

## BAB IV

### DATA HASIL PENELITIAN

#### 4.1 PEMBUATAN SAMPEL

##### 4.1.1 Perhitungan berat komposit secara teori pada setiap cetakan

Pada Bagian ini akan diberikan perhitungan berat secara teori dari sampel komposit pada tiap jenis cetakan yang digunakan, penghitungan ini akan dijadikan bahan perbandingan dengan sampel komposit hasil fabrikasi untuk dihitung kesalahan relatifnya

Formula yang akan digunakan adalah :

$$W_c = W_f + W_m \quad (4.1a)$$

$$W_c = W_f + V_m \times \rho_m \quad (4.1b)$$

Keterangan

$W_c$  : Berat komposit

$V_m$  : volume matriks

$W_m$  : Berat matriks

$\rho_m$  : massa jenis matriks

$W_f$  : Berat fiber

Berat komposit merupakan penjumlahan dari berat fiber dengan berat matriks. Pada penelitian ini, karena yang digunakan sebagai objek penelitian adalah pengaruh konsentrasi serat rami ( $V_f$ ) terhadap kekuatan mekanik material komposit poliester - rami. Maka perlu diketahui berapa berat material komposit sesungguhnya untuk menghindari kesalahan perhitungan dalam menentukan konsentrasi serat rami pada material komposit.

Dari Tabel 3.1, Tabel 3.2 dan Tabel 3.3 pada bab III, sudah diketahui berat fiber hasil penimbangan dan volume matriks, maka berat komposit secara teori dapat kita ketahui dengan cara menjumlahkan berat matriks (poliester) dengan berat fiber (serat rami). Berat matriks didapat dengan cara mengalikan volume matriks yang digunakan dengan berat jenis matriks. Berikut hasil perhitungan secara teori untuk berat komposit dalam setiap cetakan ( $\rho_m = 1.3$  gram/ml)

**Tabel 4.1** Perhitungan berat spesimen material komposit untuk uji impak dengan ukuran cetakan 10 cm x 6 cm x 1.4cm

% Volume	Cetakan untuk Uji Impak (84.5 ml)			
	Fiber (gram)	Resin (ml)	Resin (gram)	Berat Komposit (gram)
15	11.4	71.8	93.4	104.8
20	15.2	67.6	87.9	103.1
25	19	63.4	82.4	101.4
30	22.8	59.2	76.9	99.7
35	26.6	54.9	71.4	98.0

**Tabel 4.2** Perhitungan berat spesimen material komposit untuk uji tekan dengan ukuran cetakan 10 cm x 6 cm x 1 cm,

% Volume	Cetakan Untuk uji tekan (60 ml)			
	Fiber (gram)	Resin (ml)	Resin (gram)	Berat Komposit (gram)
15	8.1	51	66.3	75.4
20	10.8	48	62.4	73.4
25	13.5	45	58.5	72
30	16.2	42	54.6	70.8
35	18.9	39	50.7	70.6

**Tabel 4.3** Perhitungan berat spesimen material komposit untuk uji flexural dengan ukuran cetakan 17cm x 9cm x 0.4cm

% Volume	Cetakan Untuk Flexural (55 ml)			
	Fiber (gram)	Resin (ml)	Resin (gram)	Berat Komposit (gram)
15	7.4	46.8	60.8	68.2
20	9.9	44.0	57.2	67.1
25	12.4	41.3	53.6	66.0
30	14.9	38.5	50.1	65.0
35	17.3	35.8	46.5	63.8

#### 4.1.2 Berat Sample hasil fabrikasi dan penghitungan kesalahan terhadap berat secara teori

Pada Bagian ini akan diberikan penghitungan berat komposit hasil fabrikasi terhadap berat teori untuk dihitung kesalahan relatifnya.

Adapun formula yang digunakan adalah

$$\% \text{kesalahan} = \frac{\text{Berat}_{\text{teori}} - \text{Berat}_{\text{percobaan}}}{\text{Berat}_{\text{teori}}} \quad (4.2)$$

Pada bagian 4.1.1 kita telah mengetahui perhitungan berat komposit secara teori untuk tiap cetakan dan konsentrasi yang digunakan. Berat komposit tersebut kemudian dibandingkan dengan berat komposit hasil timbangan dengan menggunakan timbangan digital. Selisih dari berat komposit hasil teori dengan berat komposit dibagi dengan berat secara teori maka kita akan mendapatkan % kesalahan berat komposit hasil fabrikasi.

**Tabel 4.4** Hasil perhitungan kesalahan relatif berat spesimen material komposit untuk uji Impak dengan ukuran cetakan 10 cm x 6 cm x 1.4cm

% Volume	Cetakan untuk Uji Impak (84.5 ml)		
	Berat Komposit Teori (gram)	Berat Komposit fabrikasi (gram)	Kesalahan relatif (%)
15	104.8	98.5	6.0
20	103.1	97.3	5.6
25	101.4	94.5	6.8
30	99.7	94.3	5.4
35	98.0	94.1	4.0

**Tabel 4.5** Hasil perhitungan kesalahan relatif berat spesimen material komposit untuk uji tekan dengan ukuran cetakan 10 cm x 6 cm x 1 cm

% Volume	Cetakan Untuk uji tekan (60 ml)		
	Berat Komposit (gram)	Berat Komposit fabrikasi (gram)	Kesalahan relatif (%)
15	75.4	69.2	8.2
20	73.4	66.3	9.7
25	72.0	67.5	6.3
30	70.8	65.9	6.9
35	70.6	68.5	3.0

**Tabel 4.6** Hasil perhitungan kesalahan relatif berat spesimen material komposit untuk uji flexural dengan ukuran 17cm x 9cm x 0.4cm

% Volume	Cetakan Untuk uji tekan (60 ml)		
	Berat Komposit (gram)	Berat Komposit fabrikasi (gram)	Kesalahan relatif (%)
15	68.2	62.1	8.9
20	67.1	63.2	5.8
25	66.0	62.3	5.6
30	65.0	64.3	1.1
35	65.7	61.4	6.5

#### 4.1.3 Hasil Fabrikasi Sampel

- a) Hasil Fabrikasi Sampel Untuk Cetakan 10 cm x 6 cm



**Gambar 4.1** Hasil Fabrikasi Poliester - Rami pada cetakan 10 cm x 6 cm untuk cetakan uji tekan. (a) konsentrasi 20 % Vf serat rami, (b) konsentrasi 25 % Vf serat rami

- b) Hasil Fabrikasi Sampel Untuk Cetakan 14 cm x 9 cm x 0.4



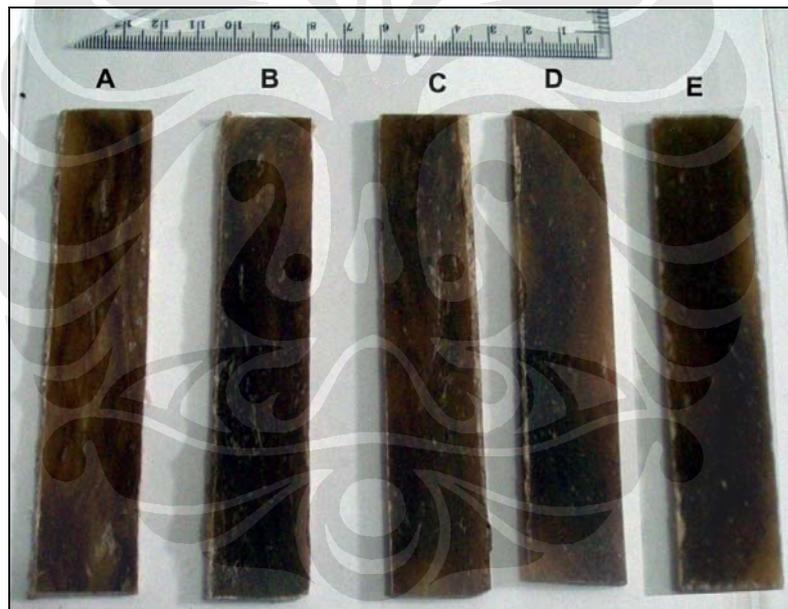
(a)



(b)

**Gambar 4.2** Hasil Fabrikasi Poliester - Rami pada cetakan 14 cm x 9 cm x 0.4 cm untuk cetakan uji flexural. (a) konsentrasi 30 % Vf serat rami, (b) konsentrasi 20 % Vf serat rami

c) Sampel untuk uji Flexural sebelum mengalami pengujian.



**Gambar 4.3** Gambar sampel uji flexural sebelum pengujian. (A) konsentrasi 15 % Vf serat rami, (B) konsentrasi 20 % Vf serat rami, (C) konsentrasi 25 % Vf serat rami, (D) konsentrasi 30 % Vf serat rami, (E) konsentrasi 35 % Vf serat rami

## 4.2 HASIL PENGUJIAN MEKANIK

### 4.2.1 Pengujian Ketahanan Impak Material Komposit

Pada pengujian ketahanan impak material komposit, didapatkan hasil berupa total energi (joule) yang mampu diserap oleh material

komposit Poliester - Rami sebelum patah. Nilai kekuatan impact material komposit Poliester - Rami diperoleh dengan cara membagi total energi impact per luas permukaan dibawah takik (3.1). dari pengujian yang sudah dilakukan diketahui bahwa nilai kekuatan impact tertinggi, terdapat pada material komposit dengan konsentrasi serat rami 35 %  $V_f$ . ( Tabel 4.7)

**Tabel 4.7** Tabel hasil pengujian ketahanan impact material komposit Poliester – Rami

% Volume	Kekuatan Impact ( Kilo Joule / m <sup>2</sup> )	Rata - Rata Kekuatan impact ( Kilo Joule / m <sup>2</sup> )
15%	22.88	22.75
	23.72	
	21.66	
20%	72.73	67.05
	56.86	
	71.56	
25%	18.04	32.69
	47.85	
	32.19	
30%	41.15	42.97
	48.33	
	39.42	
35%	74.21	82.38
	82.02	
	90.91	

#### 4.2.2 Tabel Hasil Pengujian Kekuatan Tekuk Material Komposit

Pada pengujian kekuatan tekuk material komposit berpenguat serat kontinyu satu arah (*unidirectional continues fiber*), beban diberikan tegak lurus arah serat. Dari hasil pengujian flexural material komposit Poliester - Rami (Tabel 4.6), dapat dilihat bahwa kekuatan flexural meningkat seiring dengan penambahan konsentrasi serat rami. Dengan kekuatan flexural tertinggi terdapat pada konsentrasi serat rami 35 %  $V_f$

**Tabel 4.8** Tabel hasil pengujian Flexural Material komposit Poliester - Rami

% Volume	Flexural strength (Mpa)	X1	Modulus Elastisitas Tekuk (MPa)	X2
15	69.89	71.68	1284.05	1123.54
	69.89		963.04	
	75.26		1123.54	
20	75.26	77.06	1284.05	1605.06
	86.02		1605.06	
	69.89		1926.08	
25	89.38	84.67	2247.09	2086.58
	75.26		2086.58	
	89.38		1926.08	
30	108.19	104.27	2527.98	2434.35
	96.43		2527.98	
	108.19		2247.09	
35	145.82	124.66	3370.63	3089.75
	98.78		3370.63	
	129.36		2527.98	

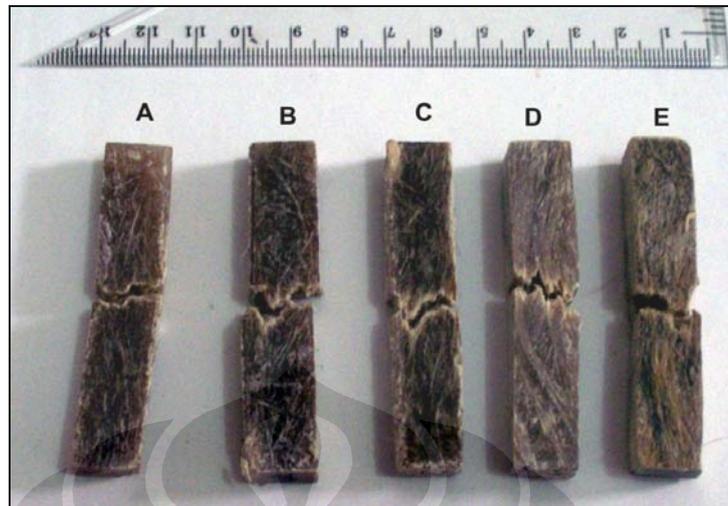
#### 4.2.3 Tabel Hasil Pengujian Tekan

Pada pengujian kekuatan tekan material komposit Poliester - Rami diketahui bahwa, kekuatan tekan material komposit juga meningkat seiring penambahan konsentrasi %  $V_f$  serat rami pada material komposit, dengan rata – rata kekuatan tekan terbesar pada konsentrasi serat rami 35 %  $V_f$ .

**Tabel 4.9** Tabel hasil pengujian tekan material komposit Poliester - Rami

% Volume	Compressive Strength (MPa)	Rata - Rata (MPa)
15	46.05	44.24
	38.10	
	48.57	
20	42.05	44.61
	46.78	
	45.01	
25	42.14	45.39
	43.92	
	50.10	
30	81.02	78.54
	73.56	
	81.02	
35	85.57	80.22
	77.91	
	77.17	

#### 4.2.4 Foto Sampel Hasil Pengujian Impak



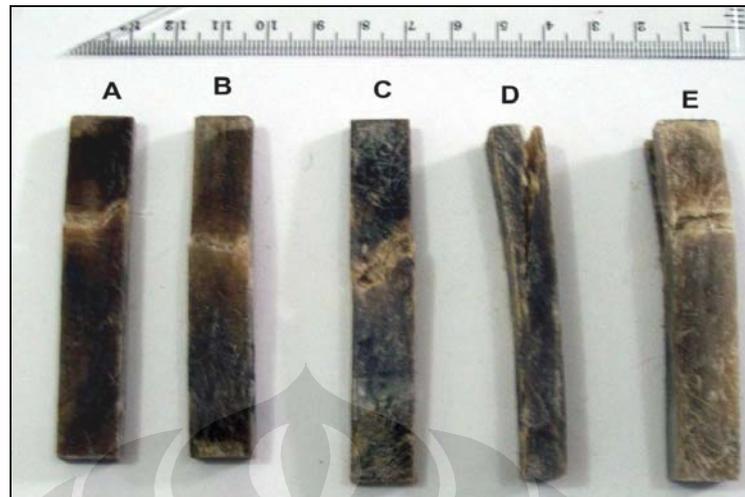
**Gambar 4.4** Gambar sample setelah mengalami patah akibat uji impak,. (A) konsentrasi 15 % Vf serat rami, (B) konsentrasi 20 % Vf serat rami, (C) konsentrasi 25 % Vf serat rami, (D) konsentrasi 30 % Vf serat rami, (E) konsentrasi 35 % Vf serat rami

#### 4.2.5 Foto Sampel Hasil Pengujian Flexural



**Gambar 4.5** Gambar sample setelah mengalami patah akibat uji Flexural,. (A) konsentrasi 15 % Vf serat rami, (B) konsentrasi 20 % Vf serat rami, (C) konsentrasi 25 % Vf serat rami, (D) konsentrasi 30 % Vf serat rami, (E) konsentrasi 35 % Vf serat rami

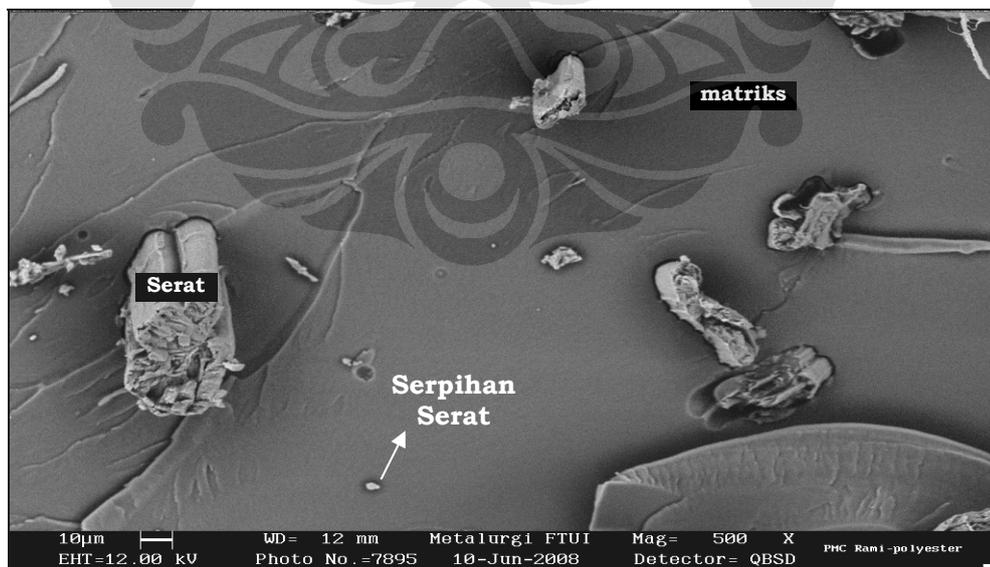
#### 4.2.6 Foto sampel setelah pengujian Tekan



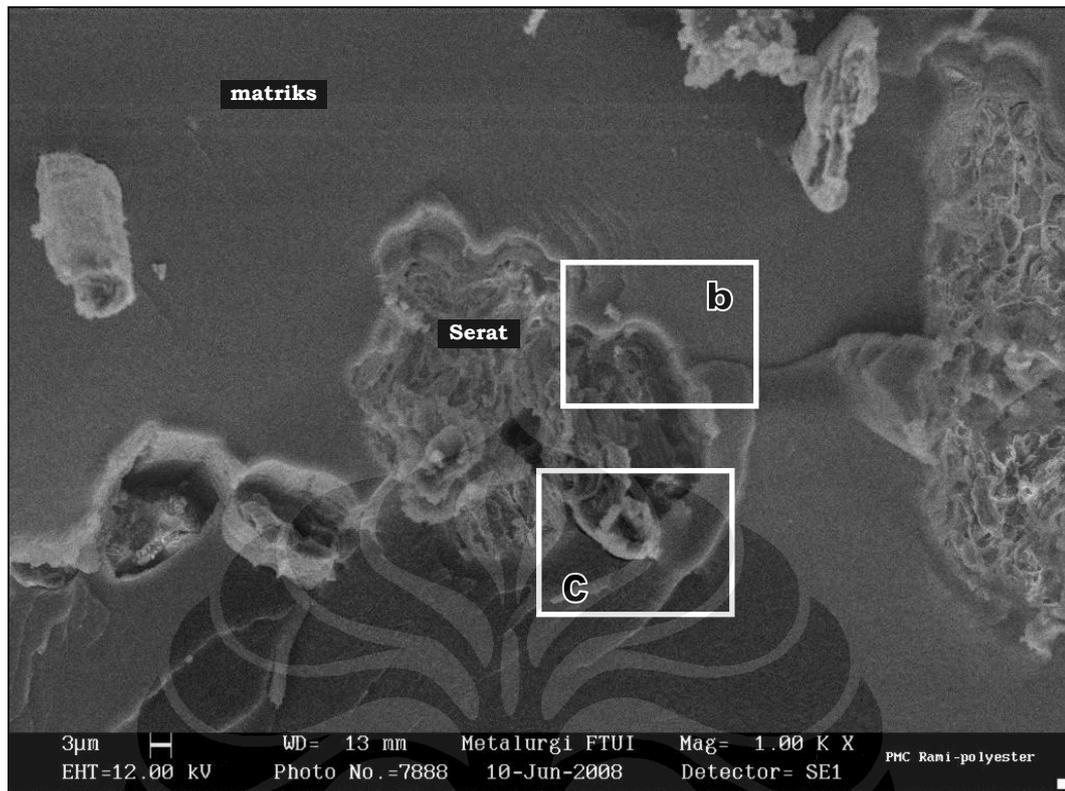
**Gambar 4.6** Gambar sample setelah mengalami patah akibat uji tekan,. (A) konsentrasi 15 % Vf serat rami, (B) konsentrasi 20 % Vf serat rami, (C) konsentrasi 25 % Vf serat rami, (D) konsentrasi 30 % Vf serat rami, (E) konsentrasi 35 % Vf serat rami

### 4.3 HASIL PENGUJIAN SEM DAN EDS

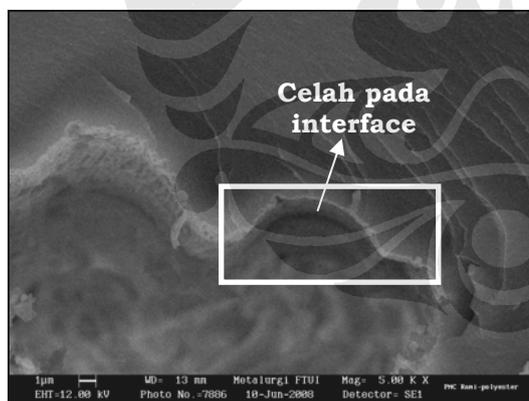
#### 4.3.1 Hasil Pengamatan perpatahan menggunakan SEM



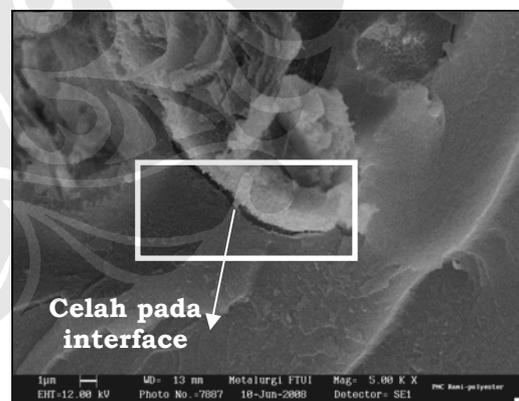
**Gambar 4.7** Hasil pengamatan SEM sampel uji flexural material komposit Poliester - Rami dengan konsentrasi serat rami 35 %, pada daerah tepi hasil potongan mesin. perbesaran 500 X



(a)

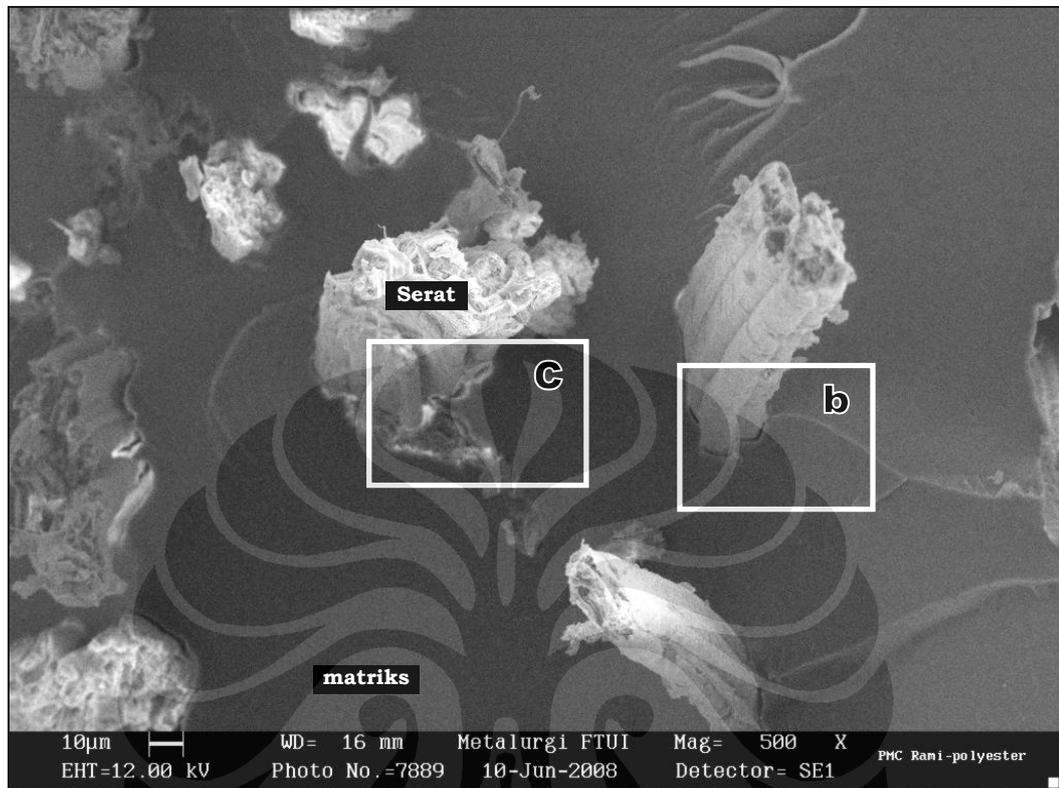


(b)

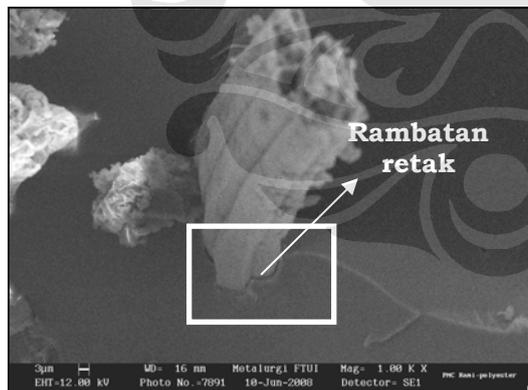


(c)

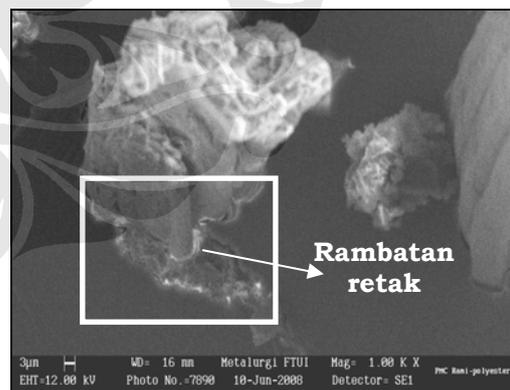
**Gambar 4.8** Hasil pengamatan Interface dengan SEM pada sampel uji flexural material komposit Poliester - Rami dengan konsentrasi serat rami 35 %, di daerah patahan (fiber pull out)



(a)



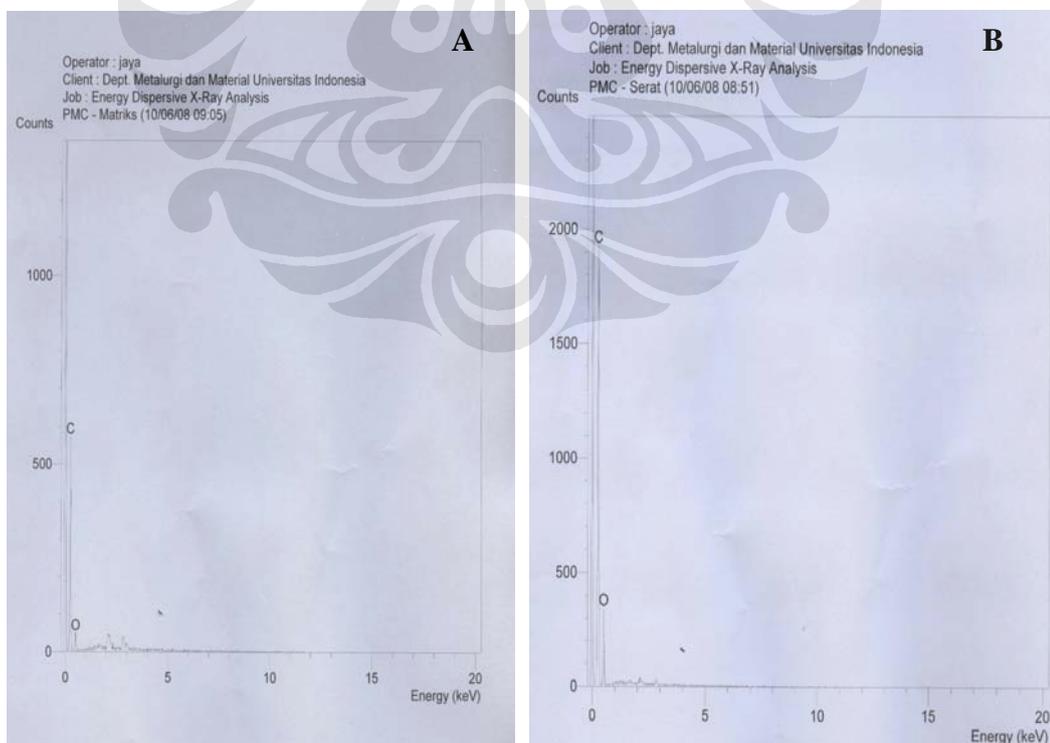
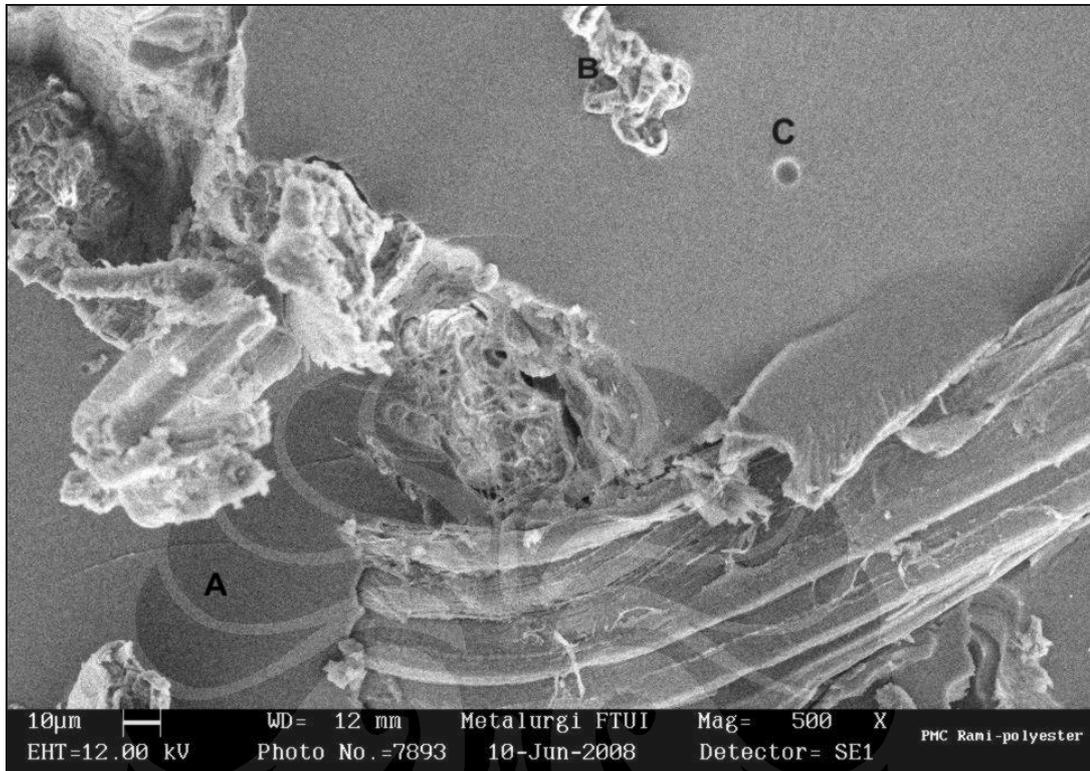
(b)

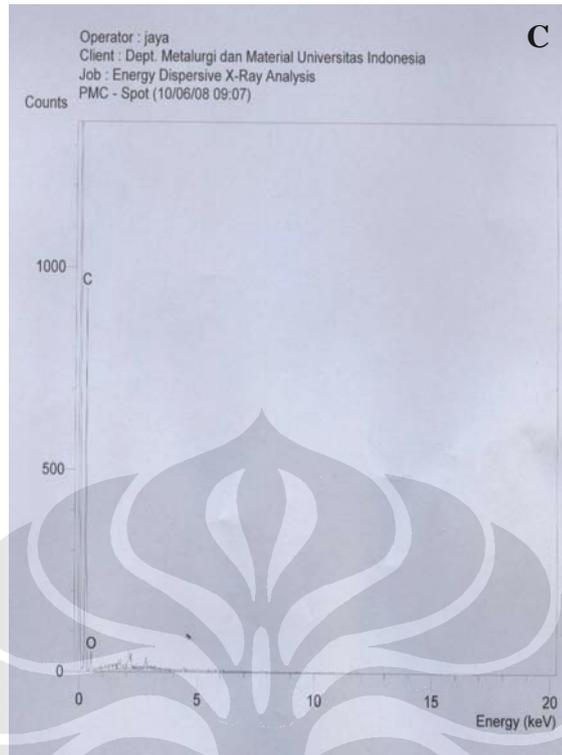


(c)

**Gambar 4.9** Hasil pengamatan SEM sampel uji flexural material komposit Poliester - Rami dengan konsentrasi serat rami 35 %, pada daerah perambatan patahan

### 4.3.2 Hasil Pengamatan Menggunakan EDS





**Gambar 4.10** Hasil pengamatan SEM dan pengujian unsur kimia pada produk PMC Poliester - Rami dengan konsentrasi rami 35 %, (Daerah diberi nomor adalah daerah yang diuji komposisi kimianya).

## **BAB V**

### **PEMBAHASAN**

#### **5.1 SAMPEL KOMPOSIT HASIL FABRIKASI**

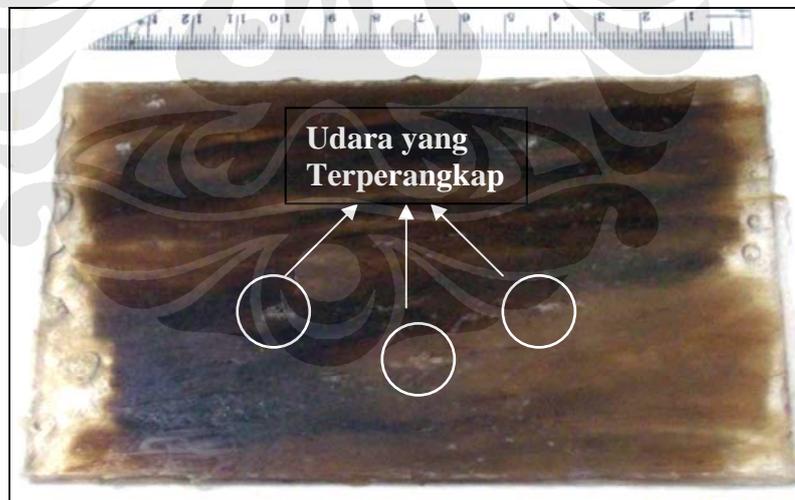
Pada penelitian ini, proses fabrikasi yang dipilih untuk membuat material komposit Poliester - Rami adalah metode *Hand Lay Up*. Pemilihan metode ini dilakukan karena prosesnya yang sederhana dan mudah serta biaya produksi yang relatif rendah untuk produksi skala kecil. Namun di sisi lain, metode ini juga memiliki beberapa kekurangan, diantaranya adalah tingkat kesempurnaan proses yang tidak stabil, karena sangat bergantung dari operator yang mengerjakan dan alat yang digunakan sehingga mengakibatkan banyaknya hasil produksi cacat (*reject*). Selain itu untuk produksi skala besar, metode ini dinilai tidak ekonomis karena tidak sebanding antara biaya yang diperlukan untuk produksi (terutama untuk tenaga kerja) dengan nilai produk yang dihasilkan persatuan waktu jika dibandingkan dengan proses lain seperti *injection molding* atau *compression molding*.

Dalam proses fabrikasi, kesulitan utama yang dialami adalah menghilangkan udara yang terperangkap (*void*) dalam material komposit. Untuk mendapatkan material komposit Poliester - Rami yang sedikit mengandung porositas, ternyata metode hand lay up saja tidak cukup untuk menghilangkan udara, hal ini karena seperti telah diketahui bahwa serat rami adalah serat yang sangat hidrofilik (mudah menyerap air). Sehingga dalam mekanisme curing polyester dengan Metil etil Keton Peroksida (MEKPo) sebagai katalis, panas yang dihasilkan pada proses tersebut menyebabkan uap air yang terdapat pada serat keluar menuju matriks. namun karena tekanan udara luar lebih kuat maka uap air tersebut tidak dapat keluar ke permukaan, melainkan terperangkap pada material komposit. Selain itu, densitasnya yang rendah (0.9 gram/ml) menyebabkan banyaknya ruang yang berisi udara diantara serat (Gambar 3.2).

Untuk mengatasi permasalahan tersebut sekaligus menambah keberhasilan proses fabrikasi, serat yang digunakan telah dipanaskan dengan temperature 100 °C selama tiga jam, kemudian sebagai alat Bantu digunakan plat yang diberi beban 10 – 15 kg untuk menekan material komposit pada cetakan agar udara yang terperangkap didalam material komposit pada saat proses fabrikasi bisa keluar. Namun yang terjadi tidak hanya udara saja yang keluar melainkan sebagian dari matriks pun ikut keluar melalui sela – sela antara cetakan dengan plat.

Hal inilah yang mengakibatkan berat material komposit hasil fabrikasi ternyata berbeda dengan berat komposit hasil perhitungan secara teori, dengan kesalahan relatif sekitar 1.1 % - 9.7% (lihat Tabel 4.4 – 4.6).

Proses ini walaupun dapat mengurangi jumlah udara yang terperangkap pada material komposit secara signifikan, namun ternyata belum menyelesaikan masalah secara keseluruhan. Pada material komposit rami – polyester hasil fabrikasi dapat dilihat bahwa gelembung udara masih banyak terlihat terutama pada bagian permukaan sampel seperti pada gambar 5.1 dibawah ini.



**Gambar 5.1** Hasil Fabrikasi Rami Polyester pada cetakan 14 cm x 9 cm x 0.4 cm untuk cetakan uji flexural. (a) konsentrasi 20 % Vf serat rami,

Metode lain yang bisa digunakan untuk mencegah terjadinya porositas berupa udara adalah dengan menggunakan vakum pada saat proses fabrikasi. Dengan vakum, udara yang terperangkap pada material komposit akan mudah

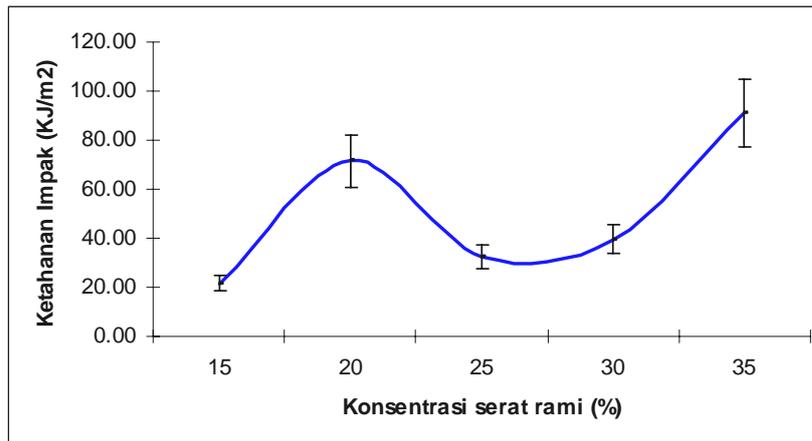
keluar dan menjadikan material komposit memiliki struktur morfologi yang lebih baik. Namun karena keterbatasan waktu dan ketiadaan alat, maka penggunaan vakum belum bisa diterapkan pada penelitian ini.

Kendala lain yang perlu diperhatikan adalah ketidak lurusan serat (*fiber misalignment*). Hal ini dikarenakan serat rami sama seperti serat alam lainnya, memiliki bentuk alami yang tidak lurus, cenderung bergelombang. Walaupun telah dilakukan proses pelurusan yaitu dengan cara disisir, namun kecenderungan serat untuk kembali ke bentuk awal tetap ada, sehingga serat yang digunakan untuk material komposit ini tidak bisa benar – benar lurus. Ketidak lurusan serat pada material komposit Poliester - Rami, akan mengakibatkan kemampuan mekanik material komposit menjadi tidak optimal karena ketidak lurusan serat akan membentuk sudut dengan sumbu pembebanan. Sudut inilah yang akan membentuk tegangan – tegangan geser dalam komposit.

## **5.2 PENGARUH KONSENTRASI SERAT RAMI TERHADAP KETAHANAN IMPAK MATERIAL KOMPOSIT**

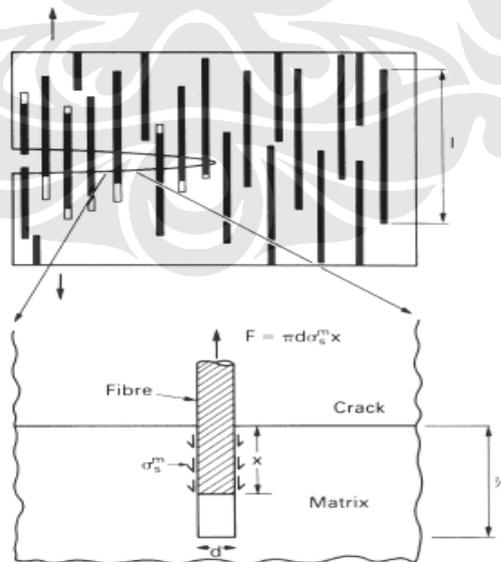
Dari pengujian yang telah dilakukan (4.2.1) di dapatkan bahwa material komposit memiliki nilai ketahanan impak yang fluktuatif. Terutama pada konsentrasi serat rami 20 %  $V_f$ . Namun jika dibuat grafik, dari hasil pengujian diketahui bahwa ketahanan impak material komposit memiliki kecenderungan meningkat seiring dengan penambahan konsentrasi serat rami yang digunakan (Gambar 5.2). Dengan nilai terendah adalah pada konsentrasi serat rami 15 %  $V_f$  dengan rata – rata nilai impak 22.75 KJ/m<sup>2</sup> dan tertinggi pada konsentasi serat rami 30 %  $V_f$  dengan rata – rata nilai impak 82.8 KJ/m<sup>2</sup>

Nilai antara 22.75 KJ/m<sup>2</sup> hingga 82.8 KJ/m<sup>2</sup> untuk ketahanan impak sudah cukup baik, hal ini karena pada material *unsaturated polyester* murni, nilai ketahanan impak yang dimiliki hanya 8 KJ/m<sup>2</sup> [30]. hal ini berarti pada untuk pengujian impak penambahan serat rami hasil yang cukup signifikan terhadap kekuatan impak material komposit.



**Gambar 5.2** Grafik hubungan antara ketahanan impact dengan konsentrasi serat rami pada material komposit Poliester - Rami

Hal ini terjadi karena pada material polymer murni, rambatan patahan yang terjadi akibat beban impact merambat terus menerus hingga menyebabkan patah tanpa ada penghalang. Sedangkan pada penambahan serat rami sebagai serat pada material polister rambatan patahan akibat beban impact terhambat oleh keberadaan serat rami, dan semakin banyak serat rami yang digunakan maka hambatan terhadap perambatan patahan juga semakin besar sehingga ketahanan impact material meningkat.<sup>[32]</sup>



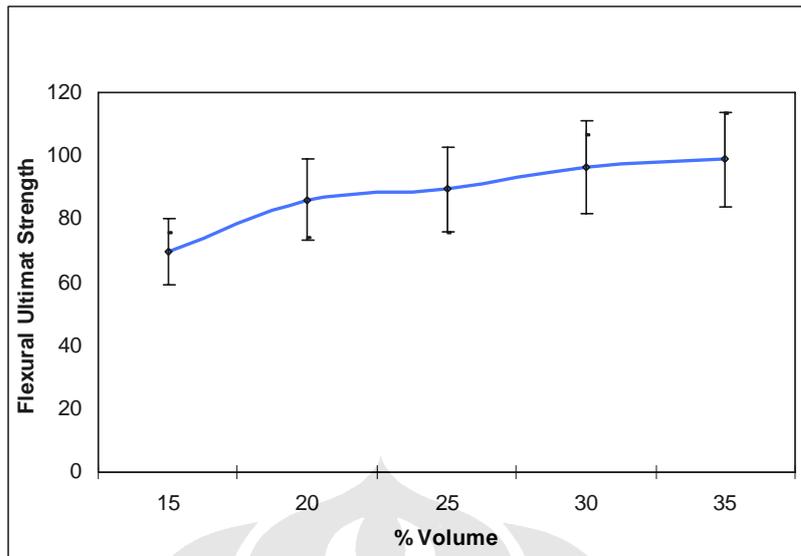
**Gambar 5.3** Skema penguatan oleh serat dengan cara menyerap energi saat terjadi crack<sup>[32]</sup>

Pada tabel hasil uji impact (Tabel 4.2.1) terlihat bahwa pada material dengan konsentrasi serat rami 20 %  $V_f$  memiliki ketahanan impact yang lebih besar dibandingkan konsentrasi yang lebih besar (25%  $V_f$  dan 30%  $V_f$ ). Hal ini bisa terjadi dikarenakan pada material termoset, khususnya *unsaturated polyester*, waktu yang dibutuhkan untuk curing secara sempurna pada temperatur ruang dibutuhkan waktu yang beragam. Waktu yang dibutuhkan agar resin poliester curing secara sempurna dapat mencapai satu minggu atau lebih. Pada penelitian ini, proses fabrikasi hingga proses pengujian memakan waktu rata – rata kurang dari 1 pekan, kecuali untuk spesimen uji impact dengan konsentrasi 20 %  $V_f$  karena merupakan prototipe spesimen proses pengerjaannya lebih dahulu dibandingkan spesimen yang lain. Sehingga pada spesimen dengan konsentrasi 20%  $V_f$  lebih sempurna curing-nya, yang berakibat sifat mekaniknya lebih baik dibandingkan spesimen lain pada uji impact.

Pada grafik hasil pengujian impact (Gambar 5.2) juga dapat dilihat bahwa nilai impact belum mencapai titik optimal, karena kecenderungannya masih terus naik. Oleh karena itu perlu diadakan penelitian lanjutan untuk melihat berapa konsentrasi serat rami yang dibutuhkan untuk mencapai nilai impact yang maksimal.

### **5.3 PENGARUH KONSENTRASI SERAT RAMI TERHADAP KEKUATAN TEKUK MATERIAL KOMPOSIT**

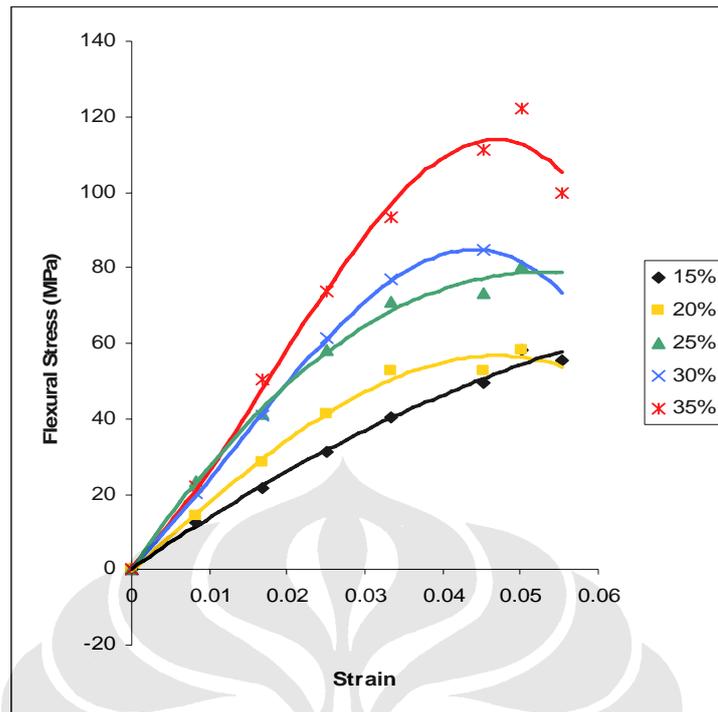
Penambahan konsentrasi serat rami, seperti dapat dilihat pada pengujian tekuk (flexural) yang telah dilakukan (Tabel 4.2.20) memberikan pengaruh terhadap penambahan kekuatan tekuk material komposit. Dari hasil pengujian di dapatkan hasil bahwa material komposit Poliester - Rami yang dihasilkan memiliki nilai flexural berkisar antara 71 MPa - 124 MPa pada konsentrasi serat rami mulai 15%  $V_f$  – 35 %  $V_f$ . Sedangkan untuk material *unsaturated polyester* murni kekuatan tekuknya sekitar 13500  $lb_f/in^2$  (93 MPa)<sup>[15]</sup>.



**Gambar 5.4** Grafik hubungan antara kekuatan tekuk dengan konsentrasi serat rami pada material komposit Poliester - Rami

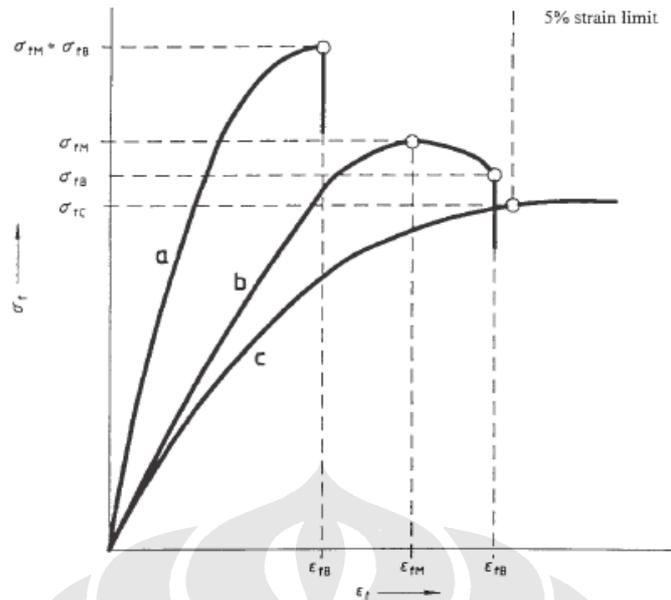
Dari grafik hasil pengujian (Gambar 5.4) didapatkan hasil bahwa kekuatan tekuk material komposit bertambah seiring dengan penambahan serat rami. Namun yang perlu diperhatikan adalah pada konsentrasi serat rami lebih kecil dari 25%  $V_f$  nilai kekuatan tekuk yang diperoleh ternyata lebih kecil dari pada kekuatan tekuk poliester murni. Hal ini terjadi karena banyaknya udara yang terperangkap pada material komposit hasil fabrikasi, dimana udara yang terperangkap tersebut menjadi daerah konsentrasi tegangan (*stress concentration*) pada material komposit. Banyaknya udara ternyata berpengaruh besar terhadap kekuatan tekuk material komposit, sehingga material yang dihasilkan menjadi *under performance*.

Dari hasil pengujian kekuatan tekuk, didapatkan hasil bahwa material komposit Poliester - Rami. memiliki karakter kurva *stress vs strain* yang berbeda – beda berdasarkan grafik *stress vs strain* yang didapat (Gambar 5.5). Pada komposit dengan konsentrasi 15 %  $V_f$  karakter patahan yang terjadi adalah material belum mencapai yield maupun patah saat strain mencapai 5%. Sedangkan pada komposit dengan konsentrasi 20%  $V_f$  - 35 %  $V_f$  material komposit Poliester - Rami sudah mengalami yield dan patah sebelum 5% strain (Gambar 5.5).



**Gambar 5.5** Grafik hubungan antara kekuatan tekuk dengan konsentrasi serat rami pada material komposit Poliester - Rami

Hal ini sesuai dengan prinsip pencampuran pada material komposit dimana semakin besar konsentrasi material penyusun komposit maka pengaruh sifat dari material penyusun tersebut terhadap sifat material komposit secara umum akan semakin besar (Persamaan 2.9). pada konsentrasi 15 %  $V_f$  unsur yang dominan adalah matriks poliester yang memiliki sifat cukup elastis, sehingga pada saat regangan mencapai 5 %, material belum mengalami yield ataupun patah. Namun, pada saat konsentrasi serat rami meningkat, maka sifat serat rami yang kaku mulai mempengaruhi sifat material komposit, sehingga material komposit patah sebelum regangan mencapai 5 %.



Catatan: Curve a: Specimen that breaks before yielding.  
 Curve b: Specimen that yields and then breaks before the 5 % strain limit.  
 Curve c: Specimen that neither yields nor breaks before the 5 % strain limit.

**Gambar 5.6** Jenis kurva tegangan tekuk vs regangan tekuk <sup>[29]</sup>

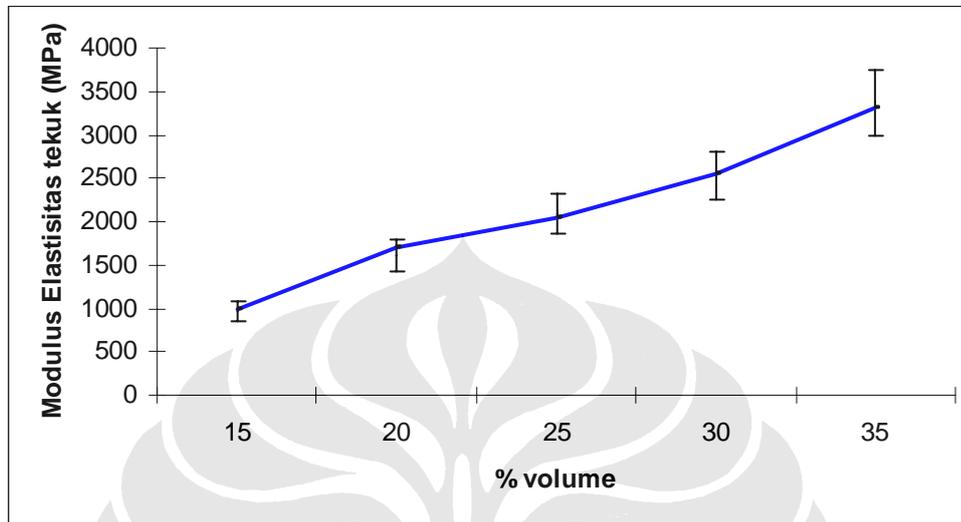
Penambahan konsentrasi serat rami pada material komposit juga akan mempengaruhi kekakuan material komposit tersebut. Hal ini terlihat pada grafik modulus elastisitas tekuk yang dihasilkan pada penelitian ini (Gambar 5.7) dimana penambahan konsentrasi serat rami akan mengakibatkan modulus elastisitas meningkat.

Modulus elastisitas atau young modulus didefinisikan sebagai perubahan tegangan dibagi perubahan regangan (persamaan 2.7). Hal ini berarti semakin besar harga modulus ini maka semakin kecil regangan elastis yang terjadi atau dapat dikatakan material tersebut akan semakin kaku.

Material *unsaturated polyester* murni memiliki nilai modulus elastisitas tekuk sebesar  $10^5$  Psi (690 MPa). Sedangkan material komposit rami – polyester memiliki nilai modulus elastisitas tekuk rata – rata antara 1123 MPa untuk konsentrasi serat rami 15 %  $V_f$  hingga 3089 MPa untuk konsentrasi serat rami 35 %  $V_f$ .

Kekuatan ini bisa meningkat lagi jika pada serat rami ditambahkan perlakuan lain seperti perendaman di dalam alkali (NaOH) <sup>[17]</sup>. Modulus elastisitas tarik serat bisa mencapai 48000 MPa (48 GPa) dengan waktu perendaman selama

6 jam. Atau peningkatan modulus elastisitas tekuk juga bisa didapatkan dengan metode fabrikasi *Transfer molding* [31]. Pada konsentrasi 30 wt % material komposit Poliester - Rami yang difabrikasi dengan metode RTM (*Resin Transfer Molding*) memiliki modulus elastisitas tekuk sekitar 5000 MPa.



**Gambar 5.7** Grafik hubungan antara Modulus elastisitas tekuk dengan penambahan konsentrasi serat rami pada material komposit Poliester - Rami

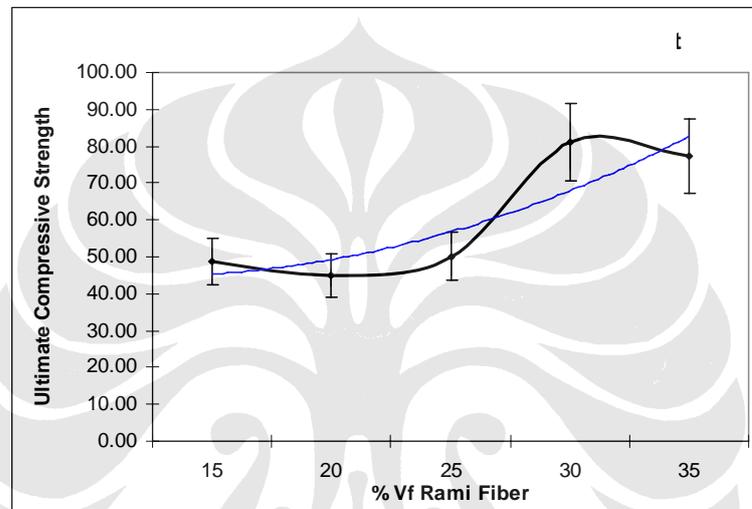
Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa penambahan konsentrasi serat rami hingga 35%  $V_f$  pada material komposit Poliester - Rami menyebabkan peningkatan kekuatan tekuk dan kekakuan tekuk dari material komposit. Serta menjadikan material komposit menjadi lebih plastis.

#### 5.4 PENGARUH KONSENTRASI SERAT RAMI TERHADAP KEKUATAN TEKAN MATERIAL KOMPOSIT

Pengujian tekan material komposit dilakukan pada setiap konsentrasi, dengan jumlah spesimen setiap konsentrasi sebanyak 3 buah. Dari hasil pengujian diketahui bahwa spesimen uji dapat menerima beban minimal sebesar 316 Kg pada konsentrasi serat rami 15 %  $V_f$  dan beban maksimal sebesar 1120 Kg pada konsentrasi serat rami 35 %  $V_f$ . Dengan kekuatan tekan (compressive strength) antara 38 MPa hingga 86 MPa. (Tabel 4.9)

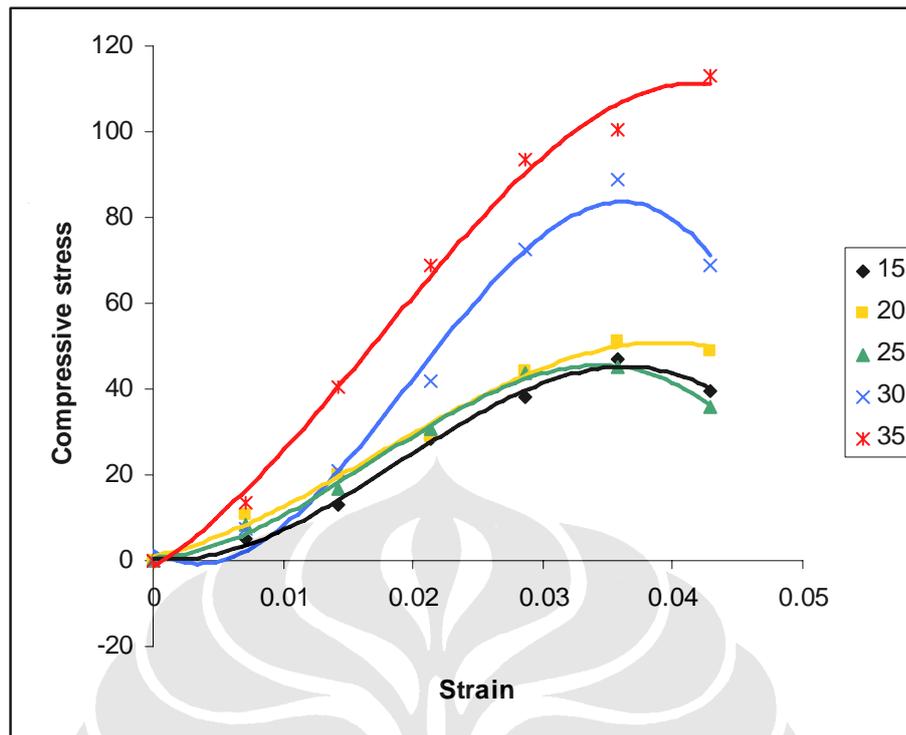
Dari grafik pengaruh konsentrasi serat rami terhadap kekuatan tekan material komposit Poliester - Rami (Gambar 5.8) diketahui bahwa penambahan

serat rami memiliki kecenderungan meningkatkan kekuatan tekan material komposit. Namun penambahan yang terjadi tidak terlalu signifikan, karena nilai kekuatan tekan material komposit Poliester - Rami yang dihasilkan masih terlalu rendah. Sebagai perbandingan, material *unsaturated polyester* murni memiliki kekuatan tekan 22000 Psi atau sekitar 151 MPa<sup>[15]</sup>. Nilai ini bahkan hampir 2 kali dari kekuatan tekan material komposit yang dihasilkan dengan penambahan serat rami sebesar 35 %  $V_f$ .



**Gambar 5.8** Grafik hubungan antara kekuatan tekan dengan konsentrasi serat rami pada material komposit Poliester - Rami

Sedangkan berdasarkan grafik tegangan tekan vs regangan tekan material komposit Poliester – Rami (Gambar 5.9), dilihat bahwa pada konsentrasi serat rami 15 %  $V_f$  - 25 %  $V_f$ , didapat grafik yang memiliki bentuk dan nilai yang hampir sama. Hal ini menunjukkan bahwa pada konsentrasi tersebut pengaruh dari serat yang digunakan belum terlalu belum nampak, ketika konsentrasi serat mencapai 30%  $V_f$  karakteristik kurva mulai berubah menjadi lebih curam, hal ini menunjukkan pada konsentrasi tersebut material mulai meningkat kekakuannya.



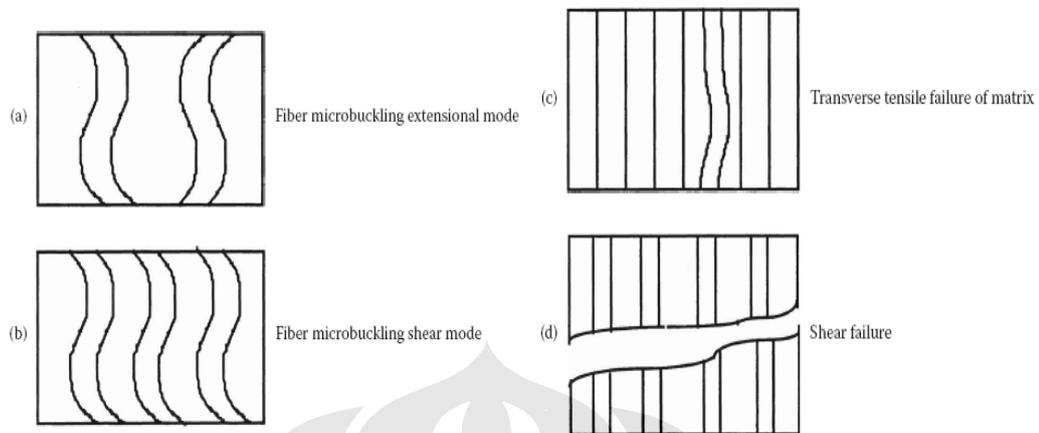
**Gambar 5.9** Grafik Stress strain kekuatan tekan pada material komposit Poliester - Rami

Nilai kekuatan tekan yang kecil ini diakibatkan oleh beberapa hal, namun yang paling dominan adalah karena adanya *void* (gelembung udara) pada matriks serta ketidak lurusan serat rami yang menjadi penguatnya.

Adanya cacat berupa celah atau *void* pada matriks akan menjadi konsentrasi tegangan dan menjadi tempat awal timbulnya retakan, semakin banyak *void* maka konsentrasi tegangan akan semakin banyak. Akibatnya beban yang seharusnya didistribusikan keseluruhan bagian material oleh matriks menjadi tidak merata dan hanya terpusat pada satu daerah saja. Kegagalan ini disebut kegagalan yang diakibatkan oleh matriks.

Selain kegagalan akibat adanya *void*, kegagalan lain juga disebabkan oleh ketidak lurusan serat. Pada saat beban tekan secara longitudinal diberikan, serat yang tidak lurus akan mengakibatkan penumpukan tegangan pada satu daerah serat saja – pada serat lurus tegangan akan diterima oleh seluruh panjang serat – sehingga menyebabkan daerah tersebut akan mengalami buckling (kerengangan) antara serat dengan matriks. Selanjutnya daerah buckling tersebut akan menjadi

inisiasi bagi rambatan retak hingga material tersebut mengalami patah. Karakteristik kegagalan ini disebut dengan kegagalan microbuckling.



**Gambar 5.10** Jenis perpatahan *unidirectional composite* saat diberikan beban tekan.<sup>[5]</sup>

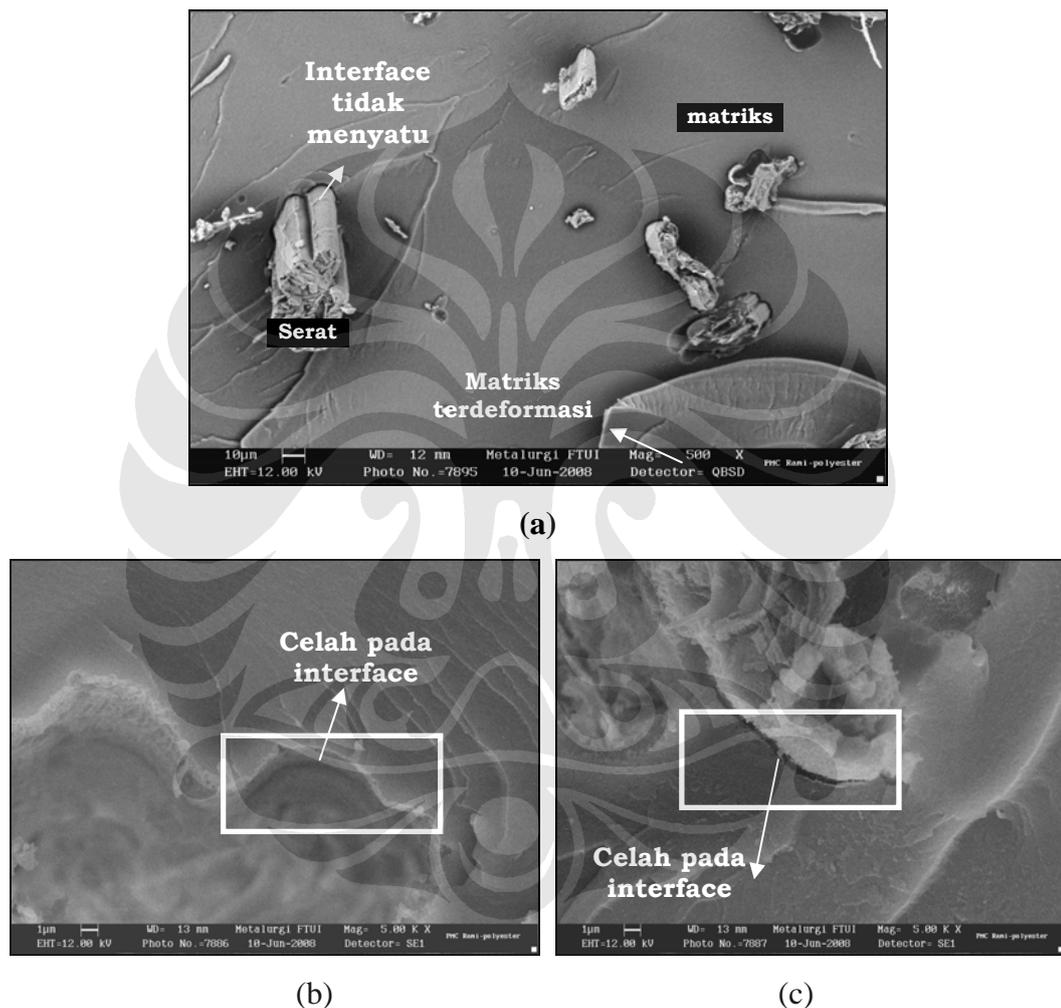
Pada spesimen material komposit Poliester - Rami untuk uji tekan (Gambar 4.1) dapat dilihat, bahwa pada spesimen tersebut void yang terbentuk cukup banyak dan juga terjadi ketidak lurusan serat. Kedua hal inilah yang menjadi penyebab utama material komposit hasil uji tekan menjadi jatuh nilai kekuatannya, gambar perpatahan yang terjadi pada spesimen uji tekan dapat dilihat Gambar 4.6.

Dari hasil pengujian tekan yang dilakukan, secara umum dapat disimpulkan bahwa kekuatan tekan material komposit tidak mencapai nilai yang optimal, bahkan jika dibandingkan dengan kekuatan tekan material murni polyester kekuatan tekan material komposit masih lebih rendah. hal ini disebabkan terjadinya banyaknya void pada matriks dan juga missalignment serat pada material komposit Poliester - Rami. Sehingga banyak terjadi konsentrasi tegangan pada material komposit.

## 5.5 PENGAMATAN STRUKTUR MIKRO

Pengamatan struktur mikro pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM). Sampel yang dilakukan pengamatan menggunakan SEM adalah spesimen hasil uji tekuk dengan konsentrasi serat rami 35 % Vf. Hal ini dilakukan karena pada penelitian secara

mekanik terlihat bahwa penambahan konsentrasi serat rami mengakibatkan meningkatnya kekuatan mekanik material komposit Poliester - Rami. akan tetapi sampai dengan konsentrasi serat rami 35 % Vf, dari hasil penelitian tampak bahwa penambahan sifat mekanik pada material komposit belum mencapai titik optimal, belum ada kecenderungan untuk menurun. Sehingga yang diambil sebagai spesimen untuk uji SEM cukup perwakilan sampel dari konsentrasi tertinggi.



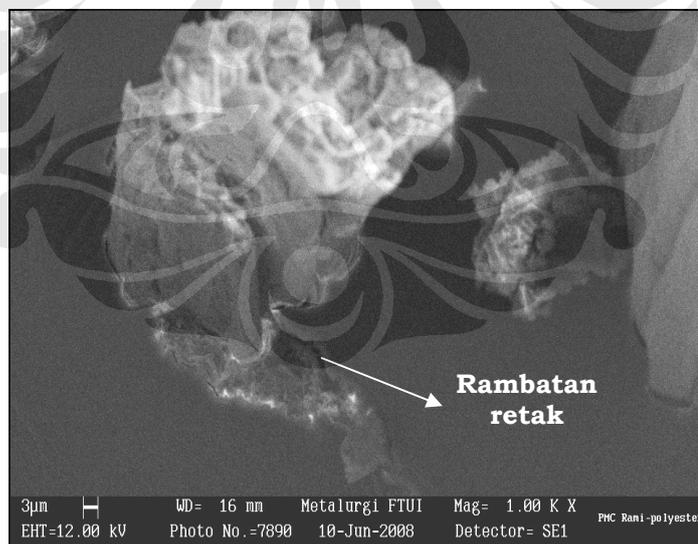
**Gambar 5.11.** Celah pada interface hasil pengamatan SEM sampel uji flexural material komposit rami – polyester dengan konsentrasi serat rami 35 %, pada daerah tepi hasil potongan mesin. (a) perbesaran 500 X, (b,c) perbesaran 5000 X

Dari hasil pengamatan SEM pada daerah tepi hasil potongan mesin, juga pada daerah perpatahan tekuk material komposit. dapat terlihat interface antara

matriks dan serat terdapat celah (tidak menyatu). Kemudian juga pada permukaan serat tampak polos, tidak terdapat sisa matriks yang menempel, hal ini dikarenakan pada penelitian ini serat yang digunakan tidak mengalami perlakuan tambahan seperti perendaman dalam NaOH untuk menghilangkan lapisan lilin yang terdapat pada permukaan serat. Sehingga interface antar serat dan matriks tidak terlalu baik.

Selain adanya celah pada interface antara serat dan matriks, kita juga dapat melihat terjadinya karakteristik perambatan retakan pada material komposit. Menurut teori, adhesi yang baik antara matriks dan serat akan mengakibatkan patahan merambat memotong serat. Sedangkan adhesi yang tidak baik akan mengakibatkan patahan hanya mengelilingi serat tanpa secara langsung memutus serat tersebut <sup>[4]</sup>.

Karakteristik perambatan retakan yang terbentuk adalah retakan mengelilingi serat sehingga yang terbentuk adalah patahan fiber pull out. Banyaknya patahan fiber pull out ini menunjukkan bahwa ikatan antara matriks dengan serat tidak optimal, sehingga retakan tidak memotong serat secara langsung melainkan hanya memutar mengelilingi serat.



**Gambar 5.8.** Rambatan retakan hasil pengamatan SEM sampel uji flexural material komposit rami – polyester dengan konsentrasi serat rami 35 % (perbesaran 1000 X)

Kemudian dari pengamatan unsur yang terdapat pada material komposit menggunakan EDS dari beberapa daerah yang ditembak, unsur yang terdeteksi hanya dua macam yaitu oksigen dan karbon. Hal ini tidaklah mengherankan karena seluruh komposisi dari material komposit yang digunakan tersusun dari unsur karbon, hidrogen dan oksigen. Namun karena hidrogen sangat kecil, maka tidak dapat terdeteksi. Hal ini menunjukkan tidak ada inklusi atau material pengotor selama proses fabrikasi berlangsung.

