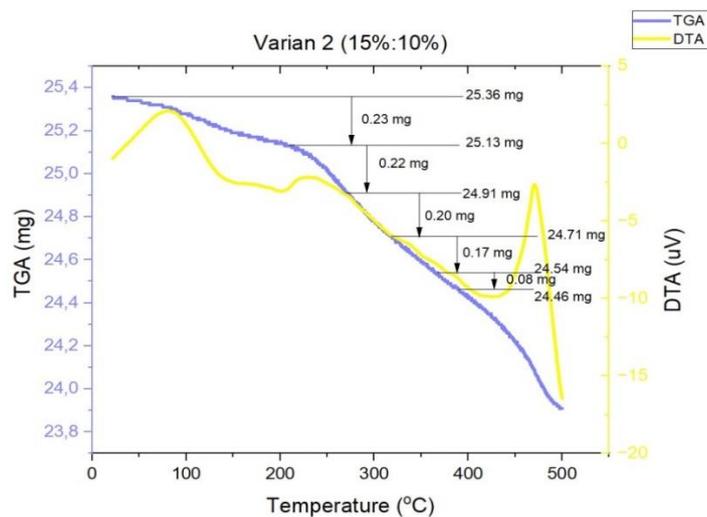
Gambar 4.6 Grafik Pengujian TGA (20%:5%)

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%



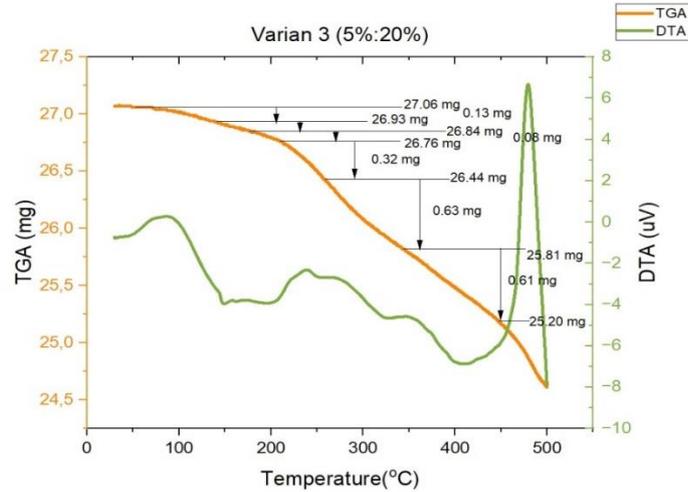
Gambar 4.7 Grafik Pengujian TGA (15%:10%)

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 mengkontrol 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%



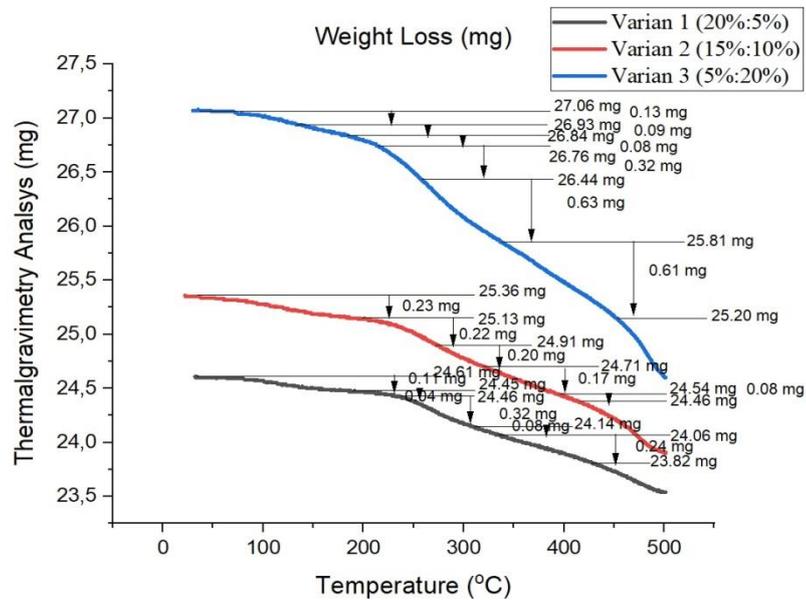
Gambar 4.8 Grafik Pengujian TGA (5%:20%)

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