

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

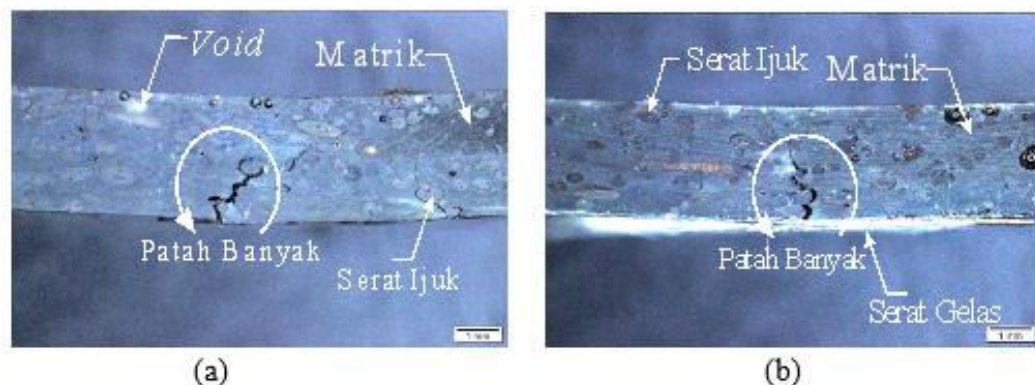
#### 4.1. Hasil Pengujian *Bending*

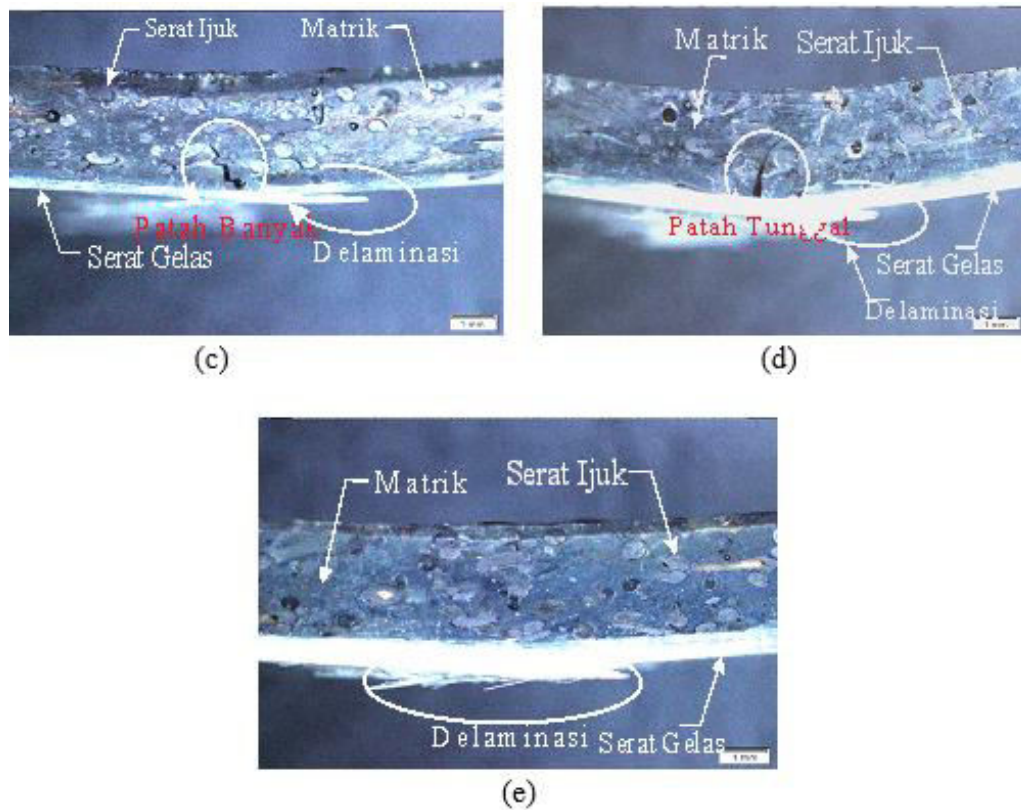
Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui nilai kekuatan *bending*, regangan *bending* dan modulus elastisitas *bending* material komposit *hybrid* serat ijuk acak/serat gelas searah bermatrik epoksi. Hasil pengujian nantinya juga akan digunakan untuk mengetahui karakteristik patahan komposit tersebut sehingga didapat kesimpulan tentang pengaruh *hybrid ratio* terhadap karakteristik lentur.

Dari hasil pengujian *bending* akan didapatkan dua data numerik yaitu: harga gaya lateral ( $F_{max}$ ) dan defleksi ( $D$ ). Harga kekuatan *bending* yaitu didapat dari besarnya gaya lateral maksimum sampai spesimen patah, sedangkan defleksi didapat dari perpindahan kepala silang mesin uji.

#### 4.2. Hasil Pengamatan Foto Makro Penampang Patahan

Pengamatan foto makro pada spesimen setelah pengujian *bending* bertujuan untuk mengetahui karakteristik patahan pada material komposit. Hasil pengamatan foto makro disajikan pada Gambar 4.1., Gambar 4.2., dan pada Gambar 4.3. dibawah ini.

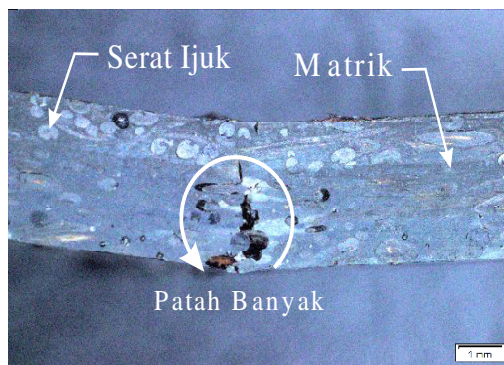




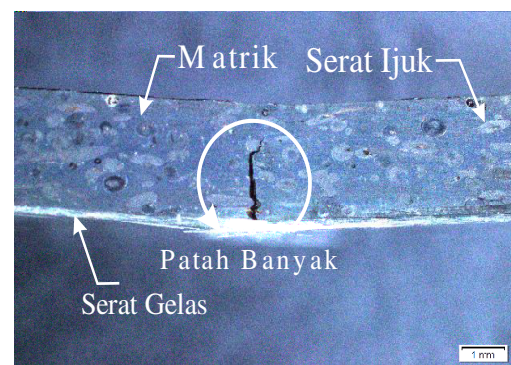
**Gambar 4.1.** Foto makro patahan spesimen uji *bending* pada  $L/d = 16$  (a) *hybrid ratio* ( $r_h$ ) 0,0, (b) *hybrid ratio* ( $r_h$ ) 0,1, (c) *hybrid ratio* ( $r_h$ ) 0,2, (d) *hybrid ratio* ( $r_h$ ) 0,3, dan (e) *hybrid ratio* ( $r_h$ ) 0,4

Gambar 4.1. menunjukkan patahan pada spesimen uji *bending* material komposit *hybrid* serat ijuk acak/serat gelas searah bermatriks epoksi pada spesimen uji  $L/d = 16$ . Setelah dilakukan pengujian *bending* yaitu dengan cara memberikan beban tekan pada penampang atas yang berupa resin dan serat ijuk maka patahan terjadi pada bagian bawah spesimen yaitu serat gelas. Patahan terjadi karena pada bagian serat gelas tidak mampu menahan gaya tarik yang terjadi. Jenis patahan yang dihasilkan dari pengujian didominasi oleh patah banyak, yaitu pada Gambar 4.1. (a), (b), (c). Hal ini terjadi karena matriks mampu menahan beban yang diberikan yang kemudian beban tersebut didistribusikan ke serat yang berakibat jumlah serat yang putus semakin banyak sehingga patahan yang terjadi lebih dari satu bidang. Berbeda dengan patah tunggal seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.1. (d), patah tunggal terjadi

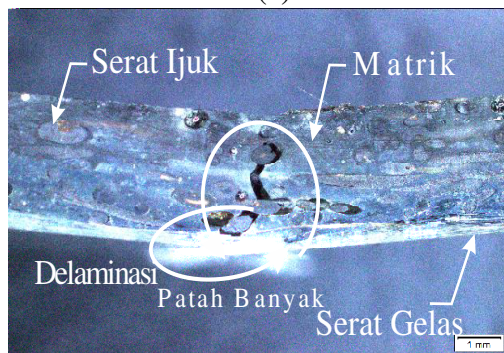
karena matriks tidak mampu lagi menahan beban tambahan, sehingga patahan yang terjadi pada satu bidang. Selain patah, *delaminasi* juga terdapat pada spesimen tersebut. Seperti ditunjukkan pada Gambar 4.1. (b), (c), (d). *Delaminasi* pada serat gelas yang disebabkan lepasnya lapisan serat gelas dari matriksnya akibat lemahnya ikatan antara matriks dan penguat. Sementara pada Gambar 4.1. (e) tidak terjadi patahan, hal ini karena lapisan serat gelas yang lebih tebal sehingga spesimen menjadi lentur karena mampu menahan gaya tarik pada sisi bawahnya.



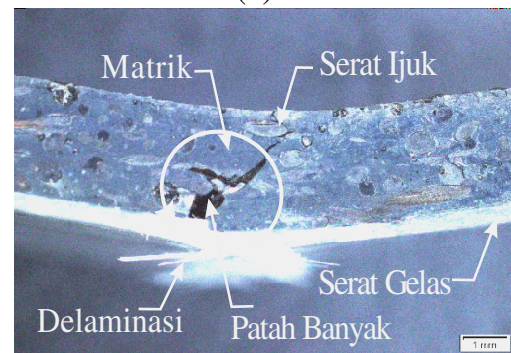
(a)



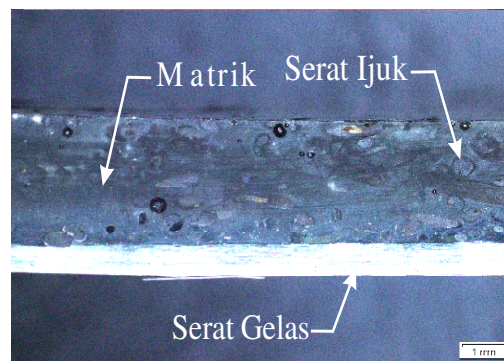
(b)



(c)



(d)

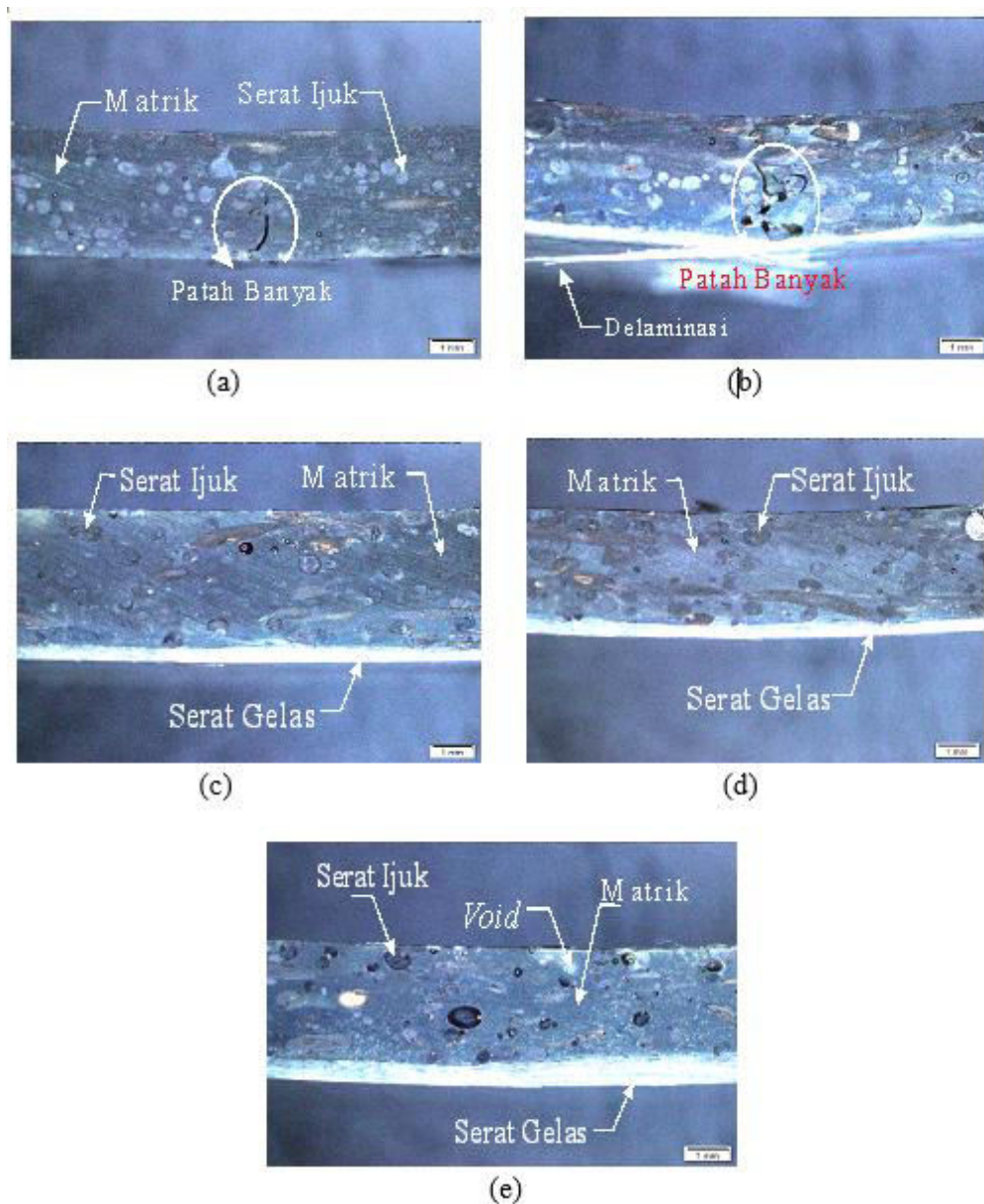


(e)

**Gambar 4.2.** Foto makro patahan spesimen uji *bending* pada  $L/d = 24$  (a) *hybrid ratio* ( $r_h$ ) 0,0, (b) *hybrid ratio* ( $r_h$ ) 0,1, (c) *hybrid ratio* ( $r_h$ ) 0,2, (d) *hybrid ratio* ( $r_h$ ) 0,3, dan (e) *hybrid ratio* ( $r_h$ ) 0,4

Dari Gambar 4.2. terlihat bahwa hampir seluruh patahan spesimen pengujian didominasi oleh patah banyak yaitu pada Gambar 4.2. (a), (b), (c) (d). Setelah dilakukan pengujian *bending* yaitu dengan cara memberikan beban tekan pada penampang atas yang berupa resin dan serat ijuk maka patahan terjadi pada bagian bawah spesimen yaitu serat gelas. Patahan terjadi karena pada bagian serat gelas tidak mampu menahan gaya tarik yang terjadi. Patahan juga terjadi karena beban yang diberikan mampu didistribusikan oleh matrik kesekitarnya, apabila matriks mampu menahan gaya geser dan meneruskan beban keserat yang lain maka jumlah serat yang putus semakin banyak sehingga patahan yang terjadi lebih dari satu bidang. Kemudian pada Gambar 4.2. (c), (d) dengan spesimen uji pada *hybrid ratio* ( $r_h$ ) 0,2 dan *hybrid ratio* ( $r_h$ ) 0,3 terjadi delaminasi. *Delaminasi* terjadi akibat terlepasnya lapisan serat gelas terhadap matriks yang disebabkan gaya adhesi antara penguat dan matriks yang lemah. Sementara pada Gambar 4.2. (e) tidak terjadi patahan, hal ini karena lapisan serat gelas yang lebih tebal sehingga spesimen menjadi lentur karena mampu menahan gaya tarik pada sisi bawahnya.





**Gambar 4.3.** Foto makro patahan spesimen uji *bending* pada  $L/d = 32$  (a) *hybrid ratio* ( $r_h$ ) 0,0, (b) *hybrid ratio* ( $r_h$ ) 0,1, (c) *hybrid ratio* ( $r_h$ ) 0,2, (d) *hybrid ratio* ( $r_h$ ) 0,3, dan (e) *hybrid ratio* ( $r_h$ ) 0,4

Pada spesimen pengujian *bending*  $L/d = 32$  banyak spesimen yang tidak mengalami kerusakan matrik maupun serat gelas. Patahan banyak terjadi pada Gambar 4.3. (a) dan (b), hal ini terjadi karena beban tekan yang diberikan mampu didistribusikan oleh matrik kesekitarnya, apabila matriks mampu menahan gaya tarik dan meneruskan beban keserat yang lain maka jumlah serat yang putus semakin banyak sehingga patahan yang terjadi lebih dari satu bidang. Patahan

terjadi karena pada bagian serat gelas tidak mampu menahan besarnya gaya tarik yang terjadi.. Pada Gambar 4.3. (b) spesimen juga mengalami *delaminasi*, terjadi akibat terlepasnya lapisan serat gelas terhadap matriks yang disebabkan gaya adhesi antara penguat dan matriks yang lemah. Sementara pada Gambar (c), (d), (e) spesimen tidak terjadi patahan maupun delaminasi, hal ini dikarenakan serat gelas mampu menahan gaya tarik yang terjadi dan juga karena serat gelas yang terbasahi sempurna oleh resin.

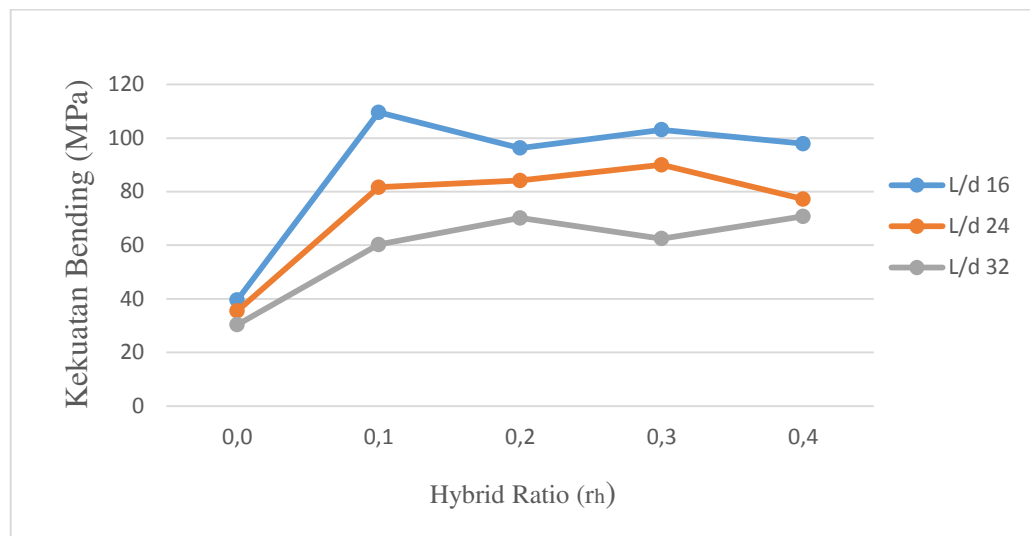
### 4.3. Hasil Analisis Pengujian *Bending*

#### 4.3.1. Pengaruh *Hybrid Ratio* terhadap Kekuatan *Bending*

Setelah melakukan pengujian *bending* didapatkan nilai kekuatan *bending* material komposit yang disajikan dalam Tabel 4.1. Sedangkan grafik hubungan antara *hybrid ratio* ( $r_h$ ) terhadap kekuatan *bending* ditunjukkan pada Gambar 4.4.

**Tabel 4.1.** Nilai rata-rata tegangan *bending* komposit *hybrid* serat ijuk acak/serat gelas searah bermatriks *epoxy*

No	L/d	Tegangan Bending (MPa)					
		Hybrid Ratio (rh)					
		0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	
1	16		53.8	99.9	97.1	111	84.7
			42.2	96.1	97.6	89.5	106
			33.5	118	94	114	97.9
			35.7	107	94.6	111	97
			32.5	127	98.2	90.1	104
		Min	32.5	96.1	94	89.5	84.7
		Max	53.8	127	98.2	114	106
		Rata-rata	39.54	109.6	96.3	103.12	97.92
2	24		37.7	90.6	79.1	85.3	68.7
			29.2	66.4	78.3	94.6	85.7
			41.4	96.7	85.6	83.8	67.5
			41.5	75.5	82.8	93	83.6
			27.5	78.9	94.9	93.4	80.7
		Min	27.5	66.4	78.3	83.8	67.5
		Max	41.5	96.7	94.9	94.6	85.7
		Rata-rata	35.46	81.62	84.14	90.02	77.24
3	32		26.8	54.2	72.9	60.9	71.6
			37.3	61.8	65	60.2	70
			26.2	52.2	70.7	63	69.8
			31.5	65	75.8	62.7	72.8
			29.7	68.2	66.4	65.5	69.5
		Min	26.2	52.2	65	60.2	69.5
		Max	37.3	68.2	75.8	65.5	72.8
		Rata-rata	30.3	60.18	70.16	62.46	70.74



**Gambar 4.4.** Hubungan antara *hybrid ratio* ( $r_h$ ) terhadap kekuatan *bending*

Dari Gambar 4.4. dapat diketahui bahwa variasi panjang span ( $L$ ) mempengaruhi nilai rata-rata kekuatan *bending* komposit *hybrid*. Pada komposit *hybrid* dengan panjang  $L/d = 16$  menunjukkan nilai rata-rata kekuatan *bending* terendah pada *hybrid ratio* ( $r_h$ ) 0,0 sebesar 39,54 MPa. Kemudian untuk nilai rata-rata kekuatan *bending* pada *hybrid ratio* ( $r_h$ ) 0,1 meningkat dan menjadi nilai rata-rata tertinggi pada  $L/d = 16$ , yaitu sebesar 109,6 MPa. Namun pada *hybrid ratio* ( $r_h$ ) 0,2 nilai rata-rata kekuatan *bending* mengalami penurunan yaitu sebesar 96,3 MPa. Kemudian pada *hybrid ratio* ( $r_h$ ) 0,3 nilai rata-rata kekuatan *bending* mengalami peningkatan yaitu sebesar 103,12 MPa dan ( $r_h$ ) 0,4 nilai rata-rata mengalami penurunan kembali, yaitu sebesar 97,92 MPa.

Pada komposit *hybrid* dengan panjang  $L/d = 24$  menunjukkan penurunan karakteristik nilai rata-rata kekuatan *bending* atau nilai rata-rata lebih rendah secara keseluruhan daripada  $L/d = 16$ . Dari grafik di atas terlihat bahwa pada *hybrid ratio* ( $r_h$ ) 0,0 memiliki nilai rata-rata kekuatan *bending* terendah sebesar 35,64 MPa. Kemudian nilai rata-rata kekuatan *bending* mengalami peningkatan pada *hybrid ratio* ( $r_h$ ) 0,1 ; 0,2 ; 0,3 sebesar 81,26 ; 84,14 dan nilai tertingginya 90,02. Namun pada *hybrid ratio* ( $r_h$ ) 0,4 kembali mengalami penurunan nilai rata-rata, yaitu menjadi 77,24 MPa.



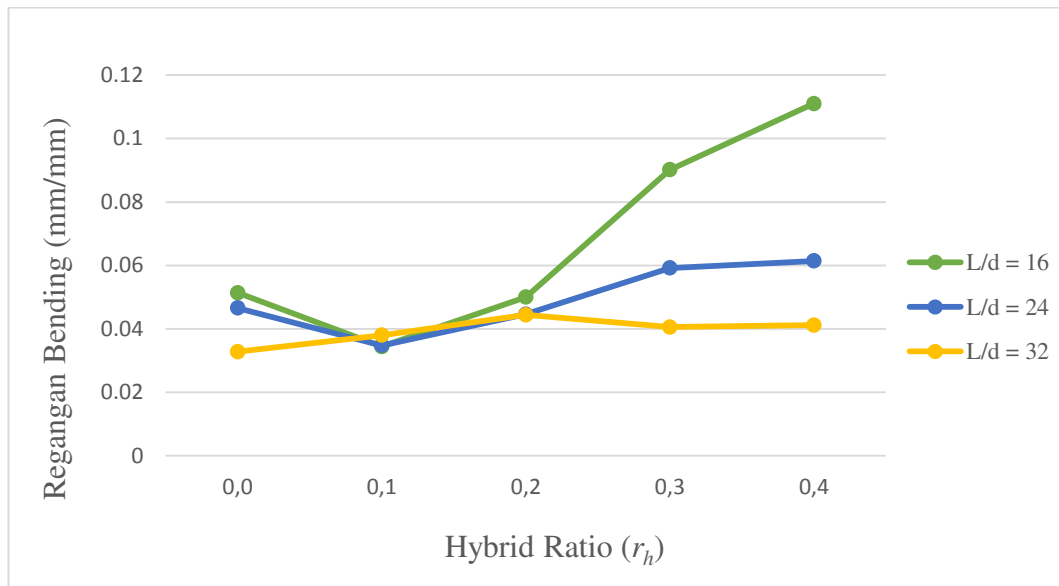
Pada komposit *hybrid* dengan panjang  $L/d = 32$  mengalami penurunan karakteristik nilai rata-rata secara keseluruhan, yaitu dengan nilai rata-rata yang lebih rendah daripada  $L/d = 16$  dan  $L/d = 24$ . Nilai rata-rata pada *hybrid ratio* ( $r_h$ ) 0,0 sebesar 30,3 MPa dan menjadi nilai rata-rata terendah dari ketiga variasi  $L/d$  tersebut. Pada *hybrid ratio* ( $r_h$ ) 0,1 mengalami peningkatai nilai yang signifikan, yaitu pada nilai 60,28 MPa. Kemudian pada *hybrid ratio* ( $r_h$ ) 0,2 juga mengalami peningkata nilai rata-rata kekuatan *bending*, yaitu pada angka 70,16. Namun pada *hybrid ratio* ( $r_h$ ) 0,3 mengalami penurunan menjadi 62,64 MPa. Kemudian pada dan *hybrid ratio* ( $r_h$ ) 0,4 nilai rata-rata kekuatan *bending* mengalami peningkatan dan menjadi nilai rata-rata tertinggi yaitu sebesar 70,74 MPa.

#### 4.3.2. Pengaruh *Hybrid Ratio* terhadap Regangan *Bending*

Setelah menghitung nilai rata-rata kekuatan *bending* selanjutnya menghitung nilai regangan *bending*. Hasil dari perhitungan nilai rata-rata regangan *bending* dapat dilihat pada Tabel 4.2. Sedangkan grafik hubungan antara *hybrid ratio* ( $r_h$ ) terhadap regangan *bending* ditunjukkan pada Gambar 4.5.

**Tabel 4.2.** Nilai rata-rata regangan *bending* komposit *hybrid* serat ijuk acak/serat gelas searah bermatriks *epoxy*

No	L/d	Regangan <i>Bending</i> (mm/mm)					
		<i>Hybrid Ratio</i> (rh)					
		0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	
1	16		0.057	0.035	0.045	0.1	0.11
			0.05	0.028	0.057	0.098	0.12
			0.05	0.04	0.049	0.082	0.11
			0.05	0.032	0.05	0.071	0.12
			0.05	0.037	0.049	0.1	0.095
		Min	0.05	0.028	0.045	0.071	0.095
		Max	0.057	0.04	0.057	0.1	0.12
		Rata-rata	0.0514	0.0344	0.05	0.0902	0.111
2	24		0.047	0.034	0.044	0.056	0.059
			0.046	0.038	0.043	0.051	0.06
			0.049	0.036	0.036	0.063	0.067
			0.048	0.025	0.053	0.07	0.06
			0.043	0.041	0.047	0.056	0.061
		Min	0.043	0.025	0.036	0.051	0.059
		Max	0.049	0.041	0.053	0.07	0.067
		Rata-rata	0.0466	0.0348	0.0446	0.0592	0.0614
3	32		0.032	0.027	0.046	0.04	0.04
			0.034	0.04	0.042	0.041	0.042
			0.031	0.043	0.044	0.042	0.042
			0.035	0.038	0.047	0.04	0.041
			0.032	0.033	0.043	0.04	0.041
		Min	0.031	0.027	0.042	0.04	0.04
		Max	0.035	0.043	0.047	0.042	0.042
		Rata-rata	0.0328	0.038	0.0444	0.0406	0.0412



**Gambar 4.5.** Hubungan antara *hybrid ratio* ( $r_h$ ) terhadap regangan *bending*

Dari Gambar 4.5. menunjukkan bahwa panjang  $L/d = 16$  memiliki nilai rata-rata regangan *bending* yang lebih rendah dibandingkan dengan panjang  $L/d = 24$  dan  $L/d = 32$ . Dari penjelasan di atas maka dapat disimpulkan bahwa semakin panjang  $L/d$  maka nilai rata-rata regangan *bending* akan semakin meningkat.

Pada panjang  $L/d = 16$  dengan *hybrid ratio* ( $r_h$ ) 0,0 memiliki nilai rata-rata regangan *bending* sebesar 0,0514 mm/mm. Namun pada *hybrid ratio* ( $r_h$ ) 0,1 mengalami penurunan dan menjadi nilai rata-rata regangan *bending* terendah yaitu sebesar 0,0344 mm/mm. Sedangkan pada *hybrid ratio* ( $r_h$ ) 0,2 ; 0,3 0,4 mengalami peningkatan nilai rata-rata regangan *bending* menjadi 0,5 mm/mm ; 0,0902 mm/mm dan 0,111 mm/mm menjadi regangan yang tertinggi.

Pada panjang  $L/d = 24$  nilai rata-rata regangan *bending* yang dimiliki oleh *hybrid ratio* ( $r_h$ ) 0,0 yaitu sebesar 0,0466 mm/mm. Pada *hybrid ratio* ( $r_h$ ) 0,1 nilai rata-rata regangan *bending* mengalami penurunan dan menjadi yang terendah yaitu sebesar 0,0348 mm/mm, kemudian nilai rata-rata regangan *bending* naik lagi pada *hybrid ratio* ( $r_h$ ) 0,2 menjadi 0,0444 mm/mm. Sedangkan nilai rata-rata regangan *bending* pada *hybrid ratio* ( $r_h$ ) 0,3 mengalami penurunan menjadi

0,0406 mm/mm dan pada *hybrid ratio* ( $r_h$ ) 0,4 kembali naik menjadi sebesar 0,0412 mm/mm.

Pada panjang  $L/d = 32$  nilai rata-rata regangan *bending* yang dimiliki oleh *hybrid ratio* ( $r_h$ ) 0,0 yaitu sebesar 0,0328 mm/mm. Pada *hybrid ratio* ( $r_h$ ) 0,1 nilai rata-rata regangan *bending* mengalami kenaikan menjadi 0,0362 mm/mm, kemudian nilai rata-rata regangan *bending* naik lagi pada *hybrid ratio* ( $r_h$ ) 0,2 dan merupakan yang tertinggi yaitu menjadi 0,0446 mm/mm. Sedangkan nilai rata-rata regangan *bending* pada *hybrid ratio* ( $r_h$ ) 0,3 mengalami peningkatan menjadi 0,0592 mm/mm dan yang tertinggi pada *hybrid ratio* ( $r_h$ ) 0,4 yaitu sebesar 0,0614 mm/mm.

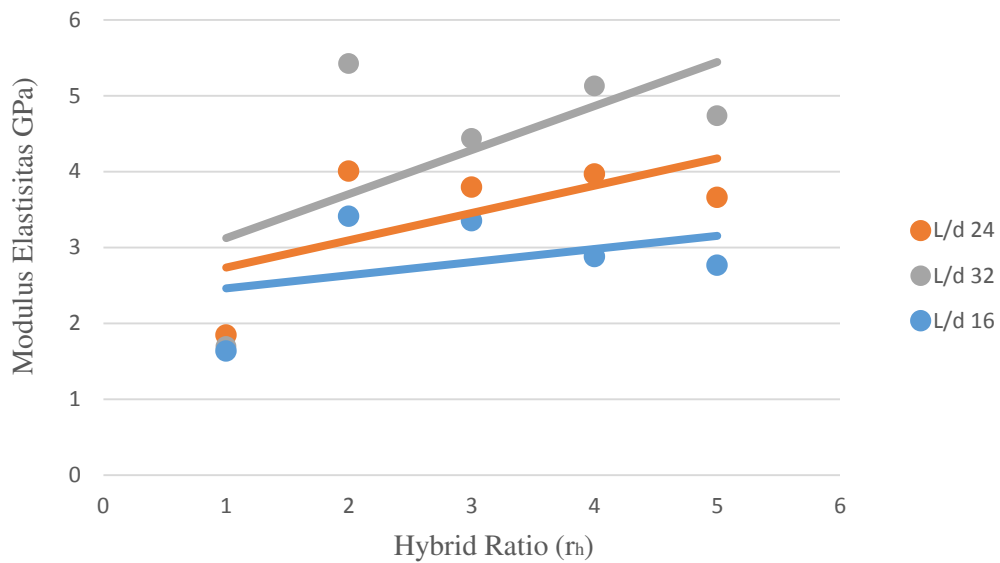
### 4.3.3. Pengaruh *Hybrid Ratio* terhadap Modulus Elastisitas

Setelah menghitung nilai rata-rata kekuatan *bending* selanjutnya menghitung nilai regangan *bending*. Hasil dari perhitungan nilai rata-rata regangan *bending* dapat dilihat pada Tabel 4.3. Sedangkan grafik hubungan antara *hybrid ratio* ( $r_h$ ) terhadap regangan *bending* ditunjukkan pada Gambar 4.6.

**Tabel 4.3.** Nilai rata-rata regangan *bending* komposit *hybrid* serat ijuk acak/serat gelas searah bermatriks *epoxy*

No	L/d	Modulus Elastisitas (GPa)					
		Hybrid Ratio (rh)					
			0,0	0,1	0,2	0,3	0,4
1	16		1.93906	3.40973	3.42049	2.72932	2.2308
			2.02042	3.27786	3.25528	2.56659	2.88861
			1.22718	3.31517	3.56027	3.05571	2.94049
			1.14531	3.35155	3.4539	3.34716	2.49354
			1.83795	3.70633	3.05795	2.70088	3.26038
		Min	1.14531	3.27786	3.05795	2.56659	2.2308
		Max	2.02042	3.70633	3.56027	3.34716	3.26038
		Rata-rata	1.63399	3.41213	3.34958	2.87993	2.76276
2	24		1.83795	4.48322	3.98203	3.67629	3.58739
			1.96524	2.75877	3.80957	4.63084	3.96396
			1.76826	4.92652	3.51244	3.62696	2.93385
			2.08138	4.11607	4.04539	3.63474	3.89825
			1.57656	3.73525	3.62363	4.26209	3.91824
		Min	1.57656	2.75877	3.51244	3.62696	2.93385
		Max	2.08138	4.92652	4.04539	4.63084	3.96396
		Rata-rata	1.84588	4.00397	3.79461	3.96618	3.66034
3	32		1.50109	7.53411	4.59728	4.75084	4.66597
			2.09926	8.01882	4.31135	5.00591	4.66263
			1.50749	6.33268	4.45065	5.00167	4.71104
			1.58584	4.52401	4.41466	5.31344	4.83577
			1.76	5.40704	4.40526	5.57109	4.8099
		Min	1.50109	4.52401	4.31135	4.75084	4.66263
		Max	2.09926	8.01882	4.59728	5.57109	4.83577
		Rata-rata	1.69074	5.42124	4.43584	5.12859	4.73706





**Gambar 4.6.** Hubungan antara *hybrid ratio* ( $r_h$ ) terhadap modulus elastisitas

Dari Gambar 4.6. dapat diketahui pada panjang  $L/d = 16$  nilai rata-rata modulus elastisitas pada *hybrid ratio* ( $r_h$ ) 0,0 sampai dengan *hybrid ratio* ( $r_h$ ) 0,4 mengalami kenaikan jika dilihat dari garis linear pada grafik tersebut, namun jika dilihat secara satu per satu grafik terlihat naik turun. Pada *hybrid ratio* ( $r_h$ ) 0,1 mengalami kenaikan dari awalnya *hybrid ratio* ( $r_h$ ) 0,0 sebesar 1,633 GPa menjadi 3,412 GPa, namun setelah naik pada *hybrid ratio* ( $r_h$ ) 0,1 garik terjadi penurunan secara kontinyu. Berikut ini adalah nilai modulus elastisitas berdasarkan *hybrid ratio* ( $r_h$ ), *hybrid ratio* ( $r_h$ ) 0,0 yaitu sebesar 1,633 GPa yang merupakan nilai modulus elastisitas terendah, *hybrid ratio* ( $r_h$ ) 0,1, yaitu sebesar 3,412 GPa yang menjadi tertinggi dan pada *hybrid ratio* ( $r_h$ ) 0,2 turun menjadi sebesar 3,349 GPa, *hybrid ratio* ( $r_h$ ) 0,3 nilai rata-rata modulus elastisitas kembali turun, yaitu sebesar 2,879 GPa, dan *hybrid ratio* ( $r_h$ ) 0,4 memiliki nilai modulus yaitu sebesar 2,762 GPa.

Pada panjang  $L/d = 24$  nilai rata-rata modulus elastisitas mengalami kenaikan nilai jika dilihat dari garis linearnya, namun jika dilihat satu per satu grafik pada  $L/d = 24$  terlihat bervariasi naik turun. Berikut ini adalah nilai modulus elastisitas berdasarkan *hybrid ratio* ( $r_h$ ), *hybrid ratio* ( $r_h$ ) 0,0 yaitu sebesar 1,69 GPa, *hybrid*

*ratio* ( $r_h$ ) 0,1 naik menjadi sebesar 4,003 GPa yg merupakan nilai tertinggi, dan pada *hybrid ratio* ( $r_h$ ) 0,2 mengalami penurunan menjadi sebesar 3,793 GPa, *hybrid ratio* ( $r_h$ ) 0,3 nilai rata-rata modulus naik lagi menjadi sebesar 3,966 GPa, dan *hybrid ratio* ( $r_h$ ) 0,4 mengalami penurunan nilai modulus yaitu menjadi sebesar 3,66 GPa.

Pada panjang  $L/d = 32$  karakteristik mayoritas nilai rata-rata modulus elastisitas terlihat naik turun sama seperti  $L/d = 16$  dan  $24$ , dapat dilihat pada Gambar 4.6. nilai modulus elastisitas *hybrid ratio* ( $r_h$ ) 0,0 menjadi yang terendah yaitu sebesar 1,69 Gpa, sedangkan pada *hybrid ratio* ( $r_h$ ) 0,1 menjadi yang tertinggi yaitu sebesar 5,421 GPa. Sementara pada *hybrid ratio* ( $r_h$ ) 0,2 mengalami penurunan menjadi sebesar 4,435 GPa, *hybrid ratio* ( $r_h$ ) 0,3 terlihat mengalami kenaikan nilai menjadi 5,128 kemudian *hybrid ratio* ( $r_h$ ) 0,4 kembali menurun menjadi 4,737 GPa.

Berdasarkan variasi  $L/d$  pada grafik diatas dapat disimpulkan bahwa nilai rata-rata modulus elastisitas tertinggi terdapat pada *hybrid ratio* ( $r_h$ ) 0,1, jika dilihat berdasarkan garis linear ketiga variasi  $L/d$  tersebut pada grafik terlihat kenaikan garis secara kontinyu dengan nilai  $L/d = 16$  menjadi yang terendah dan  $L/d = 32$  menjadi yang tertinggi.