

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menyajikan hasil fabrikasi dan pengujian tarik komposit yang menggunakan serat *fiberglass* sebagai penguat tunggal serta kombinasi serat *fiberglass* dan serat rami. Proses fabrikasi dilakukan menggunakan metode impregnasi vakum dan *hand lay* sesuai dengan variasi yang telah ditentukan. Hasil yang diperoleh meliputi kondisi visual, dimensi, serta data hasil pengujian tarik. Data hasil pengujian selanjutnya diolah untuk memperoleh nilai tegangan tarik, regangan, dan modulus elastisitas sebagai dasar dalam menganalisis pengaruh metode impregnasi dan kombinasi serat terhadap sifat mekanik komposit.

4.1 Hasil Fabrikasi Komposit

Fabrikasi komposit dilakukan menggunakan dua jenis penguat, yaitu serat *fiberglass* sebagai penguat tunggal dan kombinasi serat *fiberglass* dengan serat rami. Masing-masing konfigurasi serat difabrikasi menggunakan metode impregnasi vakum dan *hand lay*. Hasil fabrikasi kemudian diamati secara visual serta dilakukan pengukuran terhadap dimensi panel komposit yang dihasilkan. Hasil pengamatan dan pengukuran tersebut digunakan sebagai data awal sebelum panel diproses menjadi spesimen untuk pengujian tarik.

4.1.1 Hasil Visual Komposit

Hasil fabrikasi komposit diamati secara visual untuk mengetahui kondisi permukaan dan bentuk panel setelah proses impregnasi dan *curing*. Pengamatan dilakukan terhadap komposit serat *fiberglass* serta komposit kombinasi serat *fiberglass* dan serat rami yang difabrikasi menggunakan metode impregnasi vakum dan *hand lay*. Hasil visual panel komposit yang diperoleh ditunjukkan pada Gambar 4.1 sampai dengan Gambar 4.3.



Gambar 4.1 Hasil komposit serat *fiberglass* dengan metode impregnasi vakum



Gambar 4.2 Hasil komposit serat *fiberglass* dengan metode impregnasi *hand lay*



Gambar 4.3 Hasil komposit kombinasi serat sisi 1 (gambar kiri) dan sisi 2 (gambar kanan) dengan metode impregnasi *hand lay*

Salah satu karakteristik visual yang terlihat pada hasil fabrikasi adalah perubahan warna matriks resin menjadi sedikit kekuningan. Perubahan warna tersebut terlihat pada permukaan komposit, baik pada komposit serat *fiberglass* maupun komposit kombinasi serat *fiberglass* dan serat rami. Perubahan warna ini diduga berkaitan dengan proses pengeringan awal menggunakan *heatpad* dengan temperatur sekitar 50 °C. Penggunaan temperatur tersebut memberikan paparan panas pada resin selama proses pengeringan sehingga diduga berkontribusi terhadap perubahan warna resin menjadi sedikit kekuningan. Di sisi lain, penggunaan *heatpad* pada proses pengeringan awal bertujuan untuk mempercepat proses pengerasan resin. Berdasarkan spesifikasi dari pabrikan, resin dengan perbandingan resin dan *hardener* 2:1 membutuhkan waktu sekitar 48 jam untuk mencapai kondisi kering sempurna pada kondisi pengeringan tanpa bantuan pemanas. Setelah diberikan bantuan *heatpad* dengan temperatur sekitar 50 °C selama 2 jam, proses pengeringan selanjutnya pada suhu ruang menghasilkan kondisi komposit yang telah mengeras dalam waktu keseluruhan sekitar 24 jam. Hal tersebut menunjukkan bahwa penggunaan *heatpad*

memberikan kontribusi terhadap percepatan proses pengeringan resin, meskipun pada hasil fabrikasi juga teramati adanya perubahan warna resin menjadi sedikit kekuningan

4.1.2 Hasil Dimensi Komposit

Setelah proses fabrikasi dan *curing* selesai, dilakukan pengukuran dimensi pada panel komposit yang dihasilkan. Pengukuran meliputi panjang, lebar, dan ketebalan panel pada masing-masing variasi komposit. Pengukuran dilakukan untuk mengetahui dimensi aktual panel hasil fabrikasi sebelum dilakukan proses pembuatan spesimen untuk pengujian tarik. Hasil pengukuran dimensi panel komposit disajikan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Dimensi panel komposit hasil fabrikasi

No	Jenis Komposit	Metode Fabrikasi	Panjang (cm)	Lebar (cm)	Ketebalan (mm)
1	<i>Fiberglass</i>	Impregnasi vakum	25	25	1,2
2	<i>Fiberglass</i>	Impregnasi <i>hand lay</i>	25	25	2
3	<i>Fiberglass + rami</i>	Impregnasi <i>hand lay</i>	25	25	2

Berdasarkan hasil pengukuran dimensi, ditemukan adanya perbedaan ketebalan antara komposit yang difabrikasi menggunakan metode impregnasi vakum dan metode *hand lay*, meskipun perhitungan awal fraksi serat dan resin yang digunakan telah ditetapkan dengan komposisi yang sama. Perbedaan tersebut diduga dipengaruhi oleh perbedaan mekanisme impregnasi dan tingkat pemadatan laminasi pada masing-masing metode. Pada metode impregnasi vakum, resin dialirkan secara bertahap melalui serat akibat perbedaan tekanan sehingga proses pembasahan serat berlangsung secara perlahan dan terkontrol. Selama proses tersebut, tekanan vakum juga

memberikan efek pemadatan pada susunan serat sehingga lapisan menjadi lebih rapat dan menghasilkan ketebalan akhir yang lebih kecil. Sementara itu, pada metode *hand lay*, resin diaplikasikan secara langsung pada permukaan serat sebelum proses pemvakuman, sehingga distribusi resin lebih dipengaruhi oleh proses pengolesan secara manual. Kondisi awal laminasi yang berbeda tersebut diduga menyebabkan tingkat pemadatan dan distribusi resin pada kedua metode tidak sama, sehingga menghasilkan perbedaan ketebalan akhir komposit. Selain itu, pada kedua metode terdapat kemungkinan sebagian resin tertahan atau terserap pada material pendukung, khususnya *peel ply*, sehingga jumlah resin yang menjadi bagian efektif dari laminasi tidak seluruhnya sama dengan jumlah resin yang dipersiapkan pada awal proses.

4.2 Hasil Pengujian Tarik

Pengujian tarik dilakukan untuk memperoleh data beban dan pertambahan panjang pada spesimen komposit yang telah dibuat. Spesimen yang diuji terdiri atas komposit serat *fiberglass* dengan metode impregnasi vakum, komposit serat *fiberglass* dengan metode *hand lay*, serta komposit kombinasi serat *fiberglass* dan serat rami dengan metode *hand lay*. Data hasil pengujian selanjutnya digunakan untuk menentukan nilai tegangan tarik, regangan, dan modulus elastisitas masing-masing variasi komposit.

4.2.1 Data Hasil Pengujian Tarik

Data hasil pengujian tarik diperoleh dari pembacaan mesin *Universal Testing Machine* (UTM) pada setiap spesimen. Pengujian dilakukan terhadap tiga spesimen untuk setiap variasi komposit, sehingga diperoleh sembilan spesimen yang diuji. Data

yang dicatat meliputi beban maksimum dan pertambahan panjang pada saat spesimen mengalami kegagalan. Data hasil pengujian kemudian dikelompokkan berdasarkan jenis komposit dan metode fabrikasi yang digunakan. Hasil pengujian tarik setiap spesimen disajikan pada tabel berikut.

1. Metode impregnasi vakum

Tabel 4.2 Data hasil spesimen vakum 1

Kode Spesimen	Beban (N)	Pertambahan Panjang (mm)
V ₁	0	0
	350	0.5
	750	1
	1140	1.5
	1200	1.6
	1450	2
	1750	2.5
	2050	3
	2350	3.5
	2400	3.6

Tabel 4.3 Data hasil spesimen vakum 2

Kode Spesimen	Beban (N)	Pertambahan Panjang (mm)
V ₂	0	0
	350	0.5
	800	1
	1200	1.5
	1500	2
	1800	2.5
	2090	3
	2350	3.5
	2390	3.6

Tabel 4.4 Data hasil spesimen vakum 3

Kode Spesimen	Beban (N)	Pertambahan Panjang (mm)
V ₃	0	0
	250	0.4
	650	0.8
	1000	1.2
	1200	1.4
	1350	1.6
	1650	2
	1900	2.4
	2150	2.8
	2400	3.2
	2550	3.6

2. Metode impregnasi *hand lay***Tabel 4.5** Data hasil spesimen *hand lay* 1

Kode Spesimen	Beban (N)	Pertambahan Panjang (mm)
H ₁	0	0
	175	0.2
	375	0.4
	525	0.6
	610	0.7
	700	0.8
	830	1
	950	1.2
	1050	1.4
	1150	1.6
	1250	1.79

Tabel 4.6 Data hasil spesimen *hand lay* 2

Kode Spesimen	Beban (N)	Pertambahan Panjang (mm)
H ₂	0	0
	200	0.25
	410	0.5
	525	0.7
	550	0.75
	680	1
	800	1.25
	900	1.5
	1025	1.75
	1100	1.95

Tabel 4.7 Data hasil spesimen *hand lay* 3

Kode Spesimen	Beban (N)	Pertambahan Panjang (mm)
H ₃	0	0
	245	0.44
	360	0.66
	450	0.88
	530	1.1
	605	1.32
	705	1.54
	810	1.76
	920	1.98
	1053	2.2

3. Serat kombinasi

Tabel 4.8 Data hasil spesimen serat kombinasi 1

Kode Spesimen	Beban (N)	Pertambahan Panjang (mm)
K ₁	0	0
	265	0.3
	425	0.6
	560	0.9
	625	1.05
	675	1.2
	800	1.5
	910	1.8
	1040	2.1
	1185	2.4
	1200	2.5

Tabel 4.9 Data hasil spesimen serat kombinasi 2

Kode Spesimen	Beban (N)	Pertambahan Panjang (mm)
K ₂	0	0
	210	0.3
	400	0.6
	590	0.9
	675	1.05
	785	1.2
	945	1.5
	1085	1.8
	1200	2.1
	1320	2.4
	1350	2.55

Tabel 4.10 Data hasil spesimen serat kombinasi 3

Kode Spesimen	Beban (N)	Pertambahan Panjang (mm)
K ₃	0	0
	130	0.25
	275	0.5
	390	0.75
	460	1
	555	1.25
	650	1.5
	745	1.75
	842	2

4.2.2 Hasil Perhitungan Tegangan, Regangan, dan Modulus Elastisitas

Data hasil pengujian tarik yang diperoleh dari mesin *Universal Testing Machine* (UTM) selanjutnya diolah secara matematis untuk memperoleh nilai tegangan dan

regangan pada setiap titik pembebanan. Hasil perhitungan tersebut digunakan untuk menyusun grafik hubungan tegangan–regangan pada masing-masing spesimen. Selanjutnya, grafik tegangan–regangan digunakan untuk menentukan tegangan maksimum, regangan maksimum, dan modulus elastisitas.

Perhitungan dilakukan berdasarkan data beban dan pertambahan panjang yang diperoleh dari hasil pengujian serta dimensi awal penampang spesimen. Persamaan yang digunakan mengacu pada persamaan yang telah dijelaskan pada Bab II.

Nilai tegangan pada setiap titik pembebanan dihitung menggunakan persamaan:

$$\sigma_i = \frac{F_i}{A_0} \quad (4.1)$$

Perhitungan dilakukan untuk seluruh data beban yang diperoleh dari hasil pengujian. Dengan demikian, setiap nilai beban akan menghasilkan satu nilai tegangan yang digunakan sebagai sumbu vertikal pada grafik tegangan–regangan.

Nilai regangan pada setiap titik pembebanan dihitung menggunakan persamaan:

$$\varepsilon_i = \frac{\Delta l_i}{l_0} \quad (4.2)$$

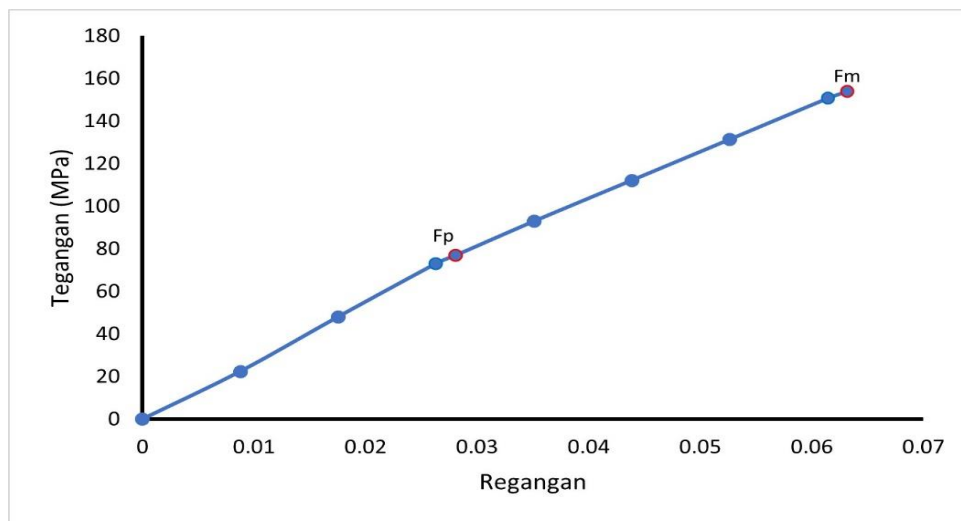
Modulus elastisitas ditentukan berdasarkan perbandingan antara tegangan dan regangan pada batas proporsional (*proportional limit*) yang ditunjukkan oleh titik F_p pada hasil pengujian tarik. Titik F_p dipilih karena masih berada pada daerah elastis atau linear kurva tegangan–regangan. Nilai modulus elastisitas dihitung menggunakan persamaan:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (4.3)$$

$$E = \frac{\sigma_p}{\epsilon_p} \quad (4.4)$$

Setelah persamaan tegangan dan regangan ditentukan, pengolahan data dilakukan secara individual pada masing-masing spesimen.

4.2.2.1 Perhitungan Spesimen Kode V₁



Gambar 4.4 Hubungan tegangan-regangan spesimen vakum 1 (kode V₁)

Berdasarkan grafik tersebut, nilai tegangan maksimum diperoleh pada saat spesimen menerima beban maksimum. Nilai tegangan maksimum Spesimen V₁ adalah sebesar 153.84 MPa, sedangkan regangan maksimum yang diperoleh sebesar 0.06.

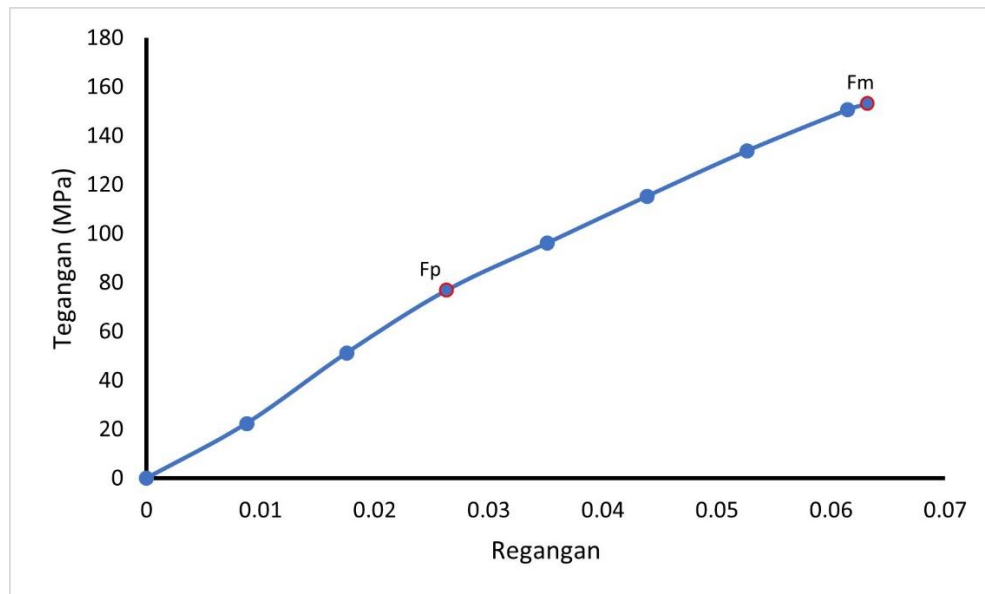
Modulus elastisitas ditentukan berdasarkan daerah linear kurva tegangan–regangan. Berdasarkan regresi linear pada daerah tersebut diperoleh persamaan:

$$E = \frac{\sigma_p}{\epsilon_p}$$

$$E = \frac{76.92}{0.02}$$

$$E = 3846 \text{ MPa} = 3.84 \text{ GPa}$$

4.2.2.2 Perhitungan Spesimen Kode V₂



Gambar 4.5 Hubungan tegangan-regangan spesimen vakum 2 (V₂)

Berdasarkan grafik tersebut, nilai tegangan maksimum diperoleh pada saat spesimen menerima beban maksimum. Nilai tegangan maksimum Spesimen V₂ adalah sebesar 153.2 MPa, sedangkan regangan maksimum yang diperoleh sebesar 0.06.

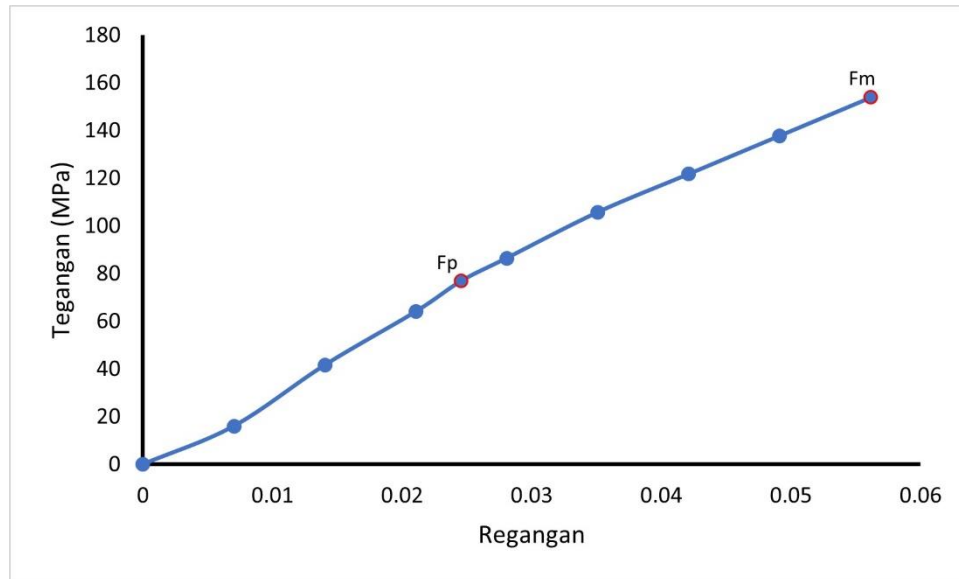
Modulus elastisitas ditentukan berdasarkan daerah linear kurva tegangan–regangan. Berdasarkan regresi linear pada daerah tersebut diperoleh persamaan:

$$E = \frac{\sigma_p}{\epsilon_p}$$

$$E = \frac{76.92}{0.02}$$

$$E = 3846 \text{ MPa} = 3.84 \text{ GPa}$$

4.2.2.3 Perhitungan Spesimen Kode V₃



Gambar 4.6 Hubungan tegangan-regangan spesimen vakum 3 (kode V₃)

Berdasarkan grafik tersebut, nilai tegangan maksimum diperoleh pada saat spesimen menerima beban maksimum. Nilai tegangan maksimum Spesimen V₃ adalah sebesar 163.46 MPa, sedangkan regangan maksimum yang diperoleh sebesar 0.06.

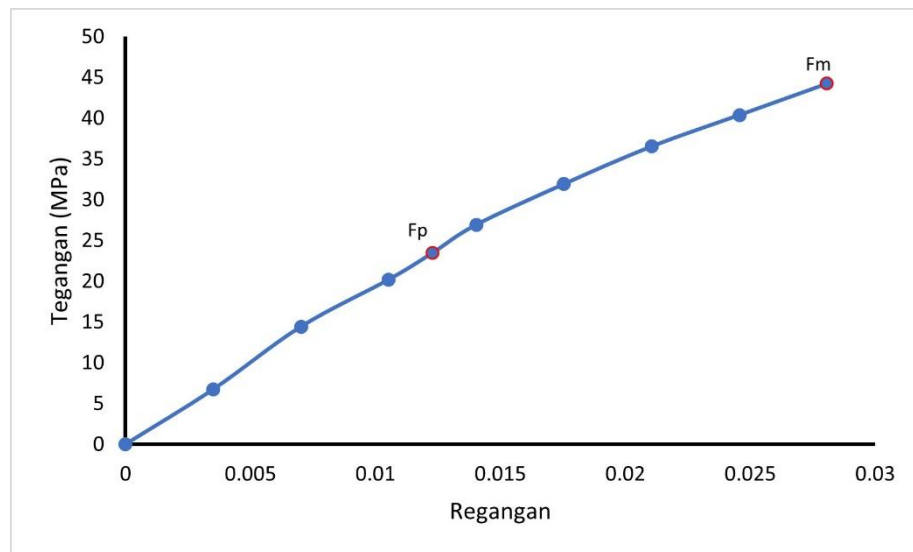
Modulus elastisitas ditentukan berdasarkan daerah linear kurva tegangan–regangan. Berdasarkan regresi linear pada daerah tersebut diperoleh persamaan:

$$E = \frac{\sigma_p}{\epsilon_p}$$

$$E = \frac{76.92}{0.02}$$

$$E = 3846 \text{ MPa} = 3.84 \text{ GPa}$$

4.2.2.4 Perhitungan Spesimen Kode H₁



Gambar 4.7 Hubungan tegangan-regangan spesimen *hand lay* 1 (kode H₁)

Berdasarkan grafik tersebut, nilai tegangan maksimum diperoleh pada saat spesimen menerima beban maksimum. Nilai tegangan maksimum Spesimen H₁ adalah sebesar 48.07 MPa, sedangkan regangan maksimum yang diperoleh sebesar 0.03.

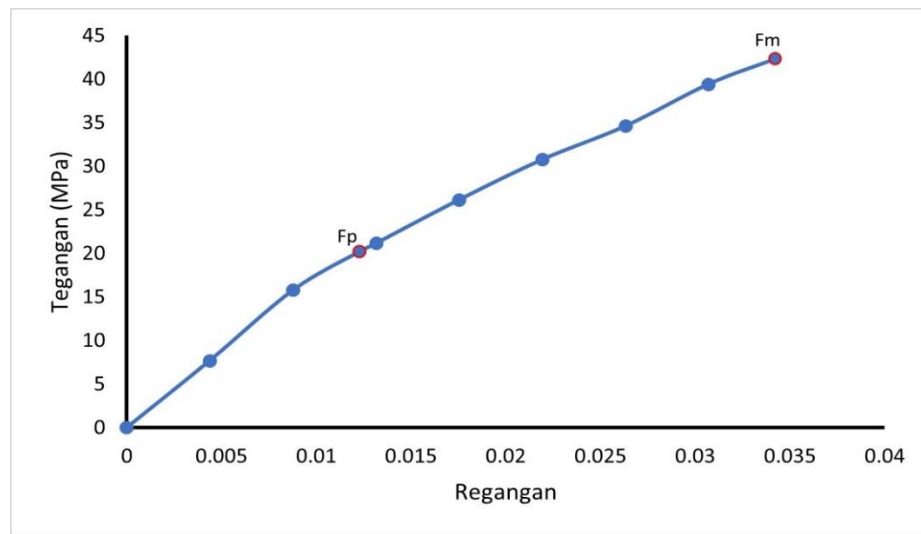
Modulus elastisitas ditentukan berdasarkan daerah linear kurva tegangan–regangan. Berdasarkan regresi linear pada daerah tersebut diperoleh persamaan:

$$E = \frac{\sigma_p}{\epsilon_p}$$

$$E = \frac{23.46}{0.01}$$

$$E = 2346 \text{ MPa} = 2.34 \text{ GPa}$$

4.2.2.5 Perhitungan Spesimen Kode H₂



Gambar 4.8 Hubungan tegangan-regangan spesimen *hand lay* 2 (kode H₂)

Berdasarkan grafik tersebut, nilai tegangan maksimum diperoleh pada saat spesimen menerima beban maksimum. Nilai tegangan maksimum Spesimen H₂ adalah sebesar 42.3 MPa, sedangkan regangan maksimum yang diperoleh sebesar 0.03.

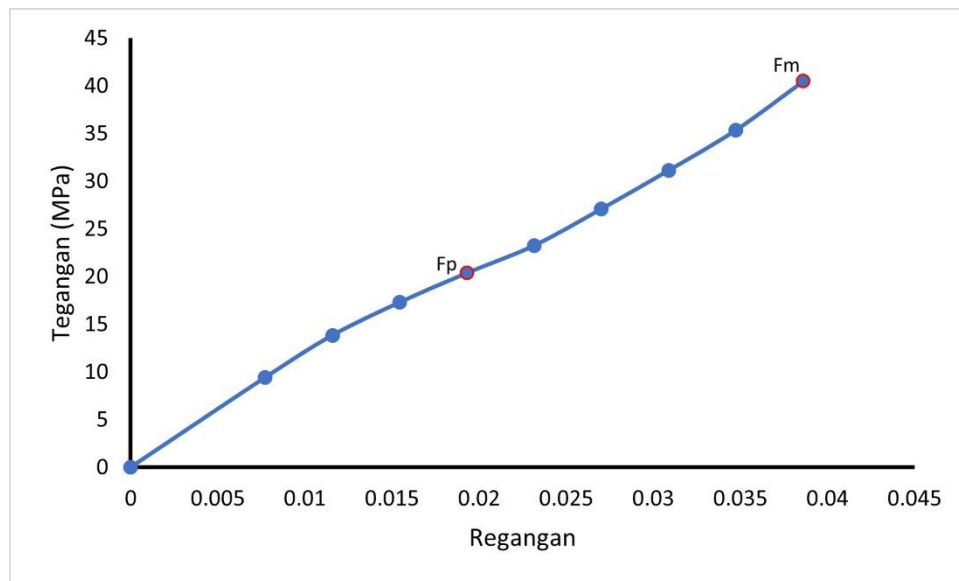
Modulus elastisitas ditentukan berdasarkan daerah linear kurva tegangan–regangan. Berdasarkan regresi linear pada daerah tersebut diperoleh persamaan:

$$E = \frac{\sigma_p}{\epsilon_p}$$

$$E = \frac{20.19}{0.01}$$

$$E = 2019 \text{ MPa} = 2.01 \text{ GPa}$$

4.2.2.6 Perhitungan Spesimen Kode H₃



Gambar 4.9 Hubungan tegangan-regangan spesimen *hand lay* 3 (kode H₃)

Berdasarkan grafik tersebut, nilai tegangan maksimum diperoleh pada saat spesimen menerima beban maksimum. Nilai tegangan maksimum Spesimen H₃ adalah sebesar 40.5 MPa, sedangkan regangan maksimum yang diperoleh sebesar 0.03.

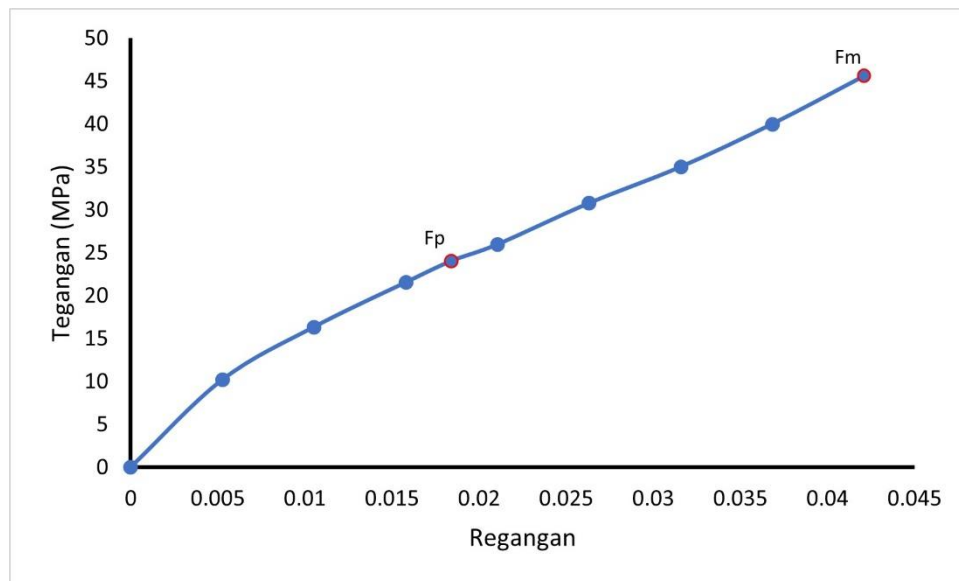
Modulus elastisitas ditentukan berdasarkan daerah linear kurva tegangan–regangan. Berdasarkan regresi linear pada daerah tersebut diperoleh persamaan:

$$E = \frac{\sigma_p}{\epsilon_p}$$

$$E = \frac{20.38}{0.01}$$

$$E = 2038 \text{ MPa} = 2.03 \text{ GPa}$$

4.2.2.7 Perhitungan Spesimen Kode K₁



Gambar 4.10 Hubungan tegangan-regangan spesimen kombinasi 1 (kode K₁)

Berdasarkan grafik tersebut, nilai tegangan maksimum diperoleh pada saat spesimen menerima beban maksimum. Nilai tegangan maksimum Spesimen K₁ adalah sebesar 46.15 MPa, sedangkan regangan maksimum yang diperoleh sebesar 0.04.

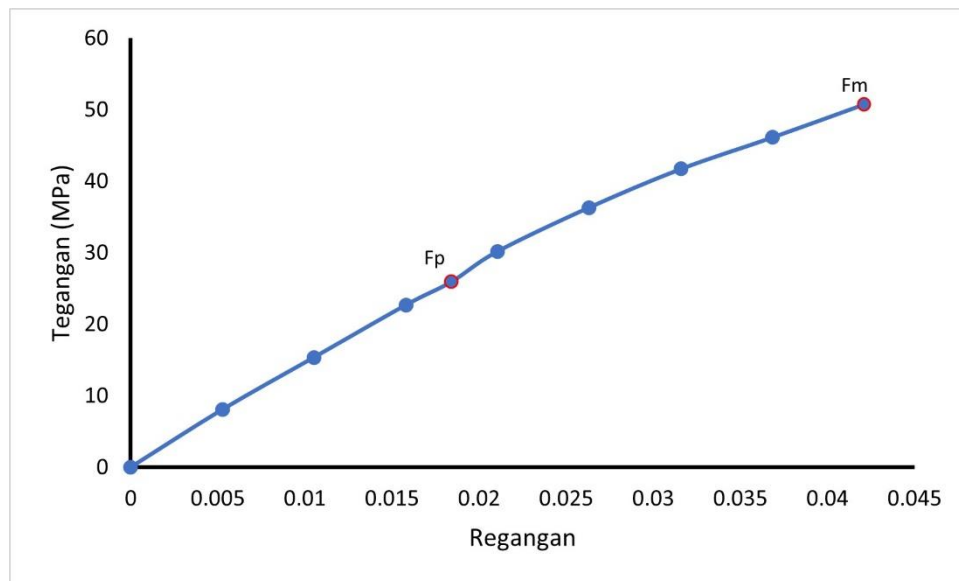
Modulus elastisitas ditentukan berdasarkan daerah linear kurva tegangan–regangan. Berdasarkan regresi linear pada daerah tersebut diperoleh persamaan:

$$E = \frac{\sigma_p}{\epsilon_p}$$

$$E = \frac{24.03}{0.01}$$

$$E = 2403 \text{ MPa} = 2.4 \text{ GPa}$$

4.2.2.8 Perhitungan Spesimen Kode K₂



Gambar 4.11 Hubungan tegangan-regangan spesimen kombinasi 2 (kode K₂)

Berdasarkan grafik tersebut, nilai tegangan maksimum diperoleh pada saat spesimen menerima beban maksimum. Nilai tegangan maksimum Spesimen K₂ adalah sebesar 51.92 MPa, sedangkan regangan maksimum yang diperoleh sebesar 0.04.

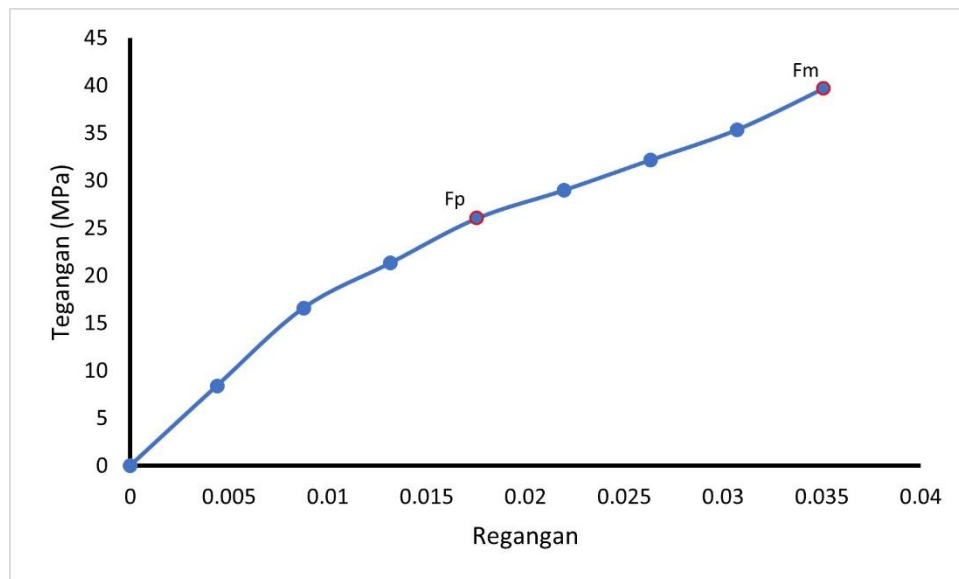
Modulus elastisitas ditentukan berdasarkan daerah linear kurva tegangan–regangan. Berdasarkan regresi linear pada daerah tersebut diperoleh persamaan:

$$E = \frac{\sigma_p}{\epsilon_p}$$

$$E = \frac{25.96}{0.01}$$

$$E = 2596 \text{ MPa} = 2.59 \text{ GPa}$$

4.2.2.9 Perhitungan Spesimen Kode K₃



Gambar 4.12 Hubungan tegangan-regangan spesimen kombinasi 3 (kode K₃)

Berdasarkan grafik tersebut, nilai tegangan maksimum diperoleh pada saat spesimen menerima beban maksimum. Nilai tegangan maksimum Spesimen K₃ adalah sebesar 39.73 MPa, sedangkan regangan maksimum yang diperoleh sebesar 0.03.

Modulus elastisitas ditentukan berdasarkan daerah linear kurva tegangan–regangan. Berdasarkan regresi linear pada daerah tersebut diperoleh persamaan:

$$E = \frac{\sigma_p}{\epsilon_p}$$

$$E = \frac{26.03}{0.01}$$

$$E = 2603 \text{ MPa} = 2.6 \text{ GPa}$$

Tabel 4.11 Rekapitulasi hasil perhitungan setiap spesimen

No	Kode Spesimen	Jenis Komposit	Metode Fabrikasi	σ maks. (MPa)	ϵ maks.	E (GPa)
1	V ₁	Fiberglass	Impregnasi vakum	153.84	0.06	3.84
2	V ₂	Fiberglass	Impregnasi vakum	153.2	0.06	3.84
3	V ₃	Fiberglass	Impregnasi vakum	163.46	0.06	3.84
4	H ₁	Fiberglass	Impregnasi <i>hand lay</i>	48.07	0.03	2.34
5	H ₂	Fiberglass	Impregnasi <i>hand lay</i>	42.3	0.03	2.01
6	H ₃	Fiberglass	Impregnasi <i>hand lay</i>	40.5	0.03	2.03
7	K ₁	Fiberglass + rami	Impregnasi <i>hand lay</i>	46.15	0.04	2.4
8	K ₂	Fiberglass + rami	Impregnasi <i>hand lay</i>	51.92	0.04	2.59
9	K ₃	Fiberglass + rami	Impregnasi <i>hand lay</i>	39.73	0.03	2.6

Selanjutnya, nilai dari masing-masing kelompok spesimen dihitung untuk memperoleh rata-rata dan standar deviasi. Hasil tersebut digunakan sebagai dasar perbandingan pada tahap analisis dan pembahasan.

4.2.2.10 Rata-rata Hasil Metode Impregnasi Vakum

a. Tegangan maksimum

$$\sigma_{Rata-rata} = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{n}$$

$$\sigma_{Rata-rata} = \frac{153.84 + 153.2 + 163.46}{3}$$

$$\sigma_{Rata-rata} = 156.83 \text{ MPa}$$

b. Regangan maksimum

$$\varepsilon_{Rata-rata} = \frac{\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3}{n}$$

$$\varepsilon_{Rata-rata} = \frac{0.06 + 0.06 + 0.06}{3}$$

$$\varepsilon_{Rata-rata} = 0.06$$

c. Modulus elastisitas

$$\varepsilon_{Rata-rata} = \frac{E_1 + E_2 + E_3}{n}$$

$$\varepsilon_{Rata-rata} = \frac{3.84 + 3.84 + 3.84}{3}$$

$$\varepsilon_{Rata-rata} = 3.84 \text{ GPa}$$

4.2.2.11 Rata-rata Hasil Metode Impregnasi *Hand Lay*

a. Tegangan maksimum

$$\sigma_{Rata-rata} = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{n}$$

$$\sigma_{Rata-rata} = \frac{48.07 + 42.3 + 40.5}{3}$$

$$\sigma_{Rata-rata} = 43.62 \text{ MPa}$$

b. Regangan maksimum

$$\varepsilon_{Rata-rata} = \frac{\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3}{n}$$

$$\varepsilon_{Rata-rata} = \frac{0.03 + 0.03 + 0.03}{3}$$

$$\varepsilon_{Rata-rata} = 0.03$$

- c. Modulus elastisitas

$$\varepsilon_{Rata-rata} = \frac{E_1 + E_2 + E_3}{n}$$

$$\varepsilon_{Rata-rata} = \frac{2.34 + 2.01 + 2.03}{3}$$

$$\varepsilon_{Rata-rata} = 2.13 \text{ GPa}$$

4.2.2.12 Rata-rata Hasil Serat Kombinasi

- a. Tegangan maksimum

$$\sigma_{Rata-rata} = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{n}$$

$$\sigma_{Rata-rata} = \frac{46.15 + 51.92 + 39.73}{3}$$

$$\sigma_{Rata-rata} = 45.93 \text{ MPa}$$

- b. Regangan maksimum

$$\varepsilon_{Rata-rata} = \frac{\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3}{n}$$

$$\varepsilon_{Rata-rata} = \frac{0.04 + 0.04 + 0.03}{3}$$

$$\varepsilon_{Rata-rata} = 0.03$$

- c. Modulus Elastisitas

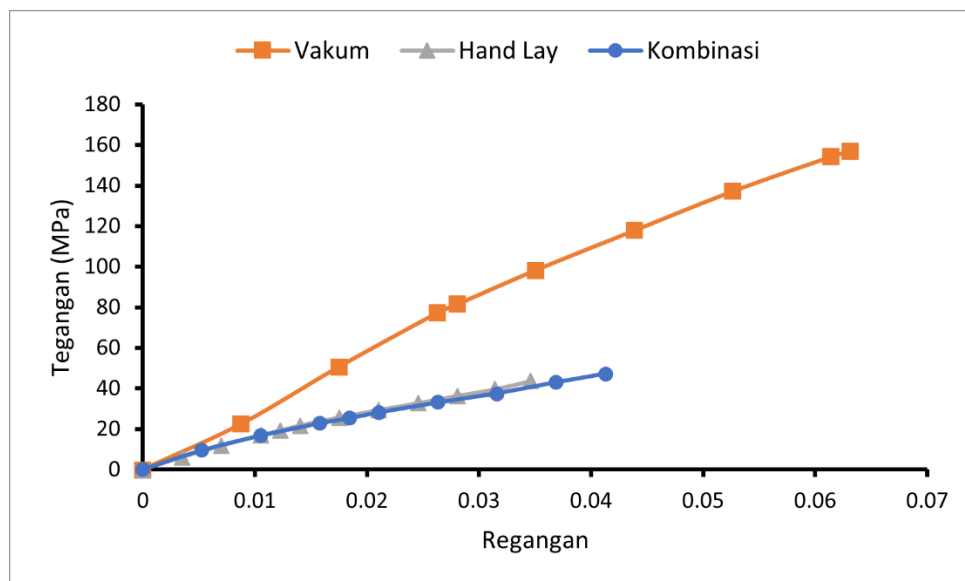
$$\varepsilon_{Rata-rata} = \frac{E_1 + E_2 + E_3}{n}$$

$$\varepsilon_{Rata-rata} = \frac{2.4 + 2.59 + 2.6}{3}$$

$$\varepsilon_{Rata-rata} = 2.53 \text{ Gpa}$$

Tabel 4.12 Rata-rata hasil pengujian tarik

Komposit	Metode	σ maks. (MPa)	ϵ maks.	E (GPa)
Fiberglass	Impregnasi vakum	156.83	0.06	3.84
Fiberglass	Impregnasi hand lay	43.62	0.03	2.13
Fiberglass + rami	Impregnasi hand lay	45.93	0.03	2.53

**Gambar 4.13** Perbandingan hubungan tegangan-regangan komposit impregnasi vakum, *hand lay*, dan kombinasi serat

4.3 Analisis dan Pembahasan

Hasil pengujian tarik yang telah diperoleh dan diolah pada subbab sebelumnya selanjutnya dianalisis untuk mengetahui perbedaan sifat mekanik pada masing-masing variasi komposit. Analisis dilakukan berdasarkan tiga parameter utama, yaitu tegangan tarik maksimum, regangan maksimum, dan modulus elastisitas. Pembahasan difokuskan pada perbandingan komposit serat *fiberglass* yang difabrikasi

menggunakan metode impregnasi vakum, komposit serat *fiberglass* yang difabrikasi menggunakan metode hand lay, serta komposit kombinasi serat *fiberglass* dan serat rami yang difabrikasi menggunakan metode hand lay.

4.3.1 Pengaruh Metode Impregnasi Terhadap Kekuatan Tarik

Perbandingan pengaruh metode fabrikasi dilakukan pada komposit yang menggunakan serat *fiberglass*. Berdasarkan hasil pengujian, komposit serat *fiberglass* yang difabrikasi menggunakan metode impregnasi vakum menghasilkan nilai tegangan tarik maksimum rata-rata sebesar 156,83 MPa, sedangkan komposit serat *fiberglass* yang difabrikasi menggunakan metode *hand lay* menghasilkan nilai sebesar 43,62 MPa. Hasil tersebut menunjukkan bahwa komposit *fiberglass* yang difabrikasi menggunakan metode impregnasi vakum memiliki kemampuan menerima beban tarik yang lebih tinggi dibandingkan dengan komposit *fiberglass* yang difabrikasi menggunakan metode *hand lay*.

Perbedaan nilai tersebut menunjukkan bahwa metode fabrikasi memberikan pengaruh terhadap hasil sifat mekanik komposit. Pada metode impregnasi vakum, tekanan vakum membantu proses impregnasi resin ke dalam susunan serat sekaligus memberikan pemadatan pada laminasi. Kondisi tersebut dapat membantu menghasilkan distribusi resin yang lebih merata serta mengurangi udara yang terperangkap di antara lapisan serat. Laminasi yang lebih kompak dapat meningkatkan proses transfer beban antara serat dan matriks ketika komposit menerima pembebanan tarik.

Sebaliknya, pada metode *hand lay*, proses impregnasi resin dilakukan secara manual sehingga kualitas pembasahan serat dan distribusi resin lebih bergantung pada

proses pengerjaan. Kondisi tersebut dapat menyebabkan distribusi resin yang kurang seragam atau terbentuknya rongga pada beberapa bagian laminasi. Adanya rongga atau *void* dapat menjadi konsentrasi tegangan yang berpotensi memicu terjadinya kerusakan pada saat spesimen menerima pembebanan tarik.

Perbedaan hasil juga terlihat pada nilai modulus elastisitas. Komposit *fiberglass* dengan metode impregnasi vakum menghasilkan nilai modulus elastisitas rata-rata sebesar 3,84 GPa, sedangkan komposit *fiberglass* dengan metode *hand lay* menghasilkan nilai sebesar 2,13 GPa. Nilai tersebut menunjukkan bahwa komposit hasil impregnasi vakum memiliki kekakuan yang lebih tinggi dibandingkan dengan komposit hasil *hand lay*. Kondisi laminasi yang lebih kompak dan distribusi resin yang lebih merata dapat mendukung kemampuan material dalam mempertahankan deformasi pada daerah proporsional.

Pada parameter regangan maksimum, kedua metode menghasilkan nilai rata-rata yang relatif sama, yaitu 0,06 pada metode impregnasi vakum dan 0,03 pada metode *hand lay*. Berdasarkan hasil tersebut, komposit *fiberglass* hasil impregnasi vakum mampu mengalami deformasi yang lebih besar sebelum mencapai tegangan maksimum dibandingkan dengan komposit *fiberglass* hasil *hand lay*.

Berdasarkan hasil pengujian, komposit serat *fiberglass* yang difabrikasi menggunakan metode impregnasi vakum menghasilkan nilai tegangan tarik maksimum dan modulus elastisitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan metode *hand lay*. Dengan demikian, pada penelitian ini metode impregnasi vakum menghasilkan sifat mekanik yang lebih baik pada komposit serat *fiberglass* dibandingkan dengan metode *hand lay*.

4.3.2 Pengaruh Jenis dan Kombinasi Serat terhadap Sifat Mekanik Komposit

Komposit kombinasi serat *fiberglass* dan rami yang difabrikasi menggunakan metode *hand lay* menghasilkan nilai rata-rata tegangan tarik maksimum sebesar 45,93 MPa, regangan maksimum sebesar 0,03, dan modulus elastisitas sebesar 2,53 GPa. Nilai tersebut kemudian dibandingkan dengan komposit serat *fiberglass* tunggal yang juga difabrikasi menggunakan metode *hand lay* untuk mengetahui perubahan sifat mekanik setelah dilakukan kombinasi serat.

Berdasarkan hasil pengujian, komposit kombinasi *fiberglass* dan rami menghasilkan tegangan tarik maksimum rata-rata sebesar 45,93 MPa, sedangkan komposit *fiberglass* tunggal menghasilkan nilai sebesar 43,62 MPa. Dengan demikian, terjadi peningkatan tegangan tarik maksimum sebesar sekitar 5,30% pada komposit kombinasi. Hasil tersebut menunjukkan bahwa penggunaan kombinasi serat *fiberglass* dan rami pada penelitian ini memberikan peningkatan terhadap kemampuan komposit dalam menerima beban tarik dibandingkan dengan penggunaan serat *fiberglass* tunggal pada metode fabrikasi yang sama.

Peningkatan tersebut dapat berkaitan dengan keberadaan serat rami yang berkontribusi sebagai penguat tambahan pada struktur laminasi. Ketika menerima pembebanan tarik, beban yang diterima matriks dapat diteruskan kepada serat melalui interaksi antara serat dan matriks. Kombinasi dua jenis serat dengan karakteristik yang berbeda dapat menghasilkan mekanisme transfer beban yang berbeda pula dibandingkan dengan penggunaan satu jenis serat.

Pada parameter regangan maksimum, komposit *fiberglass* tunggal menghasilkan nilai rata-rata sebesar 0,03, sedangkan komposit kombinasi *fiberglass* dan rami menghasilkan nilai rata-rata sebesar 0,03. Hasil tersebut menunjukkan tidak adanya

peningkatan signifikan kemampuan deformasi pada komposit kombinasi sebelum mencapai kondisi maksimum.

Nilai modulus elastisitas mengalami peningkatan. Komposit *fiberglass* tunggal menghasilkan modulus elastisitas rata-rata sebesar 2,13 GPa, sedangkan komposit kombinasi *fiberglass* dan rami menghasilkan nilai sebesar 2,53 GPa. Dengan demikian, terjadi peningkatan modulus elastisitas sekitar 18,96%. Peningkatan tersebut menunjukkan bahwa kombinasi serat *fiberglass* dan rami menghasilkan komposit dengan tingkat kekakuan yang lebih tinggi dibandingkan dengan komposit *fiberglass* tunggal pada metode *hand lay*.

Secara keseluruhan, berdasarkan hasil pengujian pada metode *hand lay*, kombinasi serat *fiberglass* dan rami menghasilkan nilai tegangan tarik maksimum, regangan maksimum, dan modulus elastisitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan komposit *fiberglass* tunggal. Hasil tersebut menunjukkan bahwa kombinasi serat *fiberglass* dan rami pada komposisi dan kondisi fabrikasi yang digunakan dalam penelitian ini memberikan pengaruh positif terhadap sifat mekanik komposit.