

BAB IV

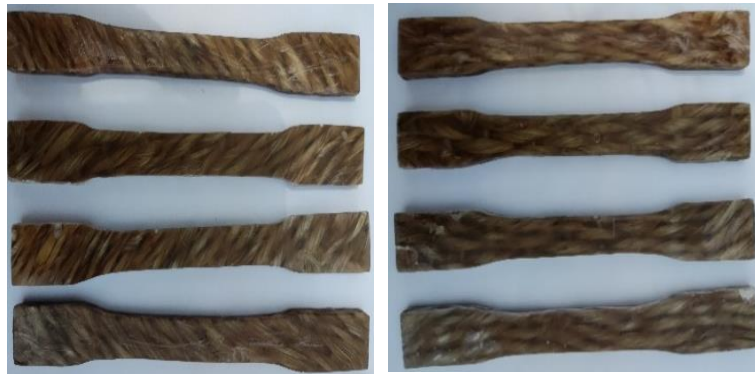
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian yang berjudul “Analisa Kekuatan Tarik dan Bending Komposit Resin *Polyester* yang Diperkuat Serat Rami Tenun” ini akan dilakukan pengujian mekanik berupa uji Tarik untuk mengetahui kekuatan dan karakteristik suatu material dan uji *Bending* untuk mengetahui mutu suatu material akibat diberi pembebanan dan kekenyalan dari spesimen. Pengujian dilaksanakan di PT. Krakatau Posco, Kota Cilegon untuk pengujian Tarik dengan standar ASTM D638-01 dan Lembaga inspeksi HI-TECH, Kota Tangerang Selatan untuk pengujian *Bending* dengan standar D790 tipe *Three Point Bending*. Setelah di dapat hasil data pengujian Tarik dan *Bending*, akan dilakukan foto makro patahan hasil dari pengujian, untuk mengetahui bentuk dan tipe patahan dari spesimen.

4.1 Pengujian Tarik

Pada penelitian kali ini variabel bebas yang digunakan pada pengujian Tarik yaitu variasi orientasi arah pemotongan sudut yang terdiri dari pemotongan sudut 0° dan pemotongan sudut 45° menggunakan standar ASTM D638-01. Pengujian Tarik ini dilakukan dengan 4 sampel untuk masing-masing variasi sehingga total untuk uji Tarik adalah 8 spesimen. Pada pengujian Tarik ini terdapat kendala pada alat karena pada dasarnya alat Tarik ini digunakan untuk menguji logam, sehingga diperlukan penyesuaian tekanan pada pencekaman dari kondisi awal sebesar 50 bar menjadi 20 bar.

Sebelum menjadi bentuk standar spesimen uji Tarik, bentuk semulanya mengikuti bentuk cetakan dengan dimensi cetakan 180 x 180 mm dengan ketebalan 10 mm. Sedangkan untuk dimensi pengujian Tarik sendiri adalah Panjang 165 mm, lebar kepala 19,5 mm, lebar leher 13 mm, tebal 7 mm. Pada **Gambar 4.1** dibawah menunjukkan foto makro spesimen komposit yang sudah dipotong sesuai standar pengujian Tarik.



a. Arah sudut 45°

b. Arah sudut 0°

Gambar 4.1 Foto Makro Spesimen Uji Tarik yang Sudah Dipotong Sesuai dengan Standar

Dapat dilihat secara fisik arah serat pada penampang foto makro bentuk spesimen tarik diatas terlihat struktur seratnya sangat rapat sehingga spesimen mempunyai distribusi beban yang efektif. Arah serat dapat terlihat karena dimensi ketebalan mendekati dari spesimen tarik yang sesuai dengan standar sehingga spesimen hanya dilakukan pengampelasan pada permukaan spesimen. Selain itu hal ini disebabkan oleh teknik tenun serat *plain* yang memiliki kerutan besar dan resin yang digunakan yaitu resin polyester yang juga mempunyai sifat kerutan yang tinggi karena diberi tekanan terus menerus, sehingga sifat dari teknik tenun dan resin yang digunakan yang sama sama mempunyai kerutan yang besar akan membentuk menjadi satu sifat yang membuat komposit mempunyai konsentrasi yang tinggi atau tingkat kerapatan yang tinggi.

4.1.1 Data Pengujian Tarik

Pada penelitian ini variabel bebas yang digunakan adalah orientasi sudut arah pemotogan serat 0° dan 45° dengan sampel uji 4 buah spesimen per variasi yang akan dilakukan pengujian mekanik berupa uji tarik untuk mengetahui kekuatan dan karakteristik suatu material. Pengujian tarik dilaksanakan di PT. Krakatau Posco, Kota Cilegon dengan standar ASTM D638-01. Mesin yang digunakan pada pengujian tarik ini adalah *Zwickroell Universal Testing Machine* dengan kapasitas 600KN.

Berikut merupakan tabel data dimensi untuk spesimen pengujian

tarik yang mengacu pada standar D638-01 dengan variasi orientasi arah serat 0° dan 45°.

Tabel 4.1 Data dimensi spesimen untuk pengujian tarik komposit

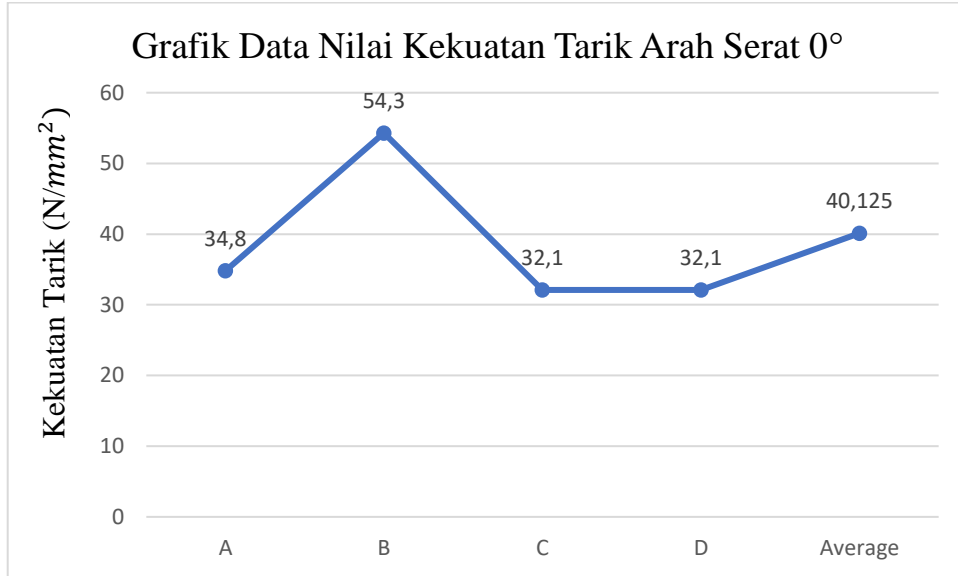
Variasi Sudut	Spesimen	Lebar (mm)	Tebal (mm)	Panjang Awal (mm)	Luas (mm ²)
0°	A	12,76	6,77	58,16	86,39
	B	13,24	6,93	57,79	91,75
	C	12,68	6,81	57,41	86,35
	D	12,87	6,85	57,92	88,16
45°	A	13,17	6,72	57,84	88,50
	B	12,92	6,8	58,21	87,86
	C	12,81	6,94	58,13	88,90
	D	12,77	6,79	57,57	86,71

Setelah data dimensi spesimen diukur dan didapat kemudian dilakukan pengujian tarik pada 4 spesimen dari masing-masing variasi orientasi arah serat pada sudut 0° dan 45° lalu mengolah data hasil dari pengujian tarik tersebut. Berikut adalah data hasil dari pengujian tarik komposit resin poliester berpenguat tenun rami untuk variasi sudut 0° dan 45°.

Tabel 4.2 Data uji tarik komposit variasi sudut 0°

Test Code	Kekuatan Tarik (N/mm ²)	Modulus Elastisitas (Mpa)	Elongation (%)
A	34,8	3550,821	0,98
B	54,3	4683,578	1,16
C	32,1	3412,706	0,94
D	32,1	2995,074	1,31
Min	32,1	2995,074	0,98
Max	54,3	4683,578	1,31
Average	40,125	3660,54	1,10

Setelah didapatkan data berupa nilai kekuatan tarik pada arah serat 0° seperti pada **Tabel 4.2** diatas maka dapat dibuat grafik seperti dibawah ini.



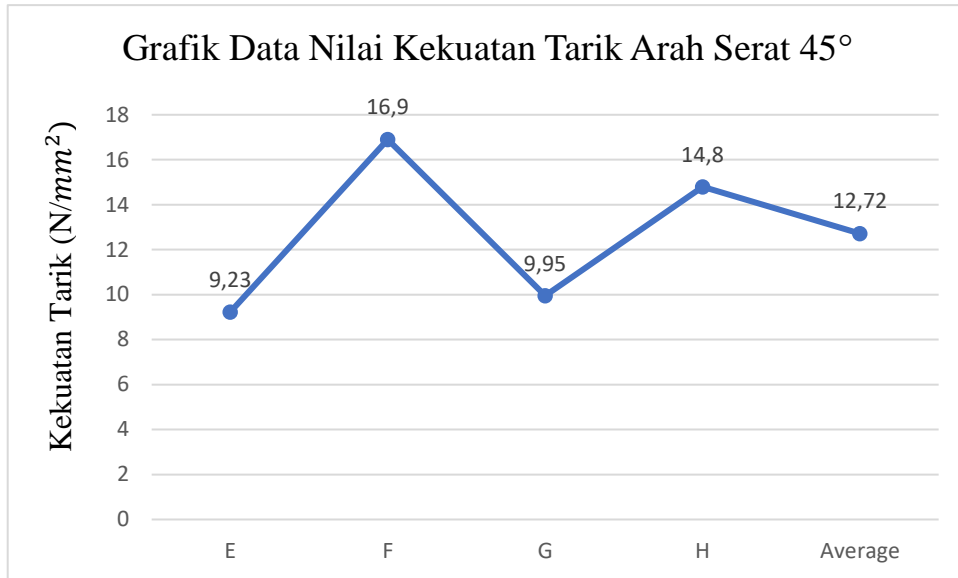
Gambar 4.2 Grafik Data Nilai Kekuatan Tarik Arah Serat 0°

Selain itu, dibawah ini merupakan tabel data nilai kekuatan tarik pada komposit dengan arah serat 45° .

Tabel 4.3 Data uji tarik komposit variasi sudut 45°

<i>Test Code</i>	Kekuatan Tarik (N/mm ²)	Modulus Elastisitas (Mpa)	Elongation (%)
E	9,23	1017,430	0,9072
F	16,9	2715,736	0,6223
G	9,95	1797,530	0,5535
H	14,8	2825,320	0,5238
Min	9,23	1017,43	0,5238
Max	16,9	2825,320	0,9072
Average	12,72	2089,00	0,65

Setelah didapatkan data berupa nilai kekuatan tarik pada arah serat 45° seperti pada **Tabel 4.3** diatas maka dapat dibuat grafik seperti dibawah ini.



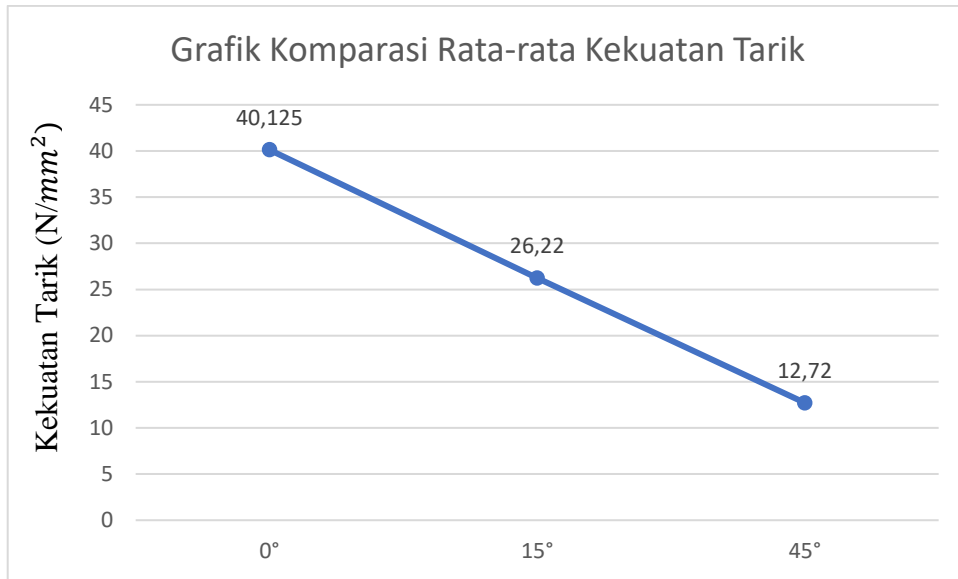
Gambar 4.3 Grafik Data Nilai Kekuatan Tarik Arah Serat 45°

Selain itu, dibawah ini merupakan tabel data nilai kekuatan tarik pada komposit dengan arah serat 15°.

Tabel 4.4 Data uji tarik komposit variasi sudut 15°

<i>Test Code</i>	Kekuatan Tarik (N/mm ²)	Modulus Elastisitas (Mpa)	Elongation (%)
I	26,4	1205,63	0,9839
J	25,9	2076,16	0,9271
K	26,2	1792,75	1,13
L	26,4	1257,23	0,9752
Min	25,9	1205,63	0,9271
Max	26,4	2076,16	1,13
Average	26,22	1582,94	1,004

Setelah didapatkan beberapa data berupa nilai kekuatan tarik pada arah serat 0°, 15°, dan 45° seperti pada **Tabel 4.2, 4.3, dan 4.4** diatas maka dapat dibuat grafik komparasi seperti dibawah ini.



Gambar 4.4 Grafik Komparasi Rata-rata Kekuatan Tarik Antara 0°, 15°, dan 45°

4.2 Pengujian *Bending*

Pada penelitian kali ini variabel yang digunakan untuk pengujian *bending* adalah orientasi arah pemotongan sudut pada komposit, yang terdiri dari sudut pemotongan 0° dan 45°. Pada pengujian *bending* ini terdapat 3 sampel per variasi, pengujian *bending* dilakukan di Lembaga Inspeksi HI-TECH, Kota Tangerang Selatan untuk pengujian *Bending* yang bertujuan untuk mengetahui mutu suatu material akibat diberi pembebanan dan kekenyalan dari spesimen dengan standar D790 tipe *Three Point Bending*.

Sebelum dibentuk menjadi spesimen *bending* komposit awalnya berbentuk sesuai dengan cetakan yang dimensinya adalah 180 x 180 mm dengan ketebalan 10 mm. Sedangkan untuk dimensi uji *bending* sendiri adalah Panjang 100 mm, lebar 10 mm, dan ketebalan 5 mm. Dapat dilihat pada **Gambar 4.2** dibawah ini menunjukkan foto makro spesimen uji *bending* yang sudah dibentuk sesuai dengan standar ASTM D790.



a. Arah sudut 0°

b. Arah sudut 45°

Gambar 4.5 Foto Makro Spesimen Uji *Bending* yang Sudah Dipotong Sesuai dengan Standar

Dapat dilihat secara fisik pada penampang foto makro spesimen uji *bending* diatas arah serat pada spesimen terlihat lebih jelas dibandingkan dengan spesimen tarik. Hal tersebut di karenakan dimensi ketebalan dari spesimen uji *bending* sendiri lebih kecil dibandingkan dengan spesimen uji tarik yaitu sebesar 5 mm sesuai dengan standar ASTM yang digunakan. Selain itu, hal tersebut juga di karenakan faktor dari teknik tenunan yang digunakan yaitu teknik *plain* dan resin yang digunakan yang mempunyai tingkat kerapatan dan kerapihan yang tinggi. Sehingga dapat terlihat bahwa distribusi beban yang diterima akan lebih optimal karena tingkat kerapatan yang tinggi antara serat dan resin.

4.2.1 Data Pengujian *Bending*

Pada penelitian ini variabel bebas yang digunakan adalah orientasi sudut arah pemotogan serat 0° dan 45° dengan sampel uji 4 buah spesimen per variasi yang akan dilakukan pengujian mekanik berupa uji *bending* untuk mengetahui mutu suatu material akibat diberi pembebanan dan kekenyalan dari spesimen. Pengujian *bending* dilaksanakan di Lembaga inspeksi HI-TECH, Kota Tangerang Selatan dengan standar ASTM D790 tipe *three point bending*. Mesin yang digunakan pada pengujian *bending* ini adalah *Gotech Computerised Universal Testing Machine* dengan kapasitas 500KN.

Berikut merupakan tabel data dimensi untuk spesimen pengujian *bending* yang mengacu pada standar D790 dengan variasi orientasi arah serat 0° dan 45° .

Tabel 4.5 Data dimensi spesimen untuk pengujian *bending* komposit

Variasi Sudut	No Spesimen	Lebar (mm)	Tebal (mm)	Panjang (mm)
0°	1	10	5	100
	2	10	5	100
	3	10	5	100
45°	1	10,5	5,5	100
	2	9,5	6	99
	3	10,5	6	99

Setelah data dimensi spesimen diukur dan didapat, kemudian dilakukan pengujian *bending* pada 3 spesimen dari masing-masing variasi orientasi arah serat pada sudut 0° dan 45° lalu mengolah data hasil dari pengujian *bending* tersebut. Berikut adalah data hasil dari pengujian *bending* komposit resin poliester berpenguat tenun rami untuk variasi sudut 0° dan 45°.

1. Perhitungan kekuatan *bending* sudut 0°

a. Spesimen 1

$$\begin{aligned}\sigma_u &= \frac{3PL}{2Bd^2} \\ &= \frac{3 \times 95,3 \times 100}{2 \times 10 \times 5^2} \\ &= 57,18 \text{ Mpa}\end{aligned}$$

b. Spesimen 2

$$\begin{aligned}\sigma_u &= \frac{3PL}{2Bd^2} \\ &= \frac{3 \times 92,7 \times 100}{2 \times 10 \times 5^2} \\ &= 55,06 \text{ Mpa}\end{aligned}$$

c. Spesimen 3

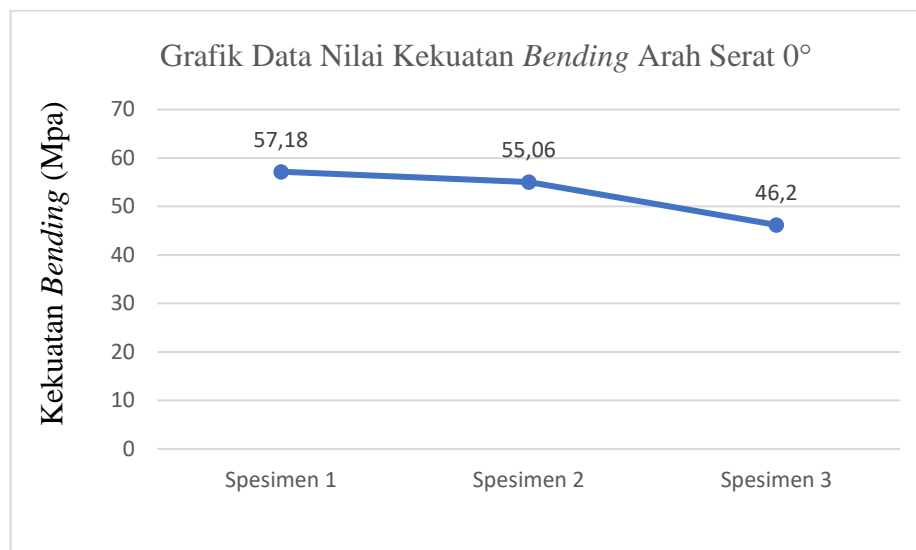
$$\begin{aligned}\sigma_u &= \frac{3PL}{2Bd^2} \\ &= \frac{3 \times 77,0 \times 100}{2 \times 10 \times 5^2} \\ &= 46,2 \text{ Mpa}\end{aligned}$$

Setelah melakukan perhitungan seperti diatas, didapatkan nilai kekuatan *bending* spesimen sudut 0° dari masing-masing spesimen yang diukur dari besar *max load* dan dimensi yang berbeda dari tiap spesimen. Berikut merupakan tabel yang berisi data hasil kekuatan *bending* untuk sudut 0° yang sudah dihitung.

Tabel 4.6 Data uji *bending* komposit variasi sudut 0°

No Spesimen	Kekuatan <i>Bending</i> (Mpa)	<i>Max Load</i> (N)
1	57,18	95,3
2	55,06	92,7
3	46,2	77,0
Min	46,2	77,0
Max	57,18	95,3
Average	52,81	88,33

Setelah melakukan perhitungan untuk mencari nilai kekuatan *bending* untuk komposit serat tenun rami berpenguat resin polyester dengan arah serat 0° , dibawah ini merupakan grafik dari data nilai kekuatan *bending* arah serat 0° .



Gambar 4.6 Grafik Data Nilai Kekuatan *Bending* Arah Serat 0°

2. Perhitungan kekuatan *bending* sudut 45° 635,25

a. Spesimen 1

$$\begin{aligned}\sigma_u &= \frac{3PL}{2Bd^2} \\ &= \frac{3 \times 73,8 \times 100}{2 \times 10,5 \times 5,5^2} \\ &= 34,85 \text{ Mpa}\end{aligned}$$

b. Spesimen 2

$$\begin{aligned}\sigma_u &= \frac{3PL}{2Bd^2} \\ &= \frac{3 \times 64,6 \times 99}{2 \times 9,5 \times 6^2} \\ &= 28,04 \text{ Mpa}\end{aligned}$$

c. Spesimen 3

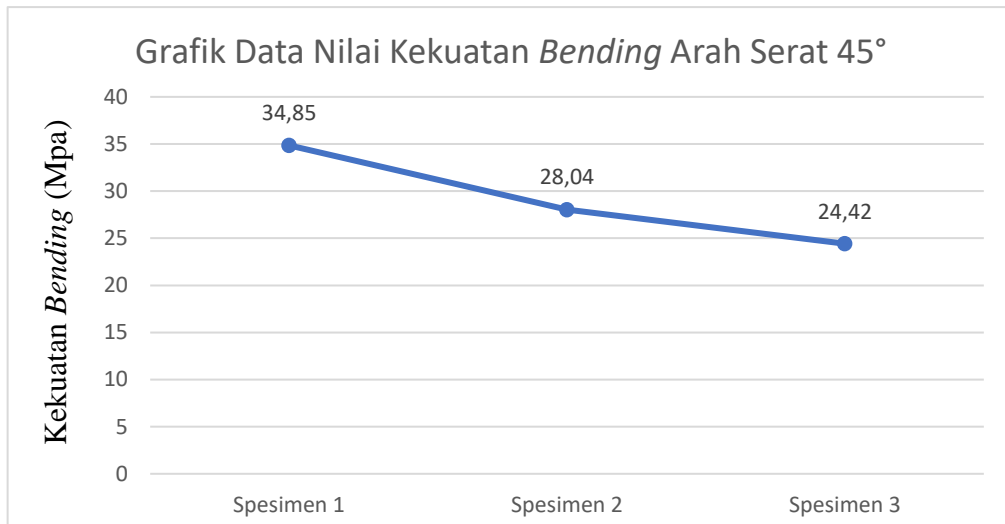
$$\begin{aligned}\sigma_u &= \frac{3PL}{2Bd^2} \\ &= \frac{3 \times 62,3 \times 99}{2 \times 10,5 \times 6^2} \\ &= 24,42 \text{ Mpa}\end{aligned}$$

Setelah melakukan perhitungan seperti diatas, didapatkan nilai kekuatan *bending* spesimen sudut 45° dari masing-masing spesimen yang diukur dari besar *max load* dan dimensi yang berbeda dari tiap spesimen. Berikut merupakan tabel yang berisi data hasil kekuatan *bending* untuk sudut 45° yang sudah dihitung.

Tabel 4.7 Data uji *bending* komposit variasi sudut 45°

No Spesimen	Kekuatan <i>Bending</i> (Mpa)	<i>Max Load</i> (N)
1	34,85	73,8
2	28,04	64,6
3	24,42	62,3
Min	24,42	62,3
Max	34,85	73,8
Average	29,10	66,90

Setelah melakukan perhitungan untuk mencari nilai kekuatan *bending* untuk komposit serat tenun rami berpenguat resin polyester dengan arah serat 45°, dibawah ini merupakan grafik dari data nilai kekuatan *bending* arah serat 45°.



Gambar 4.7 Grafik Data Nilai Kekuatan *Bending* Arah Serat 45°

Setelah melakukan perhitungan, didapatkan nilai kekuatan *bending* spesimen sudut 15° dari masing-masing spesimen yang diukur dari besar *max load* dan dimensi yang berbeda dari tiap spesimen. Berikut merupakan tabel yang berisi data hasil kekuatan *bending* untuk sudut 15° yang sudah dihitung.

Tabel 4.8 Data uji *bending* komposit variasi sudut 15°

No Spesimen	Kekuatan <i>Bending</i> (Mpa)	<i>Max Load</i> (N)
1	39,29	83,2
2	39	82,6
3	37,82	80,1
Min	37,82	80,1
Max	39,29	83,2
Average	38,70	81,96

4.3 Pembahasan

Setelah dilakukan dan didapatkan data hasil pengujian tarik dan *bending* selanjutnya melakukan analisa serta pembahasan dari hasil data yang didapat sebagai berikut.

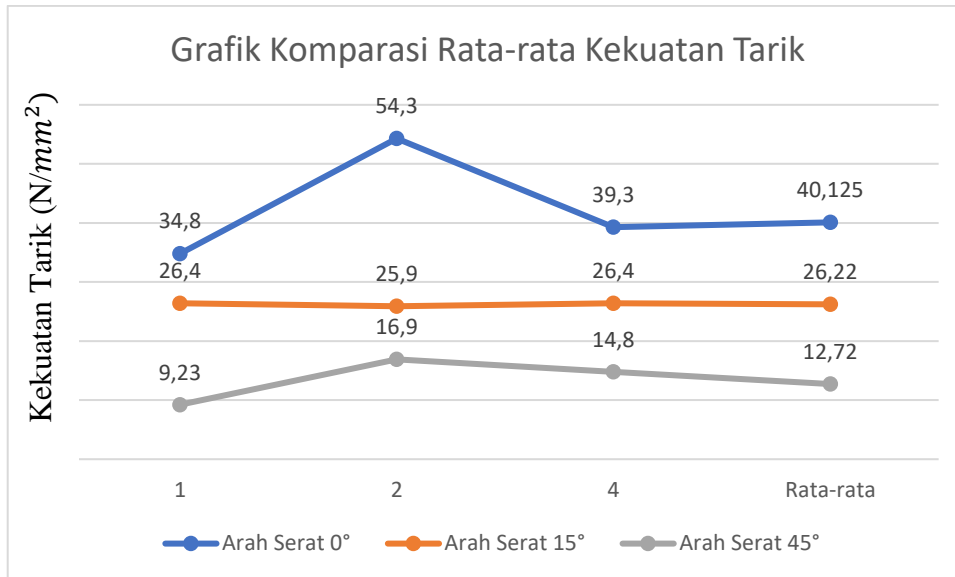
4.3.1 Uji Tarik

Setelah melakukan pengujian tarik terhadap spesimen material komposit resin polyester berpenguat tenun rami dengan variasi pemotongan sudut 0° , 15° , dan 45° , maka didapatkan hasil berupa data nilai kekuatan tarik, modulus elastisitas, dan elongasi.

Tabel 4.9 Tabel Perbandingan Data Kekuatan Tarik Komposit (N/mm^2)

Kekuatan Tarik (N/mm^2)			
No Spesimen	Arah Serat		
	0°	15°	45°
1	34,8	26,4	9,23
2	54,3	25,9	16,9
3	32,1	26,2	9,95
4	39,3	26,4	14,8
Rata-rata	40,125	26,22	12,72

Dari data nilai kekuatan tarik pada **Tabel 4.9** diatas maka dapat dibuat grafik seperti.



Gambar 4.8 Grafik Perbandingan Kekuatan Tarik Sudut 0°, 15° dan 45°

Dari data **Tabel 4.9** dan **Gambar 4.8** hasil pengujian kekuatan tarik dari spesimen material komposit resin polyester berpenguat tenun rami dengan variasi sudut pemotongan 0°, 15° dan 45° diatas didapatkan nilai kekuatan tarik rata-rata 40,125 N/mm² untuk sudut 0°, 26,22 N/mm² untuk sudut 15° dan 12,72 N/mm² untuk sudut 45°. Sedangkan jika dibandingkan untuk nilai kekuatan tarik terbesar diperoleh komposit sudut 0° sebesar 54,3 N/mm² pada spesimen 2, dan untuk nilai kekuatan tarik terendah diperoleh komposit sudut 45° sebesar 9,23 N/mm² pada spesimen 1. Dapat dilihat dari data perbandingan nilai kekuatan tarik diatas bahwa arah serat membuat perbedaan dari nilai kekuatan tarik antara sudut 0°, 15° dan 45°, dan terbukti bahwa arah serat 0° lebih unggul atau lebih kuat dibandingkan dengan arah serat 15° dan 45°. Hal tersebut disebabkan karena komposit dengan arah serat sudut 0° memiliki arah serat yang searah atau sejajar dengan gaya tarik saat pengujian, sehingga serat akan memiliki kemampuan yang lebih besar dan lebih efektif untuk menahan gaya tarik yang didistribusikan oleh matrik. Sedangkan untuk komposit dengan arah serat 15° dan 45° memiliki nilai kekuatan tarik lebih kecil disebabkan karena arah serat tidak sejajar atau menyilang dari arah gaya

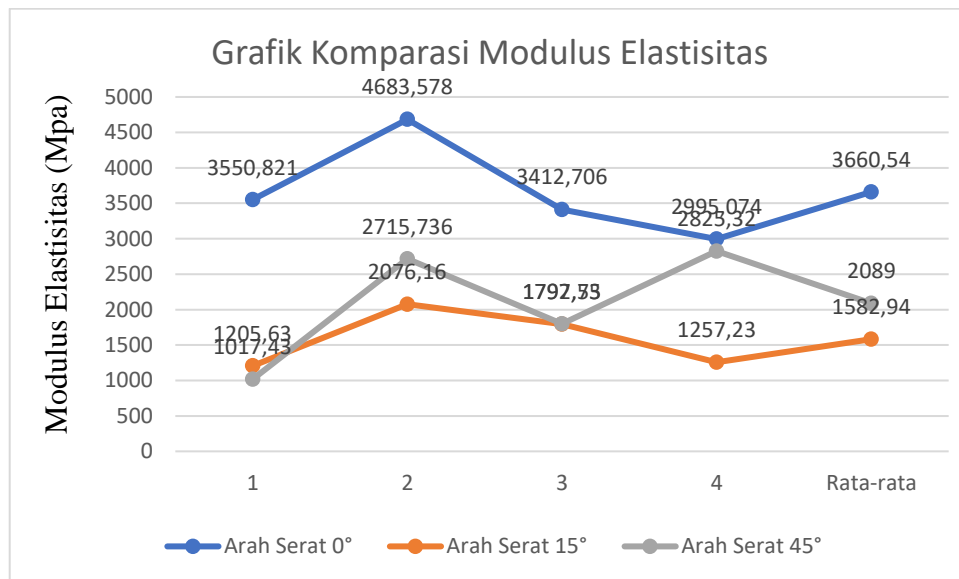
tarik saat pengujian, sehingga serat tidak terlalu bekerja efektif saat menahan gaya tarik yang didistribusikan oleh matrik.

Selain perbandingan nilai kekuatan tarik antara sudut 0°, 15° dan 45°, dapat diperoleh perbandingan nilai modulus elastisitas antara spesimen komposit sudut 0°, 15° dan 45° sebagai berikut.

Tabel 4.10 Tabel Perbandingan Data Modulus Elastisitas Komposit (Mpa)

Modulus Elastisitas (Mpa)			
No Spesimen	Arah Serat		
	0°	15°	45°
1	3550,821	1205,63	1017,430
2	4683,578	2076,16	2715,736
3	3412,706	1792,75	1797,530
4	2995,074	1257,23	2825,320
Rata-rata	3660,54	1582,94	2089

Setelah didapatkan data pada **Tabel 4.10** tentang data modulus elastisitas diatas, dapat dibuat grafik menjadi.



Gambar 4.9 Grafik Perbandingan Modulus Elastisitas Sudut 0°, 15° dan 45°

Dapat dilihat pada **Tabel 4.10** tentang data modulus elastisitas dan **Gambar 4.9** tentang grafik perbandingan modulus elastisitas antara spesimen komposit sudut 0° , 15° dan 45° terdapat perbandingan nilai modulus elastisitasnya. Didapatkan nilai rata-rata modulus elastisitas antara sudut 0° , 15° dan 45° yaitu 3660,54 Mpa untuk rata-rata modulus elastisitas sudut 0° , 1582,94 Mpa untuk rata-rata modulus elastisitas 15° dan 2089 Mpa untuk rata-rata modulus elastisitas sudut 45° . Nilai modulus elastisitas dari data diatas dari komposit dapat menunjukkan perubahan bentuk dari spesimen saat diberi gaya. Selain itu, semakin besar nilai modulus elastisitas pada komposit maka akan semakin sedikit perubahan bentuk atau deformasi pada komposit saat diberi gaya. Dapat dilihat dari data diatas nilai modulus elastisitas terbesar untuk arah serat 0° adalah sebesar 4683,578 Mpa dan nilai terkecil untuk arah serat 0° adalah sebesar 2995,074 Mpa. Sedangkan untuk nilai modulus elastisitas terbesar pada komposit arah serat 45° adalah sebesar 2825,320 Mpa dan nilai terkecil untuk arah serat 45° adalah sebesar 1017,430 Mpa. Dari nilai modulus elastisitas diatas dan dari pengertian tentang modulus elastisitas dapat ditarik kesimpulan bahwa nilai modulus elastisitas terbesar yang diperoleh antara masing-masing arah serat akan menghasilkan sedikit perubahan bentuk saat diberikan gaya.

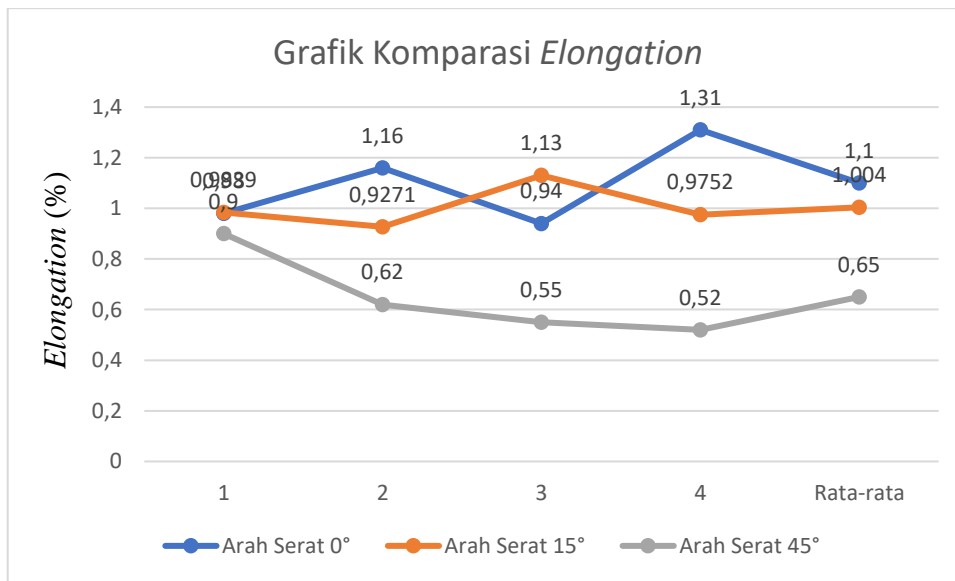
Untuk itu dalam kasus ini perubahan bentuk yang dimaksudkan adalah penambahan panjang (*elongation* %) pada tiap spesimen yang ditunjukkan pada tabel data dibawah ini.

Tabel 4.11 Tabel Perbandingan Data *Elongation* Komposit (%)

<i>Elongation</i> (%)			
No Spesimen	Arah Serat		
	0°	15°	45°
1	0,98	0,9839	0,9
2	1,16	0,9271	0,62

3	0,94	1,13	0,55
4	1,31	0,9752	0,52
Rata-rata	1,10	1,004	0,65

Setelah didapatkan data pada **Tabel 4.11** tentang data pertambahan Panjang atau *elongation* komposit diatas, dapat dibuat grafik seperti dibawah ini.



Gambar 4.10 Grafik Perbandingan *Elongation* Sudut 0°, 15° dan 45°

Dapat dilihat dari **Tabel 4.11** dan **Gambar 4.10** diatas merupakan nilai pertambahan Panjang atau *elongation* dari spesimen komposit antara arah serat 0°, 15° dan 45° terdapat perbedaan. Jika dibandingkan dengan nilai modulus elastisitas yang sudah ditulis sebelumnya, terbukti bahwa nilai *elongation* spesimen komposit antara arah serat 0°, 15° dan 45° memiliki nilai tertinggi masing-masing yaitu 1,31 % pada spesimen 4 untuk arah serat 0°, 1,13% pada spesimen 3 untuk arah serat 15° dan 0,9 % pada spesimen 1 untuk arah serat 45°.

Selain itu, dapat dibandingkan pada arah serat 0° nilai terbesar *elongation* dilihat dari data diatas memiliki nilai modulus elastisitas sebesar 4683,578 Mpa pada spesimen 4 dan nilai terkecil sebesar 2995,074 Mpa pada spesimen 2 menunjukkan hasil *elongation* yang

berbeda yaitu 1,31 % untuk spesimen 4 dan 1,16 % untuk spesimen 2. Dimana dari grafik *elongation* tersebut perubahan bentuk spesimen 4 lebih sedikit dibandingkan spesimen 2. Hal serupa juga terjadi pada komposit arah serat 45°. Nilai modulus elastisitas tertinggi sebesar 2.825 Mpa pada spesimen 4 menjadi nilai terkecil pada grafik *elongation* yaitu sebesar 0,52% begitupun sebaliknya nilai modulus elastisitas terkecil sebesar 1.017 Mpa pada spesimen 1 menjadi nilai terbesar pada grafik *elongation* yaitu sebesar 0,9%.

Dari hasil pengujian tarik tersebut terdapat perubahan nilai kekuatan tarik, *elongation* (%) dan modulus elastisitas pada tiap arah sudut, nilai tersebut di ambil dari rata-rata tiap data.

1. Berikut merupakan perhitungan peningkatan kekuatan tarik dari sudut 45° ke 0°

$$\begin{aligned} & \frac{\text{Kekuatan Tarik } 0^\circ (\sigma_\mu) - \text{Kekuatan Tarik } 45^\circ (\sigma_\mu)}{\text{Kekuatan Tarik } 45^\circ (\sigma_\mu)} \times 100\% \\ &= \frac{40,125 \text{ N/mm}^2 - 12,72 \text{ N/mm}^2}{12,72 \text{ N/mm}^2} \times 100\% \\ &= 215,45 \% \end{aligned}$$

2. Berikut merupakan perhitungan peningkatan nilai modulus elastisitas dari sudut 45° ke 0°

$$\begin{aligned} & \frac{\text{Modulus Elastisitas } 0^\circ (\sigma_\mu) - \text{Modulus Elastisitas } 45^\circ (\sigma_\mu)}{\text{Modulus Elastisitas } 45^\circ (\sigma_\mu)} \times 100\% \\ &= \frac{3660,54 \text{ Mpa} - 2089 \text{ Mpa}}{2089 \text{ Mpa}} \times 100\% \\ &= 75,23 \% \end{aligned}$$

3. Berikut merupakan perhitungan peningkatan nilai *elongation* dari sudut 45° ke 0°

$$\begin{aligned} & \frac{\text{Elongation } 0^\circ (\sigma_\mu) - \text{Elongation } 45^\circ (\sigma_\mu)}{\text{Elongation } 45^\circ (\sigma_\mu)} \times 100\% \\ &= \frac{1,10 \% - 0,65 \%}{0,65 \%} \times 100\% \\ &= 69,23\% \end{aligned}$$

Berdasarkan pada data hasil pengujian tersebut, maka dapat diketahui hal-hal sebagai berikut.

1. Kekuatan tarik tertinggi dicapai oleh komposit resin poliester berpenguat tenun rami yang arah seratnya dibuat searah sudut 0°

dengan nilai tertingginya sebesar 54,3 N/mm² sedangkan komposit dengan arah serat 45° nilai tertingginya sebesar 16,9 N/mm² dan untuk nilai modulus elastisnya yang terbesar dicapai oleh komposit yang arah seratnya dibuat searah sudut 0° yaitu sebesar 4683,578 Mpa berbeda dengan modulus elastis terbesar yang dicapai oleh komposit dengan arah serat 45° sebesar 2825,320 Mpa.

2. Dari 4 sampel uji dari setiap variasi arah serat komposit menunjukkan hasil yang berbeda hal itu disebabkan pengujian tarik komposit tidak selalu menghasilkan data yang sesuai dengan keinginan. Maka perlu diketahui penyebab dari penurunan kekuatan tarik pada saat pengujian. Adapun penyebabnya adalah sebagai berikut.
 - a. Terdapat *void* (udara yang terperangkap) dalam komposit, hal ini dikarenakan semakin besar fraksi volume serat penguat material komposit maka semakin banyak pula rongga yang terdapat pada material komposit tersebut.
 - b. Orientasi arah serat, dalam hal ini apakah arah serat yang dibuat pada komposit akan searah dengan gaya yang diberikan oleh mesin uji tarik, jika arah serat komposit searah dengan gaya tarik yang diterima maka hasil kekuatan tarik akan lebih optimal atau unggul dibandingkan dengan yang tidak searah.
 - c. Distribusi serat yang tidak merata, Akibatnya, beban yang diserap oleh matrik tidak dapat didistribusikan secara merata ke seluruh serat, sehingga hanya sebagian serat yang menanggung beban bersama dengan matriks ikatan.
 - d. Pembuatan spesimen uji yang dilakukan secara manual menggunakan metode hand lay-up dan kompaksi sederhana sehingga pembentukan komposit kurang sempurna.
 - e. Pembentukan spesimen uji tarik dilakukan secara manual menggunakan gerinda tangan, sehingga terdapat dimensi yang kurang sesuai dari yang seharusnya.

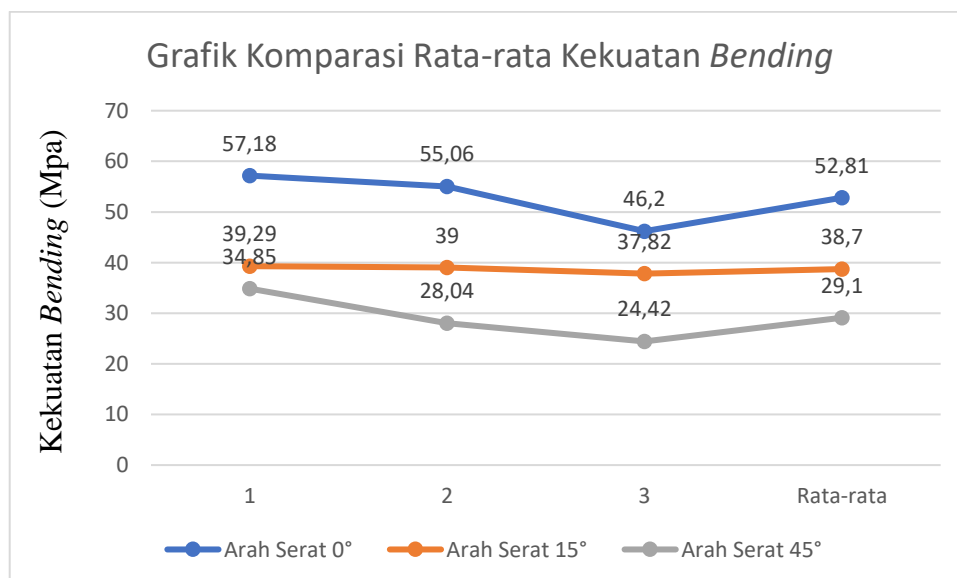
4.3.2 Uji *Bending*

Setelah melakukan pengujian *bending* terhadap spesimen material komposit resin polyester berpenguat tenun rami dengan variasi pemotongan sudut 0°, 15°, dan 45°, maka didapatkan hasil berupa perbandingan data nilai kekuatan *bending*.

Tabel 4.12 Tabel Perbandingan Data Kekuatan *Bending* komposit (Mpa)

Kekuatan <i>Bending</i> (Mpa)			
No Spesimen	Arah Serat		
	0°	15°	45°
1	57,18	39,29	34,85
2	55,06	39	28,04
3	46,2	37,82	24,42
Rata-rata	52,81	38,70	29,10

Setelah didapatkan data pada **Tabel 4.12** tentang perbandingan data kekuatan *bending* komposit diatas, dapat dibuat grafik seperti dibawah ini.



Gambar 4.11 Grafik Perbandingan Kekuatan *Bending* Sudut 0°, 15° dan 45°

Dapat dilihat pada **Tabel 4.12** dan **Gambar 4.11** tentang data serta grafik perbandingan nilai kekuatan *bending* untuk arah serat 0° memiliki nilai rata-rata kekuatan *bending* sebesar 52,81 Mpa, untuk arah serat 15° memiliki nilai rata-rata kekuatan *bending* sebesar 38,70 Mpa dan untuk arah serat 45° memiliki nilai rata-rata kekuatan *bending* sebesar 29,10 Mpa. Dapat dilihat juga nilai kekuatan *bending* antara arah serat 0°, 15° dan 45° memiliki perbedaan, nilai kekuatan *bending* terbesar komposit arah serat 0° sebesar 57,18 Mpa dan nilai terkecil sebesar 46,2 Mpa. Untuk nilai kekuatan *bending* terbesar komposit arah serat 15° sebesar 39,29 Mpa dan nilai terkecil sebesar 37,82 Mpa. Sedangkan untuk nilai kekuatan *bending* terbesar komposit arah serat 45° sebesar 34,85 Mpa dan nilai terkecil sebesar 24,42 Mpa.

4.4 Hasil Pengujian Sifat Fisis

4.4.1 Hasil Pengujian Densitas

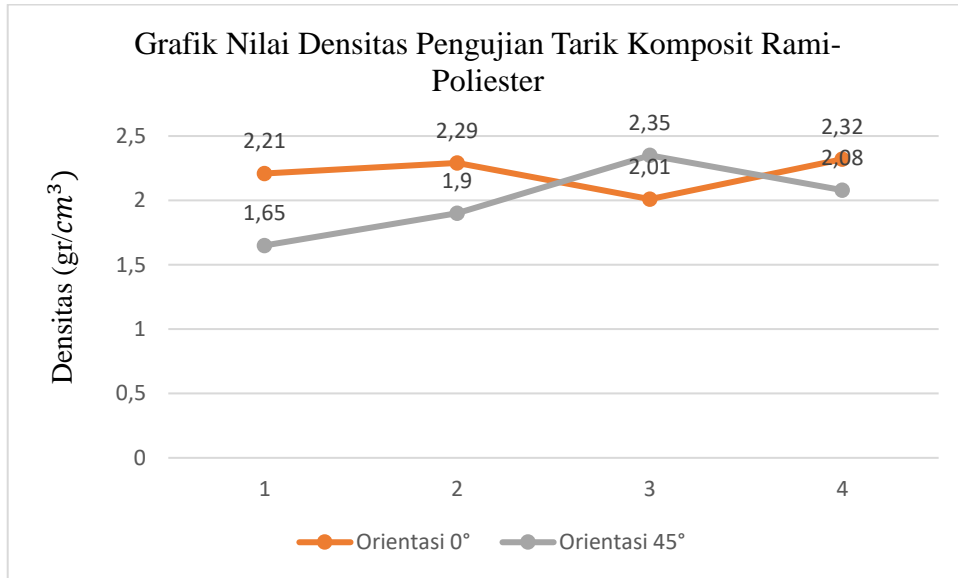
Densitas merupakan salah satu sifat fisis yang menunjukkan perbandingan antara massa benda terhadap volumenya atau banyaknya massa zat per satuan volume. Data yang diperoleh dari hasil pengujian densitas pada spesimen komposit resin poliester diperkuat tenun rami dengan variasi sampel orientasi arah serat 0° dan 45° ditampilkan pada sebagai berikut.

Tabel 4.13 Hasil Uji Densitas Komposit Serat Rami-Poliester (gr/cm^3)

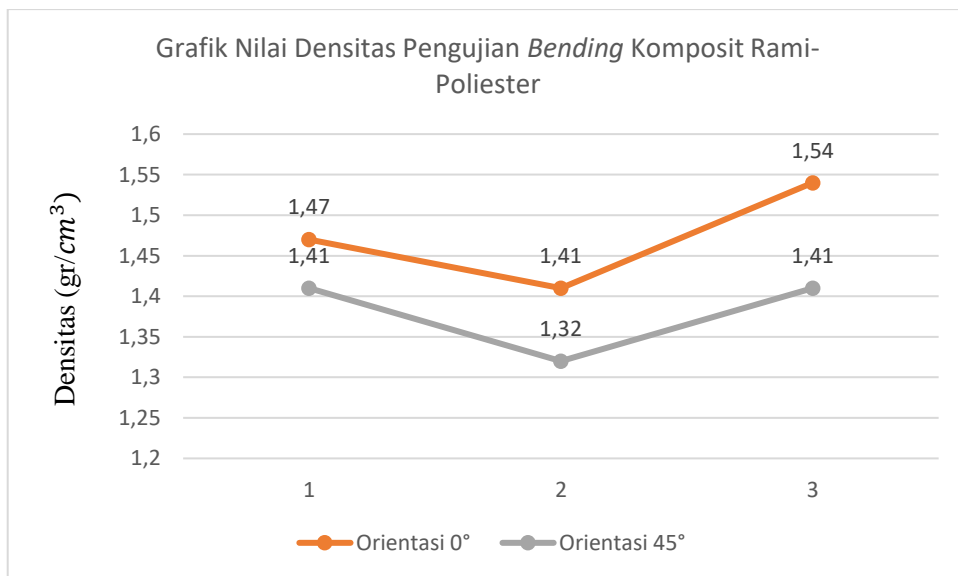
Spesimen	Orientasi 0°	Orientasi 45°
Pengujian Tarik	2,21	1,65
	2,29	1,90
	2,01	2,35
	2,32	2,08
Pengujian <i>Bending</i>	1,47	1,41
	1,41	1,32
	1,54	1,41

Dari **Tabel 4.11** diatas, dapat ditampilkan data nilai antara densitas

komposit serat rami-resin poliester dengan variasi orientasi arah serat 0° dan 45° yang ditampilkan seperti pada grafik berikut ini.



Gambar 4.12 Grafik Nilai Densitas Pengujian Tarik Komposit Rami-Poliester



Gambar 4.13 Grafik Nilai Densitas Pengujian *Bending* Komposit Rami-Poliester

Pada **Gambar 4.12** dan **Gambar 4.13** diatas terlihat bahwa nilai densitas komposit serat rami-resin poliester dengan variasi orientasi arah serat 0° dan 45° tiap sampel uji tarik dan uji *bending* menunjukkan perubahan nilai yang seragam. Nilai densitas tertinggi pada sampel uji

tarik diperoleh pada spesimen 4 orientasi 0° sebesar $2,32 \text{ gr/cm}^3$ dan untuk nilai densitas tertinggi pada spesimen 3 orientasi 45° diperoleh sebesar $2,35 \text{ gr/cm}^3$. Sedangkan nilai densitas tertinggi pada sampel uji *bending* diperoleh pada spesimen 3 orientasi 0° sebesar $1,54 \text{ gr/cm}^3$ dan untuk nilai densitas tertinggi pada spesimen 1 dan 3 orientasi 45° pada uji *bending* diperoleh sebesar $1,41 \text{ gr/cm}^3$.

4.4.2 Hasil Pengujian Penyerapan Air (*Water Absorption*)

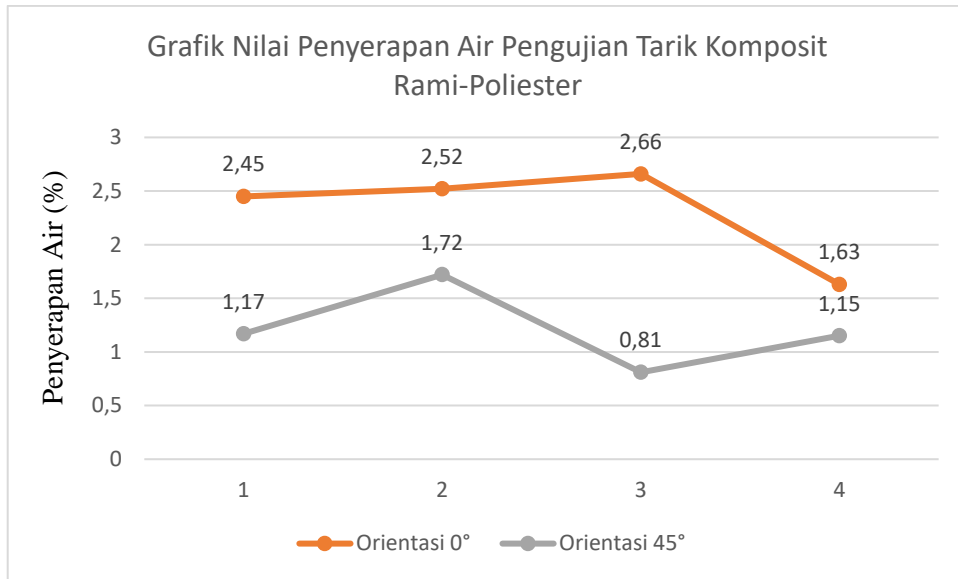
Pengujian penyerapan air dilakukan untuk menentukan besarnya persentase air yang terserap oleh sampel yang direndam dengan perendaman selama 24 jam pada suhu kamar.

Data dari hasil pengukuran terhadap massa sampel kering dan massa sampel basah dapat diketahui hasil penyerapan air maka diperoleh hasil pengukuran penyerapan air seperti pada **Tabel 4.12** sebagai berikut.

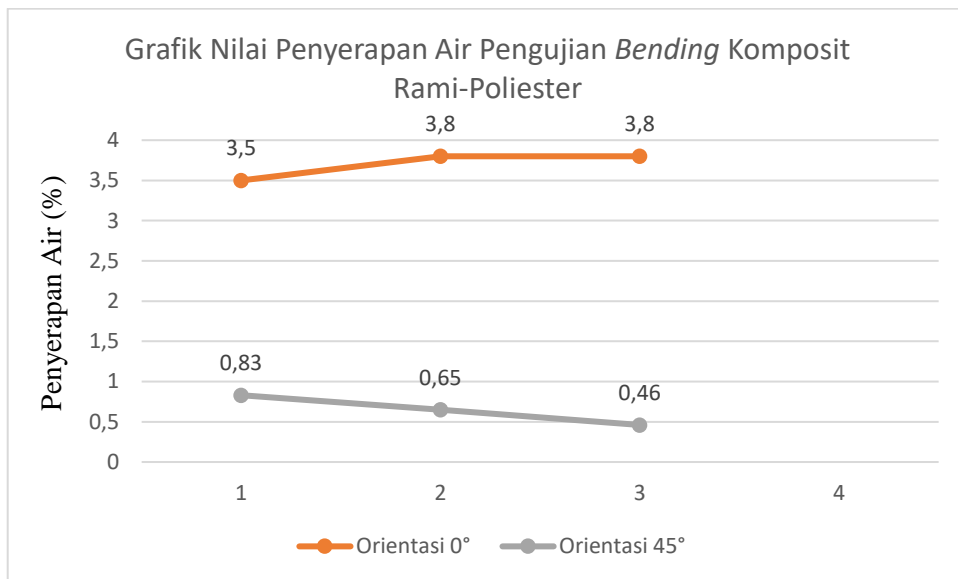
Tabel 4.14 Hasil Uji Penyerapan Air Komposit Serat Rami-Poliester (%)

Spesimen	Orientasi 0°	Orientasi 45°
Pengujian Tarik	2,45	1,17
	2,52	1,72
	2,66	0,81
	1,63	1,15
Pengujian <i>Bending</i>	3,5	0,83
	3,8	0,65
	3,8	0,46

Dari **Tabel 4.12** diatas, dapat ditampilkan antara penyerapan air komposit serat rami-resin poliester dengan variasi orientasi arah serat 0° dan 45° yang ditampilkan seperti pada grafik berikut ini.



Gambar 4.14 Grafik Nilai Penyerapan Air Pengujian Tarik Komposit Rami-Poliester



Gambar 4.15 Grafik Nilai Penyerapan Air Pengujian *Bending* Komposit Rami-Poliester

Pada **Gambar 4.14** dan **Gambar 4.15** diatas terlihat bahwa nilai antara penyerapan air komposit serat rami-resin poliester dengan variasi orientasi arah serat 0° dan 45° tiap sampel uji tarik dan uji *bending* menunjukkan perubahan nilai. Nilai penyerapan air tertinggi pada sampel uji tarik pada spesimen 3 orientasi 0° diperoleh sebesar 2,66 %

dan nilai penyerapan air tertinggi pada spesimen 2 orientasi 45° diperoleh sebesar 1,72 %. Sedangkan nilai penyerapan air tertinggi pada sampel uji *bending* pada spesimen 2 dan 3 orientasi 0° diperoleh sebesar 3,8 % dan nilai penyerapan air tertinggi spesimen 1 orientasi 45° diperoleh sebesar 0,83%.

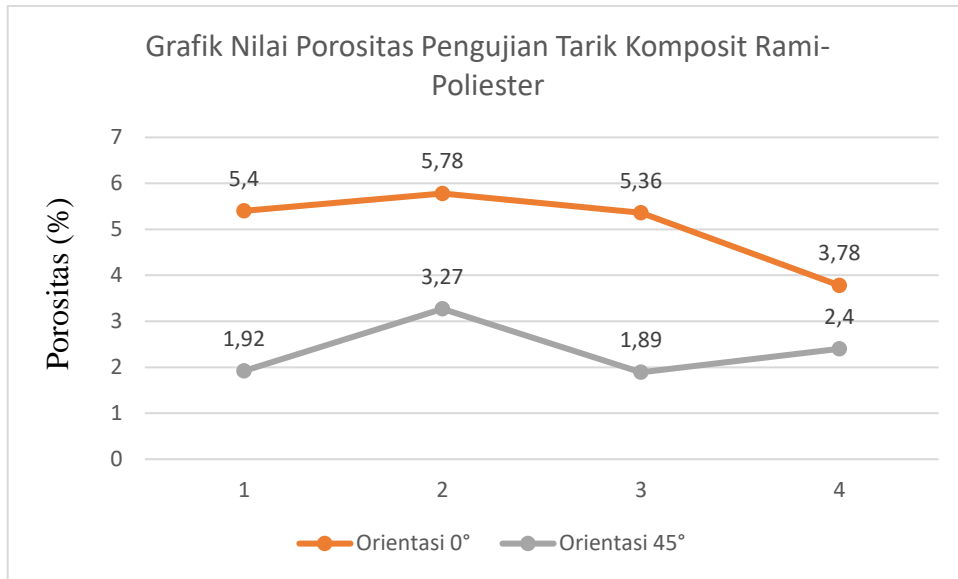
4.4.3 Hasil Pengujian Porositas

Porositas dapat didefinisikan sebagai perbandingan antara volume pori-pori terhadap volume total komposit. Porositas suatu bahan pada umumnya dinyatakan sebagai porositas terbuka maka diperoleh hasil pengukuran porositas seperti pada **Tabel 4.13** sebagai berikut.

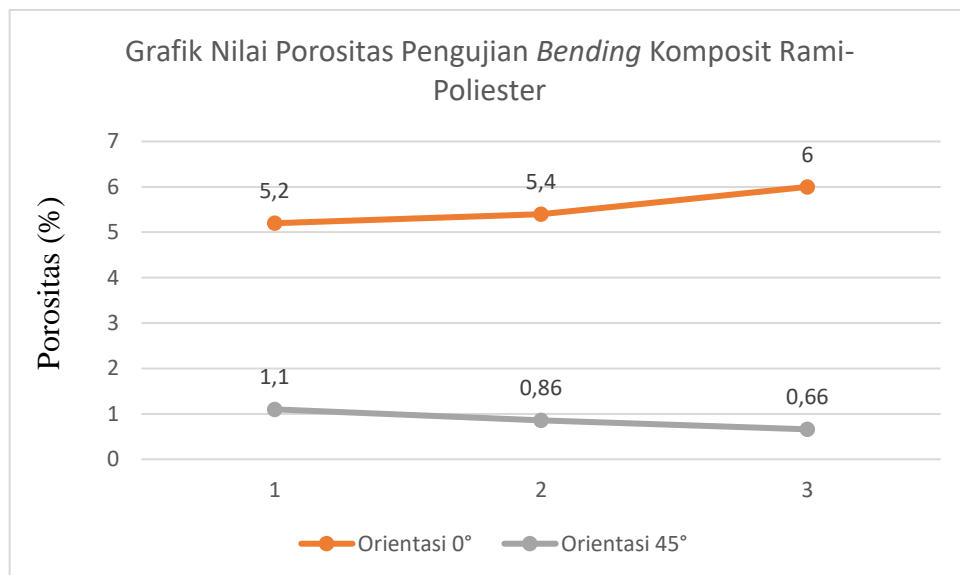
Tabel 4.15 Hasil Uji Porositas Komposit Serat Rami-Poliester (%)

Spesimen	Orientasi 0°	Orientasi 45°
Pengujian Tarik	5,40	1,92
	5,78	3,27
	5,36	1,89
	3,78	2,40
Pengujian <i>Bending</i>	5,2	1,1
	5,4	0,86
	6	0,66

Dari **Tabel 4.13** diatas, dapat ditampilkan grafik hubungan antara porositas komposit serat rami-resin poliester dengan variasi orientasi arah serat 0° dan 45° yang ditampilkan seperti pada grafik berikut ini.



Gambar 4.16 Grafik Nilai Porositas Pengujian Tarik Komposit Rami-Poliester



Gambar 4.17 Grafik Nilai Porositas Pengujian *Bending* Komposit Rami-Poliester

Pada **Gambar 4.16** dan **Gambar 4.17** diatas terlihat bahwa nilai antara porositas komposit serat rami-resin poliester dengan variasi orientasi arah serat 0° dan 45° tiap sampel uji tarik dan uji *bending* menunjukkan perubahan nilai. Nilai porositas pada sampel uji tarik tertinggi pada spesimen 2 orientasi 0° diperoleh sebesar 5,78% dan nilai tertinggi porositas pada spesimen 2 orientasi 45° diperoleh sebesar 3,27%. Sedangkan nilai porositas pada sampel uji *bending* tertinggi

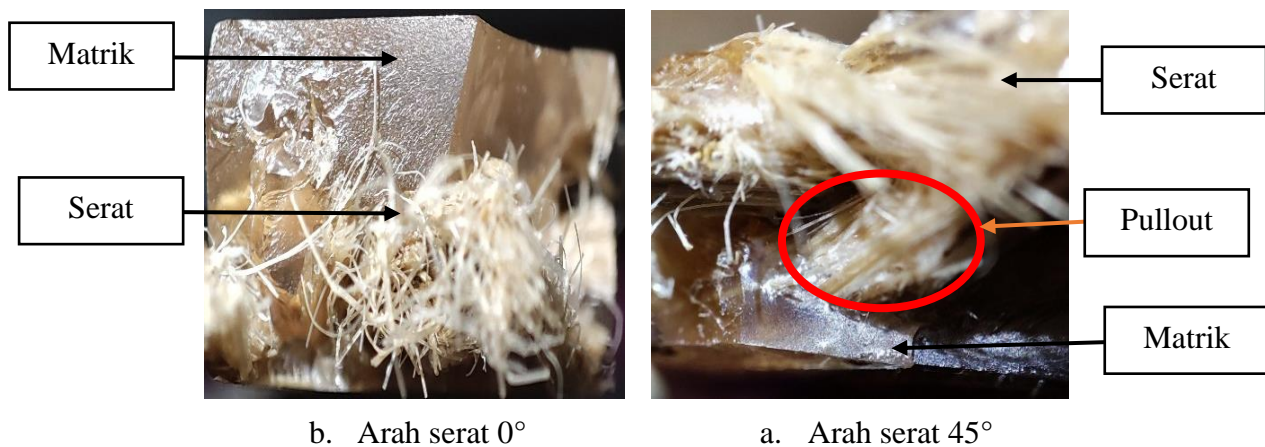
pada spesimen 3 orientasi 0° sebesar 6 % dan nilai tertinggi pada spesimen 1 orientasi 45° diperoleh sebesar 1,1 %.

4.5 Analisa Foto Makro Patahan

Setelah dilakukan melalui beberapa pengujian yaitu uji tarik dan uji *bending* untuk mengetahui sifat mekanis material komposit serat rami berpenguat resin polyester, selanjutnya melakukan foto makro pada patahan spesimen setelah pengujian untuk di analisa. Pengamatan visual dilakukan dengan menggunakan lensa foto makro melalui kamera ponsel IPHONE X.

4.4.1 Analisa Foto Makro Patahan Uji Tarik

Dari hasil uji tarik pada komposit serat rami berpenguat resin polyester dapat dilihat dari hasil foto makro patahan-patahan uji tarik dengan orientasi arah serat 0° dan 45° .



Gambar 4.18 Foto Makro Penampang Patahan Uji Tarik Arah Serat 0° dan 45°

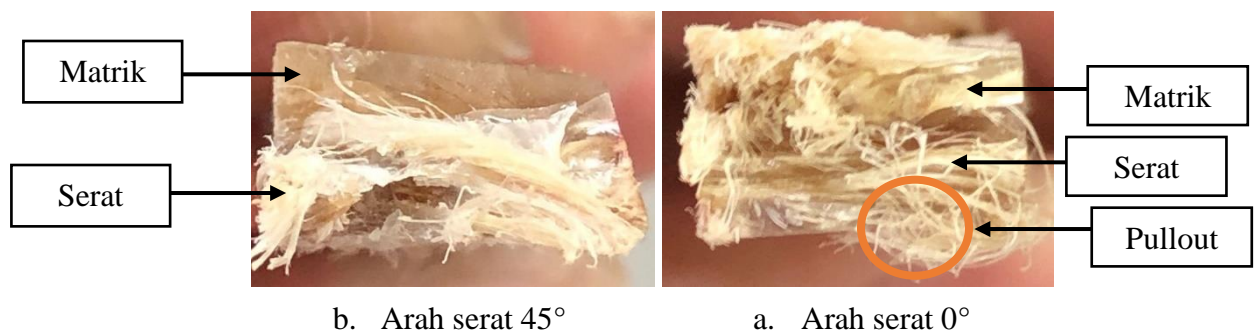
Pada **Gambar 4.18** diatas menunjukkan foto makro penampang patahan spesimen uji tarik arah sudut 0° dan 45° . Foto tersebut menunjukkan ikatan serat tenun rami dengan matriks resin polyester tidak cukup baik, dapat terlihat dari banyaknya serat yang tertarik keluar dan tidak putus. Jika patah pada permukaan itu rata dan rapih itu dikarenakan ikatan serat dan matrik yang baik sehingga matrik yang memiliki fungsi mentransfer tegangan akan optimal. Hal ini disebabkan Sifat adhesif yang dimiliki oleh resin poliester yang tidak bagus, tidak

seperti resin epoksi yang memiliki sifat adhesif yang lebih baik (Pulungan, MA. 2017). Terlihat pula pada bagian permukaan penampang patahan spesimen, warna cenderung buram tidak mengkilap, patahannya berserat terdapat guratan-guratan kecil dan juga terdapat cone pada sisi patahan.

Dari karakteristik patahan tersebut mengindikasikan bahwa jenis patahannya adalah patah ulet (*ductile*). (Matthews dkk, 1994) yang menyatakan bahwa komposit merupakan suatu material yang terbentuk dari dua kombinasi atau lebih material pembentuknya melalui campuran yang tidak homogen, dimana sifat mekanik dari masing-masing pembentuknya berbeda. Dalam hal ini kombinasi antara resin poliester sebagai matrik dan serat rami sebagai penguat bukan kombinasi yang tepat, akan lebih tepat jika resin epoksi yang dikombinasikan dengan serat rami ataupun serat lainnya. Kemudian untuk spesimen yang patahnya tidak di tengah atau *section area* ini disebabkan oleh tidak kuatnya dan tidak stabilnya struktur material saat Pre-grip pada mesin uji tarik yaitu saat proses pengecaman spesimen sebelum spesimen tersebut di tarik, karena tekanan yang diberikan pada spesimen saat dicekam sebesar 50 bar.

4.4.2 Analisa Foto Makro Patahan Uji *Bending*

Dari hasil uji *bending* pada komposit serat rami berpenguat resin polyester dapat dilihat dari hasil foto makro patahan-patahan uji *bending* dengan orientasi arah serat 0° dan 45°.



Gambar 4.19 Foto Makro Penampang Patahan Uji *bending* Arah Serat 0° dan 45°

Dari **Gambar 4.19** diatas menunjukkan foto hasil patahan spesimen uji *bending* arah serat 0° dan 45° . Dapat dilihat pada permukaan hasil patahan spesimen komposit serat rami berpenguat resin polyester yang telah dilakukan proses uji *bending* menunjukkan fenomena *fiber pull out* atau biasa disebut serat tertarik keluar, hal ini mengindikasikan adanya gaya yang tidak merata dan terpusat pada spesimen yang telah di uji. Visualisasi kedua spesimen uji *bending* antara arah serat 0° dan 45° tersebut menunjukkan adanya ikatan antar muka (*interface*) yang tidak baik pada spesimen komposit serat rami berpenguat resin polyester. Kesempurnaan ikatan antar muka resin dan matriks akan berdampak pada meningkatnya kekuatan mekanis sebuah komposit (Prihajatno, dkk, 2018: 25).



Gambar 4.20 Foto Spesimen Posisi Hasil Patahan Uji *Bending*

Dapat dilihat dari **Gambar 4.20** diatas tentang foto spesimen posisi hasil patahan uji *bending* menunjukkan posisi patahan yang tidak ditengah pada spesimen 1 arah serat 0° . Pada foto hasil patahan diatas terjadi kegagalan yang diawali dengan retaknya matrik/matrik crack. Terlihat dari banyaknya retakan matriks pada bagian yang terkena beban tekan, dan matriks tidak mampu untuk menerima beban. Berdasarkan pada visualisasi **Gambar 4.20** diketahui varian komposit sudut serat rami berpenguat resin polyester arah serat 0° dan 45° ,

memiliki tingkat kelenturan dan ketangguhan (*stiffnes*) yang rendah. Sehingga menghasilkan material komposit yang tergolong memiliki sifat getas. Terbukti dari penampang hasil pengujian bending varian tersebut yang terjadi patah atau *fracture* dikarenakan tidak mampu menahan beban yang diberikan. Dari kedua visualisasi penampang patah tersebut diasumsikan bahwa, varian serat rami berpenguat resin polyester dengan arah serat 0° dan 45° memiliki ikatan antar muka yang lemah. Dalam komposit, beban yang bekerja pada matriks dipindahkan serta didistribusikan ke penguat melalui bidang antar muka (*interface*). Bidang antar muka yang lemah akan menghasilkan ketangguhan dan kekuatan yang rendah.