

BAB IV

ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Hasil Pengujian

4.1.1 Data Hasil Pengujian Kekuatan Tarik Komposit

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan diperoleh data hasil kekuatan tarik pada komposit dengan penguat serat tunggal *E-Glass* dan serat tunggal sabut kelapa maupun pada komposit hibrid, maka masing-masing datanya dapat ditabelkan pada tabel 4.1, tabel 4.2 dan pada tabel 4.3.

Tabel 4.1 Data komposit kekuatan tarik serat tunggal *E-Glass*

Fraksi Volume Serat / Replikasi	EG ₁ (4 %)	EG ₂ (12 %)	EG ₃ (20 %)	EG ₄ (28 %)	EG ₅ (36 %)
	Kekuatan Tarik (Kgf.mm ⁻²)				
1	8,622	14,535	26,536	30,020	35,717
2	8,311	14,091	27,205	29,756	34,107
3	8,228	14,919	26,685	29,830	34,937
4	8,107	14,104	26,815	30,782	35,261
5	8,608	14,694	27,102	30,992	35,451
Jumlah	41,877	72,343	134,342	15,381	175,472
Rata-rata	8,375	14,469	26,868	30,276	35,094

Sumber : Eka Susmayadi, 2004 : 27

Tabel 4.2 Data komposit kekuatan tarik serat tunggal sabut kelapa

Fraksi Volume Serat / Replikasi	SK ₁ (4 %)	SK ₂ (12 %)	SK ₃ (20 %)	SK ₄ (28 %)	SK ₅ (36 %)
	Kekuatan Tarik (Kgf.mm ⁻²)				
1	2,071	2,453	2,230	3,058	3,823
2	1,911	2,166	2,517	3,026	3,584
3	1,943	1,975	2,421	3,345	3,663
Jumlah	5,925	6,594	7,167	9,429	11,070
Rata-rata	1,975	2,198	2,389	3,143	3,690

Tabel 4.3 Data kekuatan tarik komposit hibrid (*E-Glass* : Sabut kelapa)

Fraksi Volume Serat / Replikasi	H ₁ (2% : 18%)	H ₂ (6% : 14%)	H ₃ (10% : 10%)	H ₄ (14% : 6%)	H ₅ (18% : 2%)
	Kekuatan Tarik (Kgf.mm ⁻²)				
1	2,813	3,516	5,438	8,547	10,750
2	2,000	3,438	3,078	7,109	9,344
3	1,969	3,641	5,000	7,344	11,359
Jumlah	6,781	10,594	13,516	23,000	31,453
Rata-rata	2,260	3,531	4,505	7,667	10,484

4.1.2 Data Hasil Pengujian Kekuatan Impak komposit

Berdasarkan hasil pengujian kekuatan impak pada komposit dengan penguat serat tunggal *E-Glass* dan serat tunggal sabut kelapa maupun pada komposit hibrid, maka masing-masing datanya dapat ditabelkan sebagai berikut:

Tabel 4.4 Data komposit kekuatan impak serat tunggal *E-Glass*

Fraksi Volume Serat / Replikasi	EG ₁ (4 %)	EG ₂ (12 %)	EG ₃ (20 %)	EG ₄ (28 %)	EG ₅ (36 %)
	Kekuatan Impak (Kgf.mm/mm ²)				
1	4,452	12,217	17,206	19,153	20,900
2	4,559	12,366	17,085	18,977	21,088
3	4,661	11,857	17,043	18,850	20,829
4	4,405	12,055	16,413	18,604	20,822
5	4,828	11,972	16,599	19,011	21,009
Jumlah	22,906	60,466	84,347	94,596	104,649
Rata-rata	4,581	12,093	16,869	18,919	20,930

Sumber : Eka Susmayadi, 2004 : 28

Tabel 4.5 Data komposit kekuatan impak serat tunggal sabut kelapa

Fraksi Volume Serat / Replikasi	SK ₁ (4 %)	SK ₂ (12 %)	SK ₃ (20 %)	SK ₄ (28 %)	SK ₅ (36 %)
	Kekuatan Impak (Kgf.mm/mm ²)				
1	3,873	5,804	5,804	11,571	15,387
2	2,906	5,804	11,571	11,571	15,387
3	2,906	7,731	9,654	9,654	13,482
4	3,873	3,873	7,731	13,482	13,482
Jumlah	13,557	19,339	34,760	46,278	57,739
Rata-rata	3,389	5,803	8,690	11,569	14,435

Tabel 4.6 Data kekuatan impak komposit hibrid (*E-Glass* : Sabut kelapa)

Fraksi Volume Serat / Replikasi	H ₁ (2% : 18%)	H ₂ (6% : 14%)	H ₃ (10% : 10%)	H ₄ (14% : 6%)	H ₅ (18% : 2%)
	Kekuatan Impak (Kgf.mm/mm ²)				
1	7,731	9,654	9,654	11,571	15,387
2	5,804	7,731	9,654	13,482	15,387
3	5,804	7,731	11,571	13,482	13,482
4	9,654	9,654	9,654	11,571	13,482
Jumlah	28,993	34,770	40,532	50,106	57,739
Rata-rata	7,248	8,693	10,133	12,527	14,435

4.2 Analisis Varian Satu Arah

4.2.1 Analisis Varian Satu Arah Kekuatan Tarik

4.2.1.1 Analisis Varian Kekuatan Tarik Serat Tunggal *E-Glass*

Berdasarkan hasil pengujian pada tabel 4.1, maka dapat dianalisis menggunakan analisis varian sebagai berikut:

- Jumlah Seluruh Perlakuan

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k Y_{ij} = 575,415$$

- Jumlah Kuadrat Seluruh Perlakuan

$$\left(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k Y_{ij} \right)^2 = 331102,422$$

- Faktor Koreksi (FK)

$$FK = \frac{\left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k Y_{ij} \right]^2}{n \cdot k} = \frac{(575,415)^2}{25} = \frac{331102,422}{25} = 13244,097$$

- Jumlah Kuadrat Total (JKT)

$$JKT = \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k Y_{ij}^2 \right] - FK = 15752,273 - 13244,097 = 2508,176$$

- Jumlah Kuadrat Perlakuan (JKP)

$$JKP = \left[\frac{\sum_{i=1}^n \left[\sum_{j=1}^k Y_{ij} \right]^2}{n} \right] - fk = 15748,366 - 13244,097 = 2504,269$$

- Jumlah Kuadrat Galat (JKG)

$$JKG = JKT - JKP \\ = 2508,176 - 2504,269 = 3,907$$

- Kuadrat Tengah Perlakuan (KTP)

$$KTP = \frac{JKP}{dbper} = \frac{2504,269}{4} = 626,067$$

- Kuadrat Tengah Galat (KTG)

$$KTG = \frac{JKG}{dbgalat} = \frac{3,907}{20} = 0,195$$

- Nilai F_{hitung}

$$F_{hitung} = \frac{KTP}{KTG} = \frac{626,067}{0,195} = 3210,6$$

Tabel 4.7 Analisis varian satu arah kekuatan tarik komposit serat tunggal *E-Glass*.

Sumber Varian	db	JK	KT	F_{hitung}	F_{tabel}
Perlakuan	4	2504,269	626,067	3210,6	2,87
Galat	20	3,907	0,195		
Total	24	2508,176			

Berdasarkan tabel 4.7 dan dengan menggunakan derajat bebas (db) perlakuan dengan nilai 4 dan derajat bebas (db) galat dengan nilai 20 didapatkan harga F teoritik dalam tabel nilai-nilai F sebesar 2,87 pada taraf $\alpha = 5\%$. Hasil perhitungan didapatkan harga untuk F_{hitung} sebesar 3204,776313. Terlihat $F_{hitung} > F_{tabel}$, sehingga dapat disimpulkan bahwa hipotesis dapat diterima yang berarti penambahan fraksi volume serat tunggal *E-Glass* berpengaruh terhadap kekuatan tarik material komposit matrik poliester.

4.2.1.2 Analisis Varian Kekuatan Tarik Serat Tunggal Sabut Kelapa

Berdasarkan data pada tabel 4.2 dan dengan menggunakan perhitungan yang sama seperti diatas maka analisis varian satu arah komposit yang diperkuat serat sabut kelapa dapat dibuat tabel analisis varian seperti pada tabel 4.8 sebagai berikut:

Tabel 4.8 Analisis varian satu arah kekuatan tarik komposit serat tunggal sabut kelapa

Sumber Varian	db	JK	KT	F_{hitung}	F_{tabel}
Perlakuan	4	6,145	1,536	58,261	3,48
Galat	10	0,264	0,026		
Total	14	6,409			

Berdasarkan tabel 4.8 dan dengan menggunakan derajat bebas (db) perlakuan dengan nilai 4 dan derajat bebas (db) galat dengan nilai 10 didapatkan harga F teoritik dalam tabel nilai-nilai F sebesar 3,48 pada taraf $\alpha = 5\%$. Hasil perhitungan didapatkan harga untuk F_{hitung} sebesar 58,261. Terlihat $F_{hitung} > F_{tabel}$, sehingga dapat disimpulkan bahwa hipotesis dapat diterima yang berarti penambahan fraksi volume serat tunggal sabut kelapa berpengaruh terhadap kekuatan tarik material komposit matrik poliester.

4.2.1.3 Analisis Varian Kekuatan Tarik pada Komposit Hibrid

Berdasarkan data pada tabel 4.3 dan dengan menggunakan perhitungan yang sama, maka analisis varian satu arah pada komposit hibrid yang diperkuat gabungan

serat *E-Glass* dan serat sabut kelapa dapat dibuat tabel analisis varian seperti pada tabel 4.9 sebagai berikut:

Tabel 4.9 Analisis varian satu arah kekuatan tarik komposit hibrid

Sumber Varian	db	JK	KT	F _{hitung}	F _{tabel}
Perlakuan	4	134,158	33,539	48,216	3,48
Galat	10	6,956	0,696		
Total	14	141,114			

Berdasarkan hasil perhitungan yang ditunjukkan pada tabel 4.9 dan dengan menggunakan derajat bebas (db) perlakuan dengan nilai 4 dan derajat bebas (db) galat dengan nilai 10 didapatkan harga F teoritik dalam tabel nilai-nilai F sebesar 3,48 pada taraf $\alpha = 5\%$. Hasil perhitungan didapatkan harga untuk F_{hitung} sebesar 48,216. Terlihat F_{hitung} > F_{tabel}, sehingga dapat disimpulkan bahwa hipotesis dapat diterima yang berarti penambahan fraksi volume komposit hibrid yang diperkuat gabungan serat *E-Glass* dan serat sabut kelapa berpengaruh terhadap kekuatan tarik material komposit matrik poliester.

4.2.2 Analisis Varian Satu Arah Kekuatan Impak

4.2.2.1 Analisis Varian Kekuatan Impak Serat Tunggal *E-Glass*

Berdasarkan hasil pengujian pada tabel 4.4, maka dapat dianalisis menggunakan analisis varian sebagai berikut:

- Jumlah Seluruh Perlakuan

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k Y_{ij} = 366,964$$

- Jumlah Kuadrat Seluruh Perlakuan

$$\left(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k Y_{ij} \right)^2 = 134662,577$$

- Faktor Koreksi (FK)

$$FK = \frac{\left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k Y_{ij} \right]^2}{n \cdot k} = \frac{(366,964)^2}{25} = \frac{134662,577}{25} = 5386,503$$

- Jumlah Kuadrat Total (JKT)

$$JKT = \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k Y_{ij}^2 \right] - FK = 6239,886 - 5386,503 = 853,383$$

- Jumlah Kuadrat Perlakuan (JKP)

$$JKP = \left[\frac{\sum_{i=1}^n \left[\sum_{j=1}^n Y_{ij} \right]^2}{n} \right] - fk = 6239,019 - 5386,503 = 852,516$$

- Jumlah Kuadrat Galat (JKG)

$$JKG = JKT - JKP \\ = 853,383 - 852,516 = 0,867$$

- Kuadrat Tengah Perlakuan (KTP)

$$KTP = \frac{JKP}{dbper} = \frac{852,516}{4} = 213,129$$

- Kuadrat Tengah Galat (KTG)

$$KTG = \frac{JKG}{dbgalat} = \frac{0,867}{20} = 0,043$$

- Nilai F_{hitung}

$$F_{hitung} = \frac{KTP}{KTG} = \frac{213,129}{0,043} = 4956,489$$

Tabel 4.10 Analisis varian satu arah kekuatan impak komposit serat tunggal *E-Glass*.

Sumber Varian	db	JK	KT	F_{hitung}	F_{tabel}
Perlakuan	4	852,516	213,129	4956,489	2,87
Galat	20	0,867	0,043		
Total	24	853,383			

Berdasarkan hasil perhitungan yang ditunjukkan pada tabel 4.10 diatas dapat diperoleh kesimpulan bahwa dengan menggunakan derajat bebas (db) perlakuan dengan nilai 4 dan derajat bebas (db) galat dengan nilai 20 didapatkan harga F teoritik dalam tabel nilai-nilai F sebesar 2,87 pada taraf $\alpha = 5\%$. Hasil perhitungan didapatkan harga untuk F_{hitung} sebesar 4956,489. Terlihat $F_{hitung} > F_{tabel}$, sehingga dapat disimpulkan bahwa hipotesis dapat diterima yang berarti penambahan fraksi volume serat tunggal *E-Glass* berpengaruh terhadap kekuatan impak material komposit matrik poliester.

4.2.2.2 Analisis Varian Kekuatan Impak Serat Tunggal Sabut Kelapa

Berdasarkan data pada tabel 4.5 dan dengan menggunakan perhitungan yang sama seperti diatas maka analisis varian satu arah komposit yang diperkuat serat sabut kelapa dapat dibuat tabel analisis varian seperti pada tabel 4.11 sebagai berikut:

Tabel 4.11 Analisis varian satu arah kekuatan impact komposit serat tunggal sabut kelapa

Sumber Varian	db	JK	KT	F _{hitung}	F _{tabel}
Perlakuan	4	310,748	77,687	30,816	3,06
Galat	15	37,813	2,521		
Total	19	348,561			

Berdasarkan hasil perhitungan yang ditunjukkan pada tabel 4.11 diatas dapat diperoleh kesimpulan bahwa dengan menggunakan derajat bebas (db) perlakuan dengan nilai 4 dan derajat bebas (db) galat dengan nilai 15 didapatkan harga F teoritik dalam tabel nilai-nilai F sebesar 3,06 pada taraf $\alpha = 5\%$. Hasil perhitungan didapatkan harga untuk F_{hitung} sebesar 30,816. Terlihat F_{hitung} > F_{tabel}, sehingga dapat disimpulkan bahwa hipotesis dapat diterima yang berarti penambahan fraksi volume serat tunggal sabut kelapa berpengaruh terhadap kekuatan impact material komposit matrik poliester.

4.2.2.3 Analisis Varian Kekuatan Impact pada Komposit Hibrid

Berdasarkan data pada tabel 4.6 dan dengan menggunakan perhitungan yang sama, maka analisis varian satu arah pada komposit hibrid yang diperkuat gabungan serat *E-Glass* dan serat sabut kelapa dapat dibuat tabel analisis varian seperti pada tabel 4.12 sebagai berikut:

Tabel 4.12 Analisis varian satu arah kekuatan impact komposit hibrid

Sumber Varian	db	JK	KT	F _{hitung}	F _{tabel}
Perlakuan	4	134,025	33,506	21,007	3,06
Galat	15	23,925	1,595		
Total	19	157,950			

Berdasarkan hasil perhitungan yang ditunjukkan pada tabel 4.12 dan dengan menggunakan derajat bebas (db) perlakuan dengan nilai 4 dan derajat bebas (db) galat dengan nilai 15 didapatkan harga F teoritik dalam tabel nilai-nilai F sebesar 3,06 pada taraf $\alpha = 5\%$. Pada hasil perhitungan didapatkan harga untuk F_{hitung} sebesar 21,007. Terlihat F_{hitung} > F_{tabel}, sehingga dapat disimpulkan bahwa hipotesis dapat diterima yang berarti penambahan fraksi volume komposit hibrid yang diperkuat gabungan serat *E-Glass* dan serat sabut kelapa berpengaruh terhadap kekuatan impact material komposit matrik poliester.

4.3 Analisis Regresi

Data hasil pengujian kekuatan tarik dan kekuatan impak yang diperoleh maka dapat dilakukan analisis regresi. Persamaan regresi dalam penelitian ini adalah persamaan linier, dengan persamaan umum sebagai berikut:

$$Y = a + bx$$

Dengan : Y = Harga kekuatan mekanik (tarik atau impak)

X = Fraksi volume serat.

Sebagai contoh perhitungan, diambil data pengaruh fraksi volume serat *E-Glass* terhadap kekuatan tarik rata-rata material komposit matrik poliester. Data dapat ditabelkan sebagai berikut:

Tabel 4.13 Analisis regresi untuk pengaruh fraksi volume serat *E-Glass* terhadap kekuatan tarik rata-rata material komposit matrik poliester.

No	X	Y	X ²	Y ²	XY
1	4	8,375	16	70,141	33,500
2	12	14,469	144	209,352	173,628
3	20	26,868	400	721,889	537,360
4	28	30,276	784	916,636	847,728
5	36	35,094	1296	1231,589	1263,384
Jumlah	100	115,082	2640	3149,607	2855,600

Berdasarkan tabel 4.13, maka untuk memperoleh koefisien regresi dilakukan dengan perhitungan sebagai berikut:

$$a = \frac{\sum Y \cdot \sum X^2 - \sum X \cdot \sum XY}{N \cdot \sum X^2 - (\sum X)^2}$$

$$a = \frac{115,082 \times 2640 - 100 \times 2855,600}{5 \times 2640 - 10000}$$

$$a = 5,7052, \text{ dan}$$

$$b = \frac{N \cdot \sum XY - \sum X \cdot \sum Y}{N \cdot \sum X^2 - (\sum X)^2}$$

$$b = \frac{5 \times 2855,600 - 100 \times 115,082}{5 \times 2640 - 10000}$$

$$b = 0,8656$$

Harga korelasi dapat ditempuh dengan menggunakan rumus sebagai berikut (Winarsunu Tulus, 1996):

$$r = \frac{N \cdot \sum XY - \sum X \cdot \sum Y}{\sqrt{\{(N \cdot \sum X^2 - (\sum X)^2)(N \cdot \sum Y^2 - (\sum Y)^2)\}}}$$

$$r = \frac{5 \times 2855,600 - 100 \times 115,082}{\sqrt{\{(5 \times 2640 - 10000)(5 \times 3149,607 - 13243,867)\}}}$$

$r = 0,97846$, dan koefisien determinasinya ditemukan sebesar:

$$R^2 = 0,9574$$

Berdasarkan harga a dan b yang ditemukan untuk pengaruh fraksi volume serat (X) terhadap kekuatan tarik rata-rata (Y) maka persamaan regresi $Y = a + bx$ dapat dituliskan menjadi:

$$Y = 5,7052 + 0,8656x, \text{ dengan } R^2 = 0,9574$$

Pada $R^2 = 0,9574$ diartikan bahwa 95,74% dari variasi yang terjadi pada variable Y disebabkan oleh pengaruh variabel X dan sisanya disebabkan oleh variabel-variabel lain yang tidak diteliti atau variabel-variabel yang berada diluar kawasan penelitian. Harga koefisien korelasi yang ditemukan sebesar $r = 0,97846$ menunjukkan bahwa korelasi antara variabel X (fraksi volume) dengan variabel Y (kekuatan tarik rata-rata) sangat signifikan.

4.4 Analisis Efek Hibrid

4.4.1 Analisis Efek Hibrid Kekuatan Tarik

Berdasarkan hasil pengujian kekuatan tarik komposit yang diperkuat serat tunggal *E-Glass* dan serat tunggal sabut kelapa pada tabel 4.1 dan tabel 4.2. Data pada tabel ini selanjutnya dapat diperoleh kekuatan tarik teoritis komposit hibrid berdasarkan *Rule Of Hybrid Mixture* dengan persamaan (2.3). Kekuatan tarik komposit hibrid pada persamaan tersebut dapat ditulis kembali sebagai berikut:

$$\sigma_{IHC} = \sigma_{1fA} \cdot X_{fA} + \sigma_{1fB} \cdot X_{fB}$$

Contoh perhitungan untuk mencari kekuatan tarik pada komposit hibrid dengan komposisi 2% *E-Glass* : 18% Sabut kelapa adalah sebagai berikut:

$$\sigma_{IHC} = 8,375 \times \frac{2}{20} + 3,690 \frac{18}{20}$$

$$= 0,838 + 3,321$$

$$= 4,159 \text{Kgf} \cdot \text{mm}^{-2}$$

Cara yang sama juga dapat dihitung kekuatan tarik teoritis komposit hibrid yang lainnya sebagaimana telah dicantumkan pada tabel 4.14.

Tabel 4.14 Analisa efek hibrid untuk kekuatan tarik komposit yang diperkuat serat *E-Glass* dan serat sabut kelapa

Kode	<i>E-Glass</i> : Sabut Kelapa	Rumus	Kekuatan Tarik (Kgf.mm ²)		Selisih	Efek Hibrid
			σ Aktual	σ Teoritis		
H ₁	2% : 18%	EG ₁ +SK ₅	2,260	4,159	-1,899	-
H ₂	6% : 14%	EG ₂ +SK ₄	3,531	6,540	-3,009	-
H ₃	10% : 10%	EG ₃ +SK ₃	4,505	14,628	-10,123	-
H ₄	14% : 6%	EG ₄ +SK ₂	7,667	21,852	-14,185	-
H ₅	18% : 2%	EG ₅ +SK ₁	10,484	31,782	-21,298	-

4.4.2 Analisis Efek Hibrid Kekuatan Impak

Berdasarkan hasil data pada tabel 4.4 untuk serat tunggal *E-Glass* dan tabel 4.5 untuk serat tunggal sabut kelapa dapat diperoleh kekuatan impak teoritis komposit hibrid berdasarkan *Rule Of Hybrid Mixture* dengan persamaan (2.5). Kekuatan impak komposit hibrid pada persamaan tersebut dapat ditulis kembali sebagai berikut:

$$a_{HCN} = a_{cFA} \cdot X_{fA} + a_{cJB} \cdot X_{fB}$$

Contoh perhitungan untuk mencari kekuatan impak pada komposit hibrid dengan komposisi 2% *E-Glass* : 18% Sabut kelapa adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} a_{HCN} &= 4,581 \times \frac{2}{20} + 14,435 \times \frac{18}{20} \\ &= 0,458 + 12,991 \\ &= 13,449 \text{ Kgf.mm/mm}^{-2} \end{aligned}$$

Cara yang sama juga dapat dihitung kekuatan impak teoritis komposit hibrid yang lainnya sebagaimana telah dicantumkan pada tabel 4.15.

Tabel 4.15 Analisa efek hibrid untuk kekuatan impak komposit yang diperkuat serat *E-Glass* dan serat sabut kelapa

Kode	<i>E-Glass</i> : Sabut Kelapa	Rumus	Kekuatan impak (Kgf.mm/mm ²)		Selisih	Efek Hibrid
			σ Aktual	σ Teoritis		
H ₁	2% : 18%	EG ₁ +SK ₅	7,248	13,449	-6,201	-
H ₂	6% : 14%	EG ₂ +SK ₄	8,693	11,726	-3,033	-
H ₃	10% : 10%	EG ₃ +SK ₃	10,133	12,779	-2,646	-
H ₄	14% : 6%	EG ₄ +SK ₂	12,527	14,984	-2,457	-
H ₅	18% : 2%	EG ₅ +SK ₁	14,435	19,176	-4,741	-

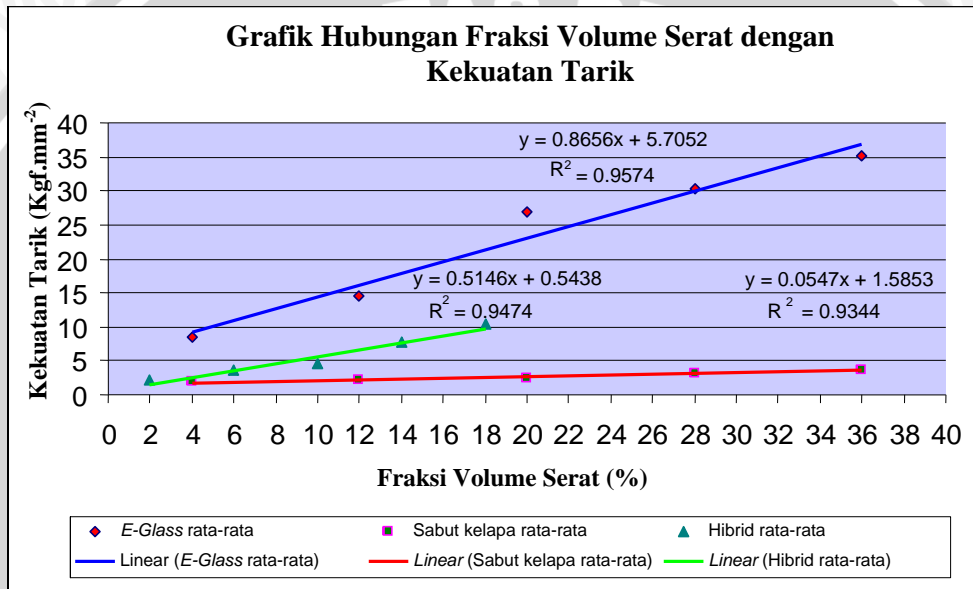
4.5 Pembahasan

Berdasarkan data hasil pengujian fraksi volume serat penguat *E-Glass* dan serat sabut kelapa yang bervariasi diperoleh besarnya kekuatan tarik dan kekuatan impak dari komposit serat tunggal maupun komposit hibrid. Salah satu cara untuk memudahkan

dalam menganalisis adalah dengan menyajikan data dalam bentuk grafik. Grafik yang dibuat adalah grafik hubungan antara kekuatan tarik dengan fraksi volume serat komposit, ataupun grafik hubungan antara kekuatan impak dengan fraksi volume serat komposit.

4.5.1 Analisis Grafik Kekuatan Tarik

Pengujian kekuatan tarik yang dilakukan adalah pengujian tarik yang searah dengan arah serat penguat berdasarkan *ASTM D3039/3039M*. Berdasarkan tabel 4.1, 4.2 dan tabel 4.3 maka dapat dibuat grafik hubungan kekuatan tarik dengan fraksi volume serat sebagai berikut:



Gambar 4.1 Grafik hubungan fraksi volume serat dengan kekuatan tarik

Berdasarkan grafik regresi pada gambar 4.1, bahwa semakin meningkatnya fraksi volume serat komposit dengan penguat serat tunggal menyebabkan kekuatan tarik meningkat. Pada fraksi volume serat tunggal *E-Glass* kekuatan tarik rata-rata yang paling rendah yaitu 8,375 Kgf.mm⁻² pada fraksi volume serat *E-Glass* 4% dan nilai kekuatan tarik tertinggi yaitu 35,094 Kgf.mm⁻² pada fraksi volume 36%. Sedangkan dengan penguat serat sabut kelapa, kekuatan tarik rata-rata yang paling rendah yaitu 1,975 Kgf.mm⁻² pada fraksi volume serat sabut kelapa 4% dan kekuatan tarik yang tertinggi yaitu 3,690 Kgf.mm⁻² pada fraksi volume serat sabut kelapa 36%. Berdasarkan gambar 4.1 kekuatan tarik komposit hibrid meningkat dengan bertambahnya fraksi volume serat *E-Glass* atau seiring dengan berkurangnya fraksi volume serat sabut kelapa. Kekuatan tarik komposit hibrid yang paling rendah yaitu 2,260 Kgf.mm⁻² pada fraksi serat *E-Glass* 2% dan 18% serat sabut kelapa. Kekuatan tarik yang tertinggi yaitu

10,484 Kgf.mm⁻² pada fraksi fraksi volume serat *E-Glass* 18% dan 2% serat sabut kelapa.

Tegangan yang terjadi pada komposit dengan serat kontinyu dan arah serat searah dengan arah beban, akan diterima dan didistribusikan ke sepanjang serat, maka semakin besar fraksi volume serat, distribusi tegangan akan semakin merata. Hal ini didukung pula bahwa pada dasarnya pembuktian secara teoritis dari teori kaidah campuran (*Rule Of Mixture*) dapat diprediksi efek penguatan yang terjadi dari penambahan serat tersebut pada matrik poliester tak jenuh. Penambahan serat tunggal *E-Glass* dan serat tunggal sabut kelapa sampai pada fraksi volume serat 36%, memberikan efek penguatan positif terhadap kekuatan tarik komposit poliester pada jumlah peningkatan fraksi volume yang sama. Tetapi peningkatan kekuatan tarik komposit yang diperkuat serat *E-Glass* lebih tinggi dibandingkan peningkatan kekuatan tarik komposit yang diperkuat serat sabut kelapa. Perbedaan kekuatan tarik tersebut dikarenakan karakteristik kekuatan tarik serat *E-Glass* lebih tinggi jika dibandingkan dengan kekuatan tarik sabut kelapa (Tabel 4.16).

Secara aktual peningkatan kekuatan tarik komposit hibrid yang diperkuat serat *E-Glass* dan sabut kelapa sampai pada fraksi volume serat 18%:2% dengan peningkatan fraksi volume serat *E-Glass*, menunjukkan bahwa penambahan serat tersebut sebagai penguat komposit memberikan efek penguatan positif terhadap sifat komposit poliester. Efek penguatan tersebut dapat ditunjukkan pada grafik hubungan fraksi volume serat dengan kekuatan tarik (gambar 4.1), terlihat bahwa kekuatan tarik komposit hibrid rata-rata masih dibawah kekuatan tarik rata-rata serat *E-Glass*. Berarti serat hibrid yang dipakai yaitu serat sabut kelapa tidak dapat memberikan efek penguatan yang sempurna jika digabungkan dengan serat *E-Glass*. Ketidakefektifan tersebut dikarenakan kekuatan tarik sabut kelapa sangat kecil jika dibandingkan dengan kekuatan tarik serat *E-Glass* (Tabel 4.16) atau dengan kata lain bahwa kenaikan kekuatan tarik komposit hibrid hanya dipengaruhi oleh salah satu dari jenis serat tersebut atau hanya dipengaruhi oleh jenis matrik yang digunakan.. Pernyataan ini dapat dijelaskan lebih lanjut pada (4.3.2 Analisis Efek Hibrid).

Berdasarkan gambar 4.1 pada grafik hubungan fraksi volume serat dengan kekuatan tarik, persamaan garis menunjukkan kekuatan tarik yang semakin meningkat. Berdasarkan teori yang dikemukakan oleh Matthews dan Rawling, apabila fraksi volume serat penguatnya terus dinaikkan maka diindikasikan akan menyebabkan kekuatan tarik

menurun, hal tersebut dikarenakan pengaruh laminasi atau daya ikat matrik (*Polyester*) terhadap serat atau *filler* menurun.

Luas bidang kontak antara matrik dengan *filler* memberikan pengaruh terhadap daya ikat matrik terhadap *filler*. Semakin bertambahnya *filler* pada matrik poliester sebagai pengikat akan mengakibatkan luas bidang kontak atau pengikatan matrik terhadap *filler* berkurang. Ikatan yang terjadi pada komposit yang terbentuk ini salah satunya adalah ikatan mekanis yaitu bahwa matrik cair akan menyebar ke seluruh permukaan penguat dan mengisi setiap lekuk dari permukaan penguat yang kasar sehingga terjadi mekanisme saling mengunci (*Interlocking mechanism*) (Matthews dan Rawling, 1994 : 61).

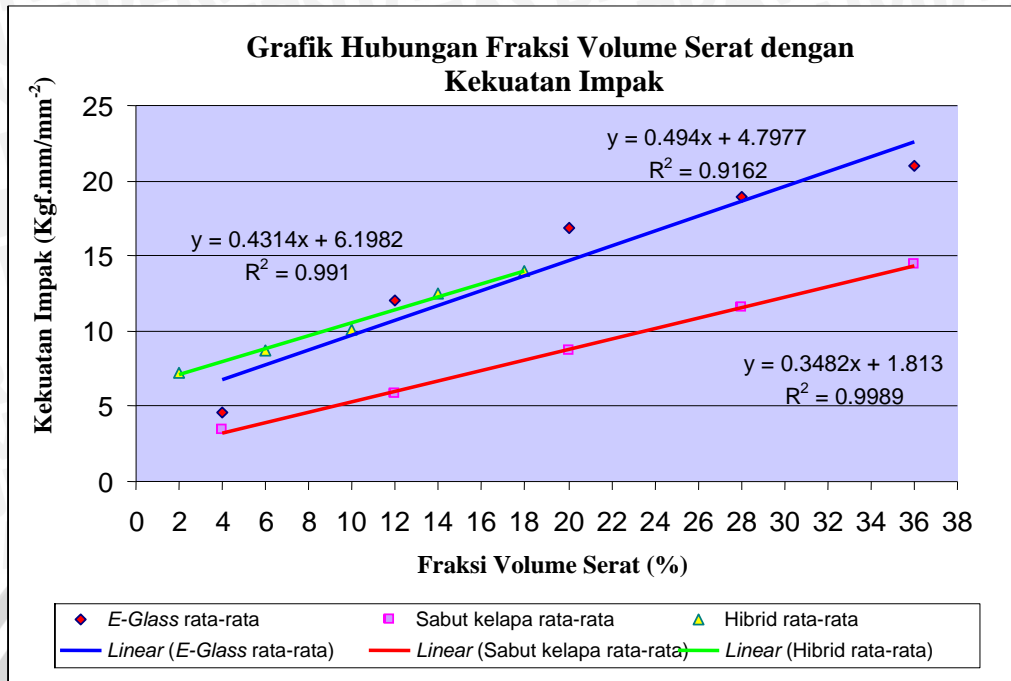
Tabel 4.16 Sifat-sifat karakteristik serat penguat pada komposit

Properties	Fibres								
	coir	flax	hemp	jute	ramie	sisal	abaca	cotton	E-glass
density (g/cm ³)	1,25	1,4	1,48	1,46	1,5	1,33	1,5	1,51	2,55
tensile strength * (MPa)	220	800-1500	550-900	400-800	500	600- 700	980	400	2400
E-modulus (GPa)	6	60-80	70	10-30	44	38		12	73
specific (E/density)	5	26 - 46	47	7 -21	29	29		8	29
elongation at failure (%)	15 - 25	1,2 - 1,6	1,6	1,8	2	2 - 3		3 - 10	3
Relative price compared to coir	100%	200% - 600%	240% - 700%	140%	600% - 1000%	240% - 280%	600% - 1000%	600% - 900%	520% - 600%

Sumber : Jafferjee, 2003 : 10

4.5.2 Analisis Grafik Kekuatan Impak

Pada penelitian ini pengujian impak yang digunakan adalah pengujian dengan metode *Charpy Impact Test* dengan arah pembebanan mendatar (*flatwise*) sesuai dengan *ASTM 5942*. Berdasarkan tabel 4.4, 45 dan tabel 4.6 maka dapat dibuat grafik hubungan fraksi volume serat dengan kekuatan impak seperti pada gambar 4.2.



Gambar 4.2 Grafik hubungan fraksi volume serat dengan kekuatan impact

Berdasarkan grafik regresi pada gambar 4.2, bahwa semakin meningkatnya fraksi volume serat komposit dengan penguat serat tunggal menyebabkan kekuatan impact meningkat. Pada fraksi volume serat tunggal *E-Glass* kekuatan impact rata-rata terendah yaitu 4,581 Kg.f.mm⁻² pada komposit dengan fraksi volume serat 4%, semakin meningkatnya fraksi volume serat sampai pada fraksi volume 36% didapatkan nilai kekuatan impact tertinggi yaitu 20,930 Kg.f.mm⁻². Sedangkan pada penguat serat sabut kelapa, kekuatan impact rata-rata yang paling rendah yaitu 3,389 Kg.f.mm⁻² pada fraksi volume serat 4% dan kekuatan impact yang tertinggi yaitu 14,435 Kg.f.mm⁻² pada fraksi volume serat 36%. Berdasarkan gambar 4.2 kekuatan impact komposit hibrid meningkat dengan bertambahnya fraksi volume serat *E-Glass* atau seiring dengan berkurangnya fraksi volume serat sabut kelapa. Pada fraksi volume komposit hibrid yang diuji yaitu kekuatan impact yang terendah rata-rata yaitu 7,248 Kg.f.mm/mm⁻² pada fraksi volume serat *E-Glass* 2% dan 18% serat sabut kelapa. Kekuatan impact tertinggi rata-rata yaitu 13,958 Kg.f.mm/mm⁻² pada fraksi volume serat *E-Glass* 18% dan 2% serat sabut kelapa.

Peningkatan kekuatan impact komposit yang diperkuat serat *E-Glass* dan serat sabut kelapa pada fraksi volume serat yang sama, menunjukkan bahwa penambahan serat sampai pada fraksi volume 36% tersebut sebagai penguat komposit memberikan efek penguatan positif terhadap kekuatan impact komposit poliester. Tetapi peningkatan kekuatan impact komposit yang diperkuat serat *E-Glass* lebih tinggi dibandingkan

peningkatan kekuatan impak komposit yang diperkuat serat sabut kelapa pada jumlah peningkatan fraksi volume yang sama. Perbedaan kekuatan impak tersebut dikarenakan sifat karakteristik serat *E-Glass* lebih tinggi jika dibandingkan dengan sifat karakteristik sabut kelapa (Tabel 4.16) atau dengan kata lain bahwa kenaikan kekuatan tarik komposit hibrid hanya dipengaruhi oleh salah satu dari jenis serat tersebut atau hanya dipengaruhi oleh jenis matrik yang digunakan. Pernyataan ini dapat dijelaskan lebih lanjut pada (4.3.2 Analisis Efek Hibrid).

Secara aktual peningkatan kekuatan impak komposit hibrid yang diperkuat serat *E-Glass* dan sabut kelapa sampai pada fraksi volume serat 18%:2% dengan peningkatan fraksi volume serat *E-Glass*, menunjukkan bahwa penambahan serat tersebut sebagai penguat komposit memberikan efek penguatan positif terhadap sifat komposit poliester. Efek penguatan tersebut dapat ditunjukkan pada grafik hubungan fraksi volume serat dengan kekuatan impak (gambar 4.2), terlihat bahwa kekuatan impak komposit hibrid rata-rata diatas kekuatan impak rata-rata serat *E-Glass*. Berarti serat yang pakai yaitu serat sabut kelapa dapat memberikan efek penguatan yang sempurna jika digabungkan dengan serat *E-Glass*.

Berdasarkan gambar 4.2 pada grafik hubungan fraksi volume serat dengan kekuatan impak, persamaan garis menunjukkan kekuatan impak yang semakin meningkat. Berdasarkan teori yang dikemukakan oleh Mattews dan Rawling, apabila fraksi volume serat penguatnya terus dinaikkan maka diindikasikan akan menyebabkan kekuatan impak menurun, hal tersebut dikarenakan pengaruh laminasi atau daya ikat matrik (*Polyester*) terhadap serat atau *filler* menurun.

Menurut (Mattews dan Rawling, 1994 : 61) menyatakan bahwa luas bidang kontak antara matrik dengan *filler* memberikan pengaruh terhadap daya ikat matrik terhadap *filler*. Semakin bertambahnya *filler* pada matrik poliester sebagai pengikat akan mengakibatkan luas bidang kontak atau pengikatan matrik terhadap *filler* berkurang. Ikatan yang terjadi pada komposit yang terbentuk ini salah satunya adalah ikatan mekanis yaitu bahwa matrik cair akan menyebar ke seluruh permukaan penguat dan mengisi setiap lekuk dari permukaan penguat yang kasar sehingga terjadi mekanisme saling mengunci (*Interlocking mechanism*).

4.5.3 Analisis Efek Hibrid

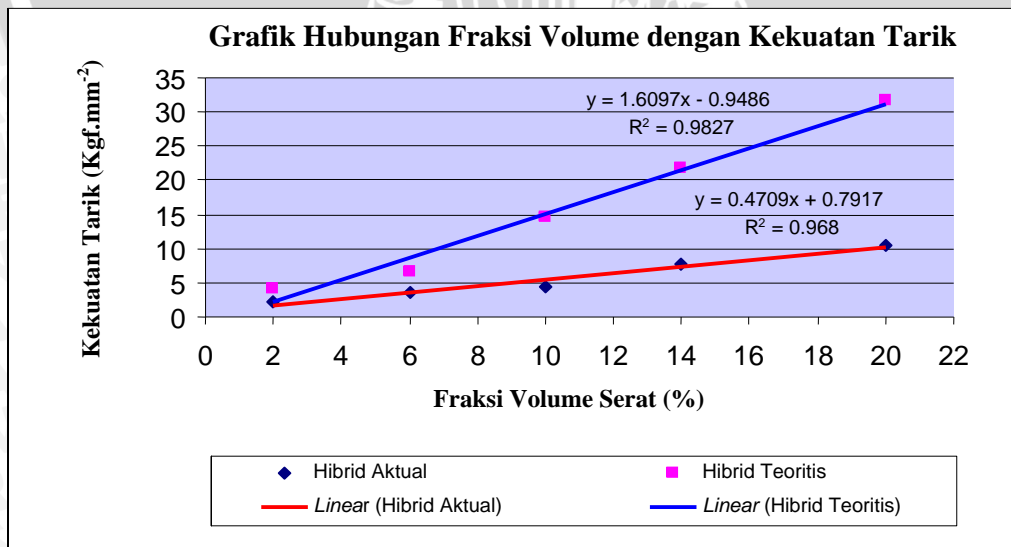
Analisis efek hibrid bertujuan untuk menentukan apakah campuran serat penguat yang dipilih sesuai dengan jenis matrik yang dipergunakan dalam pembuatan komposit

hibrid. Menurut (Hashemi S, at al) efek hibrid bernilai positif atau negatif menggambarkan penyimpangan sifat mekanis dari kaidah campuran (*Rule Of Hybrid Mixture*). Jika nilai kekuatan diatas nilai *Rule Of Hybrid Mixture* maka efek hibrid bernilai positif. Jika nilai kekuatan dibawah nilai *Rule Of Hybrid Mixture* maka efek hibrid bernilai negatif.

Efek hibrid bernilai positif maka nilai hasil pengujian aktual (hasil pengujian dari spesimen komposit hibrid) lebih tinggi dari nilai teoritis (perhitungan dari spesimen komposit yang diperkuat serat tunggal) dengan menggunakan *Rule Of Hybrid Mixture*. Efek hibrid positif berarti penggabungan serat penguat yang dipilih memberikan kontribusi terhadap sifat mekanik dan campuran serat penguat yang dipilih sesuai dengan jenis matrik yang digunakan. Sebaliknya jika nilai hasil pengujian lebih rendah dari nilai teoritis maka efek hibrid yang dihasilkan adalah negatif. Berarti penggabungan serat penguat yang dipilih tidak memberikan kontribusi terhadap sifat mekanik dan campuran serat penguat yang dipilih tidak sesuai dengan jenis matrik yang digunakan atau dengan kata lain terdapat kecenderungan hanya satu jenis serat saja yang dominan yang memberikan kontribusi terhadap sifat mekanik (Susmayadi, 2004).

4.5.3.1 Analisis Efek Hibrid Kekuatan Tarik

Berdasarkan tabel 4.14 kemudian dapat dibuat grafik hubungan antara kekuatan tarik (aktual ataupun teoritis) dengan fraksi volume serat pada komposit hibrid (gambar 4.3) yang bertujuan untuk mengetahui sampai seberapa besar fraksi volume serat yang menghasilkan efek hibrid terhadap kekuatan tarik material komposit hibrid.

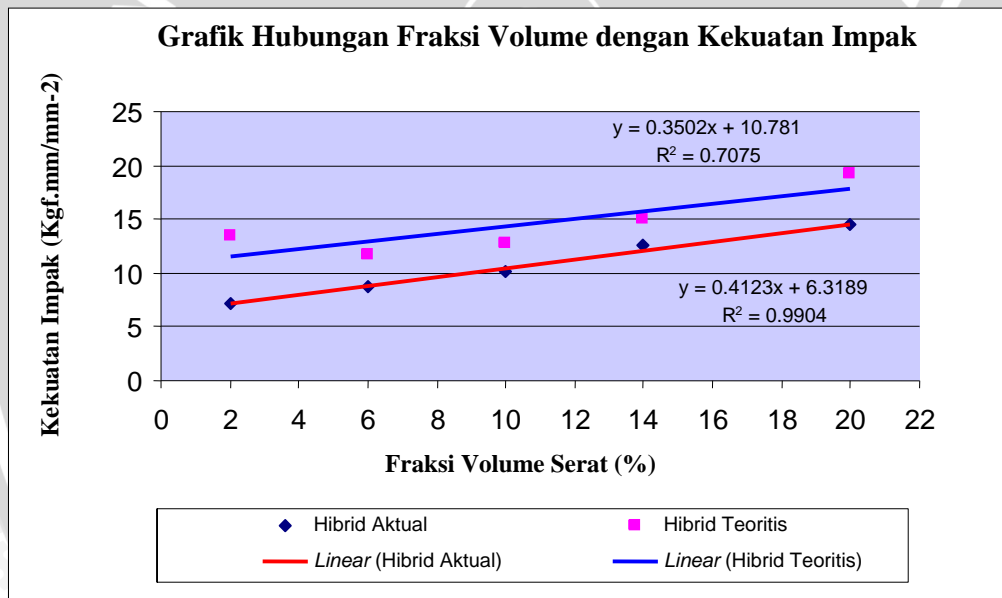


Gambar 4.3 Grafik hubungan fraksi volume serat terhadap kekuatan tarik material komposit hibrid (aktual dan teoritis)

Berdasarkan hasil perhitungan yang terdapat dalam tabel 4.14 yang diteruskan pada gambar 4.3 terlihat bahwa kekuatan tarik teoritis diatas kekuatan tarik aktual yang berarti dapat diketahui bahwa efek hibrid kekuatan tarik dari komposit hibrid yang diperkuat serat *E-Glass* dan serat sabut kelapa bernilai negatif sampai pada komposit H₅ (18% *E-Glass* : 2% Sabut kelapa). Berarti kenaikan kekuatan tarik komposit hibrid hanya dipengaruhi oleh salah satu dari jenis serat tersebut atau hanya dipengaruhi oleh jenis matrik yang digunakan.

4.5.3.2 Analisis Efek Hibrid Kekuatan Impak

Berdasarkan tabel 4.15 kemudian dapat dibuat grafik hubungan antara kekuatan impak (aktual ataupun teoritis) dengan fraksi volume serat pada komposit hibrid (gambar 4.4) yang bertujuan untuk mengetahui sampai seberapa besar fraksi volume serat yang menghasilkan efek hibrid terhadap kekuatan impak material komposit hibrid.



Gambar 4.4 Grafik hubungan kekuatan impak komposit hibrid (aktual dan teoritis) terhadap fraksi volume material komposit.

Berdasarkan hasil perhitungan yang terdapat dalam tabel 4.15 yang diteruskan pada gambar 4.4 terlihat bahwa kekuatan impak teoritis diatas kekuatan impak aktual yang berarti dapat diketahui bahwa efek hibrid kekuatan impak dari komposit hibrid yang diperkuat serat *E-Glass* dan serat sabut kelapa bernilai negatif sampai pada komposit H₅ (18% *E-Glass* : 2% Sabut kelapa). Berarti kenaikan kekuatan impak komposit hibrid hanya dipengaruhi oleh salah satu dari jenis serat tersebut atau hanya dipengaruhi oleh jenis matrik yang digunakan.

4.5.4 Analisis Bentuk Patahan

Perpatahan adalah pemisahan atau pemecahan suatu material dalam suatu sistem tegangan menjadi dua bagian atau lebih. Proses terjadinya perpatahan terdiri atas dua tahap, yaitu timbulnya retak dan tahap penjaralan atau perambatan retak. Secara umum patah dapat digolongkan 2 kategori, yaitu patah liat dan patah getas.

Analisis bentuk patahan diperoleh dari foto pasca spesimen mengalami pengujian. Foto-foto tersebut merupakan foto makro yang nantinya dapat dianalisis bentuk-bentuk patahan yang terjadi dari hasil pengujian kekuatan tarik ataupun kekuatan impak pada material komposit.

4.5.4.1 Analisis Patahan Spesimen Uji Tarik

Kekuatan tarik merupakan kemampuan bahan untuk menerima beban tanpa mengalami kerusakan dan dinyatakan sebagai tegangan maksimum sebelum material tersebut putus. Pada saat timbulnya kegagalan akibat beban tarik longitudinal pada material komposit dapat dijelaskan sebagai berikut: ketika jumlah serat yang patah sedikit, matrik masih mampu menahan beban dengan mendistribusikan beban ke sekitar atau keserat lain. Tetapi dengan bertambahnya jumlah serat yang patah, material komposit akan mengalami beberapa kemungkinan:

1. Matrik mampu menahan beban penarikan dan meneruskan keserat sehingga akan terjadi patahan serat yang lebih banyak dan kemungkinan terjadi retak. Patahan yang terjadi adalah *brittle failure* (patahan getas).
2. Jika matrik tidak mampu menahan konsentrasi tegangan yang timbul di ujung serat yang patah dengan baik, serat dapat terlepas dari matrik (*debonding*). Kerusakan yang terjadi akan searah dengan arah serat.
3. Bila kombinasi dari kedua tipe di atas terjadi, kasus patah serat akan terjadi disembarang tempat disertai dengan kerusakan matrik. Kerusakan yang terjadi berbentuk seperti sikat (*brush type*).



Gambar 4.5 Bentuk patahan spesimen uji tarik komposit hibrid (2% E-Glass:18% Sabut kelapa)



Gambar 4.6 Bentuk patahan spesimen uji tarik komposit hibrid (6% *E-Glass*:14% Sabut kelapa)



Gambar 4.7 Bentuk patahan spesimen uji tarik komposit hibrid (10% *E-Glass*:10% Sabut kelapa)

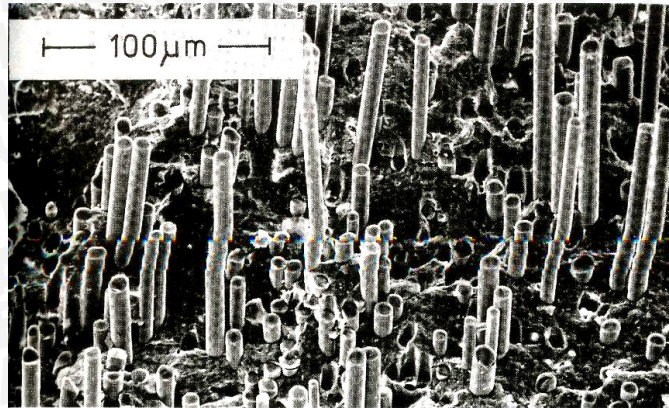


Gambar 4.8 Bentuk patahan spesimen uji tarik komposit hibrid (14% *E-Glass*:6% Sabut kelapa)



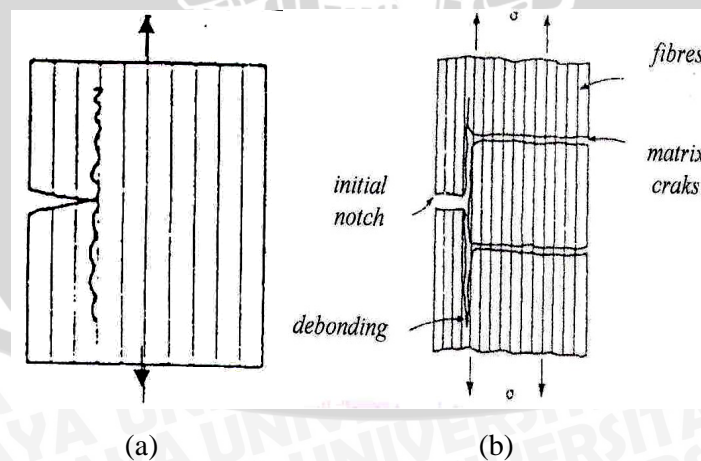
Gambar 4.9 Bentuk patahan spesimen uji tarik komposit hibrid (18% *E-Glass*:2% Sabut kelapa)

Berdasarkan gambar 4.5 sampai dengan gambar 4.9, analisis patahan yang terjadi pada material komposit hibrid yang diperkuat serat *E-Glass* dan sabut kelapa sebagian besar terjadi patahan *brush type*. Patahan cenderung berbentuk sobekan atau terlihat serat yang keluar dari matriknya yang menandakan serat yang digunakan mempunyai sifat ulet, peristiwa ini dinamakan *fiber pull-out* (Gambar 4.10). Mekanisme *fiber pull-out* ini terjadi karena ikatan antara serat dan matrik melemah apabila beban yang diberikan terus bertambah. Pada saat matrik mengalami kegagalan, serat masih dapat menanggung beban, sehingga proses terjadinya patahan tidak berlangsung secara bersamaan. Peristiwa ini dapat dilihat dari letak patahan yang tidak teratur (Gambar 4.5–4.9).



Gambar 4.10 Proses terjadinya *fiber pull-out* pada permukaan patahan
 Sumber : Matthews F.L, Rawlings R.D,1993:349

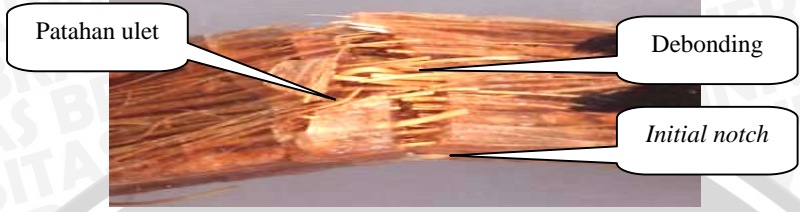
Terjadinya kegagalan material komposit hibrid dengan penguat serat *E-Glass* dan sabut kelapa disebabkan karena adanya beban tarik yang bermula dari terjadinya retak mikro pada matrik yang diikuti patahnya serat pada penampang yang paling lemah ($\sigma_f > \sigma_m$). Seiring dengan bertambahnya beban tarik maka akan semakin banyak serat yang patah, sehingga dapat terjadi pertumbuhan retak awal yang tegak lurus pada arah serat (*Initial notch*) (Gambar 4.11.a). Pertumbuhan retak yang tegak lurus terhadap arah serat akan terhenti di tempat dimana kekuatan serat masih mampu menanggung beban tarik. Pada tempat dimana matrik tidak mampu menahan beban tarik maka retakan akan diteruskan sejajar dengan arah serat sampai pada posisi serat tidak mampu lagi menahan tegangan tarik (*splitting*). Jenis patahan tersebut dikategorikan sebagai patahan ulet (Gambar 4.11.b).



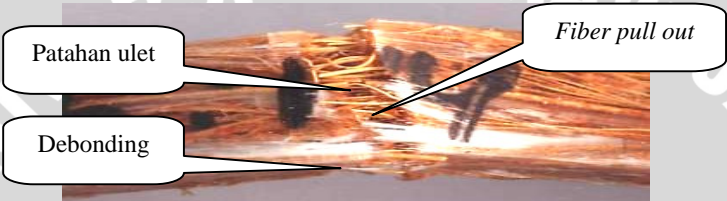
Gambar 4.11 Proses terjadinya patahan komposit akibat uji tarik
 (a) *Splitting*, (b) Patahan dengan keuletan yang tinggi
 Sumber : Hoskin B.C, Baker A.A, 1985:30, Matthews F.L, Rawlings R.D,1993:342

4.5.4.2 Analisis Patahan Spesimen Uji Impak

Pengujian impak dilakukan untuk mengetahui ketahanan material terhadap beban kejut. Berdasarkan sifat dan bentuk permukaan patahan dapat digunakan untuk menentukan hubungan sifat patahan terhadap kekuatan impak suatu material.



Gambar 4.12 Bentuk patahan spesimen uji impak komposit hibrid (2% *E-Glass*:18% Sabut kelapa)



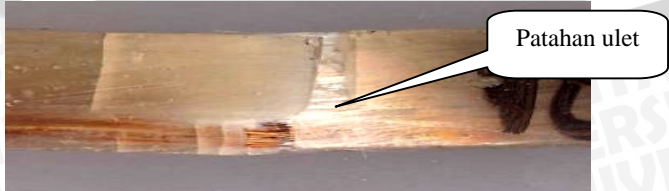
Gambar 4.13 Bentuk patahan spesimen uji impak komposit hibrid (6% *E-Glass*:14% Sabut kelapa)



Gambar 4.14 Bentuk patahan spesimen uji impak komposit hibrid (10% *E-Glass*:10% Sabut kelapa)

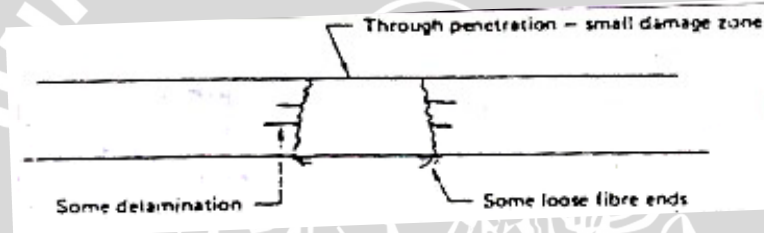


Gambar 4.15 Bentuk patahan spesimen uji impak komposit hibrid (14% *E-Glass*:6% Sabut kelapa)



Gambar 4.16 Bentuk patahan spesimen uji impak komposit hibrid (18% *E-Glass*:2% Sabut kelapa)

Berdasarkan gambar 4.12 sampai gambar 4.16 analisis patahan yang terjadi pada material komposit hibrid yang diperkuat serat *E-Glass* dan sabut kelapa terjadi patahan ulet. Adanya kedua macam serat penguat tersebut memperlambat retak yang terjadi akibat beban impak sehingga kerusakan yang terjadi tidak menyebabkan putusya spesimen, hal ini menandakan bahwa komposit ini mempunyai sifat ulet. Sifat ulet tersebut ditandai dengan adanya pelepasan ikatan antara matrik dan serat yang diteruskan dengan adanya pemunculan ujung serat yang patah pada permukaan patahan (*fiber pull-out*). Kerusakan pada spesimen yang terbentuk adalah rusaknya spesimen pada tempat yang dibebani (di daerah yang mengalami kontak langsung dengan pendulum) dan pada daerah dibelakangnya terlihat bahwa serat keluar dari matrik (*fiber pull-out*) (Gambar 4.17).



Gambar 4.17 Kerusakan material komposit akibat pembebanan impak pada material komposit dengan kekuatan impak yang tinggi
Sumber : Hoskin B.C, Baker A.A, 1985:154

Semakin bertambahnya fraksi volume serat *E-Glass* dan berkurangnya fraksi volume serat sabut kelapa, kerusakan yang terjadi pada spesimen semakin berkurang. Peningkatan fraksi volume serat *E-Glass* turut mengurangi perambatan retak yang terjadi pada pembebanan impak. Hal ini berarti kekuatan impak komposit meningkat seiring dengan bertambahnya fraksi volume serat *E-Glass* dan berkurangnya fraksi volume serat sabut kelapa.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



This document was created with Win2PDF available at <http://www.daneprairie.com>.
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.

