II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Komposit

Gibson (1994) mendefinisikan bahwa komposit adalah perpaduan dari bahan yang dipilih berdasarkan kombinasi sifat fisik masing-masing material penyusun untuk menghasilkan material baru dengan sifat yang unik dibandingkan sifat material dasar sebelum dicampur dan terjadi ikatan permukaan antara masing-masing material penyusun[6].

Sifat maupun Karakteristik dari komposit ditentukan oleh [6]:

1. Material yang menjadi penyusun komposit
2. Bentuk dan penyusunan struktural dari penyusun
3. Interaksi antar penyusun.
4. Rasio penguat terhadap matrik dalam komposit.

Ada dua hal yang perlu diperhatikan pada komposit yang diperkuat agar dapat membentuk produk yang efektif [7] yaitu:

1. Komponen penguat harus memiliki modulus elastisitas yang lebih tinggi dari komponen matriksnya. Dari hasil penelitian tentang sifat mekanik dari tempurung kelapa yang dilakukan oleh Santosa diketahui besar nilai kekuatan kekuatan *bending* yaitu 49,65 MPa[5], sedangkan kekuatan

bending dari resin murni sebesar 15,64 MPa, dari sini dapat tempurung kelapa layak sebagai penguat pada komposit.

2. Harus ada ikatan yang kuat antara komponen penguat dan matrik, penguatan ikatan ini dapat dilakukan dengan memodifikasi komposisi kimia pada penguat alam yang akan digunakan sebagai penguat pada komposit. Salah satu perlakuan yang dapat digunakan untuk memodifikasi komposisi kimia tersebut yaitu dengan memberikan perlakuan alkali (NaOH) pada penguat alam tersebut.

Pada umumnya komposit yang dibuat manusia dapat dibagi ke dalam tiga kelompok utama:

a. Komposit Matrik Polimer (*Polymer Matrix Composites* – PMC). Komposit Matrik Polimer (*Polymer Matrix Composites* – PMC) – Bahan ini merupakan bahan komposit yang sering digunakan disebut, Polimer Berpenguatan Serat (FRP – *Fibre Reinforced Polymer*) – bahan ini menggunakan suatu polimer-berdasar resin sebagai matriknya, dan suatu jenis serat seperti *glass*, karbon dan aramid (Kevlar) sebagai penguatannya.
b. Komposit Matrik Logam (*Metal Matrix Composites* – MMC). Komposit Matrik Logam (*Metal Matrix Composites* – MMC) – ditemukan berkembang pada industri otomotif, bahan ini menggunakan suatu logam seperti aluminium sebagai matrik dan penguatnya dengan serat seperti silikon karbida.
c. Komposit Matrik Keramik (*Ceramic Matrix Composites* – CMC) Komposit Matrik Keramik (*Ceramic Matrix Composites* – CMC)

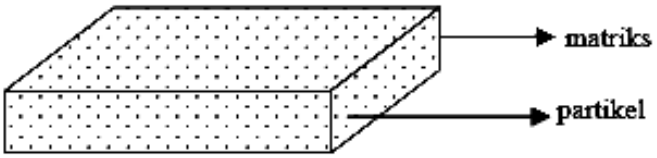
digunakan pada lingkungan bertemperatur sangat tinggi, bahan ini menggunakan keramik sebagai matrik dan diperkuat dengan serat pendek, atau serabut-serabut (*whiskers*) dimana terbuat dari silikon karbida atau boron nitrida.

B. Komposit Berdasarkan Bentuk Penguat yang Digunakan

Berdasarkan penguat yang digunakan, komposit dapat dibagi menjadi 4 jenis, yaitu [8]:

a. Komposit Partikel

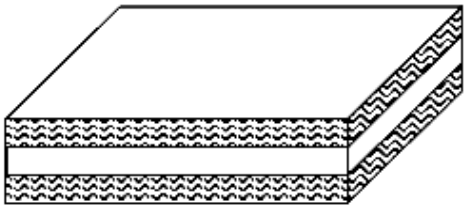
Pada komposit partikel, bahan penguatnya berbentuk partikel/serbuk sebagai penguatnya dan terdistribusi secara merata dalam matriksnya seperti terlihat pada gambar 1. Mekanisme penguatannya bergantung kepada ukuran partikel.



Gambar 1. Komposit partikel [9]

b. Komposit Laminat

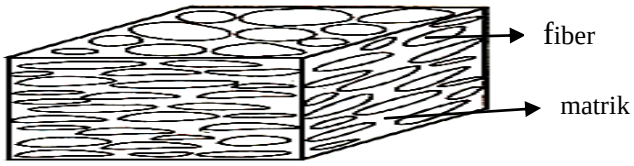
Komposit ini terdiri dari dua atau lebih lapisan yang digabung menjadi satu dan setiap lapisnya memiliki karakteristik sifat sendiri.



Gambar 2. Komposit laminat [9]

c. Komposit Serpihan *(Flake Composites)*

Sesuai dengan namanya, komposit ini dibuat dengan cara mencampurkan *flakes* atau serpihan-serpihan tipis kedalam bahan matriksnya. Walaupun biasanya letak serpihan tersebut secara acak, namun penyebaran serpihan/*flakes* didalam matriks dapat juga dibuat secara beraturan satu sama lainnya. Bedanya dengan komposit partikel adalah, pada komposit serpihan, ukuran penguat cenderung lebih besar dan ukurannya bervariasi. Contoh serpihan yang sering digunakan adalah mika, logam, dan karbon.



Gambar 3. Komposit serpihan [8]

d. Komposit Serat

Merupakan jenis komposit yang hanya terdiri dari satu lamina atau satu lapisan yang menggunakan penguat berupa serat.

Gambar 4. Komposit serat [9]

C. Polimer Sebagai Matrik

1. Sifat Polimer

Sifat-sifat khas dari bahan polimer pada umumnya, yaitu [10]:

a. Polimer memiliki sifat mudah dibentuk. Pada temperatur relatif rendah bahan dapat dicetak dengan penyuntikan, penekanan, ekstrusi, dan

seterusnya, yang menyebabkan biaya pembuatan lebih rendah dari pada bahan material lain.

b. Sebagian besar produk bahan polimer ringan tetapi kuat. Berat jenis polimer rendah bila dibandingkan dengan logam dan keramik, yaitu 1,0-1,7 kg/m^3.

c. Sebagian besar polimer mempunyai sifat isolasi listrik yang baik, disamping itu bahan polimer dapat dibuat menjadi konduktor dengan jalan mencampurnya dengan serbuk logam, butiran karbon dan sebagainya.

2. Jenis-Jenis Polimer

Pada umumnya bentuk penguat komposit dengan matrik polimer (PMCs) memiliki beberapa jenis polimer yang dapat digunakan sebagai bahan matrik, yaitu [11]:

a. Termoplastik

Termoplastik merupakan polimer yang memiliki struktur berupa rantai panjang yang lurus, akan melunak dan mencair jika dipanaskan, dan mengeras lagi jika didinginkan. Beberapa jenis termoplastik yaitu *polyethylene*, *polyprophylene*, *nylon*, edan lain-lain.

b. Termoset

Dalam bentuk padat, termoset membentuk ikatan silang (*cross linked*) antar benang-benang polimer dalam bentuk tiga dimensi yang tidak mencair pada temperatur tinggi. Jenis-jenis termoset yaitu *phenol*

formaldehyde, epoxy, melamine formaldehyde, urea formaldehyde, Resin Poliester, dan lain-lain.

c. *Elastomer*

Elastomer merupakan jenis polimer dengan elastisitas tinggi.

d. *Polimer Natural*

Polimer natural seperti selulosa dan protein, dimana bahan dasar terbuat dari tumbuhan dan hewan.

3. Resin Poliester Tak Jenuh

Resin poliester tak jenuh merupakan salah satu jenis polimer termoset. Resin poliester merupakan pilihan yang banyak digunakan dalam pasaran komposit modern. Bahan ini memiliki ketahanan sifat mekanik yang baik ketika beroperasi pada kondisi lingkungan yang panas maupun basah, ketahanan kimia yang baik, kestabilan bentuk, harga yang relatif rendah (dibandingkan dengan jenis *epoxy*) dan memiliki pelekatan yang baik pada berbagai jenis penguat.

Sifat-sifat fisik dari bahan Resin Poliester, yaitu [12]:

a. Retakan baik.
b. Tahan terhadap bahan kimia.
c. Pengerutan sedikit (saat *curing*).

Sifat-sifat mekanik resin poliester adalah sebagai berikut [13]:

a. Temperatur optimal 110^0C–140 ^{0}C.
b. Ketahanan dingin adalah baik secara relatif.

c. Bila dimasukkan air mendidih untuk waktu yang lama, bahan akan retak atau pecah.
d. Kemampuan terhadap cuaca baik.
e. Tahan terhadap kelembaban dan sinar Ultra Violet.

Pada proses pencampurannya resin poliester tersebut harus ditambahkan dengan suatu katalis, pada penelitian ini katalis yang digunakan adalah katalis komersil/pasaran berupa MEKPO (*Metil Etil Keton Peroksida*) yang fungsinya sebagai zat *curing* yakni untuk mempersingkat waktu pengerasan dari resin poliester tersebut.

Jumlah katalis MEKPO dalam proses pembuatan komposit juga berpengaruh terhadap sifat mekanik komposit yang dihasilkan. Penelitian Jamasri (2005) menunjukkan bahwa kekuatan tarik komposit serat kenaf tertinggi adalah pada kandungan katalis 1%. Kekuatan dan modulus tarik serat kenaf adalah 324,99 MPa dan 37,42 GPa, sedangkan hasil pengujian tarik matrik poliester memiliki kekuatan tarik 50,70 MPa dan modulus tarik 4,23 GPa. Peningkatan kekuatan tarik sangat besar terjadi pada komposit berpenguat serat kenaf kontinu dengan hardener 1% [14].

D. Tempurung Kelapa

Tempurung kelapa merupakan salah satu bahan penguat alami yang banyak terdapat di negara-negara beriklim tropis seperti Indonesia, Malaysia, Thailand dan negara beriklim tropis lainnya. Tempurung kelapa memiliki kekasaran yang tinggi, daya tahan terhadap pengikisan dan lingkungan yang baik. Karena sifat-

sifat yang dimiliki oleh tempurung kelapa ini, maka bahan ini sangat baik digunakan untuk jangka waktu yang lama. Tempurung dan partikel tempurung kelapa dapat dilihat pada gambar 5.

Gambar 5. Tempurung dan partikel kelapa

Komposisi kimia yang dimiliki oleh tempurung kelapa hampir sama dengan komposisi kayu daun lebar. Perbedaan mendasar adalah kandungan lignin pada tempurung kelapa lebih tinggi dan kandungan selulosa pada tempurung kelapa yang lebih sedikit dibandingkan batang kayu, secara terperinci komposisi kimia pada tempurung kelapa dan kayu dapat dilihat pada tabel 1 dan 2.

Tabel 1 . Komposisi unsur- unsur kimia Tempurung Kelapa [15]

Komposisi Kimia	**Komposisi (%)**
Selulosa	26%
Lignin	29,4 %
Pentosan	27,7 %
Solven Ekstraktif	4,2 %
Uronat Anhibrida	3,5 %
Air	8 %
Abu	0,6 %

Sumber : *DOE Fuel and Apllicance Testing Laboratory* (2008)

Tabel 2. Komponen senyawa kimia menurut golongan kayu[16]

Komponen Senyawa	Golongan Kayu	
	Kayu Daun Lebar (%)	Kayu Daun Jarum (%)
Selulosa	40 – 45	41 – 44
Lignin	18 – 33	28 – 32
Pentosan	21 – 24	8 – 13
Zat Ekstraktif	1 – 12	2,03
Abu	0,22 – 6	0,89

Dari ketujuh komposisi unsur kimia yang terdapat pada tempurung kelapa, kandungan selulosa dan lignin memegang peran penting, akan tetapi yang paling berperan penting dalam pembuatan komposit dengan penguat alami yaitu kandungan selulosa, berikut adalah penjelasan tentang selulosa dan lignin[1] :

a. Selulosa

   Selulosa merupakan komponen utama didalam serat-serat lignoselulosa yang berfungsi sebagai bahan penguat didalam dinding sel. Selulosa juga adalah homopolimer glukosa yang memilki berat molekul tinggi dan berada di dalam mikrofibril-mikrofibril dimana ikatan hidrogen antara rantai-rantai selulosa tersebut menghasilkan struktur kristalin yang kuat. Di dalam pembuatan komposit, penguat yang mengandung selulosa menjadi perhatian yang besar karena kemampuannya sebagai penguat pada polimer.

b. Lignin

   Lignin merupakan adhesif didalam dinding sel yang merupakan polimer hidrokarbon dan terdiri dari senyawa-senyawa aromatis dan siklis. Lignin berfungsi meningkatkan kekakuan, hidrofobisitas (sifat anti air), dan daya tahan serat-serat lignoselulosa pada dinding sel.

   Penguat pada komposit memiliki banyak fungsi dan dapat dibedakan berdasarkan fungsi utama dan fungsi tambahannya. Adapun fungsi utama penguat adalah memperbaiki sifat-sifat mekanis, magnetik, dan permukaan pada komposit, serta meningkatkan sifat ketahanan terhadap api dan mempermudah dalam pemrosesannya. Sedangkan fungsi tambahan adalah

untuk mengontrol permeabilitas (kemampuan bahan melalui partikel dengan cara menembusnya), bioaktivitas, dan mememperbaiki sifat-sifat optis serta pembasahan.

Berdasarkan karakteristik kekuatan mekanik tempurung kelapa[5] :

1. nilai kekerasan untuk jenis kelapa dalam yaitu 41,4135 Kg/cm^2 sedangkan kekerasan untuk jenis kelapa genjah yaitu 73,0149 Kg/cm^2.
2. Kekuatan *bending* untuk kelapa dalam yaitu 449,3086 Kg/cm^2 sedangkan unuk kelapa genjah yaitu 563,3663 Kg/cm^2.

Kekerasan adalah nilai yang menunjukkan sifat kekuatan dan merupakan ukuran untuk mempertahankan bentuk datar akibat adanya pembebanan pada tempurung yang dilakukan sejajar permukaan. kekerasan pada tempurung disebabkan karena kandungan lignin 20-30 %, selulosa 40-50 %, metoksil, dan berbagai mineral lainnya seperti hemiselulosa 39-55 %, pentosa 21-24 %, zat ekstraktif 2-6 %, dan kadar abu 0,2-2 % yang tinggi. Tempurung juga mengandung silikat (SiO2) yang cukup tinggi kadarnya. Silikat (SiO2) dapat dengan mudah menumpulkan mata gergaji. Sedangkan, kekuatan *bending* dari tempurung kelapa dipengaruhi oleh kerapatan dari partikel penyusun tempurung maka semakin tinggi pula nilai kekuatannya[30].

Adapun keuntungan dan kekurangan yang diberikan dalam penggunaan penguat alami pada material komposit antara lain yaitu[1]:

a. Keuntungan penggunaan penguat alami dibandingkan dengan penguat mineral:
    1. Kuat dan ringan
    2. Ramah lingkungan
    3. Sangat ekonomis
    4. Sumber yang dapat diperbaharui dan berlimpah
b. Kelemahan dan kekurangan penguat alami yaitu:
    1. Mudah terurai karena kelembaban
    2. Adhesi permukaan yang lemah pada polimer hidrofobik
    3. Ukuran penguat yang tidak seragam
    4. Tidak cocok untuk pemakaian pada temperature tinggi
    5. Mudah terserang jamur dan serangga

Telah banyak penelitian yang telah dilakukan dengan menggunakan pengisi alami sebagai penguat pada komposit seperti: nenas, sisal, sabut kelapa, bambu, sekam padi, rami, kayu dan lainnya. Karena komposisi kimia tempurung kelapa hampir sama dengan komposisi batang kayu, maka tempurung kelapa merupakan salah satu bahan baku alternatif yang berpotensi digunakan sebagai penguat alami pada komposit polimer.

E. *Unsaturated Polyester Resin* YUKALAC 157 BQTN-EX

Unsaturated Polyester Resin YUKALAC 157 BQTN-EX. Resin ini secara khusus cocok untuk proses manufaktur FRP dengan *hand lay up* dan *spray up molding*.

Secara luas, resin ini digunakan dalam pembuatan kapal nelayan, bak mandi, material bangunan, dan produk FRP lainnya.

Sifat-sifat dari resin 157 BQTN-EX dapat dilihat pada tabel 6 dan tabel 7.

Tabel 3. Sifat resin poliester tak jenuh Yukalac 157 BQTN-EX [17]

Spesific Gravity (25^{o}C)	*1.10 ± 0.02*
Viskositas (*Poise, at* 25^{o}C)	*4.5 – 5.0*
Thixotropic Index *Gel Time (minutes, at* 30^{o}C*)* *Curing Condition*	*More than 1.5* *20 – 30* *+ MEKPO = 1 part*
Storage life at 25^{o}C *in the dark (months)*	*Less than 6*
Flash Point Range, ^{o}C	*26 – 37*

Sedangkan sifat resin setelah *cast-cured* dapat dilihat pada tabel 7.

Tabel 4. Sifat resin setelah *cast-cured* [17]

Item	***Unit***	***Typical Value***	***Note***
Spesific gravity	-	1.215	25ºC
Hardness	-	40	Barcol GYZJ 934-1
Heat Distortion Temperature	ºC	70	
Water Absorbtion (room temp)	%	0.188	24 *hours*
	%	0.466	7 *days*
Elongation	%	1.6	
Volume shrinkage on cure	%	5.6	25ºC

F. Perlakuan Alkali

Perlakuan alkali merupakan salah satu jenis modifikasi kimia pada penguat, modifikasi kimia pada penguat juga dapat dilakukan dengan menggunakan asam aklirik, asetat, benzyl klorida dan larutan kimia lainnya.

Perlakuan alkali (KOH, LiOH, NaOH) terhadap penguat dilakukan untuk meningkatkan sifat-sifat dari penguat, mengurangi lignin dan memisahkan

kontaminan yang terkandung di dalam penguat, sehingga didapat permukaan penguat yang bersih.

Reaksi dari perlakuan alkali tehadap serat adalah [18]:

$$\text{Fiber} - \text{OH} + \text{NaOH} \rightarrow \text{Fiber} - \text{O}^{-}\text{NA}^{+} + \text{H}_2\text{O}$$

Penelitian mengenai efek modifikasi kimia terhadap serat menyebutkan bahwa perlakuan alkali meningkatkan kekuatan rekat antara serat dengan matrik. Kekuatan tarik disebutkan mengalami peningkatan sebesar 5% [19].

Dibandingkan alkali lain seperti KOH dan LiOH, perlakuan alkali NaOH adalah yang paling baik. Penelitian menyatakan bahwa Na^{+} memiliki diameter partikel yang sangat kecil dimana dapat masuk ke pori terkecil serat dan masuk ke dalamnya sehingga lignin dan kotoran yang melekat terlepas dari pori-pori serat dengan banyaknya pori ini, daya rekat serat dengan matrik menjadi semakin kuat, karena matrik dapat mengisi kekosongan dalam pori tersebut dengan baik [20]. Karena pentingnya perlakuan alkali dalam pembuatan komposit serat alam, banyak penelitian yang telah dilakukan untuk mengetahui efek perlakuan alkali pada komposit yang dihasilkan.

Kadar dari larutan NaOH dalam pelakuan alkali juga memberi pengaruh bagi kekuatan komposit yang dihasilkan. Hal ini dibuktikan oleh Joseph lewat penelitiannya yang mencoba untuk mengetahui efek perlakuan alkali pada kekuatan serat kelapa sawit dengan matrik berupa karet. Tiga perlakuan alkali diterapkan yaitu dengan konsentrasi 5%, 10%, dan 15%. Komposit dengan serat yang dilakukan perlakuan akali 5%NaOH menghasilkan kekuatan tarik 9,95 MPa, sedangkan dengan perlakuan 10% dan 15% menghasilkan kekuatan tarik 9,61 dan

8,86 MPa. Jadi, perlakuan alkali 5%NaOH menghasilkan kekuatan tarik terbaik[21].

Hasil penelitian Joseph juga diperkuat oleh penelitian yang dilakukan Jamasri mengenai komposit serat kenaf. Jamasri mengatakan bahwa perlakuan alkali 5% NaOH bertujuan untuk membersihkan *lignin* dan kotoran lainnya yang dapat diamati dengan SEM *(Scanning Electron Microscope).* Hasil Pengamatan SEM menunjukkan bahwa serat yang dilakukan perlakuan alkali mengalami peningkatan *kristanilitas*, yang disebabkan oleh hilangnya *lignin*, lapisan lilin, dan kotoran lainnya pada permukaan serat. Penampang komposit serat dengan perlakuan NaOH tidak menunjukkan *fiber pull out*. Hal ini mengindikasikan ikatan *interface* serat dan matrik sangat kuat [14].

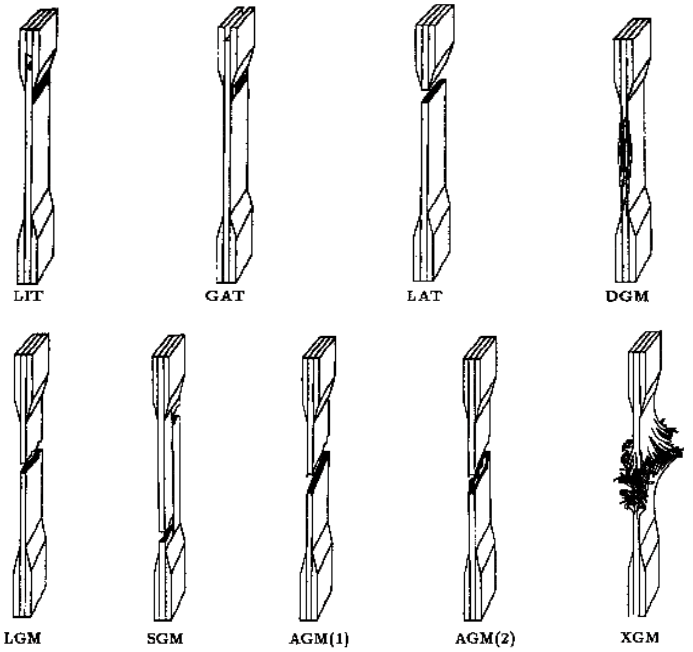
Hasil penelitian Zita melaporkan bahwa modifikasi permukaan pada bubuk kayu 20% berat pada komposit polietilena dengan menggunakan 150 ml NaOH dan 100 ml benzil klorida telah meningkatkan kekuatan tarik pada komposit tersebut.Modifikasi kimia pada penguat ini juga menurunkan sifat perpanjangan dan *modulus young* dari komposit sekaligus menurunkan sifat penyerapan air.

Lama waktu perendaman larutan alkali juga berpengaruh terhadap kekuatan komposit yang dihasilkan. Penelitian oleh Jamasri memberi kesimpulan bahwa komposit yang memiliki kekuatan tarik tertinggi adalah komposit yang diperkuat serat perlakuan 2 jam. Besarnya kekuatan tarik pada W_f (fraksi berat) = 27% adalah 20.94 MPa. Kekuatan ini meningkat 47,36% dibandingkan dengan komposit yang diperkuat serat tanpa perlakuan (14.21 MPa) [22].

G. Mekanisme Kegagalan Komposit

Mekanisme kegagalan komposit dapat dilihat secara makro dan secara mikro. Secara makro, kegagalan dapat dilihat dari tipe patahan spesimen uji, sedangkan secara mikro, dapat dilihat dengan mikroskop optik dan SEM (*Scanning Electron Microscope*).

Berdasarkan ASTM D-3039, kegagalan teknis spesimen uji dapat dilihat pada gambar 11.



Failure Type	Code
Angled	A
Edge Delamination	D
Grip/tab	G
Latera;	L
Multi-mode	M (xys)
Long, Splitting	S
eXplosive	X
Other	O

Failure Type	Code
Inside grip/tab	I
At grip/tab	A
<1 W from grip/tab	W
Gage	G
Multiple areas	M
Various	V
Unknown	U

Failure Location	Code
Bottom	B
Top	T
Left	L
Right	R
Middle	M
Various	V
Unkown	U

Gambar 6. Tipe kegagalan Teknis menurut ASTM D-3039 [23]

Cara membacanya adalah, misalkan LGM, berarti kegagalannya adalah *Lateral Gage Middle*.

Selain itu, beberapa jenis kegagalan lain yang dapat terjadi yaitu:

a. *Debonding,* yaitu lepasnya ikatan pengua dengan matrik akibat *interface* serat dan matik yang tidak kuat.
b. *Matrix cracking*, yaitu retaknya matrik.
c. *Delaminasi*, yaitu terpisahnya lamina.
d. *Fiber breaking*, yaitu patah penguat.
e. *Pull-out,* yaitu Penguat terlepas keluar dari matrik.

H. Perhitungan Rasio Matrik Dan Penguat Pada Komposit

Salah satu faktor penting yang menentukan karakteristik dari komposit adalah perbandingan matrik dan penguat/serat. Perbandingan ini dapat ditunjukkan dalam bentuk fraksi volume penguat (V_f) atau fraksi massa penguat (W_f). Namun, formulasi kekuatan komposit lebih banyak menggunakan fraksi volume penguat. Fraksi volume penguat dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut [24].

$$V_f = \left[v_c - \left(\frac{M_c - M_f}{\rho_m} \right) \right] \Big/ v_c \quad \text{..... (1)}$$

Jika selama proses pembuatan komposit diketahui massa penguat dan matrik, serta *density* penguat dan matrik, maka fraksi volume dan fraksi massa penguat dapat dihitung dengan persamaan [24].

$$V_f = \frac{M_f / \rho_f}{M_f / \rho_f + M_m / \rho_m} \quad \text{..... (2)}$$

$$W_f = \frac{\rho_f v_f}{\rho_f v_f + \rho_m v_m} \quad \text{..... (3)}$$

Dimana: V_f, W_f = Fraksi volume dan massa penguat

v_c, v_f, v_m = Volume komposit, penguat dan matrik

ρ_f , ρ_m = Densitas serat dan matrik, gr/cm^3

M_c, M_m, M_f = Massa komposit, matrik dan serat, gr

Fraksi massa serat pada persamaan 3 dapat disederhanakan menjadi [24].

$$W_f = \frac{M_f}{M_c} \quad \text{..... (4)}$$

I. Pengujian Sifat Mekanik Komposit Serbuk Tempurung Kelapa

Untuk mengetahui sifat mekanik dari suatu komposit maka perlu dilakukan pengujian secara mekanik pada material komposit tersebut, cara pengujian untuk mendapat sifat mekanis komposit antara lain sebagai berikut:

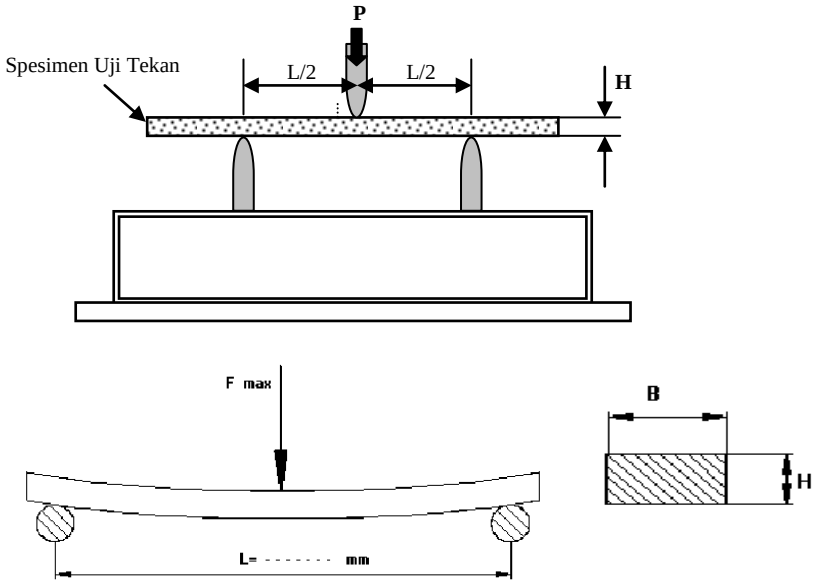
1. Uji Bending

Pengujian tekan pada komposit dilakukan untuk mengetahui kekuatan terhadap *bending* atau pembengkokan. Penelitian Sapuan tentang sifat mekanik dari komposit partikel tempurung kelapa dengan matrik epoxy 3554A pengujian uji *bending* sesuai dengan standar ASTM (ASTM

Standard D 790-97) didapatkan nilai kekuatan *bending* tertinggi komposit pada fraksi volume pengisi 15% yaitu sebesar 80.68 MPa[25].

Penelitian Haryadi tentang komposit yang diperkuat dengan serbuk tempurung kelapa fraksi volume serbuk 40 % dan matrik *epoxy* 60% pengujian *bending* dilakukan sesuai dengan standar ASTM D 790-03 didapatkan nilai kekuatan *bending* sebesar 31,716 Mpa[26].

Pengujian *bending* menggunakan metode *three point bending*. Spesimen yang akan diuji akan mengalami tegangan tekan pada bagian atas dan tegangan tarik pada bagian bawahnya. Dari pengujian ini akan didapat data beban yang dapat diterima oleh benda uji sebelum terjadi patahan.



Gambar 7. Skema Pengujian Bending

Harga momen maksimum sampel uji yang dikenai pengujian dengan *three point bending* dapat dirumuskan sebagai berikut [27]:

$$M = \frac{1}{2}P \times \frac{1}{2}L = \frac{PL}{4} \quad \text{..... (5)}$$

Di mana:

M = Momen maksimum (Nmm)

P = Beban (N)

L = Panjang span (mm)

Kekuatan bending (σ_b) komposit homogen berpenampang segi empat dengan pusat sumbu netral terletak di tengah dapat dirumuskan sebagai berikut (ASTM D-790) [28]:

$$\sigma_b = \frac{3PL}{2bH^2} \quad \text{..... (6)}$$

Di mana:

σ_b = kekuatan bending (MPa)

b = lebar spesimen (mm)

H = tebal spesimen (mm)

Sedangkan modulus elastisitas (*E*) dirumuskan dengan persamaan:

$$E = \frac{L^3 m}{4bH^2} \quad \text{..... (7)}$$

Di mana:

E = modulus elastisitas (GPa)

m = slope tangent (N/mm) = P/Defleksi (D)

2. Uji Tarik

Uji tarik merupakan pengujian yang bertujuan untuk mengetahui kekuatan suatu bahan berdasarkan ketahanan suatu material terhadap beban tarik.

Hasil penelitian Hamid tentang pengaruh modifikasi kimia terhadap komposit serbuk tempurung kelapa dengan resin polietilena densitas rendah (LDPE) dengan menggunakan perlakuan asam asetat (50%) dan asam aklirik (3%). Kekuatan tarik tertinggi pada serbuk tempurung kelapa (Fraksi massa 60%) yaitu 13,02 MPa[1].

Penelitian Sapuan tentang sifat mekanik dari komposit partikel tempurung kelapa dengan matrik *epoxy* 3554A pengujian uji tarik sesuai dengan standar ASTM (ASTM *Standard* D 638-90) didapatkan nilai kekuatan tarik tertinggi komposit pada fraksi volume pengisi 15% yaitu sebesar 35.48 MPa[25].

Penelitian Haryadi tentang komposit yang diperkuat dengan serbuk tempurung kelapa fraksi volume serbuk 40% dan matrik *epoxy* 60% pengujian tarik dilakukan sesuai dengan standar ASTM D 638-03 didapatkan nilai kekuatan tarik sebesar 21,055 Mpa[26].

Analisis kekuatan komposit biasanya dilakukan dengan mengasumsikan ikatan serat dan matrik sempurna. Pergeseran antara serat dan matrik dianggap tidak ada dan deformasi serat sama dengan deformasi matrik.
Berdasarkan standar ASTM D-3039, kekuatan tarik maksimum (F^{tu}) dirumuskan sebagai berikut [23]:

$$F^{tu} = \frac{P^{\max}}{A} \quad \text{.....} \quad (8)$$

Di mana:

F^{tu} = Kekuatan tarik maksimum (MPa)

P^{max} = Beban maksimum sebelum putus (N)

A = Lebar spesimen (w) x tebal spesimen (h) (mm^2)

Regangan dapat dihitung dengan persamaan:

$$\varepsilon = \frac{l_i - l_o}{l_o} = \frac{\Delta l}{l_o} \quad \text{.....} \quad (9)$$

Dimana: ε = Regangan

Δl = Pertambahan (mm)

l_o = Panjang ukur sebelum pengujian (mm)

Berdasarkan kurva uji, modulus elastisitas (GPa) dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$E = \frac{F^{tu}}{\varepsilon} \quad \text{.....} \quad (10)$$