

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Deskripsi Spesimen Uji

Pada penelitian ini, spesimen komposit dibuat dengan memanfaatkan resin epoksi sebagai matriks dan serbuk cangkang kerang hijau sebagai filler. Variasi komposisi campuran yang digunakan bertujuan untuk mengetahui pengaruh fraksi massa filler terhadap sifat mekanik material, khususnya kekerasan dan kekuatan kerekatan. Adapun variasi komposisi yang digunakan yaitu 10:45:45, 20:40:40, 30:35:35, 40:30:30, 50:25:25. (filler : epoksi : hardener), Resin epoksi dan hardener dicampurkan dengan perbandingan 1:1 sesuai rekomendasi pabrikan (Mr. Lux) untuk memastikan proses curing berlangsung secara optimal dan menghasilkan sifat mekanik material yang baik.

4.1.1 Pembuatan Spesimen Uji Kekerasan

Proses pembuatan spesimen diawali dengan penimbangan bahan sesuai komposisi presentase yang telah ditentukan. Resin epoksi dan filler serbuk cangkang kerang hijau kemudian dicampurkan secara manual hingga diperoleh campuran yang homogen. Untuk memperoleh distribusi filler yang seragam, proses pencampuran dilakukan secara bertahap dengan menambahkan serbuk cangkang kerang hijau sedikit demi sedikit ke dalam campuran resin epoksi dan hardener sambil dilakukan pengadukan secara kontinu hingga campuran tampak homogen secara visual. Penambahan filler secara bertahap bertujuan untuk mengurangi terbentuknya aglomerasi (penggumpalan) partikel sehingga filler dapat terdistribusi lebih merata di dalam matriks epoksi sebelum proses pencetakan spesimen.

Setelah proses pencampuran, material dituangkan ke dalam cetakan yang telah dipersiapkan sebelumnya. Selanjutnya spesimen dibiarkan pada suhu ruang 26–30°C selama waktu tertentu hingga mengalami proses curing dan mencapai kondisi mengeras sempurna.

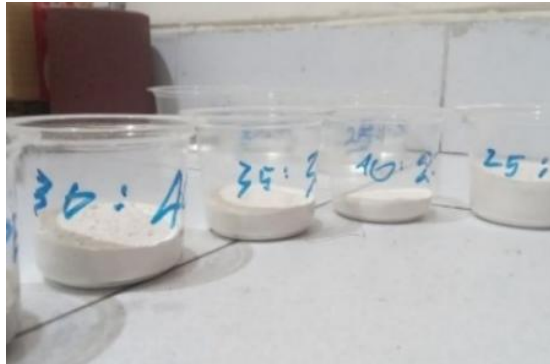


Gambar 4.1 Epoxy dan Hardener
(Sumber: Dokumen Pribadi, 2026)

Setelah proses pengerasan selesai, spesimen dilepas dari cetakan dan dilakukan pemeriksaan visual untuk memastikan tidak terdapat cacat seperti retak, gelembung udara berlebih, atau ketidakhomogenan distribusi filler. Spesimen yang telah memenuhi kriteria kemudian digunakan untuk pengujian kekerasan dan kerekatan sesuai standar yang telah ditetapkan.

4.1.2 Pembuatan Spesimen Uji Geser

Proses pembuatan spesimen diawali dengan substrat yang digunakan berupa kayu utuh dengan dimensi panjang 100 mm, lebar 20 mm, dan tebal 10 mm dengan area rekat antar kayu atau *overlap* sebesar 20mm x 20mm (400 mm²). Permukaan kayu terlebih dahulu diampelas menggunakan kertas amplas ukuran 120–240 untuk meningkatkan kekasaran permukaan dan menghilangkan kotoran yang dapat mengganggu daya lekat material. Setelah proses pengamplasan, permukaan kayu dibersihkan dari debu dan kotoran menggunakan kain kering.



Gambar 4.2 Filler Serbuk Cangkang Kerang Hijau (Sumber: Dokumen Pribadi, 2026)



Gambar 4.3 Proses Curing Spesimen Uji (Sumber: Dokumen Pribadi, 2026)

Material dempul dibuat dari campuran resin epoxy dan hardener dengan perbandingan 1:1 sesuai dengan anjuran dari pabrikan, kemudian ditambahkan serbuk cangkang kerang hijau sesuai variasi komposisi yang telah ditentukan. Campuran diaduk secara homogen hingga seluruh material tercampur merata. Selanjutnya, dempul diaplikasikan pada area sambungan (*overlap area*) di antara dua potongan kayu dengan ketebalan lapisan sekitar 2–5 mm.




Dua potongan kayu kemudian disatukan membentuk sambungan geser (single lap joint) dan diberikan tekanan ringan menggunakan penjepit untuk menjaga posisi sambungan tetap sejajar serta menghasilkan ketebalan lapisan yang seragam. Spesimen selanjutnya didiamkan selama 24–48 jam pada suhu ruang 26–30°C hingga proses curing material selesai sempurna.

4.2 Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan menggunakan metode Shore D sesuai standar ASTM D2240. Pengujian dilakukan pada 3 titik yang berbeda pada setiap spesimen untuk mendapatkan nilai yang representatif. Hasil pengukuran kemudian dirata-ratakan untuk masing-masing variasi komposisi

4.2.1 Pengujian Kekerasan Spesimen




1. Hasil Pengujian Spesimen Komposisi 10:45:45

Percobaan 1	Percobaan 2	Percobaan 3
		

Tabel 4.1 Hasil Pengujian Komposisi 10:45:45 (Sumber: Penulis, 2026)

Dari hasil pengujian spesimen dengan komposisi (Filler:Epoxy:Hardener) 10:45:45 dengan 3 percobaan mendapatkan hasil 70 HD, 75,5 HD, 72 HD

2. Hasil Pengujian Spesimen Komposisi 20:40:40

Percobaan 1	Percobaan 2	Percobaan 3
		

Tabel 4.2 Hasil Pengujian Komposisi 20:40:40 (Sumber: Penulis, 2026)

Dari hasil pengujian spesimen dengan komposisi (Filler:Epoxy:Hardener) 20:40:40 dengan 3 percobaan mendapatkan hasil 78,5 HD, 76,5 HD, 78,5 HD




3. Hasil Pengujian Spesimen Komposisi 30:35:35

Percobaan 1	Percobaan 2	Percobaan 3
		

Tabel 4.3 Hasil Pengujian Komposisi 30:45:45 (Sumber: Penulis, 2026)

Dari hasil pengujian spesimen dengan komposisi (Filler:Epoxy:Hardener) 30:35:35 dengan 3 percobaan mendapatkan hasil 77 HD, 80 HD, 81 HD




4. Hasil Pengujian Spesimen Komposisi 40:30:30

Percobaan 1	Percobaan 2	Percobaan 3
		

Tabel 4.4 Hasil Pengujian Komposisi 40:30:30 (Sumber: Penulis, 2026)

Dari hasil pengujian spesimen dengan komposisi (Filler:Epoxy:Hardener) 40:30:30 dengan 3 percobaan mendapatkan hasil 80 HD, 79,5 HD, 79 HD




5. Hasil Pengujian Spesimen Komposisi 50:25:25

Percobaan 1	Percobaan 2	Percobaan 3
		

Tabel 4.5 Hasil Pengujian Komposisi 50:25:25 (Sumber: Penulis, 2026)

Dari hasil pengujian spesimen dengan komposisi (Filler:Epoxy:Hardener) 50:25:25 dengan 3 percobaan mendapatkan hasil 76,5 HD, 71,5 HD, 73,5 HD

6. Hasil Pengujian Spesimen Dempul Komersial

Percobaan 1	Percobaan 2	Percobaan 3
		

Tabel 4.6 Hasil Pengujian Dempul Komersial (Sumber: Penulis, 2026)

Dari hasil pengujian spesimen dempul komersial dengan 3 percobaan mendapatkan hasil 70 HD, 72 HD, 69,5 HD

4.2.2 Hasil Uji Kekerasan Shore D

Berikut adalah tabel nilai rata-rata dari uji kekerasan :

No.	Komposisi (Filler:Epoxy:Hardener)	Kekerasan (HD)	Nilai Rata-Rata
1.	10:45:45	70 HD 75,5 HD 72 HD	72,5 HD

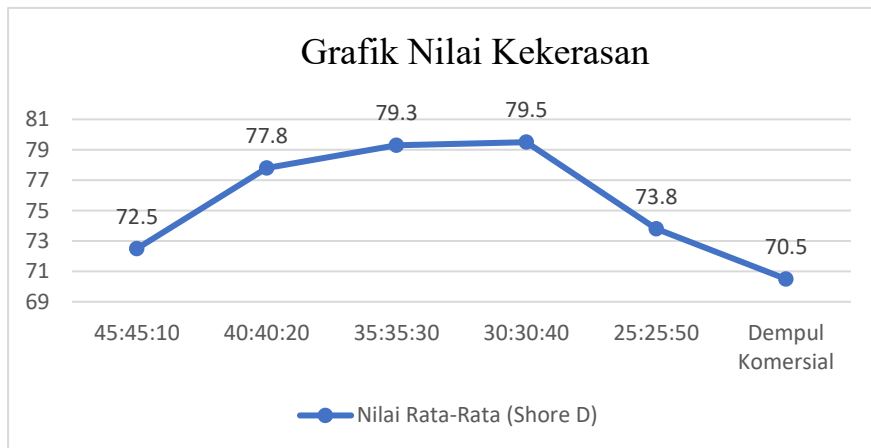
2.	20:40:40	78,5 HD 76,5 HD 78,5 HD	77,8 HD
3.	30:35:35	77 HD 80 HD 81 HD	79,3 HD
4.	40:30:30	80 HD 79,5 HD 79 HD	79,5 HD
5.	50:25:25	76,5 HD 71,5 HD 73,5 HD	73,8 HD
6.	Dempul Komersial	70 HD 72 HD 69,5 HD	70,5 HD

Berdasarkan hasil pengujian kekerasan yang ditunjukkan pada Tabel 4.2.2, nilai kekerasan rata-rata spesimen mengalami perubahan seiring dengan peningkatan fraksi massa serbuk cangkang kerang hijau. Nilai kekerasan tertinggi diperoleh pada spesimen 40:30:30 dengan komposisi 40:30:30 sebesar 79,5 Shore D, sedangkan nilai terendah diperoleh pada dempul komersial sebesar 70,5 Shore D.

Tabel 4.7 Nilai Rata-Rata Hasil Pengujian Kekerasan (Sumber: Dokumen Pribadi, 2026)

4.2.3 Grafik Nilai Uji Kekerasan

Berikut adalah grafik nilai rata-rata dari uji kekerasan :



Gambar 4.4 Grafik Nilai Rata-Rata Hasil Uji Kekerasan

Grafik pada Gambar 4.2.3 menunjukkan bahwa penambahan serbuk cangkang kerang hijau memberikan pengaruh terhadap nilai kekerasan material komposit. Nilai kekerasan meningkat dari 72,5 Shore D pada spesimen komposisi 10:45:45 menjadi 79,5 Shore D pada spesimen dengan komposisi 40:30:30. Namun pada spesimen komposisi 50:25:25 terjadi penurunan menjadi 73,8 Shore D yang mengindikasikan bahwa penambahan filler yang terlalu tinggi dapat menurunkan kualitas ikatan antara matriks dan filler.

4.2.4 Analisis Kuantitatif Hasil Uji Kekerasan

Untuk mengetahui besarnya peningkatan nilai kekerasan material komposit terhadap dempul komersial, dilakukan analisis kuantitatif menggunakan persamaan persentase peningkatan sebagai berikut:

$$\text{Presentase Peningkatan} = \frac{\text{Nilai Spesimen} - \text{Nilai Komersial}}{\text{Nilai Komersial}} \times 100\%$$

$$1. \frac{72,5 - 70,5}{70,5} \times 100\% = \frac{2}{70,5} \times 100\% \\ = 2,84\% \text{ (Komposisi 10:45:45)}$$

$$2. \frac{77,8 - 70,5}{70,5} \times 100\% = \frac{7,3}{70,5} \times 100\% \\ = 10,35\% \text{ (Komposisi 20:40:40)}$$

$$3. \frac{79,3 - 70,5}{70,5} \times 100\% = \frac{8,8}{70,5} \times 100\% \\ = 12,48\% \text{ (Komposisi 30:35:35)}$$

$$4. \frac{79,5 - 70,5}{70,5} \times 100\% = \frac{9}{70,5} \times 100\% \\ = 12,77\% \text{ (Komposisi 40:30:30)}$$

$$5. \frac{73,8 - 70,5}{70,5} \times 100\% = \frac{3,3}{70,5} \times 100\% \\ = 4,68\% \text{ (Komposisi 50:10:10)}$$

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa spesimen dengan komposisi 40:30:30 mengalami peningkatan nilai kekerasan sebesar 12,77% dibandingkan dempul komersial. Berdasarkan hasil analisis kuantitatif, seluruh variasi spesimen menunjukkan peningkatan nilai kekerasan dibandingkan dempul komersial. Peningkatan tertinggi diperoleh pada spesimen komposisi 40:30:30 sebesar 12,77%, sedangkan peningkatan terendah diperoleh pada spesimen dengan komposisi 10:45:45 sebesar 2,84%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa penambahan filler serbuk cangkang kerang hijau hingga 40% mampu meningkatkan ketahanan permukaan material secara optimal. Namun, pada komposisi 50:10:10 terjadi penurunan nilai kekerasan yang menunjukkan bahwa penambahan filler yang terlalu tinggi dapat mengurangi efektivitas ikatan antara matriks dan filler

4.3 Pembahasan Hasil Uji Kekerasan

Berdasarkan hasil pengujian kekerasan menggunakan metode Shore D, diperoleh bahwa nilai kekerasan material komposit mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya fraksi massa filler serbuk cangkang kerang hijau hingga mencapai titik optimum, kemudian mengalami penurunan pada komposisi filler yang lebih tinggi.

Nilai kekerasan terendah diperoleh pada dempul komersial sebesar 70,5 Shore D, sedangkan nilai kekerasan tertinggi diperoleh pada variasi komposisi 40:30:30 sebesar 79,5 Shore D. Hal ini menunjukkan bahwa seluruh variasi komposisi dalam penelitian ini memiliki tingkat kekerasan yang lebih tinggi dibandingkan dengan dempul yang beredar di pasaran.

Peningkatan nilai kekerasan dari komposisi 10:45:45 hingga 40:30:30 menunjukkan bahwa penambahan filler serbuk cangkang kerang hijau memberikan kontribusi yang menunjukkan kecenderungan peningkatan terhadap kekakuan material. Hal ini disebabkan oleh kandungan utama cangkang kerang berupa kalsium karbonat (CaCO_3) yang memiliki sifat keras dan kaku, sehingga mampu meningkatkan resistensi material terhadap penetrasi.

Selain itu, distribusi filler yang merata dalam matriks epoksi memungkinkan terbentuknya struktur komposit yang lebih padat dan homogen, sehingga meningkatkan kemampuan material dalam menahan deformasi akibat tekanan. Interaksi yang baik antara matriks epoksi dan partikel filler juga berkontribusi terhadap peningkatan sifat mekanik material.

Namun, pada komposisi dengan fraksi filler yang lebih tinggi yaitu 50:25:25, terjadi penurunan nilai kekerasan menjadi 73,8 Shore D. Penurunan ini disebabkan oleh terlalu banyaknya filler sehingga membuat resin epoxy sebagai matriks pengikat bekerja kurang optimal, sehingga kemampuan untuk menyatukan partikel filler menjadi kurang optimal.

Jika dibandingkan dengan dempul komersial sebagai material acuan, seluruh variasi komposisi dalam penelitian ini menunjukkan performa yang lebih baik dalam hal kekerasan. Secara kuantitatif, spesimen dengan komposisi 40:30:30 mengalami peningkatan nilai kekerasan sebesar 12,77% dibandingkan dempul komersial. Sementara itu, spesimen 30:35:35 menunjukkan peningkatan sebesar 12,48%, komposisi 20:40:40 sebesar 10,35%, komposisi 50:25:25 sebesar 4,68%, dan komposisi 10:45:45 sebesar 2,84%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa penambahan filler serbuk cangkang kerang hijau hingga 40% mampu meningkatkan ketahanan permukaan material secara optimal. Perbedaan nilai kekerasan antara spesimen 30:35:35 dan spesimen 40:30:30 hanya sebesar 0,2 Shore D sehingga keduanya memiliki karakteristik yang hampir sama. Namun demikian, komposisi 40:30:30 tetap dipilih sebagai komposisi optimum karena menghasilkan nilai kekerasan tertinggi.

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa komposisi 40:30:30 merupakan komposisi optimum dalam hal kekerasan karena menghasilkan nilai tertinggi sebesar 79,5 Shore D atau meningkat 12,77% dibandingkan dempul komersial. Namun, dalam menentukan aplikasi praktis, perlu juga mempertimbangkan sifat mekanik lainnya seperti kekuatan geser agar diperoleh material yang seimbang dan optimal.

4.4 Pengujian Uji Geser

Pengujian kekuatan geser pada penelitian ini dilakukan menggunakan metode ASTM D906 dengan media kayu solid sebagai substrat pengujian. Pengujian bertujuan untuk

mengetahui kemampuan daya rekat material komposit berbasis resin epoksi, hardener, dan serbuk cangkang kerang hijau dalam menahan beban geser pada sambungan kayu.



Gambar 4.5 Pengujian Spesimen Uji Geser dengan UTM
(Sumber: Dokumen Pribadi, 2026)

Kekuatan geser didapat dari rumus berikut,

$$\tau = \frac{F}{A}$$

Dimana :

τ = Kekuatan Geser (MPa)

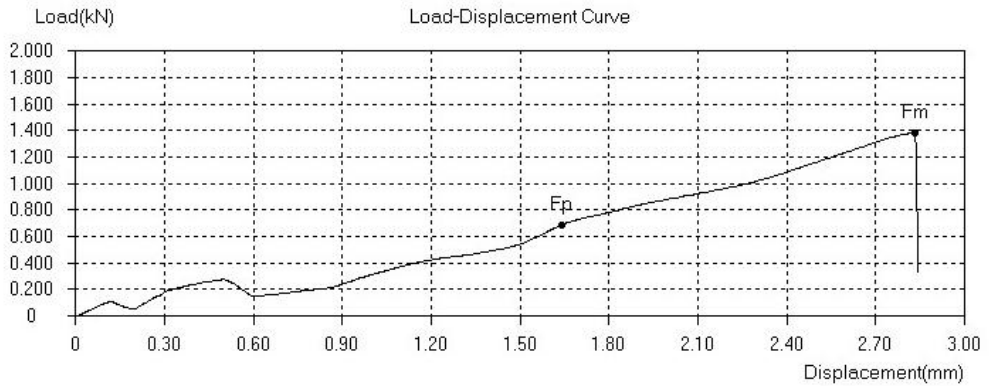
F = Beban Maksimum (Newton)

A = Luas Area Geser / Overlap (mm²)

Pengujian dilakukan menggunakan Universal Testing Machine (UTM) dengan pembebanan tarik berlawanan arah hingga terjadi kegagalan pada sambungan. Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, diperoleh nilai rata-rata kekuatan geser untuk masing-masing variasi komposisi.

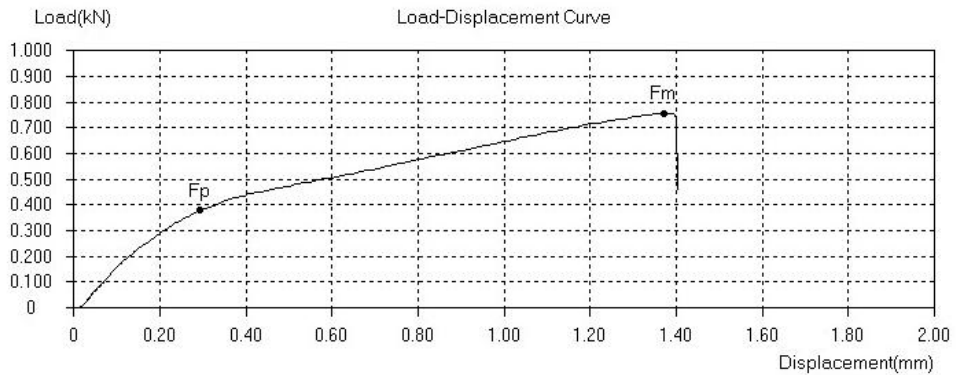
4.4.1 Beban Maksimal Spesimen

1. Beban maksimal komposisi 10:45:45 dengan 3 kali pengujian



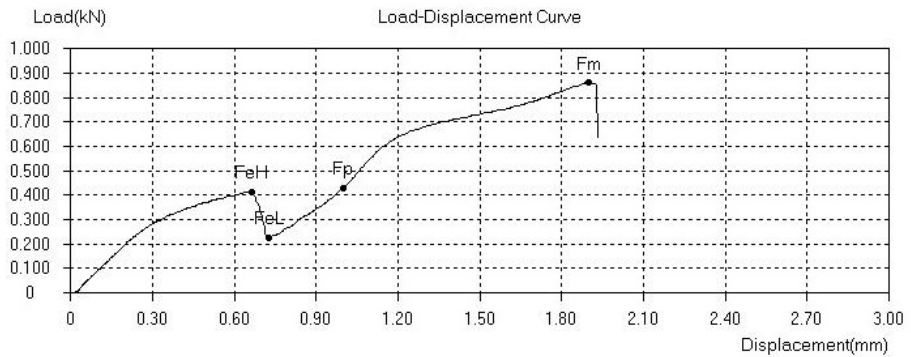
Gambar 4.6 Grafik *Load Displacement* Pengujian 1 (Sumber: Dokumen Pribadi, 2026)

Dari hasil pengujian geser pada komposisi 10:45:45, pengujian 1 mendapat hasil beban maksimal sebesar 1384 Newton.



Gambar 4.7 Grafik *Load Displacement* Pengujian 2 (Sumber: Dokumen Pribadi, 2026)

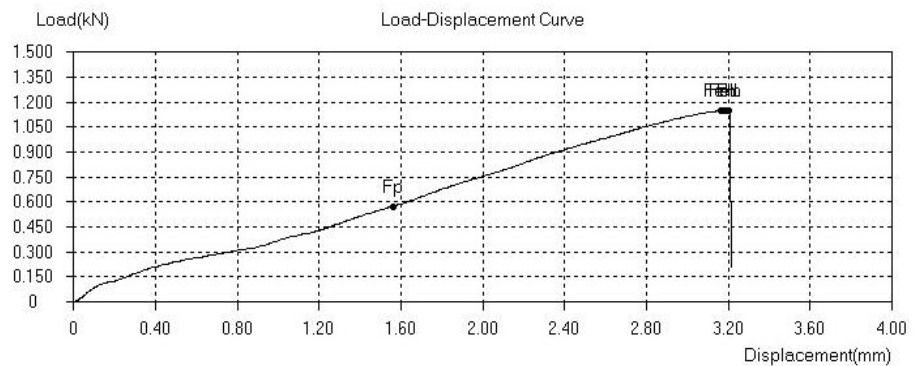
Dari hasil pengujian geser pada komposisi 10:45:45, pengujian 2 mendapat hasil beban maksimal sebesar 785 Newton.



Gambar 4.8 Grafik *Load Displacement* Pengujian 3 (Sumber: Dokumen Pribadi, 2026)

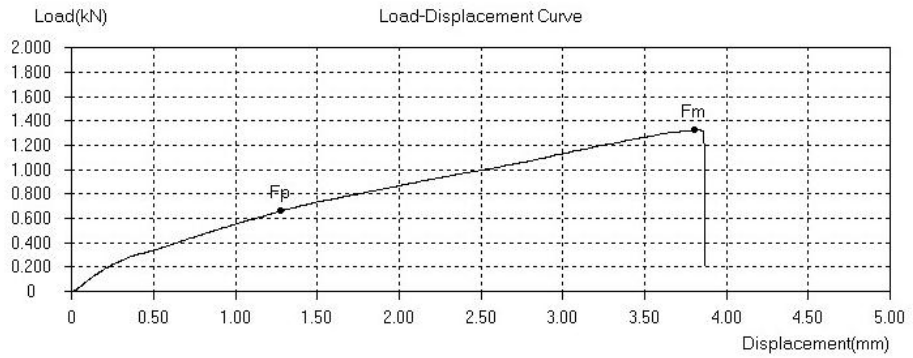
Dari hasil pengujian geser pada komposisi 10:45:45, pengujian 3 mendapat hasil beban maksimal sebesar 860 Newton.

2. Beban Maksimal Komposisi 20:40:40 dalam 3 kali pengujian



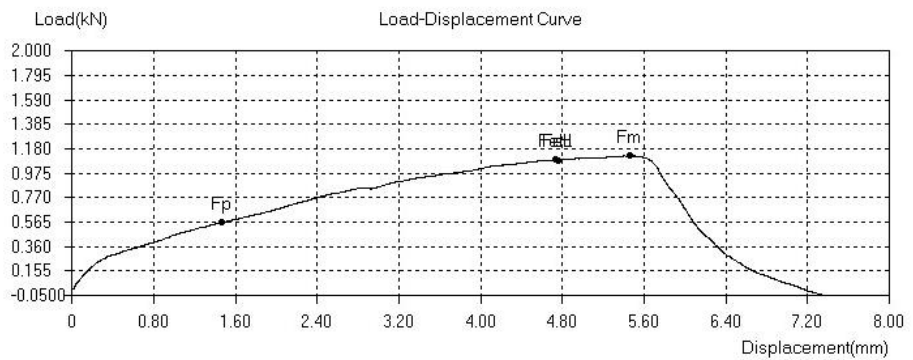
Gambar 4.9 Grafik *Load Displacement* Pengujian 1 (Sumber: Dokumen Pribadi, 2026)

Dari hasil pengujian geser pada komposisi 20:40:40, pengujian 1 mendapat hasil beban maksimal sebesar 1326 Newton.



Gambar 4.10 Grafik *Load Displacement* Pengujian 2 (Sumber: Dokumen Pribadi, 2026)

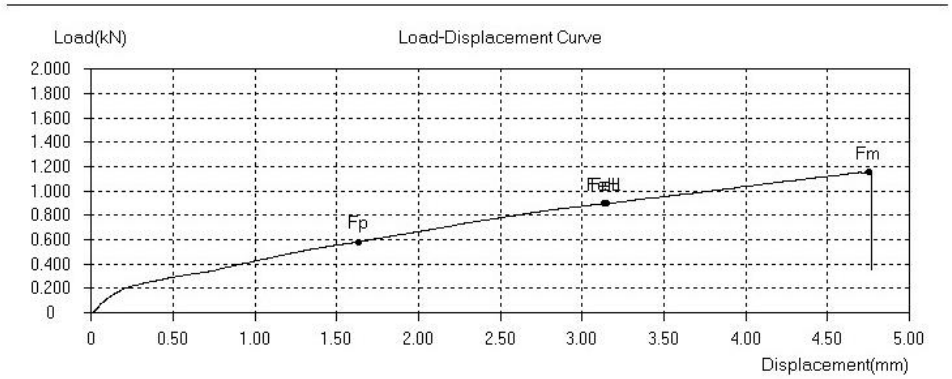
Dari hasil pengujian geser pada komposisi 20:40:40, pengujian 2 mendapat hasil beban maksimal sebesar 1150 Newton.



Gambar 4.11 Grafik *Load Displacement* Pengujian 3 (Sumber: Dokumen Pribadi, 2026)

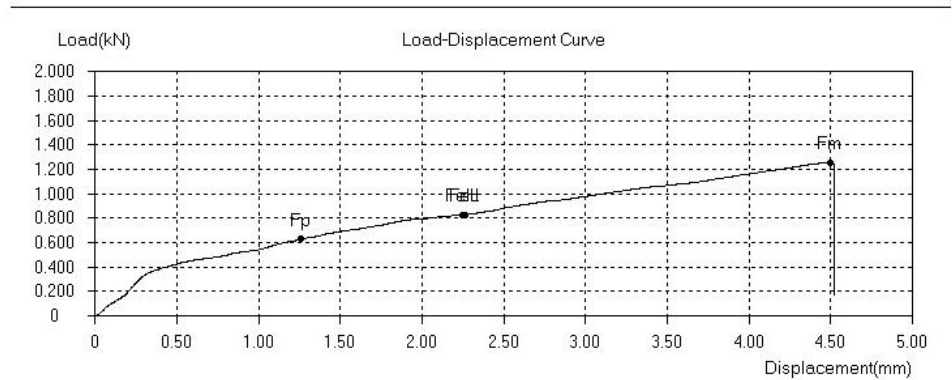
Dari hasil pengujian geser pada komposisi 20:40:40, pengujian 3 mendapat hasil beban maksimal sebesar 1122 Newton.

3. Beban Maksimal Komposisi 30:35:35 dalam 3 kali pengujian



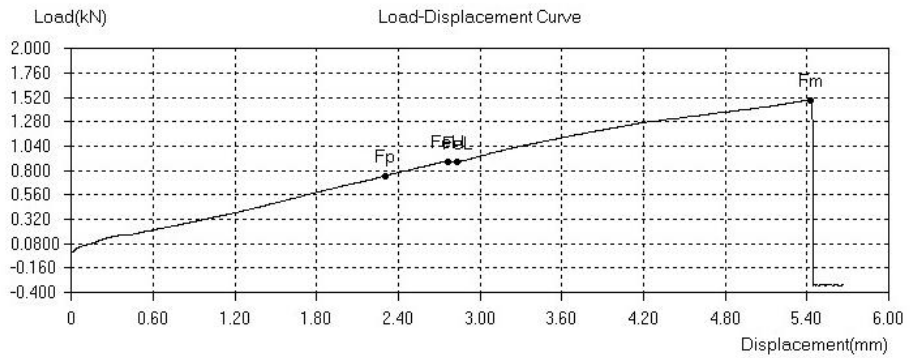
Gambar 4.12 Grafik *Load Displacement* Pengujian 1 (Sumber: Dokumen Pribadi, 2026)

Dari hasil pengujian geser pada komposisi 30:35:35, pengujian 1 mendapat hasil beban maksimal sebesar 1152 Newton.



Gambar 4.13 Grafik *Load Displacement* Pengujian 2 (Sumber: Dokumen Pribadi, 2026)

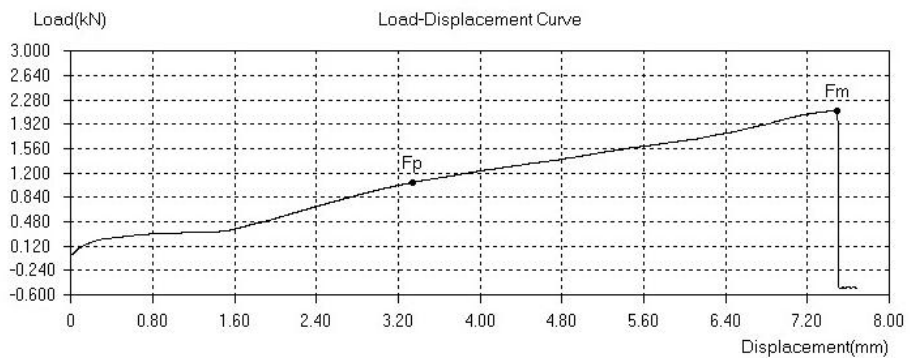
Dari hasil pengujian geser pada komposisi 30:35:35, pengujian 2 mendapat hasil beban maksimal sebesar 1248 Newton



Gambar 4.14 Grafik *Load Displacement* Pengujian 3 (Sumber: Dokumen Pribadi, 2026)

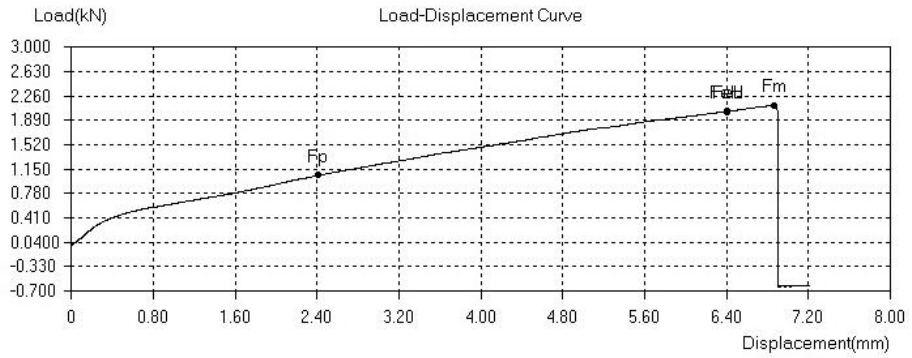
Dari hasil pengujian geser pada komposisi 30:35:35, pengujian 3 mendapat hasil beban maksimal sebesar 1494 Newton

4. Beban Maksimal Komposisi 40:30:30 dalam 3 kali pengujian

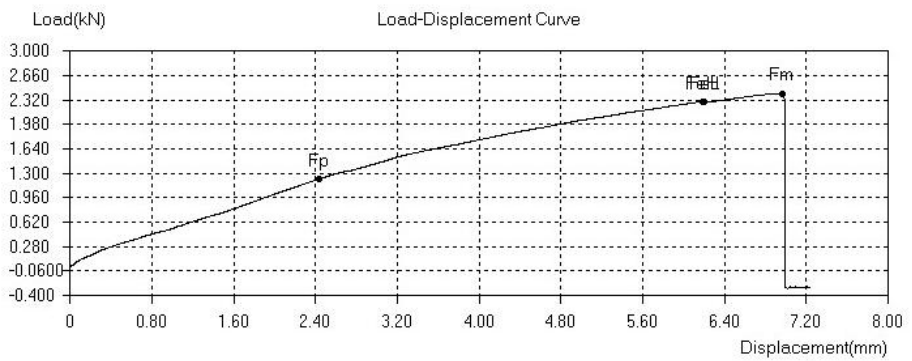


Gambar 4.15 Grafik *Load Displacement* Pengujian 1 (Sumber: Dokumen Pribadi, 2026)

Dari hasil pengujian geser pada komposisi 40:30:30, pengujian 1 mendapat hasil beban maksimal sebesar 2124 Newton

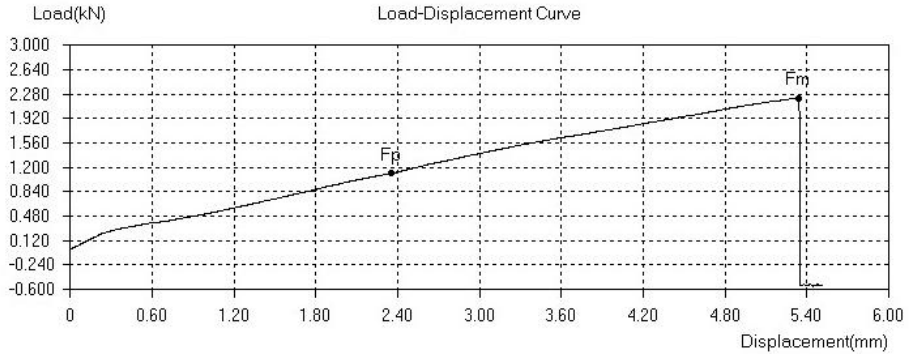


Gambar 4.16 Grafik *Load Displacement* Pengujian 2 (Sumber: Dokumen Pribadi, 2026)
 Dari hasil pengujian geser pada komposisi 40:30:30, pengujian 2 mendapat hasil beban maksimal sebesar 2116 Newton

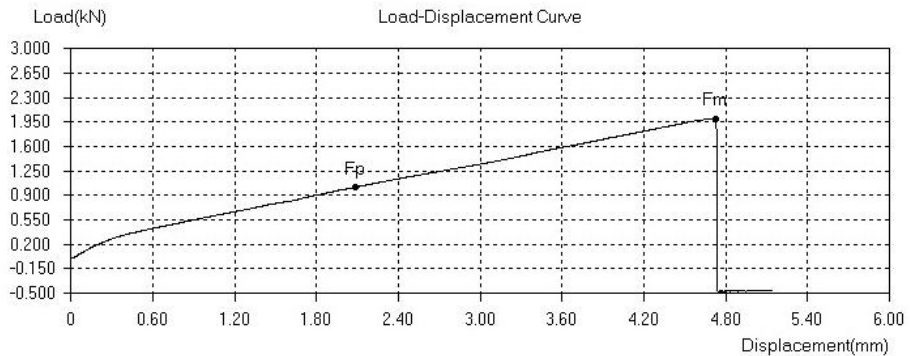


Gambar 4.17 Grafik *Load Displacement* Pengujian 3 (Sumber: Dokumen Pribadi, 2026)
 Dari hasil pengujian geser pada komposisi 40:30:30, pengujian 3 mendapat hasil beban maksimal sebesar 2414 Newton

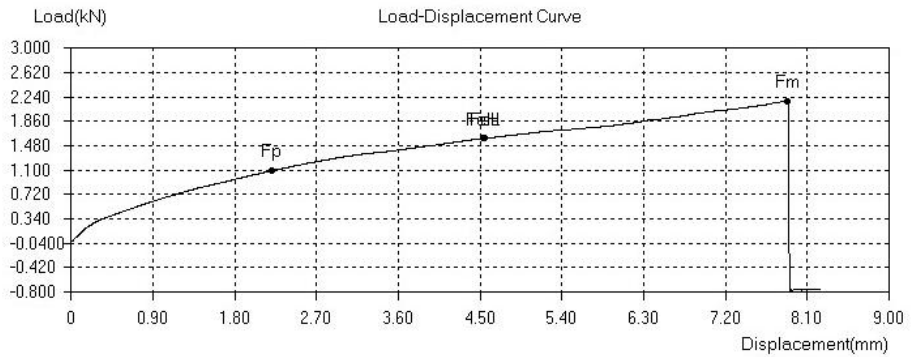
5. Beban Maksimal Komposisi 50:25:25 dalam 3 kali pengujian



Gambar 4.18 Grafik *Load Displacement* Pengujian 1 (Sumber: Dokumen Pribadi, 2026)
Dari hasil pengujian geser pada komposisi 50:25:25, pengujian 1 mendapat hasil beban maksimal sebesar 2260 Newton



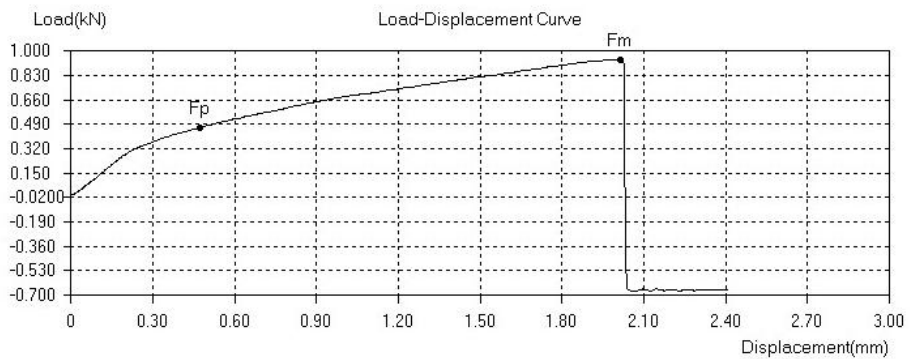
Gambar 4.19 Grafik *Load Displacement* Pengujian 2 (Sumber: Dokumen Pribadi, 2026)
Dari hasil pengujian geser pada komposisi 50:25:25, pengujian 2 mendapat hasil beban maksimal sebesar 2002 Newton



Gambar 4.20 Grafik *Load Displacement* Pengujian 3 (Sumber: Dokumen Pribadi, 2026)

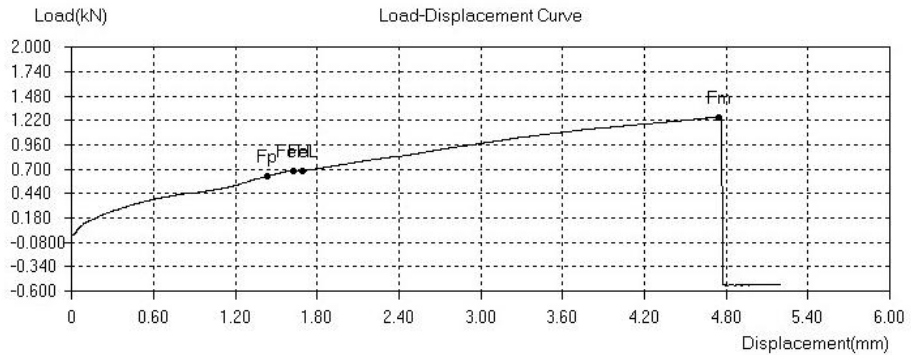
Dari hasil pengujian geser pada komposisi 50:25:25, pengujian 3 mendapat hasil beban maksimal sebesar 2182 Newton

6. Beban Maksimal Dempul Komersial



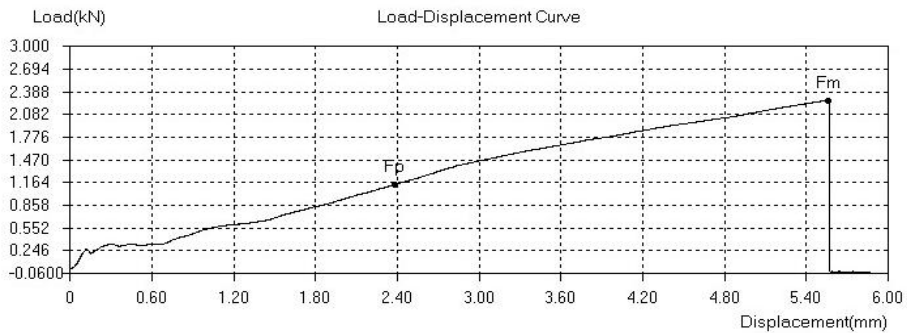
Gambar 4.21 Grafik *Load Displacement* Pengujian 1 (Sumber: Dokumen Pribadi, 2026)

Dari hasil pengujian geser pada dempul komersial, pengujian 1 mendapat hasil beban maksimal sebesar 940 Newton



Gambar 4.22 Grafik *Load Displacement* Pengujian 2 (Sumber: Dokumen Pribadi, 2026)

Dari hasil pengujian geser pada dempul komersial, pengujian 2 mendapat hasil beban maksimal sebesar 1256 Newton



Gambar 4.23 Grafik *Load Displacement* Pengujian 3 (Sumber: Dokumen Pribadi, 2026)

Dari hasil pengujian geser pada dempul komersial, pengujian 3 mendapat hasil beban maksimal sebesar 2270 Newton.

4.4.2 Perhitungan Nilai Uji Geser

1. Perhitungan Nilai Kekuatan Geser Komposisi 10:45:45

$$1. \tau = \frac{F}{A} = \frac{1384}{400} = 3,460 \text{ MPa}$$

$$2. \tau = \frac{F}{A} = \frac{785}{400} = 1,895 \text{ MPa}$$

$$3. \tau = \frac{F}{A} = \frac{860}{400} = 2,150 \text{ MPa}$$

$$\text{Rata-Rata Kekuatan Geser : } \frac{3,460+1,895+2,140}{3} = 2,50 \text{ MPa}$$

2. Perhitungan Nilai Kekuatan Geser Komposisi 20:40:40

$$1. \tau = \frac{F}{A} = \frac{1326}{400} = 3,315 \text{ MPa}$$

$$2. \tau = \frac{F}{A} = \frac{1150}{400} = 2,875 \text{ MPa}$$

$$3. \tau = \frac{F}{A} = \frac{1122}{400} = 2,805 \text{ MPa}$$

$$\text{Rata-Rata Kekuatan Geser : } \frac{3,315+2,875+2,805}{3} = 2,75 \text{ MPa}$$

3. Perhitungan Nilai Kekuatan Geser Komposisi 30:35:35

$$1. \tau = \frac{F}{A} = \frac{1152}{400} = 2,880 \text{ MPa}$$

$$2. \tau = \frac{F}{A} = \frac{1258}{400} = 3,145 \text{ MPa}$$

$$3. \tau = \frac{F}{A} = \frac{1494}{400} = 3,735 \text{ MPa}$$

$$\text{Rata-Rata Kekuatan Geser : } \frac{2,880+3,145+3,735}{3} = 3,25 \text{ MPa}$$

4. Perhitungan Nilai Kekuatan Geser Komposisi 40:30:30

$$1. \tau = \frac{F}{A} = \frac{2124}{400}$$

$$= 5,310 \text{ MPa}$$

$$2. \tau = \frac{F}{A} = \frac{2116}{400}$$

$$= 5,290 \text{ Mpa}$$

$$3. \tau = \frac{F}{A} = \frac{2414}{400}$$

$$= 6,035 \text{ Mpa}$$

$$\text{Rata-Rata Kekuatan Geser : } \frac{5,310+5,290+6,035}{3} = 5,55 \text{ MPa}$$

5. Perhitungan Nilai Kekuatan Geser Komposisi 50:25:25

$$1. \tau = \frac{F}{A} = \frac{2260}{400}$$

$$= 5,650 \text{ MPa}$$

$$2. \tau = \frac{F}{A} = \frac{2002}{400}$$

$$= 5,005 \text{ Mpa}$$

$$3. \tau = \frac{F}{A} = \frac{2182}{400}$$

$$= 5,445 \text{ Mpa}$$

$$\text{Rata-Rata Kekuatan Geser : } \frac{5,650+5,005+5,445}{3} = 5,37 \text{ MPa}$$

6. Perhitungan Nilai Kekuatan Geser Komposisi 50:25:25

$$1. \tau = \frac{F}{A} = \frac{940}{400}$$

$$= 2,350 \text{ MPa}$$

$$2. \tau = \frac{F}{A} = \frac{1256}{400}$$

$$= 3,140 \text{ Mpa}$$

$$3. \tau = \frac{F}{A} = \frac{2270}{400}$$

$$= 5,675 \text{ Mpa}$$

$$\text{Rata-Rata Kekuatan Geser : } \frac{2,350+3,140+5,675}{3} = 3,72 \text{ MPa}$$

4.4.3 Hasil Nilai Uji Geser

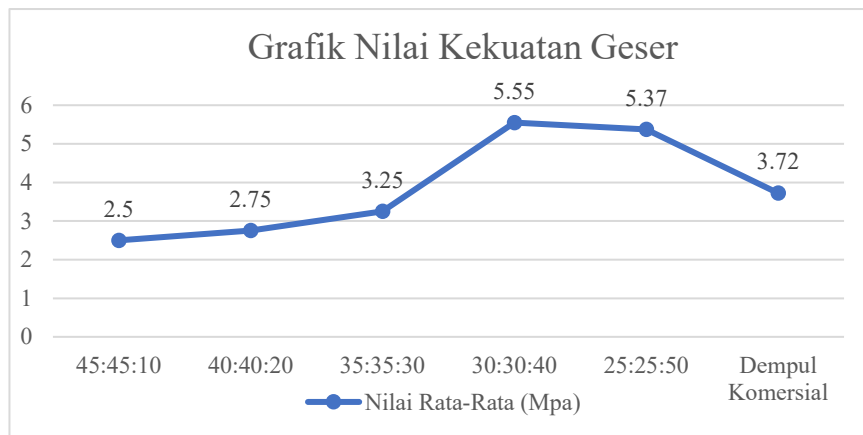
No.	Komposisi (Filler:Epoxy:Hardener)	Beban Maksimal (Newton)	Kekuatan Geser (MPa)	Nilai Rata- Rata
1.	10:45:45	1384 785 860	3,460 1,895 2,150	2,50 Mpa
2.	20:40:40	1326 1150 1122	3,315 2,875 2,805	2,75 Mpa
3.	30:35:35	1152 1258 1494	2,880 3,145 3,735	3,25 Mpa
4.	40:30:30	2124 2116 2414	5,310 5,290 6,035	5,55 Mpa
5.	50:25:25	2260 2002 2182	5,650 5,005 5,445	5,37 Mpa
6.	Dempul Komersial	940 1256 2270	2,350 3,140 5,675	3,72 Mpa

Tabel 4.8 Nilai Rata-Rata Hasil Pengujian Geser (Sumber: Dokumen Pribadi, 2026)

Berdasarkan hasil pengujian geser yang ditunjukkan pada Tabel 4.8, nilai kekuatan geser material komposit mengalami peningkatan seiring bertambahnya fraksi massa serbuk cangkang kerang hijau hingga mencapai komposisi optimum tertentu. Nilai kekuatan geser rata-rata terendah diperoleh pada spesimen 10:45:45 sebesar 2,50 MPa, sedangkan nilai tertinggi diperoleh pada spesimen 40:30:30 sebesar 5,55 MPa. Setelah mencapai komposisi optimum, nilai kekuatan geser mengalami sedikit penurunan pada spesimen 50:25:25 menjadi 5,37 MPa. Sementara itu, dempul komersial yang digunakan sebagai pembanding memiliki nilai kekuatan geser rata-rata sebesar 3,72 MPa. Hasil tersebut menunjukkan bahwa penambahan filler serbuk cangkang kerang hijau memberikan pengaruh terhadap kemampuan material dalam menahan beban geser.

4.4.4 Grafik Nilai Kekuatan Geser

Berikut adalah grafik nilai rata-rata dari kekuatan geser :



Gambar 4.24 Grafik Nilai Rata-Rata Hasil Uji Geser

Grafik pada Gambar 4.24 menunjukkan kecenderungan peningkatan nilai kekuatan geser seiring dengan bertambahnya fraksi massa filler serbuk cangkang kerang hijau dari komposisi 10:45:45 hingga komposisi 40:30:30. Nilai kekuatan geser meningkat dari 2,50 MPa pada komposisi 10:45:45 menjadi 5,55 MPa pada komposisi 40:30:30. Jika dibandingkan dengan dempul komersial, yang memiliki kekuatan geser sebesar 3,72 MPa, komposisi 40:30:30 menunjukkan peningkatan sebesar 49,19%. Namun, pada komposisi 50:25:25 terjadi penurunan menjadi 5,37 MPa atau sekitar 3,24% lebih rendah dibandingkan komposisi 40:30:30. Penurunan tersebut diduga terjadi akibat meningkatnya jumlah filler yang menyebabkan distribusi matriks epoksi menjadi kurang optimal sehingga ikatan antara filler dan matriks tidak terbentuk secara maksimal.

4.4.5 Analisis Kuantitatif Hasil Uji Kekerasan

Untuk mengetahui besarnya peningkatan nilai kekerasan material komposit terhadap dempul komersial, dilakukan analisis kuantitatif menggunakan persamaan persentase peningkatan sebagai berikut:

$$\text{Presentase Peningkatan} = \frac{\text{Nilai Spesimen} - \text{Nilai Komersial}}{\text{Nilai Komersial}} \times 100\%$$

$$1. \frac{2,50 - 3,72}{3,72} \times 100\% = \frac{-1,22}{3,72} \times 100\% = -32,80\% \text{ (Komposisi 10:45:45)}$$

$$2. \frac{2,75 - 3,72}{3,72} \times 100\% = \frac{-0,97}{3,72} \times 100\% = -26,08\% \text{ (Komposisi 10:45:45)}$$

$$\begin{aligned}
3. \quad \frac{3,25-3,72}{3,72} \times 100\% &= \frac{-0,47}{3,72} \times 100\% \\
&= \mathbf{-12,63\%} \text{ (Komposisi 10:45:45)} \\
4. \quad \frac{5,55-3,72}{3,72} \times 100\% &= \frac{1,83}{3,72} \times 100\% \\
&= \mathbf{49,19\%} \text{ (Komposisi 10:45:45)} \\
5. \quad \frac{5,37-3,72}{3,72} \times 100\% &= \frac{1,65}{3,72} \times 100\% \\
&= \mathbf{44,35\%} \text{ (Komposisi 10:45:45)}
\end{aligned}$$

Berdasarkan hasil analisis kuantitatif, spesimen komposisi 40:30:30 menunjukkan peningkatan kekuatan geser tertinggi sebesar 49,19% dibandingkan dempul komersial. Spesimen dengan komposisi 50:25:25 juga menunjukkan peningkatan yang cukup tinggi sebesar 44,35%, namun masih lebih rendah dibandingkan dengan komposisi 40:30:30. Sementara itu, spesimen dengan komposisi 10:45:45, 20:40:40, dan 40:30:30 masih memiliki nilai kekuatan geser yang lebih rendah dibandingkan dempul komersial. Hasil tersebut menunjukkan bahwa penambahan filler hingga 40% memberikan pengaruh paling optimal terhadap peningkatan kemampuan material dalam menahan beban geser.

4.5 Pembahasan Hasil Uji Geser

Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai kekuatan geser mengalami peningkatan seiring bertambahnya fraksi massa filler serbuk cangkang kerang hijau hingga mencapai nilai optimum pada komposisi 40:30:30 dengan nilai rata-rata sebesar 5,55 MPa. Setelah itu, pada komposisi 50:25:25 terjadi sedikit penurunan menjadi 5,30 MPa, meskipun nilainya masih tergolong tinggi dibandingkan variasi lainnya maupun dempul komersial sebagai bahan acuan. Peningkatan kekuatan geser pada variasi 10:45:45 hingga 40:30:30 menunjukkan bahwa penambahan filler memberikan pengaruh positif terhadap kemampuan sambungan dalam menahan beban geser. Hal ini disebabkan oleh peran serbuk cangkang kerang hijau sebagai filler penguat dalam matriks epoksi. Kandungan kalsium karbonat (CaCO_3) yang terdapat pada cangkang kerang memiliki sifat kaku dan keras, sehingga mampu meningkatkan kekuatan internal material komposit.

Selain itu, penambahan filler juga meningkatkan kekasaran permukaan material sehingga memperbesar rekat antara dempul dan permukaan kayu. Semakin baik interaksi antara material komposit dan substrat kayu, maka kemampuan sambungan dalam menahan gaya geser juga akan meningkat. Nilai kekuatan geser tertinggi diperoleh pada komposisi 40:30:30 sebesar 5,55 MPa. Hal ini menunjukkan bahwa pada komposisi tersebut terdapat keseimbangan yang baik antara jumlah matriks epoksi dan filler. Resin epoksi masih mampu mengikat partikel filler secara optimal, sehingga terbentuk struktur material yang homogen dan memiliki daya rekat yang tinggi terhadap kayu.

Namun, pada komposisi 50:25:25 terjadi sedikit penurunan yaitu sebesar 0,18 MPa atau sekitar 3,24%, kecenderungan penurunan tersebut menunjukkan bahwa penambahan fraksi

massa filler dari 40% menjadi 50% mulai mengurangi proporsi matriks epoksi yang berfungsi sebagai pengikat partikel filler. Pada komposisi 40:30:30, jumlah resin epoksi masih mampu membasahi dan mengikat filler secara optimal sehingga menghasilkan kekuatan geser tertinggi. Sementara itu, pada komposisi 50:25:25, peningkatan jumlah filler menyebabkan jumlah matriks relatif berkurang sehingga kemampuan matriks dalam mengikat seluruh partikel filler menjadi sedikit menurun. Akibatnya, nilai kekuatan geser mengalami penurunan meskipun tidak terlalu besar. Kondisi tersebut dapat menjadi titik lemah yang mempengaruhi kekuatan sambungan. Meskipun demikian, nilai kekuatan geser pada komposisi 50:25:25 masih lebih tinggi dibandingkan dempul komersial yang hanya memiliki nilai sebesar 3,72 MPa. Hal ini menunjukkan bahwa material komposit hasil penelitian memiliki performa adhesi yang lebih baik dibandingkan produk yang sudah beredar di pasaran.

Secara kuantitatif, spesimen dengan komposisi 40:35:35 mengalami peningkatan nilai kekuatan geser sebesar 49,19% dibandingkan dempul komersial. Spesimen dengan komposisi 50:25:25 juga menunjukkan peningkatan yang tinggi yaitu sebesar 44,35%, sedangkan spesimen komposisi 10:45:45, 20:40:40, dan 40:30:30 masing-masing memiliki nilai kekuatan geser yang lebih rendah sebesar 32,80%, 26,08%, dan 12,63% dibandingkan dempul komersial. Hasil tersebut menunjukkan bahwa peningkatan fraksi massa filler hingga 40% memberikan kontribusi yang paling efektif terhadap peningkatan kemampuan material dalam menahan beban geser. Meskipun spesimen 40:30:30 memiliki nilai tertinggi, perbedaannya dengan 50:25:25 hanya sebesar 0,18 MPa atau sekitar 3,24%, yang menunjukkan bahwa kedua komposisi tersebut memiliki performa yang relatif berdekatan. Namun demikian, komposisi 40:30:30 tetap dipilih sebagai komposisi optimum karena menghasilkan nilai kekuatan geser tertinggi dengan keseimbangan yang lebih baik antara jumlah filler dan matriks epoksi.

Dari hasil pengujian juga dapat diketahui bahwa seluruh variasi komposisi penelitian memiliki nilai kekuatan geser yang lebih tinggi dibandingkan dempul komersial. Kondisi ini mengindikasikan bahwa pemanfaatan serbuk cangkang kerang hijau sebagai filler dalam komposit epoksi mampu meningkatkan kualitas daya rekat material terhadap kayu. Selain faktor komposisi material, kekuatan geser juga dipengaruhi oleh pencampuran bahan, kualitas curing, serta kondisi permukaan kayu saat pengujian dilakukan. Permukaan kayu yang bersih dan kasar cenderung menghasilkan adhesi yang lebih baik karena meningkatkan kontak mekanis antara material dan substrat.

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi komposisi berpengaruh dan memberikan peningkatan hasil terhadap kekuatan geser material komposit. Komposisi 40:30:30 dapat dikatakan sebagai komposisi optimum dalam pengujian ASTM D906 karena menghasilkan nilai kekuatan geser tertinggi dengan kondisi material yang masih stabil dan homogen. Dengan demikian, material komposit berbasis epoksi dan serbuk cangkang kerang hijau memiliki potensi yang baik untuk diaplikasikan sebagai alternatif dempul kapal kayu dengan performa mekanik yang lebih baik dibandingkan dempul komersial.

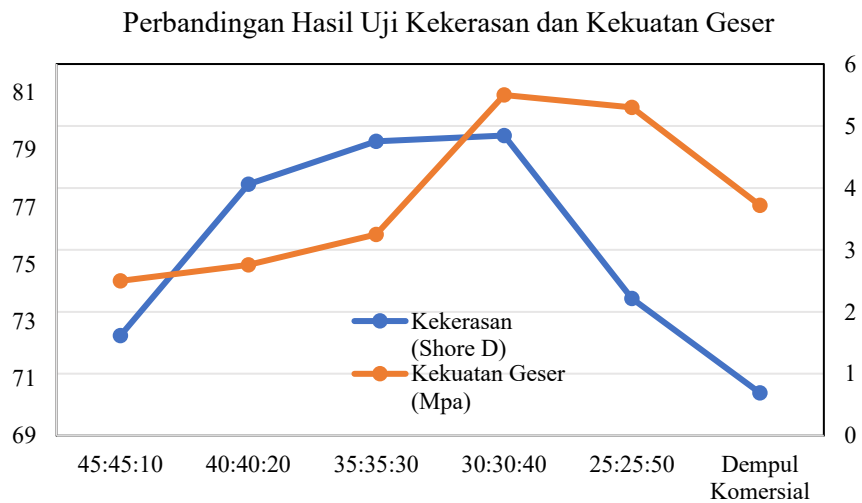
4.6 Perbandingan dengan Dempul Komersial

Untuk memperoleh performa yang menyeluruh dari material komposit dempul berbasis epoksi dan serbuk cangkang kerang hijau, dilakukan analisis gabungan terhadap dua parameter utama, yaitu kekerasan (ASTM D2240) dan kekuatan geser (ASTM D906). Kedua parameter ini memiliki peran penting dalam menentukan kelayakan material sebagai dempul kapal kayu, dimana kekerasan berkaitan dengan ketahanan terhadap deformasi permukaan,

sedangkan kekuatan geser berkaitan dengan kemampuan material dalam mempertahankan ikatan pada substrat kayu.

4.6.1 Tabel Perbandingan Hasil Uji Kekerasan dan Kekuatan Geser

Berikut adalah perbandingan grafik dari nilai uji kekerasan dan uji kuat geser untuk melihat variasi yang paling optimal dari semua variasi yang di buat dan lakukan pengujian.



Gambar 4.25 Perbandingan Hasil Uji Kekerasan dan Uji Geser
(Sumber: Dokumen Pribadi, 2026)

Berdasarkan Gambar 4.25, terlihat bahwa nilai kekerasan dan kekuatan geser menunjukkan kecenderungan meningkat seiring dengan penambahan fraksi massa filler serbuk cangkang kerang hijau hingga mencapai komposisi 40:30:30. Pada komposisi tersebut diperoleh nilai kekerasan tertinggi sebesar 79,5 Shore D dan nilai kekuatan geser tertinggi sebesar 5,55 MPa. Hal ini menunjukkan bahwa komposisi 40:30:30 memiliki keseimbangan yang baik antara jumlah filler dan matriks sehingga mampu menghasilkan ikatan yang optimal pada material komposit.

Setelah melewati komposisi optimum, yaitu pada spesimen 50:25:25, nilai kekuatan geser mengalami sedikit penurunan menjadi 5,37 MPa, sedangkan nilai kekerasan mengalami penurunan yang lebih signifikan menjadi 73,8 Shore D. Kondisi tersebut mengindikasikan bahwa penambahan filler yang terlalu tinggi dapat mengurangi efektivitas distribusi matriks epoksi dalam mengikat partikel filler, sehingga sifat mekanik material tidak lagi meningkat secara optimal. Oleh karena itu, komposisi 40:30:30 dipilih sebagai komposisi optimum karena memberikan kombinasi terbaik antara kekerasan dan kekuatan geser dibandingkan variasi komposisi lainnya maupun dempul komersial.

4.7 Analisis Komposisi Optimum

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, terlihat bahwa penambahan filler serbuk cangkang kerang hijau memberikan pengaruh terhadap nilai kekerasan maupun kekuatan geser material komposit. Namun demikian, pola perubahan kedua sifat mekanik tersebut menunjukkan kecenderungan yang berbeda pada setiap variasi komposisi. Pada pengujian kekerasan, nilai meningkat secara bertahap dari komposisi 10:45:45 hingga mencapai nilai maksimum pada komposisi 40:30:30 sebesar 79,5 Shore D. Setelah itu, pada komposisi 50:25:25 terjadi penurunan nilai kekerasan menjadi 73,8 Shore D. Penurunan ini menunjukkan bahwa penambahan filler yang terlalu tinggi menyebabkan jumlah resin epoksi sebagai matriks pengikat menjadi berkurang, sehingga struktur material menjadi kurang padat dan homogen. Sementara itu, pada pengujian kekuatan geser, nilai kekuatan rekat terus meningkat hingga mencapai nilai tertinggi pada komposisi 40:30:30 sebesar 5,55 MPa dan hanya mengalami sedikit penurunan pada komposisi 50:25:25 sebesar 5,30 MPa. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan filler masih memberikan kontribusi positif terhadap kemampuan adhesi material terhadap kayu.

Perbedaan tren antara kekerasan dan kekuatan geser menunjukkan bahwa kedua sifat mekanik tersebut dipengaruhi oleh mekanisme yang berbeda. Kekerasan lebih dipengaruhi oleh kekompakan dan kesamaan struktur internal material, sedangkan kekuatan geser lebih dipengaruhi oleh kemampuan adhesi dan keterikatan antara material komposit dan substrat kayu. Pada komposisi 40:30:30, diperoleh kombinasi sifat mekanik yang paling baik, dimana nilai kekerasan mencapai 79,5 Shore D dan kekuatan geser mencapai 5,55 MPa. Hal ini menunjukkan bahwa pada komposisi tersebut terdapat keseimbangan optimum antara jumlah filler dan matriks epoksi. Resin epoksi masih mampu mengikat partikel filler dengan baik sehingga terbentuk struktur yang kuat dan homogen, sementara filler memberikan kontribusi terhadap peningkatan kekakuan dan daya rekat material.

Sedangkan pada komposisi 50:25:25, meskipun nilai kekuatan geser masih tinggi, nilai kekerasan mengalami penurunan yang cukup besar. Kondisi ini menunjukkan bahwa penambahan filler yang terlalu tinggi menyebabkan struktur material menjadi kurang padat akibat berkurangnya jumlah matriks epoksi. Dengan kata lain, material memiliki daya rekat yang baik terhadap kayu, namun ketahanan permukaannya terhadap penetrasi mulai menurun. Jika dibandingkan dengan dempul komersial sebagai bahan acuan, material hasil penelitian menunjukkan performa yang lebih baik pada sebagian besar variasi komposisi. Dempul komersial hanya memiliki nilai kekerasan sebesar 70,5 Shore D dan kekuatan geser sebesar 3,72 MPa. Sementara itu, beberapa variasi komposisi penelitian mampu menghasilkan nilai kekerasan dan kekuatan geser yang lebih tinggi secara bersamaan.

Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan serbuk cangkang kerang hijau sebagai filler dalam material komposit epoksi memiliki potensi yang baik untuk meningkatkan sifat mekanik dempul kapal kayu. Selain meningkatkan hasil dari uji geser dari dempul komersial, filler juga mampu meningkatkan kekakuan material sehingga menghasilkan performa yang lebih baik dibandingkan dempul komersial secara keseluruhan, hasil analisis menunjukkan bahwa komposisi 40:30:30 merupakan komposisi optimum karena memberikan keseimbangan terbaik antara kekuatan geser dan kekerasan. Komposisi tersebut dinilai paling sesuai untuk aplikasi dempul kapal kayu karena memiliki daya rekat tinggi sekaligus ketahanan permukaan yang baik terhadap tekanan dan deformasi.

Selain menunjukkan peningkatan sifat mekanik, penggunaan serbuk cangkang kerang hijau sebagai filler juga memiliki potensi memberikan keuntungan dari aspek ekonomi. Serbuk cangkang kerang hijau merupakan limbah hasil perikanan yang memiliki nilai jual

relatif rendah, sehingga pemanfaatannya sebagai bahan pengisi (filler) dapat meningkatkan nilai tambah limbah sekaligus mengurangi pencemaran lingkungan.

Berdasarkan harga material yang digunakan dalam penelitian, serbuk cangkang kerang hijau memiliki harga sekitar Rp8.000/kg, sedangkan dempul komersial yang digunakan sebagai material pembanding memiliki harga sekitar Rp26.000 untuk kemasan 750 gram atau setara dengan sekitar Rp34.667/kg. Meskipun kedua material tidak dapat dibandingkan secara langsung karena memiliki komposisi yang berbeda, penggunaan serbuk cangkang kerang hijau sebagai filler berpotensi mengurangi alokasi dana yang digunakan dalam pembuatan dempul untuk pengaplikasian pada kapal kayu.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada komposisi optimum 40:30:30, material komposit tidak hanya menghasilkan nilai kekerasan sebesar 79,5 Shore D dan kekuatan geser sebesar 5,55 MPa, tetapi juga memanfaatkan filler alami dengan biaya yang relatif rendah. Oleh karena itu, penggunaan serbuk cangkang kerang hijau memiliki potensi sebagai alternatif filler yang lebih ekonomis dibandingkan penggunaan resin dalam jumlah yang lebih besar, sekaligus memberikan nilai tambah terhadap limbah hasil laut.