

BAB IV

ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Pegujian Fisik

Komposisi komposit merujuk pada perincian berbagai bahan yang digabungkan untuk membentuk material komposit, ketika digabungkan, menghasilkan material dengan sifat yang lebih baik atau berbeda dari konstituen individunya. Variasi komposisi komposit pada tabel 4.1 untuk dilihat perbandingan dari tiap variasi. Dari ketiga variasi ini yang diambil yang terbaik.

Tabel 4.1 Variasi Komposisi Komposit

Bahan	Variasi 1 (V1)	Variasi 2 (V2)	Variasi 3 (V3)
Alumina Powder	10%	10%	10%
Graphite Powder	10%	10%	10%
ZnO	5%	5%	5%
Cangkang Sawit	20%	15%	5%
Serat Bambu	5%	10%	20%
Resin Epoksi	50%	50%	50%

Tabel 4.2 Data Massa Jenis Bahan

No	Bahan	Massa Jenis (g/cm^3)
1	Alumina Powder	5,61
2	Graphite Powder	0,641
3	ZnO	3,99
4	Cangkang Sawit	1,2
5	Serat Bambu	0,6
6	Resin Epoksi	1,17

Densitas atau massa jenis adalah ukuran massa suatu zat per satuan volume. Densitas menunjukkan berapa banyak massa yang terkandung dalam

ruang tertentu. Semakin tinggi densitas suatu benda, semakin banyak pula massa yang terkandung dalam setiap volumenya.

Pada pengujian data fisik setiap sampel dilakukan perhitungan massa sebelum dan sesudah direndam dengan air selama 24 jam. Nilai massa sebelum dan sesudah direndam digunakan untuk mencari nilai daya serap air. Setelah perendaman, sampel diangkat, dikeringkan permukaannya secara hati-hati untuk menghilangkan kelebihan air yang tidak terserap, dan kemudian ditimbang lagi untuk mendapatkan massa akhir atau massa basahnya. Perbedaan antara massa sebelum dan sesudah perendaman menunjukkan jumlah air yang diserap oleh material, yang dapat dihitung sebagai persentase dari massa awal. Nilai daya serap air ini pada umumnya nilai daya serap airnya rendah. Maka dari itu dilakukan pengujian daya serap air untuk mengetahui komposit kanvas rem yang dibuat sesuai dengan standar. Nilai massa didapat menggunakan timbangan digital. Pada tabel 4.3 dapat dilihat bahwa data massa setelah direndam mengalami pertambahan hal ini membuktikan bahwa terjadi serapan air pada sampel komposit.

Tabel 4.3 Massa Sebelum dan Sesudah direndam

Massa sebelum direndam (g)			
Variasi	V1	V2	V3
A	14,2	13,7	13,2
B	14,1	14	13,6
C	14,4	13,3	12,7
Rata – Rata	14,23	13,67	13,17
Massa Setelah direndam (g)			
Variasi	V1	V2	V3
A	14,4	14	13,5
B	14,2	14,2	13,94
C	14,6	13,48	13
Rata – Rata	14,40	13,89	13,48

Dari rumus 2.2 didapat nilai densitas teoritis untuk variasi komposisi 1, 2, dan 3 sebesar 1,607; 1,579; 1,522. Nilai densitas teoritis digunakan untuk

mencari nilai porositas. Untuk mencari nilai porositas juga membutuhkan nilai densitas aktual dari variasi komposisi 1,2, dan 3.

Tabel 4.4 Nilai Densitas Aktual dan Densitas Teoritis

Densitas Aktual (g/cm³)			
Variasi	V1	V2	V3
A	1.578	1.522	1.467
B	1.567	1.556	1.511
C	1.600	1.511	1.411
Rata - Rata	1.581	1.530	1.463
Standar Deviasi	0.014	0.019	0.041

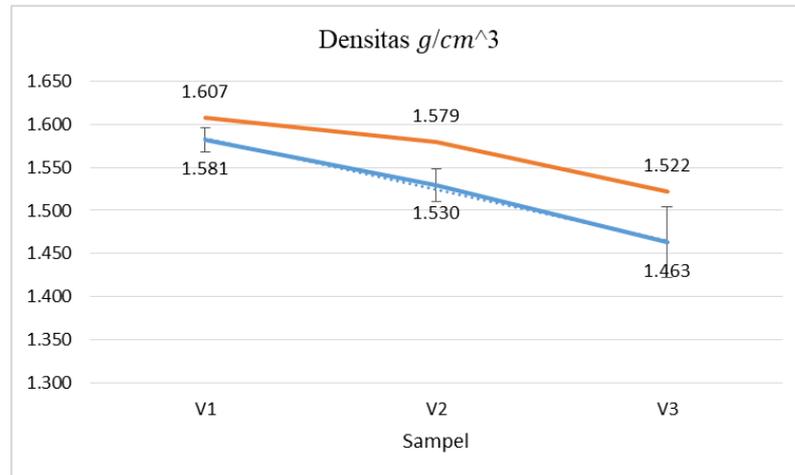
Densitas Teoritis (g/cm³)			
Variasi	V1	V2	V3
Variasi	1.607	1.579	1.522

Dari tabel 4.3 semakin kecil fraksi volume cangkang kelapa sawit, semakin kecil juga densitas komposit, mengindikasikan bahwa cangkang kelapa sawit memiliki densitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan matriks yang digunakan dalam komposit. Dalam komposit, densitas keseluruhan adalah hasil dari kombinasi densitas masing-masing komponen berdasarkan fraksi volumenya.

Jika penurunan fraksi volume cangkang kelapa sawit (yang memiliki densitas lebih tinggi) menyebabkan penurunan densitas komposit, maka matriks memiliki densitas yang lebih rendah. Oleh karena itu, ketika volume cangkang kelapa sawit berkurang, proporsi volume matriks yang lebih besar (dengan densitas lebih rendah) mendominasi komposit, sehingga menurunkan densitas keseluruhan. Kesimpulannya, data ini menegaskan bahwa cangkang kelapa sawit memberikan kontribusi signifikan terhadap densitas komposit, dan pengurangan fraksi volumenya mengarah pada dominasi matriks dengan densitas lebih rendah, yang menurunkan densitas komposit secara keseluruhan.

Pada gambar 4.1 nilai densitas teoritis lebih tinggi dibanding nilai densitas aktualnya, hal ini bisa terjadi karena pada densitas aktual terdapat variabel-variabel yang mempengaruhi nilai densitas aktual seperti human error

atau ada kesalahan pada saat pembuatan sampel. Tetapi karena selisihnya kurang dari 1 masih dapat ditoleransi. Dan untuk densitas aktual maupun teoritis nilainya semakin menurun berbanding lurus dengan pengurangan fraksi volume cangkang kelapa sawit.



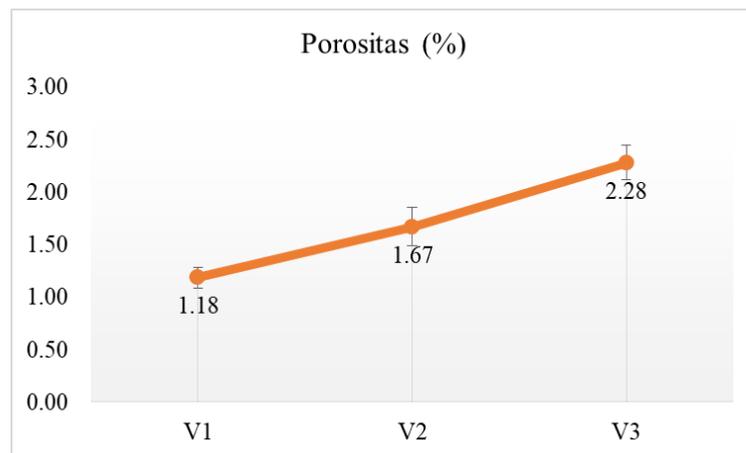
Gambar 4.1 Grafik Nilai Densitas Aktual dan Teoritis

Tabel 4.5 Nilai Porositas

Variasi	Porositas (%)		
	V1	V2	V3
A	1.31	1.65	2.23
B	1.06	1.46	2.50
C	1.18	1.90	2.10
Rata - Rata	1.18	1.67	2.28
Standar Deviasi	0.10	0.18	0.16

Analisis data porositas pada tabel 4.4 dan gambar 4.2 yang menunjukkan nilai-nilai 1.58%, 3.83%, dan 3.87% terhadap pengurangan fraksi volume cangkang kelapa sawit mengindikasikan bahwa penurunan fraksi volume cangkang kelapa sawit menyebabkan peningkatan porositas dalam material komposit. Pada porositas 1.58%, fraksi volume cangkang kelapa sawit masih cukup tinggi sehingga komposit memiliki struktur yang lebih padat dan sedikit ruang kosong. Namun, ketika fraksi volume cangkang kelapa sawit dikurangi, porositas meningkat menjadi 3.83% dan 3.87%. Peningkatan porositas ini menunjukkan bahwa ruang yang sebelumnya ditempati oleh cangkang kelapa sawit tidak sepenuhnya diisi oleh matriks, sehingga

menciptakan lebih banyak ruang kosong atau pori-pori dalam komposit. Peningkatan porositas ini dapat mengurangi kepadatan dan kekuatan material komposit, menjadikannya lebih rentan terhadap kerusakan mekanis. Pengurangan fraksi volume cangkang kelapa sawit secara langsung berkorelasi dengan peningkatan porositas, yang pada akhirnya mempengaruhi kualitas dan sifat mekanis material komposit.

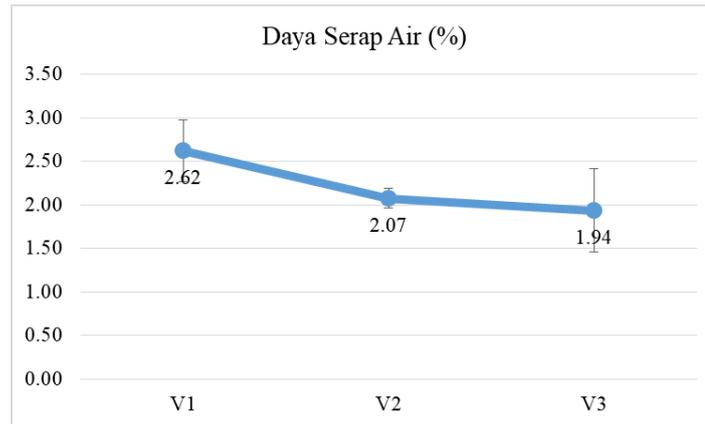


Gambar 4.2 Grafik Nilai Porositas

Adapun faktor faktor yang mempengaruhi nilai dari porositas distribusi partikel yang tidak merata dan agregasi cangkang kelapa sawit juga dapat menciptakan area dengan konsentrasi tinggi dan rendah, meningkatkan porositas. Teknik pencampuran dan kondisi proses seperti suhu, tekanan, dan kecepatan pencampuran juga mempengaruhi partikel cangkang dan matriks membentuk struktur. Ukuran dan bentuk partikel cangkang juga penting, karena partikel yang lebih besar atau bentuk yang tidak teratur dapat meningkatkan ruang kosong. Proses pengerasan dan penyusutan matriks selama pengeringan dapat menambah pori-pori dalam material.

Tabel 4.6 Nilai Daya Serap Air

Variasi	Daya Serap Air (%)		
	V1	V2	V3
A	2.96	2.19	1.97
B	2.13	1.92	2.50
C	2.78	2.11	1.34
Rata - Rata	2.62	2.07	1.94
Standar Deviasi	0.36	0.11	0.47



Gambar 4.3 Grafik Nilai Daya Serap Air

Pada Tabel 4.5 dan gambar 4.3 data daya serap air dengan nilai 1.169%, 1.986%, dan 2.378% terhadap nilai fraksi volume cangkang kelapa sawit yang semakin sedikit menunjukkan hubungan terbalik antara daya serap air dan fraksi volume. Ketika fraksi volume cangkang kelapa sawit dalam komposit berkurang, daya serap air justru meningkat. Hal ini bisa disebabkan oleh beberapa faktor. Dengan fraksi volume yang lebih rendah, penguat komposit (misalnya serat bambu) lebih dominan, dan material ini mungkin memiliki sifat daya serap air yang lebih tinggi dibandingkan dengan cangkang kelapa sawit. Pengurangan fraksi volume cangkang kelapa sawit bisa meningkatkan porositas komposit secara keseluruhan, menciptakan lebih banyak ruang kosong dalam material yang memungkinkan penyerapan air lebih banyak. Akibatnya, meskipun jumlah material penyerap (cangkang kelapa sawit) berkurang, peningkatan porositas menyebabkan peningkatan daya serap air, sebagaimana tercermin dalam nilai 1.986% dan 2.378% dibandingkan dengan 1.169%.

Daya serap air terhadap nilai fraksi volume penguat serat bambu yang semakin besar menunjukkan bahwa daya serap air meningkat seiring dengan peningkatan fraksi volume serat bambu. Ketika fraksi volume serat bambu dalam komposit meningkat, lebih banyak serat bambu tersedia dalam material yang dapat menyerap air. Serat bambu, sebagai material alami, memiliki sifat higroskopis yang memungkinkan penyerapan air lebih besar dibandingkan dengan matriks polimer. Oleh karena itu, peningkatan fraksi volume serat

bambu akan meningkatkan area permukaan yang tersedia untuk menyerap air, yang pada gilirannya meningkatkan daya serap air komposit secara keseluruhan.

Data menunjukkan bahwa pada nilai fraksi volume serat bambu yang lebih tinggi, daya serap air komposit meningkat dari 1.169% ke 1.986% dan akhirnya ke 2.378%. Ini menunjukkan hubungan langsung antara peningkatan fraksi volume serat bambu dan peningkatan daya serap air. Artinya, semakin besar proporsi serat bambu dalam komposit, semakin tinggi kemampuan material untuk menyerap air, yang kemungkinan besar disebabkan oleh sifat alami serat bambu yang cenderung menyerap dan menahan air.

4.2 Pengujian Kelenturan

Pengujian kelenturan adalah metode yang digunakan untuk menilai kemampuan suatu material menahan deformasi atau lenturan tanpa mengalami kerusakan. Dalam pengujian ini, sampel material disiapkan dalam bentuk batang dengan panjang 80 mm x 10 mm x 6 mm ditempatkan di atas dua tumpuan dalam mesin uji kelenturan. Beban kemudian diterapkan di tengah sampel melalui penekan atau lengan mekanis, seperti pada uji lentur tiga titik. Selama pengujian, beban yang diterapkan dan defleksi atau perubahan bentuk sampel diukur untuk menghitung sifat mekanik seperti modulus elastisitas, tegangan lentur, dan titik patah material. Pengujian dilakukan sebanyak 3 kali pengulangan untuk mengurangi pengaruh kesalahan acak yang mungkin terjadi selama pengukuran atau penanganan sampel.



Gambar 4.4 Uji Kelenturan 3 Point Bending

Tabel 4.7 Data Sampel Variasi 1

Legend	Force	E_H	s_{fM}	e_B	s_{fB}	e_f
	N	GPa	MPa	%	MPa	%
V1P1	81.505	2.058	15.541	0.875	14.296	0.875
V1P2	95.171	2.431	19.601	0.801	19.584	0.801
V1P3	85.393	2.541	18.583	0.763	11.771	0.763
Rata – Rata	87.356	2.343	17.908	0.813	15.217	0.813

Tabel 4.8 Data Sampel Variasi 2

Legend	Force	E_H	s_{fM}	e_B	s_{fB}	e_f
	N	GPa	MPa	%	MPa	%
V2P1	103.699	3.064	23.306	0.938	22.725	0.938
V2P2	88.294	2.694	19.175	0.989	18.660	0.989
V2P3	86.082	2.696	18.789	0.930	16.151	0.930
Rata – Rata	92.691	2.818	20.423	0.952	19.179	0.952

Tabel 4.9 Data Sampel Variasi 3

Legend	Force	E_H	s_{fM}	e_B	s_{fB}	e_f
	N	GPa	MPa	%	MPa	%
V3P1	113.692	3.148	32.737	1.575	24.243	1.575
V3P2	99.275	3.407	27.322	1.109	23.997	1.109
V3P3	106.273	3.147	28.128	1.273	24.294	1.273
Rata – Rata	106.413	3.234	29.396	1.319	24.178	1.319

Tabel 4.10 Data Nilai Rata-Rata dari Tiap Sampel

Variation	Force	E_H	s_{fM}	e_B	s_{fB}	e_f
	N	GPa	MPa	%	MPa	%
V1 (20%)	87.356	2343.093	17.908	0.813	15.217	0.813
V2 (15%)	92.691	2817.852	20.423	0.952	19.179	0.952
V3 (5%)	106.413	3234.118	29.396	1.319	24.178	1.319

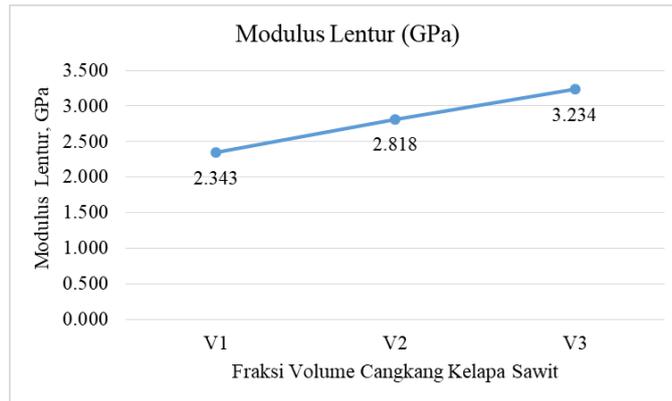
Pengujian mekanik dilakukan sebanyak tiga kali untuk memastikan keakuratan dan keandalan hasil yang diperoleh. Ulangan pengujian ini membantu mengurangi variabilitas data yang mungkin timbul akibat faktor-

faktor yang tidak dapat sepenuhnya dikendalikan, seperti ketidakseragaman material, kondisi lingkungan, dan potensi kesalahan alat uji. Dengan melakukan pengujian tiga kali, hasil yang diperoleh dapat dibandingkan dan diverifikasi, memungkinkan identifikasi anomali atau hasil yang tidak konsisten. Selain itu, rata-rata dari tiga pengujian memberikan gambaran yang lebih representatif tentang sifat mekanik material, meningkatkan validitas data dan kesimpulan yang diambil. Pendekatan ini juga membantu memastikan bahwa hasil pengujian tidak dipengaruhi oleh kesalahan tunggal atau kebetulan, sehingga memberikan hasil yang lebih andal dan akurat.

Faktor yang mempengaruhi adanya perbedaan data pada pengujian besar gaya kelenturan di atas dapat disebabkan oleh beberapa hal. Faktor teknik dan metode persiapan sampel juga memainkan peran penting, variasi kecil dalam pemotongan, penanganan, atau pemasangan sampel bisa menyebabkan perbedaan dalam data. Ketidaktersempurnaan permukaan sampel, seperti goresan atau retak mikro yang tidak terlihat, juga dapat mempengaruhi hasil pengujian dengan memperlemah material di area tertentu. Variabilitas mikrostruktur material merupakan salah satu faktor penting, di mana perbedaan dalam orientasi serat, kekosongan internal, atau inklusi dapat menyebabkan perbedaan dalam respons terhadap beban.

4.2.1 Perbandingan Modulus Kelenturan dengan Fraksi Volume

Grafik pada gambar 4.5 menunjukkan hubungan antara fraksi volume cangkang kelapa sawit dengan modulus lentur (EH) dalam satuan GPa. Data menunjukkan bahwa seiring dengan penurunan fraksi volume cangkang kelapa sawit, modulus lentur meningkat. Pada fraksi volume 20% (V1), modulus lentur tercatat sebesar 2,343 GPa. Ketika fraksi volume diturunkan menjadi 15% (V2), modulus lentur meningkat menjadi 2,818 GPa. Penurunan lebih lanjut fraksi volume cangkang kelapa sawit menjadi 5% (V3) menghasilkan peningkatan modulus lentur menjadi 3,234 GPa. Dari data ini, dapat disimpulkan bahwa penurunan fraksi volume cangkang kelapa sawit berkorelasi dengan peningkatan modulus lentur material.



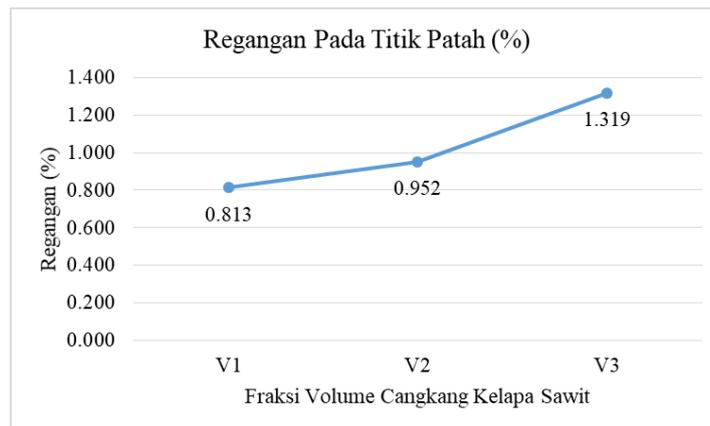
Gambar 4.5 Grafik modulus lentur Terhadap Fraksi Volume

Penurunan fraksi volume cangkang kelapa sawit yang meningkatkan nilai modulus lentur dapat dijelaskan oleh beberapa faktor. Dengan fraksi volume yang lebih rendah, partikel cangkang kelapa sawit cenderung terdistribusi lebih merata dalam matriks komposit, mengurangi konsentrasi tegangan dan cacat yang dapat menurunkan kekuatan lentur. Pada fraksi volume yang tinggi, partikel cangkang kelapa sawit lebih cenderung mengalami aglomerasi atau penggumpalan, yang menciptakan titik lemah dalam material komposit dan mengurangi kekuatan lentur. Pada fraksi volume yang lebih rendah, risiko aglomerasi berkurang, sehingga meningkatkan modulus lentur. Selain itu, dengan jumlah partikel yang lebih sedikit, matriks komposit dapat memberikan dukungan struktural yang lebih baik, meningkatkan kemampuan material untuk menahan beban dan meningkatkan modulus lentur secara keseluruhan. Kombinasi faktor-faktor ini menjelaskan mengapa penurunan fraksi volume cangkang kelapa sawit berkorelasi dengan peningkatan nilai modulus lentur.

4.2.2 Perbandingan Regangan Pada Titik Patah dengan Fraksi Volume

Regangan pada gambar 4.6 titik patah terhadap fraksi volume cangkang kelapa sawit. Dengan fraksi volume cangkang kelapa sawit sebesar 20%, regangan pada titik patah tercatat sebesar 0.813%. Ketika fraksi volume cangkang kelapa sawit berkurang menjadi 15%, regangan meningkat menjadi 0.92%. Lebih lanjut, saat fraksi volume cangkang

kelapa sawit mencapai 5%, regangan pada titik patah mencapai nilai tertinggi yaitu 1.319%. Dari data ini dapat disimpulkan bahwa semakin kecil fraksi volume cangkang kelapa sawit, semakin tinggi regangan yang terjadi pada titik patah. Hal ini menunjukkan bahwa penurunan fraksi volume cangkang kelapa sawit dalam material tersebut berkontribusi terhadap peningkatan kemampuan material untuk menahan deformasi sebelum patah.



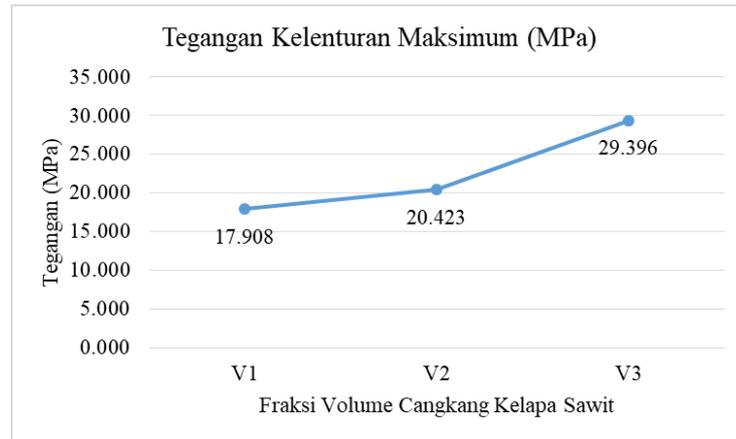
Gambar 4.6 Grafik Regangan Terhadap Fraksi Volume

Peningkatan nilai regangan pada titik patah seiring dengan penurunan fraksi volume cangkang kelapa sawit dalam material dapat dijelaskan oleh beberapa faktor. Pengurangan fraksi volume cangkang kelapa sawit menyebabkan penurunan kekakuan material komposit. Cangkang kelapa sawit, yang memiliki kekakuan dan kekuatan tinggi, bertindak sebagai penguat dalam material komposit. Ketika fraksi volume cangkang berkurang, material menjadi lebih lentur dan mampu menahan deformasi yang lebih besar sebelum patah. Selain itu, dengan jumlah cangkang kelapa sawit yang lebih sedikit, distribusi tegangan dalam material menjadi lebih merata, memungkinkan material untuk menahan regangan lebih tinggi sebelum mencapai titik patah. Kombinasi dari penurunan kekakuan dan distribusi tegangan yang lebih baik berkontribusi terhadap peningkatan nilai regangan pada titik patah saat fraksi volume cangkang kelapa sawit berkurang.

4.2.3 Perbandingan Tegangan Lentur Maksimum dengan Fraksi Volume

Berdasarkan grafik pada gambar 4.7 yang menunjukkan hubungan antara tegangan kelenturan maksimum dan fraksi volume cangkang kelapa sawit, terlihat bahwa tegangan kelenturan maksimum meningkat seiring dengan penurunan fraksi volume cangkang kelapa sawit. Pada fraksi volume 20%, tegangan kelenturan maksimum tercatat sebesar 17,908 MPa. Ketika fraksi volume berkurang menjadi 15%, tegangan kelenturan maksimum naik menjadi 20,423 MPa. Lebih lanjut, pada fraksi volume 5%, tegangan kelenturan maksimum mencapai nilai tertinggi sebesar 29,396 MPa. Data ini menunjukkan bahwa dengan semakin sedikitnya cangkang kelapa sawit dalam material komposit, kemampuan material untuk menahan tegangan kelenturan meningkat secara signifikan. Hal ini mungkin disebabkan oleh peningkatan homogenitas dan distribusi tegangan yang lebih merata dalam material ketika fraksi volume cangkang kelapa sawit berkurang, sehingga material dapat menahan beban lebih besar sebelum mengalami kelenturan.

Peningkatan nilai tegangan kelenturan seiring dengan penurunan fraksi volume cangkang kelapa sawit dalam material komposit terjadi oleh beberapa faktor. Material komposit dengan fraksi volume cangkang kelapa sawit yang lebih kecil menjadi lebih homogen, yang berarti distribusi tegangan dalam material lebih merata dan tidak terkonsentrasi pada titik-titik tertentu. Hal ini mengurangi kemungkinan terjadinya titik lemah yang dapat menyebabkan kegagalan material. Selain itu, dengan berkurangnya fraksi volume cangkang kelapa sawit, ketidakteraturan dalam struktur material juga berkurang, membuat material lebih kuat dan mampu menahan tegangan yang lebih besar sebelum mengalami kelenturan. Interaksi antara matriks (material dasar) dan filler (cangkang kelapa sawit) juga lebih optimal pada fraksi volume yang lebih rendah, meningkatkan sifat mekanik keseluruhan material. Dengan demikian, material komposit dengan fraksi volume cangkang kelapa sawit yang lebih rendah menunjukkan peningkatan kemampuan untuk menahan tegangan kelenturan maksimum.



Gambar 4.7 Grafik Tegangan Lentur Maks Terhadap Fraksi Volume

4.2.4 Perbandingan Tegangan Pada Titik Patah dengan Fraksi Volume

Berdasarkan gambar 4.8 grafik yang menunjukkan hubungan antara tegangan lentur pada titik patah dan fraksi volume cangkang kelapa sawit, terlihat bahwa tegangan lentur pada titik patah meningkat seiring dengan penurunan fraksi volume cangkang kelapa sawit. Pada fraksi volume 20%, tegangan lentur pada titik patah tercatat sebesar 15,217 MPa. Ketika fraksi volume berkurang menjadi 15%, tegangan lentur pada titik patah naik menjadi 19,179 MPa. Lebih lanjut, pada fraksi volume 5%, tegangan lentur pada titik patah mencapai nilai tertinggi sebesar 24,178 MPa. Data ini menunjukkan bahwa dengan semakin sedikitnya cangkang kelapa sawit dalam material komposit, kemampuan material untuk menahan tegangan lentur pada titik patah meningkat secara signifikan.

Peningkatan nilai tegangan lentur pada titik patah seiring dengan penurunan fraksi volume cangkang kelapa sawit dalam material komposit dapat dijelaskan oleh beberapa faktor kunci. Pengurangan fraksi volume cangkang kelapa sawit juga mengurangi jumlah titik lemah struktural yang dapat terbentuk akibat ketidakaturan ukuran dan bentuk cangkang, sehingga material menjadi lebih kuat. Lebih lanjut, material komposit dengan fraksi volume cangkang kelapa sawit yang lebih rendah mungkin menunjukkan peningkatan duktilitas, atau kemampuan untuk mengalami deformasi plastis sebelum patah, yang

memungkinkan material untuk menyerap lebih banyak energi sebelum patah. Kombinasi dari faktor-faktor ini berkontribusi terhadap peningkatan signifikan dalam tegangan lentur pada titik patah saat fraksi volume cangkang kelapa sawit berkurang.



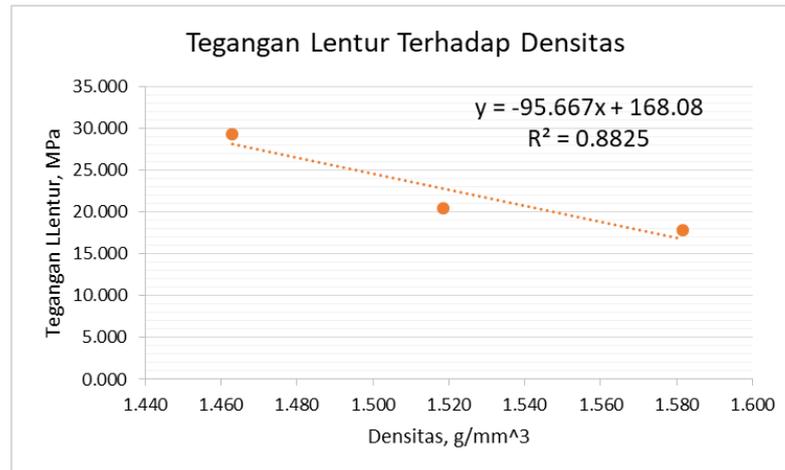
Gambar 4.8 Grafik Tegangan Lentur pada Titik Patah Terhadap Fraksi Volume

4.3 Hubungan Nilai Densitas Terhadap Nilai Kekuatan Lentur dan Nilai Kekerasan

Dari data pada grafik 4.9, terlihat bahwa terdapat hubungan negatif antara nilai densitas dan kekuatan lentur. Dengan penurunan densitas dari 1.581 g/cm³ ke 1.519 g/cm³, dan kemudian ke 1.463 g/cm³, Nilai Kelenturan didapat sebesar 17.908 MPa, 20.423 MPa, dan 29.396 MPa.. Hal ini menunjukkan bahwa material dengan densitas yang lebih rendah cenderung memiliki kekuatan lentur yang lebih tinggi. Dimana material dengan densitas lebih rendah mungkin mengandung komponen yang lebih ringan namun lebih kuat dalam hal kekuatan lentur dalam hal ini yaitu bambu. Bambu memiliki sifat mekanik yang baik, termasuk kekuatan lentur yang tinggi, sehingga peningkatan fraksi volume bambu akan meningkatkan kekuatan lentur keseluruhan material.

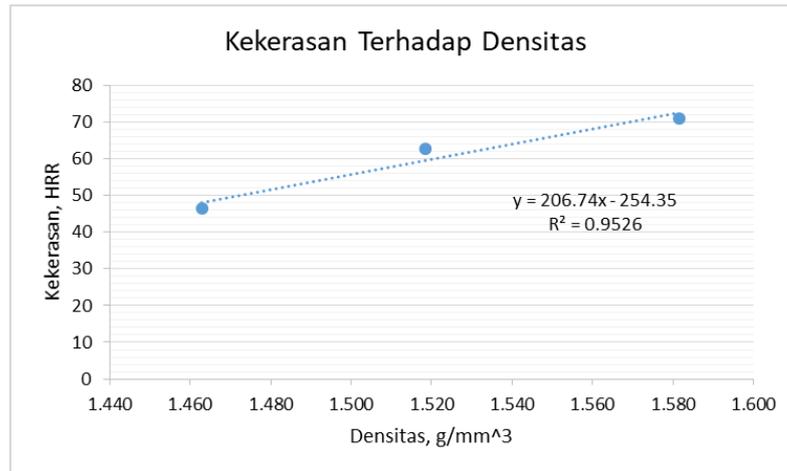
Dengan bertambahnya fraksi volume bambu, meskipun densitas material komposit menurun karena bambu memiliki densitas yang lebih rendah dibandingkan dengan filler material, kekuatan lentur meningkat secara

signifikan. Selain itu, struktur mikro yang berbeda, seperti distribusi penguat yang lebih baik, juga dapat berkontribusi terhadap peningkatan kekuatan lentur. Distribusi beban yang lebih merata atau mekanisme penguatan yang lebih efektif pada material dengan densitas rendah bisa menjadi faktor tambahan yang meningkatkan kekuatan lentur.



Gambar 4.9 Grafik Hubungan Kekuatan Lentur dan Densitas

Pada grafik 4.10 dapat dilihat bahwa nilai kekerasan berbanding lurus dengan penurunan densitas jika pada kelenturan dipengaruhi oleh bambu sebagai penguat. Sedangkan kekerasan dipengaruhi oleh filler cangkang kelapa sawit semakin besar fraksi volumenya maka nilai kekerasannya semakin besar. Ini mendukung hipotesis bahwa filler cangkang kelapa sawit dapat memperkuat material komposit, meskipun efeknya terhadap densitas tidak sebesar efeknya terhadap kekerasan. Cangkang kelapa sawit berpengaruh terhadap kekerasan material komposit karena komposisi yang secara alami keras dan kaku, terdiri dari lignin dan selulosa. Lignin adalah komponen struktural yang memberikan kekuatan dan kekakuan pada dinding sel tanaman, sehingga ketika digunakan sebagai filler dalam material komposit, ia membantu meningkatkan kekerasan material tersebut.



Gambar 4.10 Grafik Hubungan Kekerasan dan Densitas

4.4 Pengujian Kekerasan

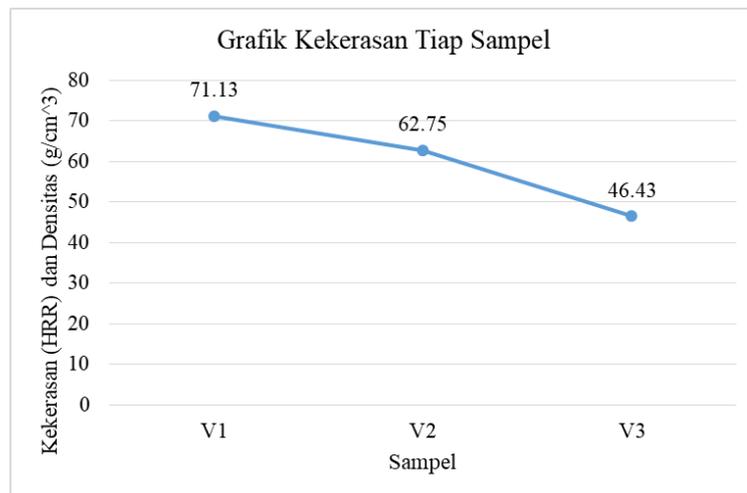
Pengujian kekerasan dengan metode *Hardness Rockwell R scale* merupakan teknik yang digunakan untuk menentukan kekerasan material dengan cepat dan akurat, terutama untuk material yang lebih lunak. Proses ini dimulai dengan persiapan sampel, di mana permukaan material harus dipastikan bersih, halus, dan bebas dari kontaminan untuk menghasilkan hasil yang konsisten. Selanjutnya, mesin uji Rockwell diatur pada skala R, yang menggunakan indentor bola baja berdiameter 1/2 inci dan beban total sebesar 60 kgf. Proses pengujian dimulai dengan menekan indentor ke permukaan material menggunakan beban minor (biasanya 10 kgf) untuk menghilangkan ketidakrataan permukaan dan memastikan kontak yang baik. Setelah itu, beban utama ditambahkan hingga mencapai beban total 60 kgf, dan indentor ditahan selama beberapa detik untuk memungkinkan deformasi material. Nilai kekerasan kemudian dibaca dari skala Rockwell pada mesin uji, yang menunjukkan kedalaman indentasi yang dibuat oleh indentor. Pengujian ini sering dilakukan beberapa kali pada sampel yang sama untuk mendapatkan nilai rata-rata, memastikan akurasi dan keandalan hasil.

Dari grafik pada gambar 4.11, dapat dilihat bahwa nilai kekerasan menurun seiring dengan penurunan fraksi volume. Pada fraksi volume 20%, nilai kekerasan mencapai 71,13 HRR, yang kemudian menurun menjadi 62,75 HRR pada fraksi volume 15%, dan semakin menurun menjadi 46,43 HRR pada

fraksi volume 5%. Hal ini menunjukkan adanya korelasi negatif antara fraksi volume dan nilai kekerasan, dimana semakin rendah fraksi volume, maka semakin rendah pula nilai kekerasan yang dihasilkan.



Gambar 4.11 Pengujian Kekerasan



Gambar 4.12 Pengujian Kekerasan

Penurunan nilai kekerasan (HRR) seiring dengan penurunan fraksi volume dapat dijelaskan oleh beberapa faktor yang berkaitan dengan struktur mikro dan sifat material. Fraksi volume yang lebih tinggi biasanya mengandung lebih banyak komponen keras yang meningkatkan kekerasan material. Ketika fraksi volume menurun, jumlah komponen keras berkurang, sehingga nilai kekerasan juga menurun. Penurunan fraksi volume dapat menyebabkan perubahan dalam struktur mikro material, seperti peningkatan jumlah pori atau defek, yang mengurangi kekerasan. Fraksi volume sering kali terkait dengan komposisi material; jika fraksi volume yang menurun berarti

pengurangan komponen keras, kekerasan material akan berkurang. Selain itu, distribusi beban dalam material komposit dapat menjadi tidak merata dengan fraksi volume yang lebih rendah, sehingga mengurangi kekerasan. Interaksi antara komponen dalam material juga berkontribusi terhadap kekerasan, dan dengan fraksi volume yang lebih rendah, interaksi ini berkurang. Secara keseluruhan, penurunan fraksi volume mengurangi kontribusi komponen keras dalam material, yang menyebabkan penurunan nilai kekerasan.

4.5 Perbandingan Nilai Kelenturan dengan Penelitian yang Sudah Ada

Membandingkan hasil nilai kelenturan dengan penelitian yang sudah ada dilakukan untuk memastikan bahwa metode dan hasil konsisten dengan penelitian yang telah diakui. Ini membantu memastikan keakuratan dan validitas hasil penelitian. Perbandingan ini membantu mengidentifikasi di mana hasil penelitian lebih baik atau lebih buruk.

Tabel 4.11 Nilai Kelenturan Pada Penelitian yang Sudah Ada

No	Nama Peneliti	Fraksi Volume	Hasil Uji Lentur
1	Arianto, 2022	45 % <i>fly ash</i> + 5 % serbuk besi + 50 % <i>epoxy</i> .	27,86 MPa
2	Prasetyo, 2015	3 : 2 antara Abu B3 + Resin <i>Epoxy</i>	15,85 MPa
3	Adrian, 2019	serat TKKS sebesar 20%, <i>resin phenol</i> 30%, alumina 25%, <i>iron powder</i> 15% dan magnesium oksida 10%.	33,011 MPa

Dari ketiga penelitian yang sudah dilakukan pada tabel 4.11 nilai kelenturan yang didapat memiliki *range* antara 15 MPa – 37 MPa. Jika dibandingkan dengan data nilai kelenturan yang didapat oleh peneliti, *range* nilainya 17 MPa – 30 MPa pada 3 perbandingan fraksi volume filler cangkang kelapa sawit 20% didapat sebesar 17,908 MPa, pada 15% didapat 20,423 MPa, dan pada 5% yaitu sebesar 29,396 MPa. Hasil penelitian ini menunjukkan

bahwa nilai kelenturan yang didapatkan berada dalam rentang yang sejalan dengan penelitian sebelumnya, namun dengan beberapa perbedaan dalam detailnya. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa nilai kelenturan berkisar antara 15 MPa hingga 37 MPa. Penelitian saat ini menghasilkan nilai kelenturan yang berkisar antara 17 MPa hingga 30 MPa, yang masih berada dalam rentang tersebut, namun lebih sempit.

4.6 Perbandingan Nilai Kekerasan dengan Penelitian yang Sudah Ada

Perbandingan ini memungkinkan untuk menentukan posisi material atau metode pengolahan terhadap yang sudah ada. Peneliti bisa mengetahui apakah material yang dibuat lebih keras, lebih lembut, atau memiliki sifat mekanis yang sebanding dengan material penelitian yang sudah ada. Perbandingan nilai kekerasan dilakukan untuk mengevaluasi dan membandingkan nilai kekerasan yang didapat peneliti dengan nilai kekerasan pada penelitian yang sudah ada. Kekerasan adalah ukuran resistensi suatu material terhadap deformasi permanen, dan ini bisa diukur menggunakan berbagai metode dan skala. Pada penelitian ini digunakan metode *Hardness Rockwell R Scale*.

Tabel 4.12 Nilai Kekerasan Pada Penelitian yang Sudah Ada

No	Nama Peneliti	Fraksi Volume	Hasil Uji Kekerasan
1	Fara, 2022	Serat kulit pinang divariasi dari 2% sampai dengan 14% dengan penambahan setiap 3%.	37-77 HRB
2	Prasetyo, 2019	7 : 3 antara abu dengan resin epoxy	112,14 HV
3	Multazam, 2012	Honda Genuin Parts	95,8 HRF
		Aspira	64 HRF
		Komachi	52,2 HRF

Pengujian kekerasan yang dilakukan peneliti perbandingan nilai rata-rata kekerasan material komposit dengan tiga variasi fraksi volume filler yang berbeda, V1 (20%), V2 (15%), dan V3 (5%). Nilai rata-rata kekerasan untuk variasi V1 (20%) adalah 71,13 HRR, yang merupakan nilai tertinggi di antara ketiga variasi. Untuk variasi V2 (15%), nilai rata-rata kekerasan turun menjadi 62,75 HRR. Sedangkan untuk variasi V3 (5%), nilai rata-rata kekerasan lebih rendah lagi, yaitu 46,43 HRR. Dari data tersebut jika dibandingkan dengan nilai kekerasan kampas rem komersil pada tabel 4.12, hanya sampel V1 dan sampel V2 yang memenuhi karena range nilai kekeras kampas rem komersil sebesar 52 HRF-96 HRF