library.uns.ac.id digilib.uns.ac.id

BAB II
LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

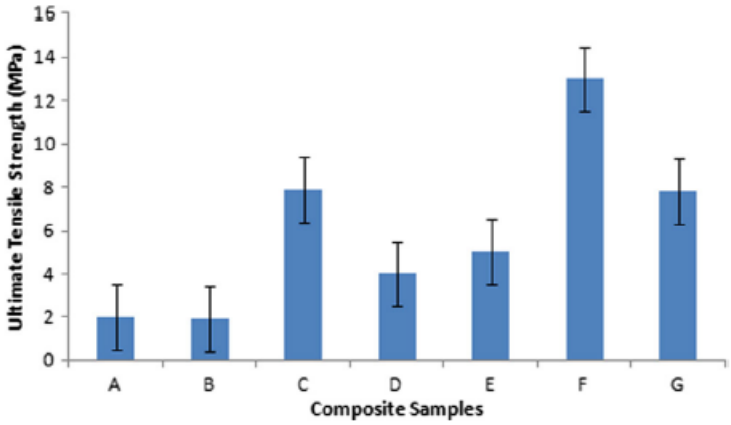
Penelitian mengenai pengaruh variasi fraksi massa serat *Luffa cylindrica* terhadap kekuatan mekanik komposit dengan matrik polimer epoksi melalui metode *hand-lay up* telah dilakukan dengan variasi yang ditunjukkan pada Tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Deskripsi sampel untuk berbagai sampel komposit [37]

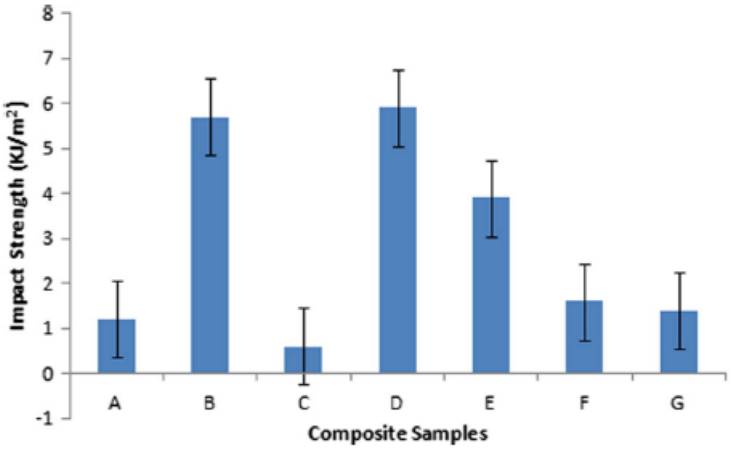
Label	Deskripsi sampel komposit
A	100% Resin epoksi (kontrol)
B	*98%* Resin epoksi + *2 wt% Luffa cylindrica fiber*
C	*96%* Resin epoksi + *4 wt% Luffa cylindrica fiber*
D	*94%* Resin epoksi + *6 wt% Luffa cylindrica fiber*
E	*98%* Resin epoksi+ *2 wt% Luffa cylindrica fiber* + 10 wt% *Luffa cylindrica particulate*
F	*96%* Resin epoksi + *4 wt% Luffa cylindrica fiber* + 10 wt% *Luffa cylindrica particulate*
G	*94%* Resin epoksi + *6 wt% Luffa cylindrica fiber* + 10 wt% *Luffa cylindrica particulate*

Hasil pengujian mekanik berupa uji tarik dapat dilihat pada Gambar 2.1 sementara untuk uji impak dapat dilihat pada Gambar 2.2. Peningkatan kekuatan tarik yang signifikan terdapat pada variasi B hingga C dan E hingga F dengan nilai maksimal pada variasi F. Sementara pada variasi C hingga D dan F hingga G kekuatan tariknya mengalami penurunan. Sedangkan, kekuatan impak mengalami peningkatan kekuatan impak yang signifikan pada variasi A hingga B dan C hingga D dengan nilai maksimal pada variasi D. sementara pada variasi B hingga C mengalami penurunan kekuatan impak yang signifikan dan pada variasi D hingga G kekuatan impak mengalami penurunan [37].

library.uns.ac.id digilib.uns.ac.id



Gambar 2. 1 Kekuatan Tarik dari *Komposit* [37]



Gambar 2. 2 Kekuatan Impak dari Komposit [37]

Penelitian sebelumnya mengenai pengaruh waktu *ball-milling* terhadap sifat mekanik komposit matriks aluminium yang diperkuat *carbon nanotube* telah dilakukan dengan variasi waktu 4 jam, 6 jam, 8 jam, dan 12 jam dengan kecepatan putar 300 rpm. Hasil yang dievaluasi dalam penelitian ini meliputi *yield strength, ultimate tensile strength,* dan *elongation* [38].

Pengaruh variasi waktu *ball-milling* terhadap sifat mekanik komposit matriks alumunium yang diperkuat *carbon nanotube* dapat dilihat pada Tabel 2.2. Berdasarkan Tabel 2.2 dapat dilihat bahwa seiring dengan peningkatan waktu *ball-milling* menghasilkan peningkatan pada kekuatan mekaniknya juga tetapi nilai *elongation* mengalami penurunan secara signifikan. Terutama pada matrik yang di mill pada waktu 12 jam nilai *elongation* bernilai nol ini karena *impurities* yang terdapat pada fe dan Al_2O_3 [38].

library.uns.ac.id digilib.uns.ac.id

Tabel 2. 2 Sifat mekanik dari komposit [38]

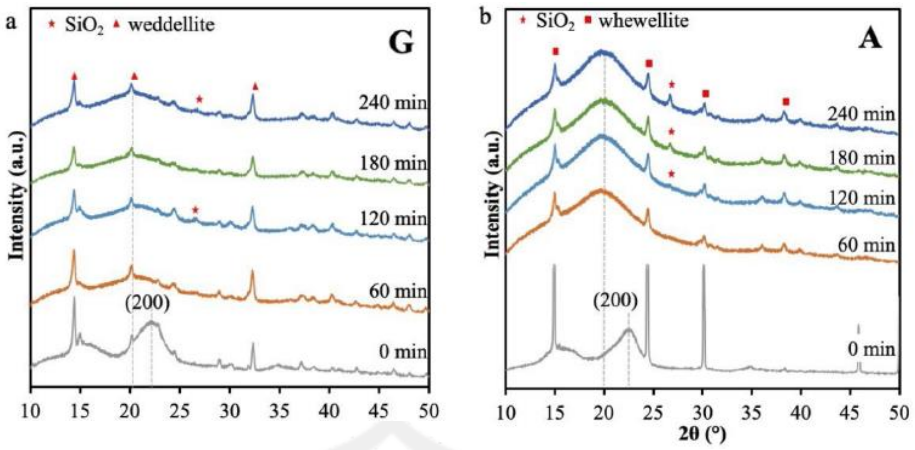
Waktu (jam)	Sampel	*YS* (MPa)	UTS (MPa)	Elongation (%)
4	Komposit	98 ± 5 128 ± 7	153 ± 7 177 ± 8	23 ± 2 6 ± 1
6	Komposit	104 ± 5 148 ± 5	170 ± 5 206 ± 8	14 ± 1 7 ± 2
8	Komposit	115 ± 5 156 ± 6	185 ± 7 217 ± 7	5 ± 1 3 ± 1
12	Komposit	- -	195 ± 4 220 ± 5	- -

Penelitian sebelumnya mengenai studi eksperimental untuk komposit *polypropylene* (PP) dengan serat sekam padi telah dilakukan dengan waktu yang digunakan adalah 120 menit, sekam padi diisi 20-30 % volume silinder dan kecepatan putar 56 rpm. Ballmill pada penelitian ini digunakan untuk menghaluskan sekam padi dari berbentuk material sangat keras menjadi bentuk yang halus[46].

Penelitian sebelumnya mengenai pengaruh waktu penggunaan mesin *ball mill* serat alam yaitu limbah *agave* dan *garlic* dengan metode *ball mill* telah dilakukan dengan variasi waktu 60 menit, 120 menit, 180 menit, dan 240 menit dan kecepatan putar 850 rpm [44].

Dihasilkan bahwa terjadi penurunan pada intensitas *crystalline* terkait dengan meningkatnya kandungan selulosa amorf. Hal ini dihasilkan oleh *ball mill* berkekuatan tinggi yang menggiling material menjadi bubuk kristal berukuran kecil dan juga menyebabkan pengurangan ukuran partikel yang terkait dengan nilai yang dapat dilihat dari Gambar 2.3. sebagai berikut.

library.uns.ac.id digilib.uns.ac.id



Gambar 2. 3 Pola XRD dari selulosa *Garlic* (G) dan *Agave* (A) saat waktu milling yang berbeda [44].

2.2 Komposit

2.2.1 Pengertian Material Komposit

Komposit merupakan material yang tersusun dari gabungan dua atau lebih material. Material-material tersebut memiliki sifat yang berbeda satu sama lain dan digabungkan untuk menghasilkan keuntungan yang diinginkan[19].

2.2.2 Komponen Penyusun Komposit

Struktur komposit terdiri dari dua komponen utama, yaitu matrik dan penguat.

a. Matrik

Pada komposit, matrik merupakan komponen yang bertugas untuk menyatukan dan merekatkan serat sehingga matrik sangat diperlukan untuk pembuatan komposit. Selain itu, matrik juga berfungsi sebagai penahan dan pelindung serat dari faktor luar. Dengan ini, matrik harus memiliki kemampuan untuk mendistribusikan gaya dari luar tersebut kepada penguat (serat). Pada komposit seringkali dijumpai gaya dari luar berupa sifat mekanik dan sifat kimia yang berpotensi dapat merusak komposit. Oleh karena itu, perlu adanya pertimbangan dalam pemilihan matrik. Matrik yang sering digunakan dalam komposit adalah keramik, logam, dan polimer [20].

b. Penguat (*Reinforcement)*

Penguat pada komposit memiliki banyak variasi seperti *glass, carbon, kevlar, metal fiber,* dan lain-lainnya. Ketika komposit dikenai oleh gaya dari luar

library.uns.ac.id digilib.uns.ac.id

komponen ini merupakan komponen yang berperan penting untuk menahan beban dari gaya luar tersebut. Kekuatan pada komposit ditentukan dari serat yang digunakan sebagai penguat kompositnya. Serat alam dan serat sintetis merupakan kedua jenis serat yang biasa digunakan dalam pembuatan komposit [21].

2.2.3 Klasifikasi Komposit

Berdasarkan matriknya, komposit dapat diklasifikasikan menjadi komposit matrik polimer (*Polymer Matrix Composite*), komposit matrik logam (*Metal Matrix Composite*), dan komposit matrik keramik (*Ceramic Matrix Composite*)

1. *Polymer Matrix Composite*

Polymer matrix composite (PMCs) adalah bahan komposit yang terdiri dari berbagai serat pendek atau kontinu yang diikat oleh matriks polimer organik. Fungsi matriks dalam PMCs adalah untuk mengikat serat bersama-sama dan mentransfer beban di antara keduanya. Matriks PMCs biasanya berupa termoset atau termoplastik. Termoset sejauh ini merupakan jenis yang paling banyak digunakan saat ini dan dibagi lagi menjadi beberapa sistem resin termasuk epoksi, fenolat, poliuretan, dan polimida. Dari semua itu, sistem epoksi saat ini mendominasi industri komposit tingkat lanjut [22,23].

2. *Metal Matrix Composite*

Metal matrix composite (MMCs) seringkali digunakan untuk pengaplikasian yang berperan untuk menahan suhu yang tinggi. keunggulan MMCs dari polimer lain adalah pada tingkat modulus luluh dan kekuatan yang cukup tinggi. Selain itu, MMCs juga dapat ditingkatkan kekuatannya dengan bermacam-macam perlakuan panas dan mekanik [20].

3. *Ceramic Matrix Composite*

Ceramic matrix composite (CMCs) memiliki keunggulan diantaranya adalah kekerasan, modulus, ketahanan korosi, dan kestabilitasan termal yang tinggi. CMCs banyak digunakan pada sektor energi (Penukar panas; dinding reactor fusi) dan sektor kedirgantaraan. Namun, dibalik keunggulan CMCs yang biasa digunakan ini juga memiliki beberapa kekhawatiran pada kelemahannya yakni pada sifatnya yang getas dan memiliki ketangguhan patah sangat rendah [20,24].

library.uns.ac.id digilib.uns.ac.id

2.2.4 Penentuan Komposisi Penyusun Komposit

Komposisi penyusun pada komposit (serat dan matrik) ditentukan menggunakan metode *rule of mixture* yang dirumuskan dengan persamaan:

$$v_f = \frac{V_f}{V_c} \text{ x } 100\% \quad (2.1)$$

$$v_f = \frac{\frac{m_f}{\rho_f}}{\frac{m_f}{\rho_f}+\frac{m_m}{\rho_m}} \text{ x } 100\% \quad (2.2)$$

$$v_m = \frac{V_m}{V_c} \text{ x } 100\ \% \quad (2.3)$$

$$v_m = \frac{\frac{m_m}{\rho_m}}{\frac{m_f}{\rho_f}+\frac{m_m}{\rho_m}} \text{ x } 100\% \quad (2.4)$$

Dengan: v_f = fraksi volume serat

v_m = fraksi volume matrik

V_f = volume serat (cm^3)

V_m = volume matrik (cm^3)

V_c = volume komposit (cm^3)

m_f = massa serat (gr)

m_m = massa matrik (gr)

ρ_f = massa jenis serat ($gr/cm^{3)}$

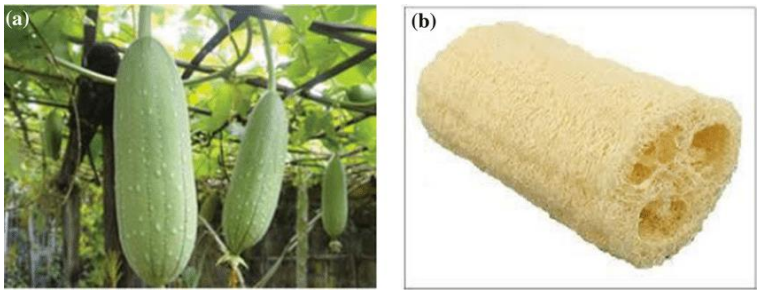
ρ_m = massa jenis matrik (gr/cm^3)

2.3 Luffa Cylindrica

Luffa cylindrica atau biasa dipanggil dengan sebutan *sponge gourd, loofa, dish cloth gourd* atau gambas, adalah tanaman dari keluarga *cucurbitaceae* [25].

Gambas merupakan tumbuhan sub-tropis yang membutuhkan suhu musim panas yang hangat dan musim tanam yang panjang tanpa embun beku ketika ditanam di daerah beriklim sedang. Gambas memiliki daun palmate yang terdiri dari tangkai daun. Daunnya masing-masing memiliki ukuran panjang 13 cm dan lebar 30 cm. bunga dari gambas memiliki warna kuning dan mekar pada bulan Agustus-September [25]. Tanaman dan serat *Luffa cylindrica* ditunjukkan pada Gambar 2.4.

library.uns.ac.id digilib.uns.ac.id



Gambar 2. 4 Tanaman Luffa Cylindrica (a), Serat Luffa Cylindrica (b) [26]

Sifat-sifat yang baik dari serat spons luffa, seperti kandungan selulosa yang tinggi, biodegradabilitas, tidak beracun, murah, ringan, dan ramah lingkungan, membuatnya menjadi salah satu serat alami yang menjanjikan. Karena sifat-sifat ini, serat spons luffa digunakan dalam beragam aplikasi sebagai bahan penguat, sebagai cetakan untuk menghasilkan bahan berpori, di bidang farmasi, elektrokatalis, dan pengolahan air [29]. Karakteristik *Luffa Cylindrica* ditunjukkan pada Tabel 2.3.

Tabel 2. 3 Karakteristik serat *Luffa Cylindrica* [2,27,28,66]

Sifat Fisik	
Diameter	0.262–0.695 mm
Panjang Serat	1,65 mm
Densitas	0.8-0.9 gr/cm^3
Kandungan Kimia	
Cellulose	57-74%
Hemicellulose	14-30%
Lignin	1-22%
Ash	0.4%
Sifat Mekanik	
Kekuatan Tarik	50.25 – 367 MPa
Elongasi	4-7%
IFSS	2,92 MPa

library.uns.ac.id digilib.uns.ac.id

Tumbuhan Gambas memiliki Klasifikasi yang ditunjukkan pada Tabel 2.4 sebagai berikut [25]:

Tabel 2. 4 Klasifikasi tumbuhan gambas [25]

Kingdom	Plantae
Division	Mangoliophyta
Class	Mangoliosida
Order	Cucurbitales
Family	Cucurbitaceae
Genus	Luffa
Species	Cylindrica

2.4 HDPE

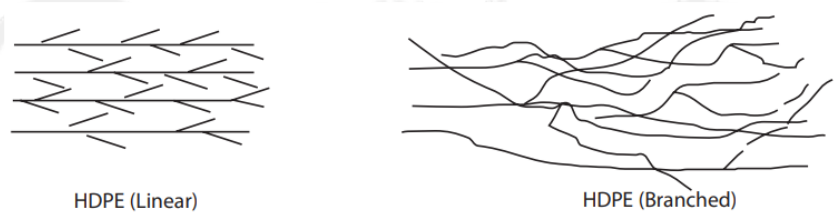
High density polyethylene adalah polimer termoplastik yang dihasilkan dari *monomer ethylene*. *Ethylene* adalah hidrokarbon yang tersusun dari C_2H_4 atau $H_2C=CH_2$. Kedua atom dari hidrogen dan karbon menyatu membentuk polimer dengan berat molekul yang tinggi [31]. HDPE memiliki karakteristik sedikit buram dan transparan serta elastik. Plastik ini tidak tembus air, tidak berbau, tahan panas dan tahan benturan. Sifat fisik dan mekanik HDPE ditunjukkan pada Tabel 2.5.

Tabel 2. 5 Sifat Fisik dan Mekanik HDPE [30]

Sifat Fisik	
Suhu Degradasi	>250 ^oC
Densitas	0.94 - 0.965 gr/cm^3
Titik leleh	125 - 135 ^oC
Sifat Mekanik	
Kekuatan tarik	13 – 51 MPa
Modulus tarik	500 – 1100 MPa
Elongasi	250 – 1200 %
Modulus lentur	750 – 1600 MPa

library.uns.ac.id digilib.uns.ac.id

HDPE memiliki tingkat kristalitas yang tinggi, ini dapat dilihat dari banyaknya percabangan pada HDPE yang tidak banyak. Tingkat kristalitas yang tinggi menjadikan HDPE mempunyai densitas dan kekuatan yang tinggi karena kristalitas yang tinggi menghasilkan gaya antarmolekul yang kuat. HDPE memiliki 2 tipe yang dapat diklasifikasikan dari strukturnya; linier (*linear)* dan bercabang (*branched*). Tipe linier berarti molekul-molekulnya terikat dengan erat. Sedangkan, tipe bercabang berarti molekul-molekulnya lebih longgar [31]. Tipe percabangan HDPE ditunjukkan pada Gambar 2.5.



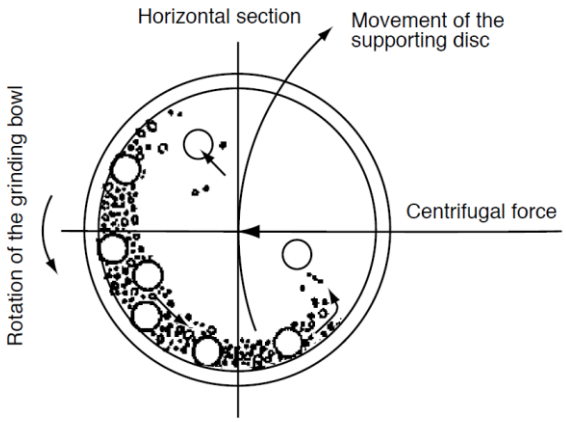
Gambar 2. 5 Tipe Percabangan HDPE [31]

2.5 Proses Ball-milling

Proses penggunaan mesin *ball mill* dalam pembuatan komposit digunakan untuk mencampurkan serat dan matrik serta melakukan penggilingan. *Ball-milling* dapat memperhalus struktur mikro komposit dengan mengurangi ukuran partikel dan meningkatkan distribusinya. Hal ini dapat menghasilkan struktur mikro yang lebih seragam dan padat, yang dapat meningkatkan sifat mekanik komposit [39].

Ball mill terdiri dari sekat silinder yang berisi bola dan dipasang pada logam berbentuk silinder yang dapat diputar pada sumbunya. Bola-bola yang dipakai biasanya digunakan sebanyak 30 – 50 % volume dari silinder dan ukurannya tergantung pada ukuran feed dan millnya. Bola berukuran kecil digunakan untuk feed yang sudah halus sedangkan bola berukuran besar digunakan untuk feed yang masih kasar [43]. Prinsip kerja *ball mill* ditunjukkan pada Gambar 2.6.

library.uns.ac.id digilib.uns.ac.id



Gambar 2. 6 Prinsip Kerja *Ball Mill* [49]

Mesin *ball mill* yang digunakan dalam laboratorium adalah *horizontal ball mills*. Prinsip kerja *ball mill* ini adalah silinder mill berputar mengelilingi sumbu horizontalnya sehingga efek gabungan dari gaya sentrifugal yang diakibatkan oleh rotasi dan gravitasi yang menyebabkan bola naik dan turun [45].

Kecepatan pada milling akan mempengaruhi temperatur dari media milling, input energi terhadap bubuk dan lain-lain. Temperatur yang naik seiring kenaikan kecepatan pada *ball mill* akan memberikan keuntungan yaitu Ketika difusi dibutuhkan untuk membuat bubuk menjadi homogenesis. Namun, kecepatan yang terlalu tinggi akan menciptakan gesekan atau tumbukan yang berlebih sehingga bubuk akan terkontaminasi [47].

Kecepatan kritis pada *ball mill* yang optimal pada umumnya sekitar 70% - 80%. Kecepatan kritis adalah kecepatan optimum agar *ball mill* dapat menghaluskan bebatuan, perhitungan kecepatan *ball mill* dituliskan dalam Persamaan 2.5 [48].

$$n_c = \frac{42.3}{\sqrt{D}} \tag{2.5}$$

Dengan: n_c = *critical speed* (rpm)

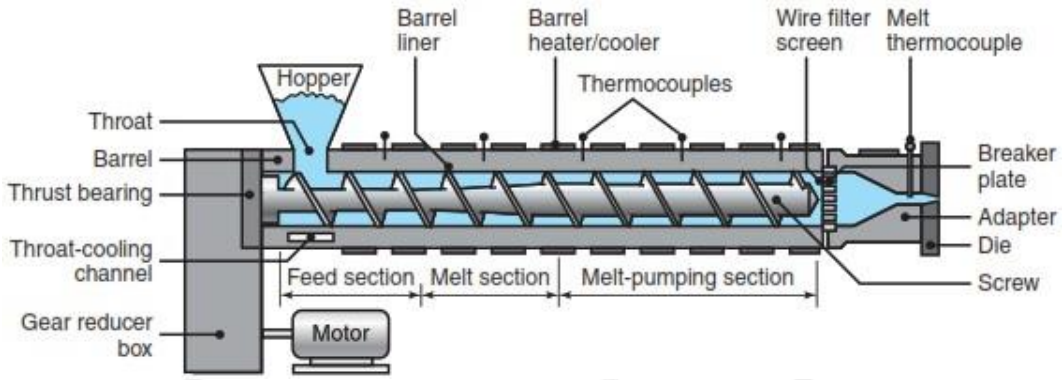
D = Diameter mill (m)

2.6 Proses Ekstrusi

Perpindahan panas dan massa, tegangan geser, dan perbedaan tekanan dikombinasikan untuk menghasilkkan produk adalah prinsip kerja dari proses ektrusi ini [41]. Mesin ini memiliki *screw* yang digunakan untuk mencampur dan

library.uns.ac.id digilib.uns.ac.id

mengaduk komposit serta menjadi alat pembawa yang memindahkan lelehan polimer dari *barrel* menuju cetakan [42]. Skema mekanisme *extruder* dapat dilihat pada Gambar 2.7.

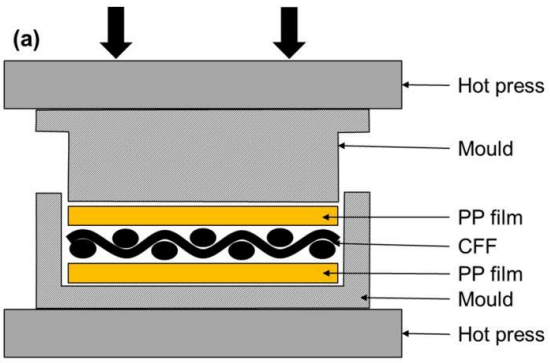


Gambar 2. 7 Skema Mekanisme Proses Ektrusi[42]

2.7 Proses *Hot Press*

Proses menggunakan mesin *hot press* dalam pembuatan komposit digunakan untuk menyatukan serat dan matrik agar menjadi material komposit seutuhnya. Dalam penggunaannya ada beberapa faktor yang perlu diperhatikan seperti suhu, tekanan, dan waktu pengempaan [33].

Prinsip kerja dari mesin *hot press* adalah material dicetak dengan tekanan dan panas. Plat tekan atas digerakkan oleh sistem hidrolik melalui ulir daya dan plat tekan bawah sebagai penahan statis. Kedua plat tersebut dilengkapi dengan elemen pemanas yang dapat diatur suhu dari elemen panasnya menggunakan *thermocontrol* [34,35]. Mekanisme mesin *hot press* dapat dilihat pada Gambar 2.8.



Gambar 2. 8 Mekanisme Proses *Hot Press* [34]

library.uns.ac.id digilib.uns.ac.id

2.8 Kekuatan Tarik

Nilai kekuatan tarik di material ini didapatkan melalui pengujian tarik. Pengujian tarik untuk spesimen komposit mengacu pada standar ASTM D638-14 tipe I. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui kekuatan komposit terhadap beban tarik. Pada saat pengujian, kedua ujung specimen dijepit pada pencekam UTM (*Universal Testing Machine*) kemudian diberikan beban tarik sampai komposit putus.

Kekuatan tarik dapat dihitung berdasarkan beban tarik maksimal dan luas penampang specimen yang ditentukan dengan persamaan 2.6 [59].

$$\sigma = \frac{F}{A} \tag{2.6}$$

Dengan: σ = Kekuatan tarik (N/mm^2)
F = Beban tarik maksimum (N)
A = Luas penampang (mm^2)

Regangan merupakan perbandingan antara pertambahan panjang dengan panjang ukur (*gauge length*) dan dirumuskan sesuai persamaan 2.7 [59].

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} \tag{2.7}$$

Dengan: ε = regangan
Δl = Pertambahan Panjang (mm)
l_0 = Panjang awal (mm)

Modulus elastisitas menggambarkan nilai kekakuan dari material, semakin besar suatu nilai modulus elastisitas maka semakin kecil perubahan bentuk yang terjadi apabila diberikan tegangan. Modulus elastisitas dapat ditentukan dari perbandingan tegangan dan regangan dalam daerah proporsional menurut persamaan 2.8 [59].

$$E = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon} \tag{2.8}$$

Dengan: E = Modulus elastisitas (N/mm^2)
$\Delta\sigma$ = Selisih tegangan (N/mm^2)
$\Delta\varepsilon$ = Selisih regangan

library.uns.ac.id digilib.uns.ac.id

2.9 Kekuatan impak

Nilai kekuatan impak di material ini didapatkan melalui pengujian impak. Pengujian impak dilakukan untuk mengetahui kemampuan material dalam menyerap energi impak sampai material tersebut mengalami deformasi plastis (patah). Sumber energi didapat dari suatu bandul yang mempunyai ketinggian tertentu dan berayun memukul spesimen uji. Energi serap dari pengujian impak dapat dirumuskan pada persamaan 2.9 [60].

$$E_{serap} = WR(Cos\ \beta - Cos\ \alpha) \quad (2.9)$$

Dengan: E_{serap} = Energi serap (joule)
W = Beban bandul (kg)
R = Panjang lengan (m)
$Cos\ \beta$ = sudut akhir (^{o})
$Cos\ \alpha$ = sudut awal (^{o})

Selanjutnya setelah memiliki nilai dari energi serap, *impact strength* dapat ditentukan dari membagi nilai Energi serap dengan luas penampang spesimen. *impact strength* dapat dirumuskan dengan persamaan 2.10 [60].

$$HI = \frac{E_{serap}}{A} \quad (2.10)$$

Dengan: HI = Harga Impak (joule/mm^2)
A = luas penampang (mm^2)

2.10 Densitas

Nilai densitas di material ini didapatkan melalui pengujian densitas. Uji densitas dilakukan untuk mengetahui perbandingan massa terhadap volume dari komposit. Secara Teoritis, densitas dari komposit megikuti pada aturan pencampuran atau yang biasa disebut dengan *rule of mixture* yang dirumuskan pada persamaan 2.11.

$$\rho t = \rho_f v_f + \rho_m(1 - v_f) \quad (2.11)$$

Dengan: ρt = Densitas komposit teoritis (gr/cm^3)
ρ_f = Densitas serat (gr/cm^3)
v_f = Fraksi volume serat
ρ_m = Densitas matrik (gr/cm^3)

library.uns.ac.id digilib.uns.ac.id

Sedangkan secara aktual, massa jenis material komposit ditentukan berdasarkan pengujian yang sesuai dengan standar ASTM D792-20. Perhitungan massa jenis dapat dilihat pada persamaan 2.12 Dengan nilai masing-masing parameter ditentukan melalui pengukuran dengan *density meter* [62].

$$\rho_c = \rho_l \frac{a}{a-b} \quad (2.12)$$

Dengan: ρ_c = densitas komposit aktual (gr/cm^3)

ρ_l = densitas cairan perendam (gr/cm^3)

a = massa specimen di udara, tanpa kawat atau pemberat (gr)

b = massa specimen di cairan (gr)

Selanjutnya kandungan porositas dapat ditentukan melalui persamaan 2.13 [62].

$$pt = \frac{\rho_t - \rho_c}{\rho_t} x100\% \quad (2.13)$$

Dengan: pt = kandungan porositas (%)

ρ_t = densitas komposit teoritis (gr/cm^3)

ρ_c = densitas komposit aktual (gr/cm^3)

Selain uji densitas komposit, nilai densitas serbuk di material ini juga didapat melalui uji densitas serbuk. Densitas serbuk ditentukan menggunakan persamaan 2.14 [61].

$$Ds = \frac{(M2-M1)}{(M2-M1)-(M3-M4)} \quad (2.14)$$

Dengan: Ds = Densitas serbuk (gr/cm^3)

M1 = Massa piknometer kosong (gr)

M2 = Massa piknometer dan serbuk (gr)

M3 = Massa piknometer, serbuk, dan air (gr)

M4 = Massa piknometer yang hanya terisi dengan air (gr)

2.11 *Particle Size Analyzer* (PSA)

PSA (*Particle size analyzer)* dilakukan untuk menentukan ukuran rata-rata partikel komposit. PSA menggunakan metode *Dynamic Light Scattering* (DLS) yang memanfaatkan hamburan inframerah. Hamburan inframerah ditembakkan oleh alat terhadap sampel sehingga sampel akan bereaksi menghasilkan gerak Brown (gerak acak dari partikel yang sangat kecil dalam cairan akibat dari benturan dengan molekul-molekul yang ada dalam zat cair). Pergerakan partikel ini yang

library.uns.ac.id digilib.uns.ac.id

dianalisis oleh alat, semakin kecil ukuran molekul maka akan semakin cepat gerakannya dan sebaliknya [56].

2.12 *Critical Length*

Critical length atau panjang kritis merupakan panjang minimum serat yang diperlukan agar serat dapat berfungsi secara efektif dalam mentransfer beban ke matriks. Jika panjang serat lebih pendek dari *critical length* maka serat tersebut tidak akan mampu memberikan kontribusi yang signifikan terhadap kekuatan tarik komposit. Diketahui bahwa diameter serat sebesar 0,262 mm dan IFSS sebesar 3,4 MPa *Critical length* dapat ditentukan menggunakan persamaan 2.15 [20].

$$L_c = \frac{dS_{f1}}{2\tau_y} \tag{2.15}$$

Dengan: L_C = panjang kritis atau *critical length* (mm)
d = diameter serat (mm)
S_{f1} = Kekuatan tarik (MPa)
τ_y = *Interfacaial shear stress* (MPa)

2.13 *Aspect Ratio*

Aspect Ratio adalah perbandingan antara panjang serat dan diameter serat yang dapat ditentukan menggunakan persamaan 2.16 .

$$Aspect\ Ratio = \frac{L_f}{d} \tag{2.16}$$

Dengan: L_f = panjang serat (mm)
d = diameter serat (mm)

2.13 Hipotesis

Berdasarkan tinjauan pustaka dan dasar teori maka hipotesis dapat dirumuskan sebagai berikut.

1. Peningkatan waktu pencampuran akan meningkatkan kekuatan tarik dan impak komposit karena semakin lama proses *ball mill* semakin kecil ukuran partikel komposit sehingga dapat meningkatkan distribusi pada struktur.
2. Peningkatan waktu pencampuran tidak mempengaruhi densitas pada komposit