

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Pengujian

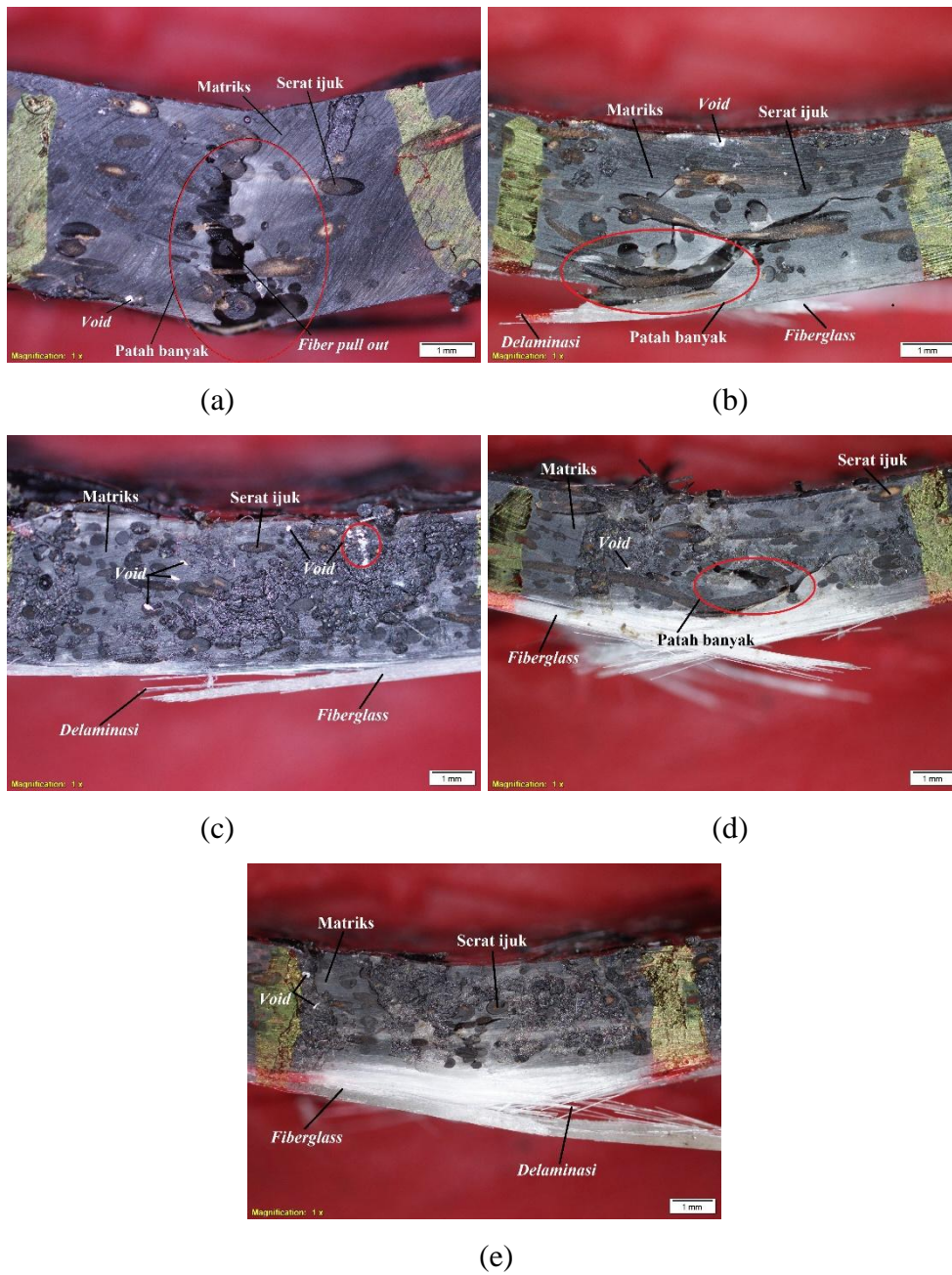
Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui nilai kekuatan *bending*, regangan *bending*, modulus elastisitas *bending*, dan foto makro penampang patahan dari material komposit *hybrid* serat ijuk acak/serat gelas searah bermatriks *polyester*. Hasil dari pengujian juga digunakan untuk mengetahui karakteristik lentur terhadap pengaruh *hybrid ratio* komposit.

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

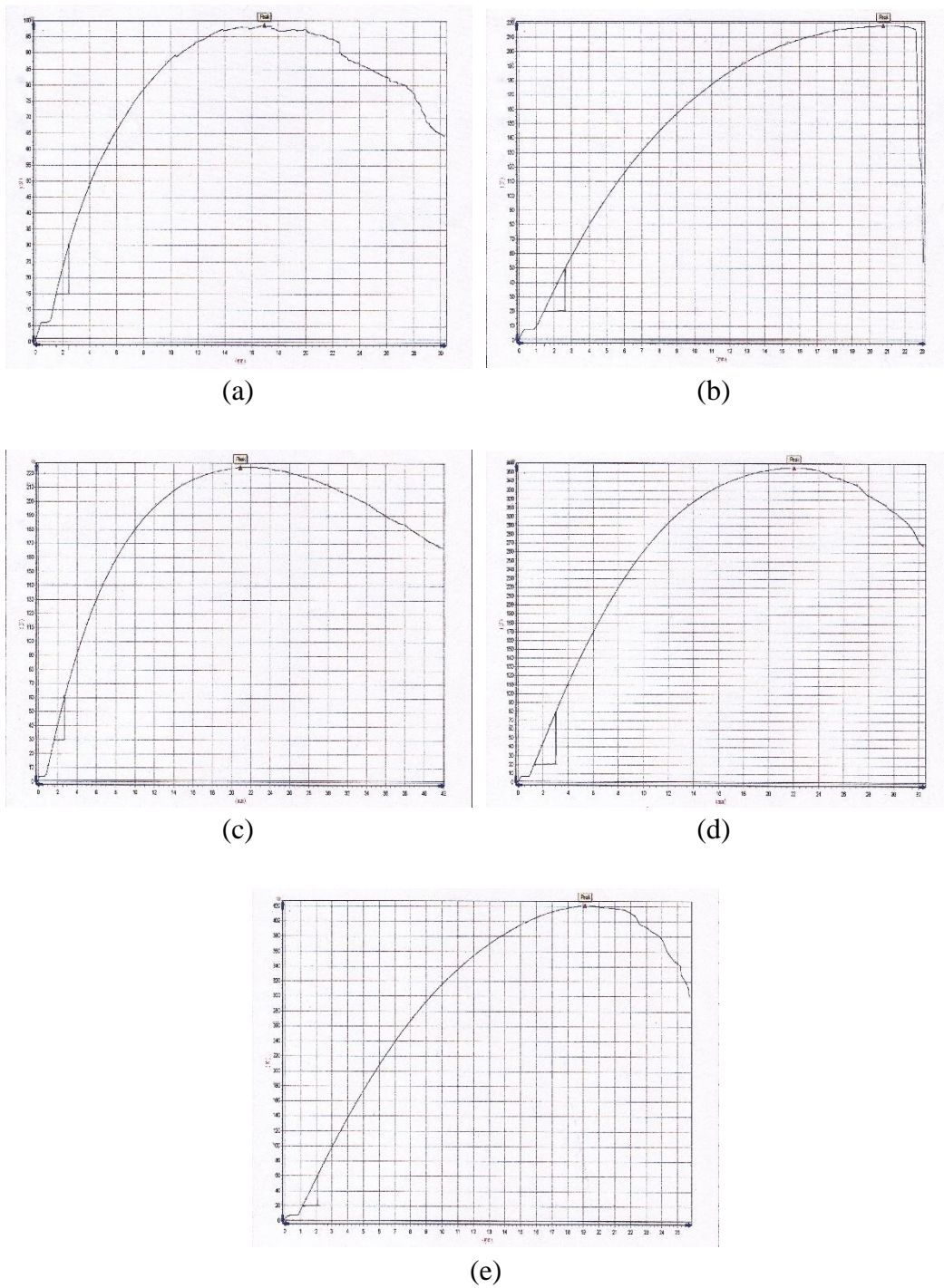
4.2. Hasil Pengamatan Foto Makro Penampang Patahan

Pengamatan foto makro pada spesimen setelah pengujian *bending* dilakukan untuk mengetahui karakteristik penampang patahan pada komposit. Hasil pengamatan foto makro penampang patahan disajikan pada Gambar 4.1., Gambar 4.3., dan Gambar 4.5. di bawah ini.

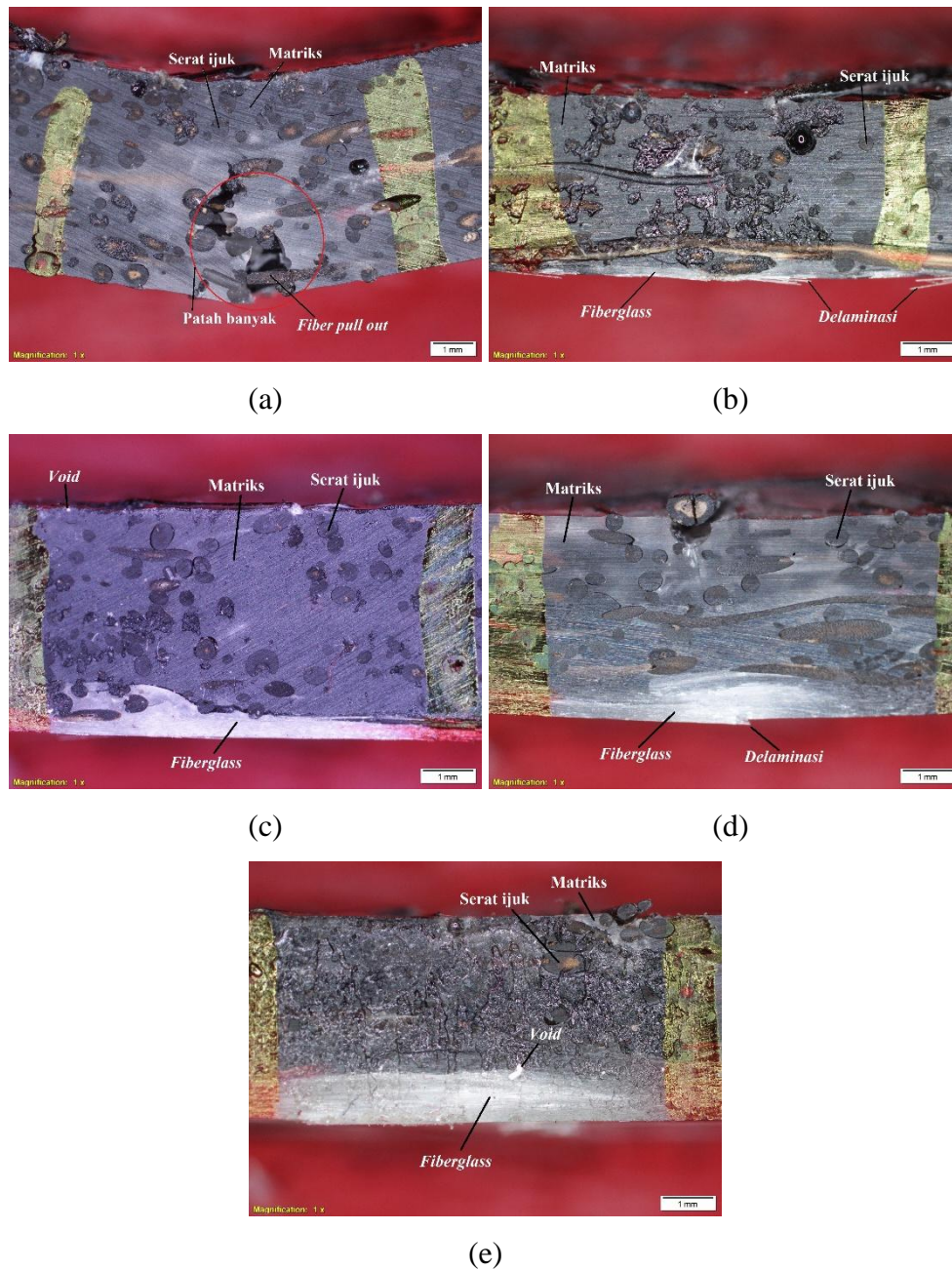
Pada Gambar 4.1. menunjukkan karakteristik patahan hasil pengujian *bending* pada $L/d = 16$. Patahan yang dialami pada pada gambar (a – b – d) adalah patah banyak. Hal ini terjadi karena matriks mampu menahan beban yang diberikan yang kemudian beban tersebut didistribusikan ke serat yang berakibat jumlah serat yang putus semakin banyak sehingga patahan yang terjadi lebih dari satu bidang. Pada gambar (b) selain mengalami patah banyak spesimen juga mengalami *delaminasi* pada serat gelas. *Delaminasi* pada serat gelas juga dialami pada gambar (c – e) yang terjadi karena lemahnya ikatan antara matriks dan serat gelas.



Gambar 4.1. Hasil foto makro patahan 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



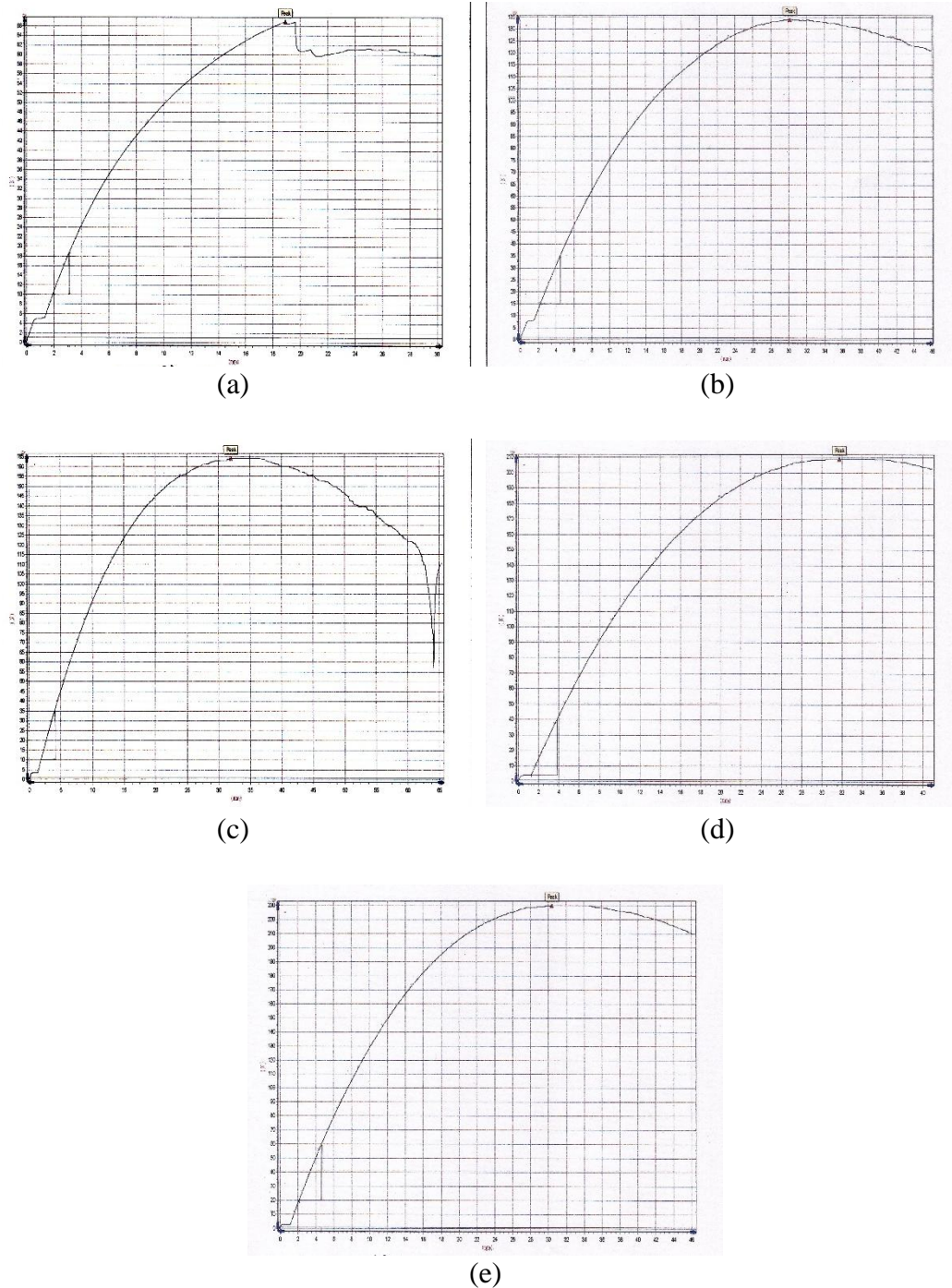
Gambar 4.2. Grafik F-D pada $L/d = 16$ (a) *hybrid ratio* (r_h) 0,0, (b) *hybrid ratio* (r_h) 0,1, (c) *hybrid ratio* (r_h) 0,2, (d) *hybrid ratio* (r_h) 0,3, dan (e) *hybrid ratio* (r_h) 0,4



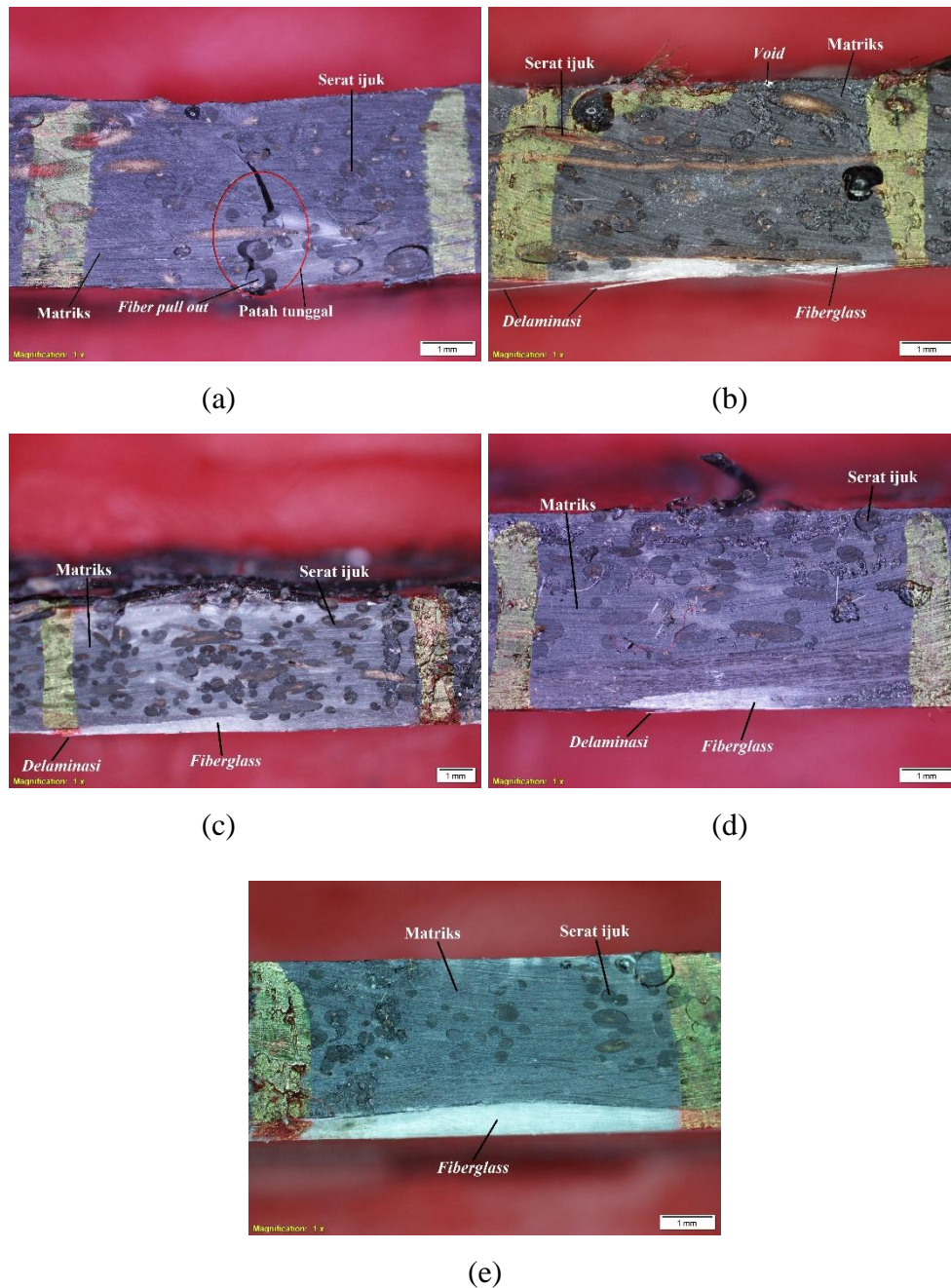
Gambar 4.3. Hasil foto makro patahan pada $L/d = 24$ (a) *hybrid ratio* (r_h) 0,0, (b) *hybrid ratio* (r_h) 0,1, (c) *hybrid ratio* (r_h) 0,2, (d) *hybrid ratio* (r_h) 0,3, dan (e) *hybrid ratio* (r_h) 0,4

Pada Gambar 4.3. menunjukkan karakteristik patahan patah banyak pada gambar (a). Pada gambar (b – d) karakteristik patahan yang dialami adalah *delaminasi* pada serat gelas yang disebabkan karena ikatan antara matriks dan serat

gelas yang lemah, sedangkan pada gambar (c – e) tidak terjadi kerusakan pada matriks maupun serat gelas.



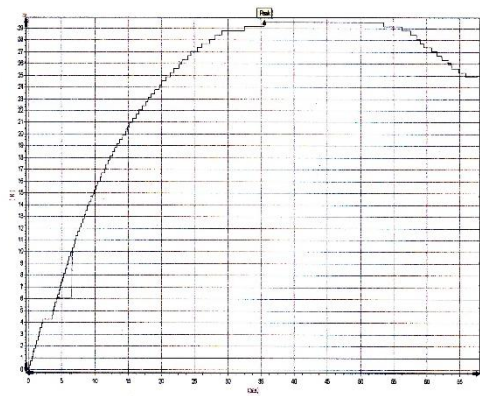
Gambar 4.4. Grafik F-D pada $L/d = 24$ (a) *hybrid ratio* (r_h) 0,0, (b) *hybrid ratio* (r_h) 0,1, (c) *hybrid ratio* (r_h) 0,2, (d) *hybrid ratio* (r_h) 0,3, dan (e) *hybrid ratio* (r_h) 0,4



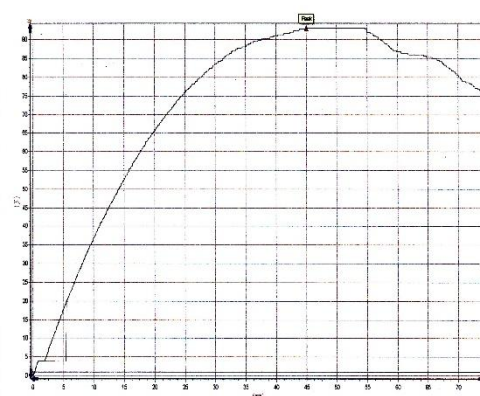
Gambar 4.5. Hasil foto makro patahan pada $L/d = 32$ (a) *hybrid ratio* (r_h) 0,0, (b) *hybrid ratio* (r_h) 0,1, (c) *hybrid ratio* (r_h) 0,2, (d) *hybrid ratio* (r_h) 0,3, dan (e) *hybrid ratio* (r_h) 0,4

Gambar 4.5. menunjukkan karakteristik patahan patah tunggal pada gambar (a). Patah tunggal terjadi karena matriks tidak mampu lagi menahan beban tambahan, sehingga patahan yang terjadi pada satu bidang. Pada gambar (b – c – d) karakteristik patahan yang terjadi adalah *delaminasi* pada serat gelas yang

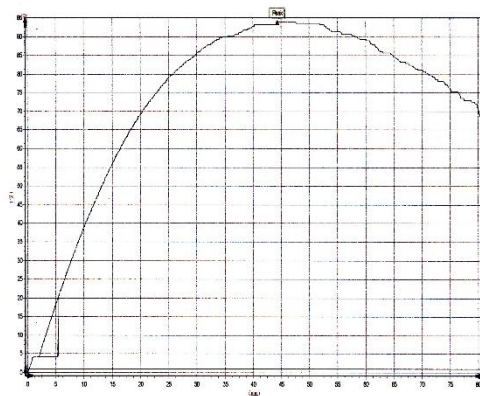
disebabkan lepasnya lapisan serat gelas dari matriksnya akibat lemahnya ikatan antara matriks dan penguat, sedangkan pada gambar (e) tidak terjadi kerusakan pada matrik ataupun serat gelas.



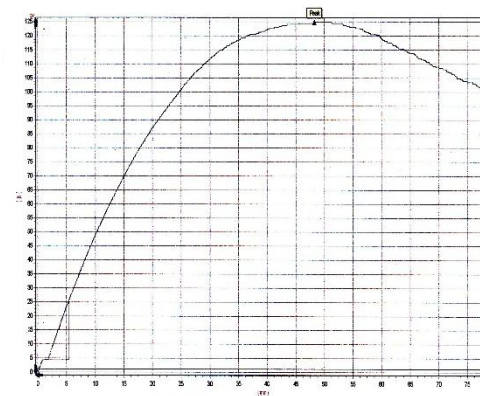
(a)



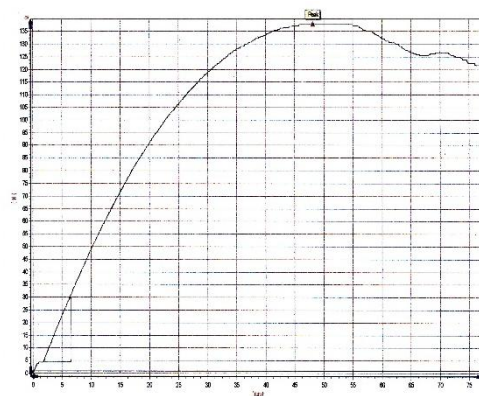
(b)



(c)



(d)



(e)

Gambar 4.6. Grafik F-D 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

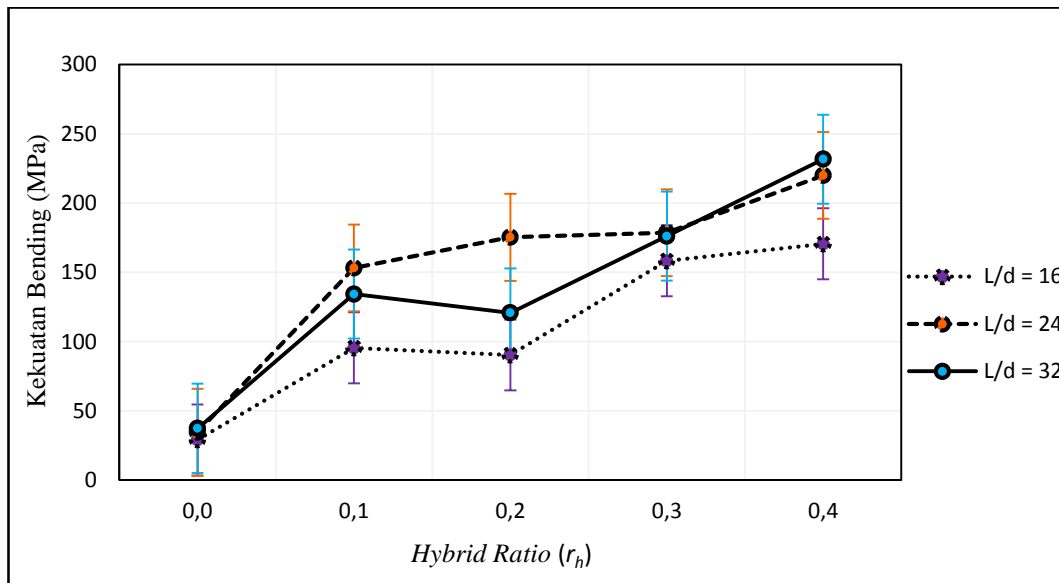
4.3. Hasil Analisis Pengujian *Bending*

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 4.7.

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

No	L/d	Kekuatan Bending (MPa)					
		<i>Hybrid Ratio</i> (r_h)					
		0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	
1	16		23,412	103,002	84,841	137,502	191,874
			28,132	100,981	103,643	178,646	135,414
			29,837	112,698	91,840	166,149	176,704
			34,057	99,530	86,746	168,061	194,515
			29,740	61,486	84,683	141,468	154,431
		Min	23,412	61,486	84,683	137,502	135,414
		Max	34,057	112,698	103,643	178,646	194,515
		Rata-rata	29,036	95,539	90,351	158,365	170,588
		SD	3,834	19,719	7,975	17,935	25,304
2	24		31,285	139,69	183,941	178,559	201,8
			37,396	142,663	168,093	183,421	210,719
			32,011	153,619	167,574	134,142	216,077
			35,320	148,770	173,282	163,126	186,413
			36,925	181,104	183,555	233,795	285,212
		Min	31,285	139,690	167,574	134,142	186,413
		Max	37,396	181,104	183,941	233,795	285,212
		Rata-rata	34,587	153,169	175,289	178,609	220,044
		SD	2,803	16,523	8,039	36,351	38,123
3	32		31,249	122,181	146,583	143,316	250,543
			43,052	138,960	120,561		228,343
			37,20	150,139	115,643	137,983	207,523
			36,662	147,086	146,248	206,967	247,244
			38,950	113,135	74,894	216,535	225,172
		Min	31,249	113,135	74,894	137,983	207,523
		Max	43,052	150,139	146,583	216,535	250,543
		Rata-rata	37,423	134,300	120,786	176,200	231,765
		SD	4,265	16,054	29,353	41,293	17,572



Gambar 4.7. Grafik hubungan antara *hybrid ratio* (r_h) terhadap kekuatan *bending*

Dari Gambar 4.7. 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 29,036 MPa. Kemudian untuk nilai rata-rata kekuatan *bending* pada *hybrid ratio* (r_h) 0,1 meningkat sebesar 95,539 MPa. Namun pada *hybrid ratio* (r_h) 0,2 nilai rata-rata kekuatan *bending* mengalami penurunan yaitu sebesar 90,351 MPa. Kemudian pada *hybrid ratio* (r_h) 0,3 dan (r_h) 0,4 nilai rata-rata kekuatan *bending* mengalami peningkatan secara signifikan yaitu masing-masing sebesar 158,365 MPa dan 170,588 MPa.

Pada komposit *hybrid* dengan panjang $L/d = 24$ menunjukkan peningkatan karakteristik nilai rata-rata kekuatan *bending* yang meningkat secara kontinyu. Dari grafik di atas terlihat bahwa pada *hybrid ratio* (r_h) 0,0 memiliki nilai rata-rata kekuatan *bending* terendah sebesar 34,587 MPa. Kemudian untuk nilai rata-rata kekuatan *bending* tertinggi terdapat pada *hybrid ratio* (r_h) 0,4 yaitu sebesar 220,044 MPa.

Pada komposit *hybrid* dengan panjang $L/d = 32$ memiliki karakteristik peningkatan nilai rata-rata kekuatan *bending* yang sama dengan panjang $L/d = 16$.

Dari Gambar 4.7. diketahui nilai rata-rata kekuatan *bending* mengalami peningkatan dari 37,423 MPa pada *hybrid ratio* (r_h) 0,0 menjadi 134,300 MPa pada *hybrid ratio* (r_h) 0,1. Namun pada *hybrid ratio* (r_h) 0,2 nilai rata-rata kekuatan *bending* mengalami penurunan sebesar 120,786 MPa. Kemudian pada *hybrid ratio* (r_h) 0,3 dan *hybrid ratio* (r_h) 0,4 nilai rata-rata kekuatan *bending* mengalami peningkatan secara drastis yaitu masing-masing sebesar 176,200 MPa dan 231,765 MPa.

Secara keseluruhan nilai rata-rata kekuatan *bending* cenderung mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya volume serat gelas. Namun pada *hybrid ratio* (r_h) 0,2 dengan variasi panjang $L/d = 16$ dan $L/d = 32$ nilai rata-rata kekuatan *bending* mengalami penurunan. Dari foto makro pada Gambar 4.1. (c) dan Gambar 4.5. (c) terlihat bahwa serat gelas mengalami *delaminasi* akibat ketidakmampuan matriks untuk mengisi ruang antar serat gelas. Dalam kondisi tersebut apabila komposit diberi beban tambahan maka serat (dalam kasus ini serat gelas) akan mudah terlepas sebelum dapat mendistribusikan beban kesekitarnya sehingga dapat mengurangi kekuatan komposit secara keseluruhan. Kemudian pada *hybrid ratio* (r_h) 0,4 dengan variasi panjang $L/d = 16$ jika dibandingkan dengan $L/d = 24$ dan $L/d = 32$ nilai kekuatan *bending*nya berada jauh di bawah $L/d = 24$ dan $L/d = 32$. Hal ini dikarenakan pada Gambar 4.1. (e) terlihat serat gelas mengalami kerusakan berupa *delaminasi* jika dibandingkan dengan Gambar 4.3. (e) dan Gambar 4.5. (e) pada serat gelas tidak terjadi kerusakan.

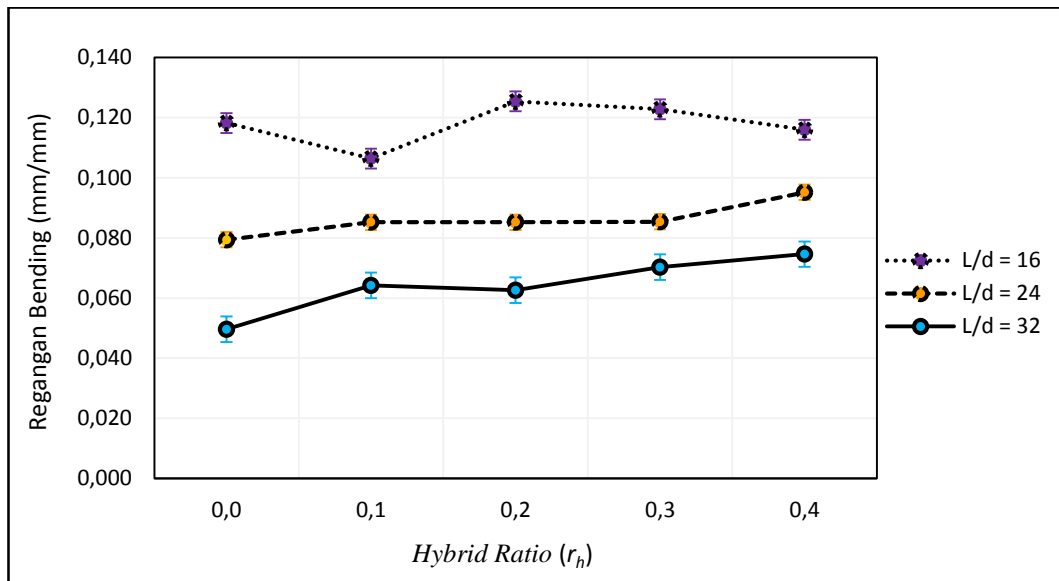
Pada Gambar 4.3. dan Gambar 4.5. (b – c) foto makro patahan pada *hybrid ratio* (r_h) 0,1 dan 0,2 terlihat bahwa perbedaan ketebalan serat gelas dan kurangnya pembasahan oleh matriks pada serat gelas yang mengakibatkan rendahnya nilai rata-rata kekuatan *bending* pada $L/d = 32$ dengan *hybrid ratio* (r_h) 0,1 dan 0,2.

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 4.8.

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

No	L/d	Regangan <i>Bending</i> (mm/mm)					
		<i>Hybrid Ratio</i> (r_h)					
			0,0	0,1	0,2	0,3	0,4
1	16		0,126	0,122	0,128	0,122	0,108
			0,105	0,117	0,123	0,126	0,116
			0,121	0,126	0,123	0,116	0,116
			0,113	0,12	0,131	0,129	0,119
			0,126	0,047	0,122	0,121	0,121
		Min	0,105	0,047	0,122	0,116	0,108
		Max	0,126	0,126	0,131	0,129	0,121
		Rata-rata	0,118	0,106	0,125	0,123	0,116
		SD	0,009	0,033	0,004	0,005	0,005
		2	24		0,053	0,083	0,089
	0,093			0,078	0,076	0,092	0,095
	0,097			0,093	0,088	0,08	0,1
	0,062			0,084	0,088	0,08	0,102
	0,092			0,088	0,085	0,083	0,09
Min	0,053			0,078	0,076	0,080	0,089
Max	0,097			0,093	0,089	0,092	0,102
Rata-rata	0,079			0,085	0,085	0,085	0,095
SD	0,020			0,006	0,005	0,006	0,006
3	32				0,039	0,062	0,064
			0,052	0,066	0,059		0,070
			0,054	0,066	0,061	0,070	0,074
			0,051	0,066	0,065	0,070	0,07
			0,052	0,061	0,064	0,072	0,069
		Min	0,039	0,061	0,059	0,069	0,069
		Max	0,054	0,066	0,065	0,072	0,090
		Rata-rata	0,050	0,064	0,063	0,070	0,075
		SD	0,006	0,002	0,003	0,001	0,009



Gambar 4.8. Grafik hubungan antara *hybrid ratio* (r_h) terhadap regangan *bending*

Dari Gambar 4.8. menunjukkan bahwa panjang $L/d = 16$ memiliki nilai rata-rata regangan *bending* yang lebih tinggi 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 rendah.

Pada panjang $L/d = 16$ dengan *hybrid ratio* (r_h) 0,0 memiliki nilai rata-rata regangan *bending* sebesar 0,118 mm/mm. Namun pada *hybrid ratio* (r_h) 0,1 memiliki nilai rata-rata regangan *bending* terendah yaitu sebesar 0,106 mm/mm. Sedangkan pada *hybrid ratio* (r_h) 0,2 memiliki nilai rata-rata regangan *bending* tertinggi yaitu sebesar 0,125 mm/mm. Kemudian nilai rata-rata regangan *bending* menurun kembali pada *hybrid ratio* (r_h) 0,3 dan *hybrid ratio* (r_h) 0,4 yaitu masing-masing sebesar 0,123 mm/mm dan 0,116 mm/mm.

Pada panjang $L/d = 24$ nilai rata-rata regangan *bending* terendah dimiliki oleh *hybrid ratio* (r_h) 0,0 yaitu sebesar 0,079 mm/mm. Kemudian pada *hybrid ratio* (r_h) 0,1, 0,2, dan 0,3 memiliki nilai rata-rata regangan *bending* yang sama yaitu sebesar 0,085 mm/mm. Sedangkan pada *hybrid ratio* (r_h) 0,4 memiliki nilai rata-rata regangan *bending* tertinggi yaitu sebesar 0,095 mm/mm.

Pada panjang $L/d = 32$ nilai rata-rata regangan *bending* terendah dimiliki oleh *hybrid ratio* (r_h) 0,0 yaitu sebesar 0,050 mm/mm. Pada *hybrid ratio* (r_h) 0,1 nilai

rata-rata regangan *bending* mengalami kenaikan sebesar 0,064 mm/mm, kemudian nilai rata-rata regangan *bending* turun pada *hybrid ratio* (r_h) 0,2 sebesar 0,063 mm/mm. Sedangkan nilai rata-rata regangan *bending* pada *hybrid ratio* (r_h) 0,3 mengalami peningkatan sebesar 0,070 mm/mm dan yang tertinggi pada *hybrid ratio* (r_h) 0,4 yaitu sebesar 0,075 mm/mm.

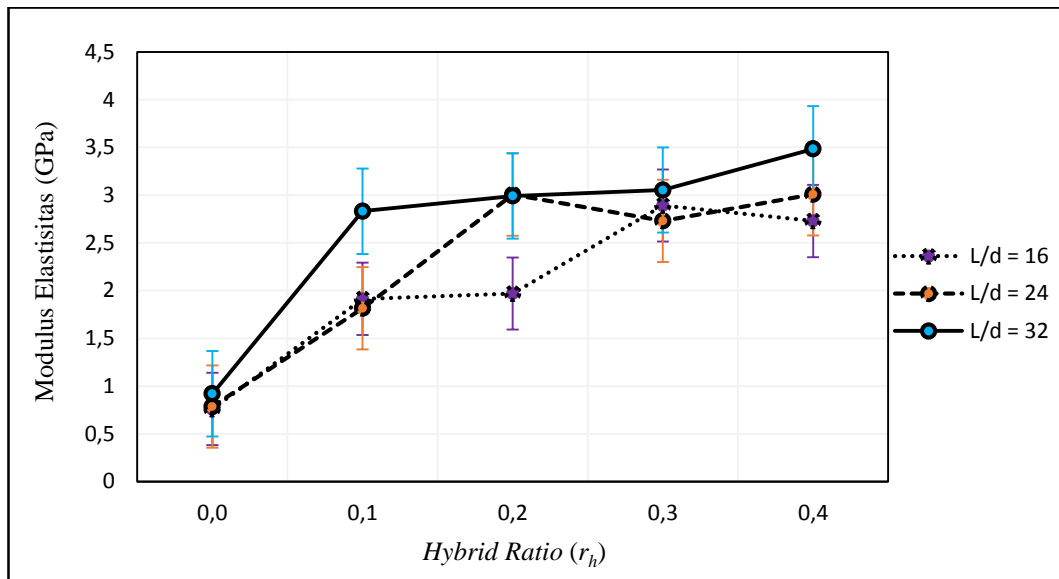
Penurunan nilai rata-rata regangan *bending* $L/d = 16$ pada *hybrid ratio* (r_h) 0,1 karena tegangan pada *hybrid ratio* (r_h) 0,1 lebih besar dibandingkan tegangan pada *hybrid ratio* (r_h) 0,0. Besarnya regangan pada *hybrid ratio* (r_h) 0,0 membuat spesimen lebih elastis dibandingkan dengan *hybrid ratio* (r_h) 0,1. Selain itu, pengaruh distribusi serat ijuk yang kurang merata serta ikatan *interface* antar matriks dan serat juga mempengaruhi tinggi rendahnya regangan dan tegangan *bending*.

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

Perhitungan terakhir dalam pengujian *bending* yaitu menghitung modulus elastisitas yang disajikan dalam Tabel 4.3., sedangkan untuk grafik hubungan antara *hybrid ratio* (r_h) terhadap modulus elastisitas *bending* ditunjukkan pada Gambar 4.9.

Tabel 4.3. Nilai rata-rata modulus elastisitas *bending* komposit *hybrid* serat ijuk acak/serat gelas searah bermatriks *polyester*

No	L/d	Modulus Elastisitas (GPa)					
		<i>Hybrid Ratio</i> (r_h)					
			0,0	0,1	0,2	0,3	0,4
1	16		0,576	2,016	1,767	2,625	3,140
			0,619	1,804	2,625	3,277	2,481
			0,619	1,969	2,078	3,151	3,027
			1,182	2,125	1,652	3,024	3,501
			0,806	1,658	1,723	2,379	1,501
		Min	0,576	1,658	1,652	2,379	1,501
		Max	1,182	2,125	2,625	3,277	3,501
		Rata-rata	0,760	1,914	1,969	2,891	2,730
		SD	0,252	0,184	0,401	0,377	0,778
		2	24		0,908	1,077	3,430
	0,896			2,302	3,375	2,079	2,988
	0,602			1,898	2,067	2,093	2,915
	0,845			2,076	3,348	2,721	2,606
	0,681			1,728	2,816	3,812	3,003
Min	0,602			1,077	2,067	2,079	2,606
Max	0,908			2,302	3,430	3,812	3,530
Rata-rata	0,786			1,816	3,007	2,731	3,008
SD	0,137			0,465	0,581	0,716	0,333
3	32				0,788	3,151	2,925
			0,838	2,712	3,386		3,642
			0,936	3,151	2,816	3,075	3,319
			1,096	2,978	3,781	3,693	4,014
			0,936	2,168	2,048	3,167	3,628
		Min	0,788	2,168	2,048	2,283	2,817
		Max	1,096	3,151	3,781	3,693	4,014
		Rata-rata	0,919	2,832	2,991	3,055	3,484
		SD	0,118	0,412	0,653	0,582	0,447



Gambar 4.9. Grafik hubungan antara *hybrid ratio* terhadap modulus elastisitas *bending*

Dari Gambar 4.9. dapat diketahui pada panjang $L/d = 16$ nilai rata-rata modulus elastisitas terendah dimiliki oleh *hybrid ratio* (r_h) 0,0 yaitu sebesar 0,760 GPa. Kemudian nilai rata-rata modulus elastisitas meningkat pada *hybrid ratio* (r_h) 0,1, 0,2, dan pada *hybrid ratio* (r_h) 0,3 diperoleh nilai rata-rata modulus elastisitas tertinggi yaitu sebesar 2,891 GPa. Namun pada *hybrid ratio* (r_h) 0,4 nilai rata-rata modulus elastisitas menurun, yaitu sebesar 2,730 GPa.

Pada panjang $L/d = 24$ nilai rata-rata modulus elastisitas terendah dimiliki oleh *hybrid ratio* (r_h) 0,0 yaitu sebesar 0,786 GPa. Kemudian nilai rata-rata modulus elastisitas meningkat pada *hybrid ratio* (r_h) 0,1 dan *hybrid ratio* (r_h) 0,2. Namun pada *hybrid ratio* (r_h) 0,3 nilai rata-rata modulus elastisitas mengalami penurunan, yaitu sebesar 2,731 GPa. Sedangkan pada *hybrid ratio* (r_h) 0,4 memiliki nilai rata-rata modulus elastisitas tertinggi yaitu sebesar 3,008 GPa.

Pada panjang $L/d = 32$ karakteristik nilai rata-rata modulus elastisitas mengalami peningkatan secara kontinyu dari yang terendah pada *hybrid ratio* (r_h) 0,0 sebesar 0,919 GPa sampai nilai yang tertinggi pada *hybrid ratio* (r_h) 0,4 yaitu sebesar 3,484 GPa.

Penurunan nilai rata-rata modulus elastisitas $L/d = 16$ pada *hybrid ratio* (r_h) 0,2 dan *hybrid ratio* (r_h) 0,4 dilihat dari foto makro pada Gambar 4.1. (c) dan (e) terjadi karena putusnya sebagian serat gelas akibat *delaminasi* sebelum beban maksimum diterima, sehingga apabila komposit menerima beban tambahan serat gelas mudah terlepas sebelum mendistribusikan beban kesekitar serat, sehingga menurunkan nilai modulus elastisitas komposit secara keseluruhan. Hal serupa terjadi pada *hybrid ratio* (r_h) 0,3 pada $L/d = 24$. Pada foto makro Gambar 4.3. (d) komposit juga mengalami *delaminasi* sebelum beban maksimum diterima, sehingga apabila komposit menerima beban tambahan serat gelas sudah terlepas dan mengurangi nilai modulus elastisitas komposit.