

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Pemanfaatan komposit polimer dengan penguatan serat alam selulosa saat ini menunjukkan perkembangan yang sangat pesat terutama untuk aplikasi struktural dan nonstruktural (Rowell dkk, 2000). Kekuatan serat dan matrik dapat di optimalkan antara ikatan serat-matrik serta perilaku mekanis dari komposit, maka dilakukan perlakuan kimia pada serat menggunakan larutan alkali dengan konsentrasi tertentu.

Penelitian yang dilakukan (Xu dkk, 2011) menyelidiki pengaruh silane terhadap komposit sisal/PMMA dengan variasi serat 2.5%, 5.0%, 7,5% dan 10% (berat) dan menunjukkan hasil uji kekuatan lentur tertinggi pada variasi PMMA 10% sebesar 55 MPa lebih tinggi dibanding serat tanpa perlakuan silane sebesar 51 Mpa. Sedangkan penelitian yang dilakukan Suardana (2013) menjelaskan bahwa perendaman serat sisal pada konsentrasi 5% NaOH dimana serat sisal terlebih dahulu direndam dalam air mendidih selama 30 menit dengan menggunakan resin *polyester* dan *hardner* 1% sebagai matrik. Hasil uji tarik menunjukkan dengan perendaman serat 5% NaOH mampu meningkatkan kekuatan tarik dibandingkan dengan tanpa perlakuan.

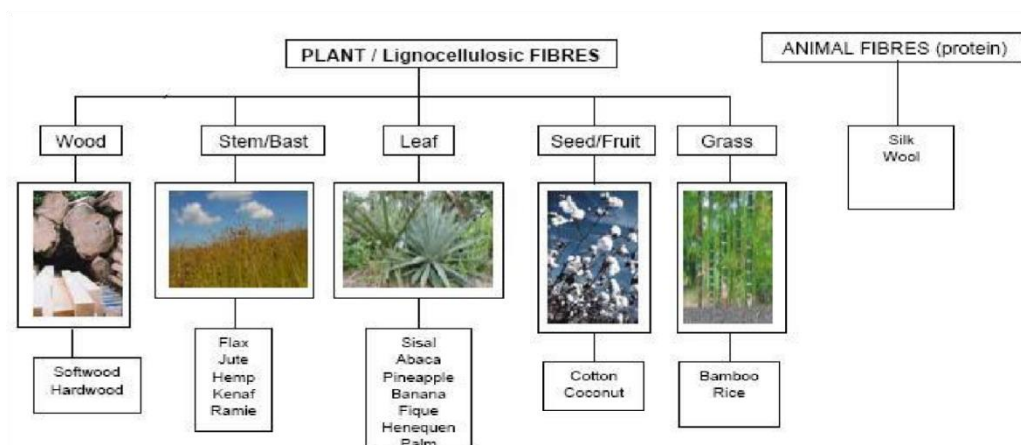
Penelitian mengenai komposit sisal bermatrik PMMA yang dilakukan oleh (Sangthong dkk, 2009) dimana serat sisal direndam pada larutan alkali selama 48 jam dengan konsentrasi NaOH 6% pada suhu 30 °C dengan variasi serat 10%, 20%, 30%, 40%, 50%. Kemudian serat dicuci dengan air mengalir, selanjutnya serat sisal dikeringkan menggunakan oven pada suhu 110 °C. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan penambahan serat 30% pada fraksi volume PMMA 0,100% memiliki kekuatan lentur paling tinggi sebesar 92 MPa.

Penelitian mengenai komposit sisal (*Agave Sisalana Perrine*) bermatrik *Unsaturated Polyester (UPR)* yang ditambahkan dengan *Methyl Keton Peroxide (MEKPO)* sebagai katalis yang dilakukan Yudhanto dkk, (2016) dimana serat sisal direndam selama 0, 2, 4, 6, dan 8 jam dalam larutan NaOH 5%. Berdasarkan hasil dari penelitian ini didapatkan bahwa, dengan perendaman alkali selama 4 jam dengan konsentrasi 5% NaOH dapat meningkatkan *wettability* antara serat dan matrik akibat *surface roughness* yang baik pada selulosa serat sehingga terjadi *interfacial bonding* yang baik antara serat dan matriks.

2.2. Dasar Teori

2.2.1 Serat Alam

Serat alam adalah suatu jenis bahan berupa potongan-potongan komponen yang membentuk jaringan memanjang yang utuh yang didapat dari tumbuh-tumbuhan seperti, serat bambu, serat pohon kelapa serta tumbuhan lain yang terdapat serat pada batang maupun daunnya. Serat dibagi menjadi dua jenis yaitu serat alami dan serat buatan atau sintetis (Chandramoha dkk, 2011). Serat alami di klasifikasikan menurut sumbernya yang ditunjukkan pada Gambar 2.1 yaitu.



Gambar 2.1 Klasifikasi serat alam (Chandramohan dkk, 2011)

1. Serat Nabati (*Vegetable Fibers*)

Serat nabati yang umumnya mempunyai selulosa yang meliputi *cotton, jute, flax, ramie, sisal, kenaf* dan *hemp*. Serat ini dapat di kategorikan sebagai berikut:

- a. Serat benih: serat yang diperoleh dari biji-bijian seperti *cotton* dan kapuk.
- b. Serat daun: serat yang diperoleh dari daun seperti sisal dan *agave*.
- c. Serat batang atau serat kulit: serat yang diperoleh dari kulit atau batang tanaman. Serat ini memiliki kekuatan tarik lebih tinggi dibanding serat lainnya. Oleh karna itu, serat ini digunakan untuk benang tahan lama, kain, kemasan, dan kertas. Beberapa contohnya adalah *jute, kenaf, hemp, ramie* rotan, serat kedelai dan serat pohon pisang.
- d. Serat buah: serat yang diperoleh dari buah pohon, seperti serat buah kelapa.
- e. Serat tangkai: serat yang sebenarnya adalah tangkai seperti jerami, padi, jelai, dan tanaman lainnya termasuk bambu dan rumput.

2. Serat hewani (*Animal Fibers*)

Serat hewan biasanya memiliki protein contohnya yaitu: sutra, wol, *angora, mohair* dan *alpaca*.

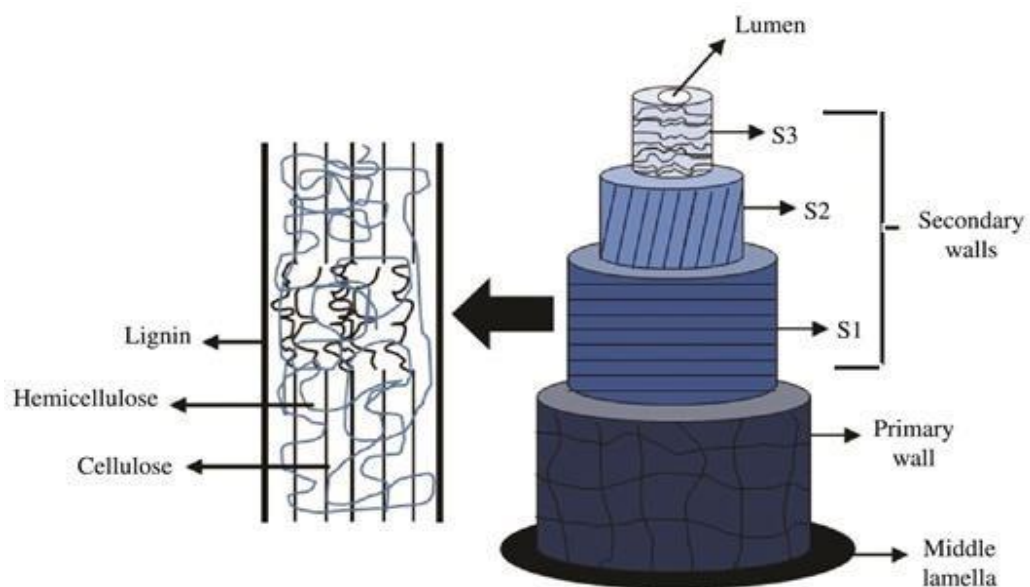
- a. Serat rambut binatang: serat yang diperoleh dari rambut binatang mamalia berbulu misalnya wol domba, rambut kambing (kasmir atau mohair), rambut kuda, dan lain-lainnya.
- b. Serat sutra: serat dikumpulkan dari air liur kering serangga atau serangga selama persiapan kepompong contohnya termasuk sutra dari ulat sutera.
- c. Serat burung/unggas: serat yang diperoleh dari bulu burung atau unggas contohnya bulu ayam bulu burung dan lain-lainnya.

3. Serat mineral (*Mineral Fiber*)

Serat mineral secara alami adalah serat yang diperoleh dari mineral dan sedikit dimodifikasi. Serat mineral dapat dikategorikan sebagai berikut :

- a. *Asbestos*: satu-satunya serat mineral alami. Variatesnya adalah *serpentine (chrysotile)* dan *amphiboles (amosite, crocidolite, tremolite, actinolite, and anthophyllite)*.
- b. Serat keramik: serat kaca (*Glass wool and Quartz*), *aluminum oxide, silicon carbide, and boron carbide*.

Serat alam memiliki struktur yang berbentuk lapisan-lapisan seperti ditunjukkan pada Gambar 2.2 yang yang terdiri dari inti sentral disebut dengan lumen yang bertanggung jawab untuk menyalurkan air dan nutrisi ke beberapa lapisan dinding sel yaitu lamella tengah, dinding primer yang tipis, dan dinding sekunder yang terdiri dari dinding sekunder (S1). Dinding sekunder tengah (S2) dan dinding sekunder internal (S3). Yang mana dinding primer disimpan selama pertumbuhan yang terdiri dari susunan fibril selulosa yang tidak teratur yang ditempatkan dalam matriks pektin, hemiselulosa, lignin dan protein. Dinding sekunder terdiri dari mikrofibril selulosa kristal yang disusun dalam bentuk spiral, dimana lapisan S2 menentukan sifat mekanik serat, mikrofibril memiliki diameter 10 sampai 30 nm dan disusun dalam daerah amorf yang berbentuk dari lignin dan hemiselulosa (Pereira dkk, 2015)



Gambar 2.2 Struktur serat alami (Pereira dkk, 2015)

2.2.2 Serat Sisal (*Agave sisalana*)

Agave adalah jenis tanaman monokotil yang berbentuk tanaman yang memiliki duri. Tanaman yang termasuk dalam keluarga agavaceae ini berasal dari Meksiko yang beriklim sedang, dan terus berkembang seiring dengan kemajuan kebutuhan untuk bahan baku tali temali dan industri lainnya hingga ke beberapa negara di daerah sub tropis maupun daerah tropis. Tanaman sisal dapat menghasilkan 200-250 daun, dimana masing-masing daun terdiri dari 1000-1200 bundel serat yang mengandung 4% serat, 0.75% kutikula, 8% material kering, dan 87.25% air (Murherjee dan Satyanaraya, 1984). Tanaman sisal terlihat pada Gambar 2.3. Adapun data sifat mekanis serat alam yang diperoleh dari Horby J dkk, (2006) terlihat pada Tabel 2.1.



Gambar 2.3 Tanaman sisal (<https://javaneseplace.wordpress.com>)

Tabel 2.1 Sifat-sifat mekanis (Horby J dkk, 2016)

Fiber	Density (g/cm ³)	Elongation (%)	Tensile Strength (MPa)	Elastic Modulus (GPa)
Cotton	1.56-1.6	7.0-8.0	400	5.5-12.6
Jute	1.3	1.5-1.8	393-773	26.5
Flax	1.5	2.7-3.2	500-1.500	27.6
Hemp	1.47	2-4	690	70
Kenaf	1.45	1.6	930	53
Ramie	-	3.6-3.8	400-9.68	61.4-128
Sisal	1.5	2.0-2.5	511-635	9.4-22
Coir	1.2	30.0	593	4.0-6.0
Softwood Kraft Pulp	1.5	4.4	1.000	40.0
E-glass	2.5	0.5	2.000-3.500	70.0
S-glass	2.5	2.8	4.570	86.0
Aramid (Std.)	1.4	3.3-3.7	3.000-3.150	63.0-67.0
Carbon	1.4	1.4-1.8	4.000	2.30-24

2.2.3 Modifikasi Serat Alam

Modifikasi permukaan serat adalah salah satu cara untuk meningkatkan kekuatan mekanik pada komposit serat alami dan dengan perlakuan khusus pada permukaan serat alami yang bertujuan untuk memperbaiki ikatan antara serat dan matrik komposit (Sosiati dkk, 2015). Beberapa metode modifikasi yang dikatakan oleh (Kabir dkk, 2011) didalam jurnalnya ialah:

2.2.4 Metode Fisik

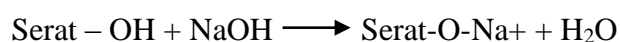
Metode ini dilakukan dengan tidak merubah komposisi struktur namun hanya memodifikasi sifat permukaannya saja. Contoh dari metode fisik antara lain ialah *calendering*, *thermotreatments*, *stre tching*, *hybrid yarn electric discharge*, *plasma treatment* dan lainnya (Kabir dkk, 2011). Metode *plasma treatment* dapat meningkatkan sifat mekanik serat dan dapat memperbaiki keksaran permukaan dan menghasikan antarmuka yang lebih baik. Selain dari itu, *plasma treatment* memperlihatkan berbagai gugus fungsional pada permukaan serat alami dan gugus fungsional ini dapat membentuk ikatan kovalen yang kuat dengan matriks yang mengarah ke antarmuka serat/matriks yang kuat (Oliviera, 2012)

2.2.5 Metode kimia

Salah satu masalah yang dimiliki oleh komposit serat alam ialah sifat hidrofilik dari serat dan sifat hidrofobik dari matrik yang berlawanan dapat menyebabkan sifat keduanya lemah. Perlakuan kimia pada serat alam dapat mengurangi hidrofilik sehingga dapat meningkatkan kompatibilitas terhadap keduanya (Kabir dkk, 2011). Beberapa perlakuan kimia ialah sebagai berikut:

a. *Alkali treatment*

Alkali treatment ialah suatu metode modifikasi perendaman serat ke dalam basa alkali. Modifikasi permukaan dilakukan untuk meningkatkan kompatibilitas antara serat alam dan matriks. Reaksi berikut menggambarkan proses yang terjadi saat perlakuan alkali pada serat :



Tujuan dari proses alkalisasi ialah untuk menghilangkan komponen penyusun serat yang kurang efektif dalam menentukan kekuatan antarmuka

yaitu *hemiselulosa*, *lignin* atau *pektin*. Dengan berkurangnya *hemiselulosa*, *lignin* atau *pektin*, *wettability* serat oleh matriks akan semakin baik, sehingga kekuatan antarmuka pun akan meningkat. Selain itu, pengurangan *hemiselulosa*, *lignin* atau *pektin* akan meningkatkan kekasaran permukaan yang menghasilkan *mechanical interlocking* yang baik.

b. *Silane treatment*

Silane treatment merupakan cara yang sering dilakukan pada serat penguat pada polimer termoset dan thermoplastik. Silane bekerja pada interface antara bagian anorganik dan bahan organik untuk mengikat atau menggabungkan dua material yang tidak sama. Ikatan antarmuka yang lemah dapat diperbaiki dengan cara menambahkan *coupling agent* atau modifikasi pada permukaan. Mekanisme silane sebagai *coupling agent* didasarkan pada silane yang memiliki dua gugus fungsional yang reaktif seperti pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Gugus fungsional silane (Sibond, 2010)

Simbol x menunjukkan gugus fungsional yang bereaksi dengan material anorganik seperti resin sedangkan simbol OR menunjukkan gugus fungsional yang bereaksi dengan material organik seperti serat (Sibond, 2010).

c. *Benzoylation Treatment*

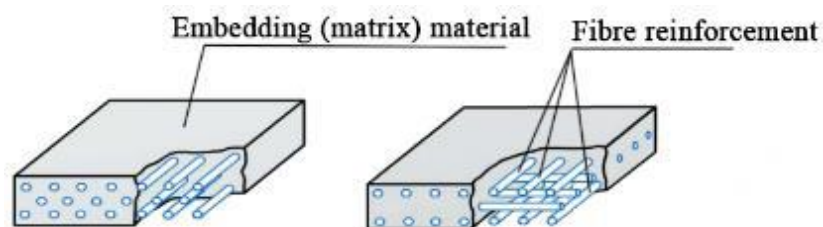
Pada prinsipnya, *benzoylation* ini membuat serat lebih reaktif dengan adanya penangkapan gugus benzoyl pada serat sehingga dapat membentuk ikatan kimia dengan gugus aktif dari matrik (Li dkk, 2007). Modifikasi kimia dengan *benzoyl chlorite* penambahan perlakuan kimia dapat meningkatkan sifat mekanik pada papan komposit.

d. *Peroxide treatment*

Sifat antarmuka serat dan matriks dapat ditingkatkan dengan *peroxide treatment*. *Peroxide treatment* juga menurunkan kecenderungan penyerapan kelembaban pada serat dan meningkatkan stabilitas termal pada serat (Wang dkk, 2007). *Peroxide treatment* menyebabkan peningkatan sifat mekanik pada komposit. Mekanismenya melibatkan awalan *alkali treatment* kemudian pelapisan dengan *benzoyl peroxide* atau *dicumly peroxide* konsentrasi sekitar 6% pada larutan *aseton* selama 30 menit (Sapieha dkk, 1990).

2.2.6 Material komposit

Kata komposit berasal dari kata kerja dan kata sifat, yaitu “*to compose*” yang berarti menyusun atau menggabungkan dan “*composite*” yang berarti susunan atau gabungan. Jadi, pengertian komposit adalah gabungan dari dua atau lebih bahan matriks dan bahan penguat yang memiliki karakteristik yang berbeda dengan bahan-bahan pembentuknya dan secara makroskopis dicampur dengan tetap memiliki batas fasa yang jelas dan teridentifikasi (Chawla, 1987). Komposit pada umumnya terdiri dari dua fasa seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.5.



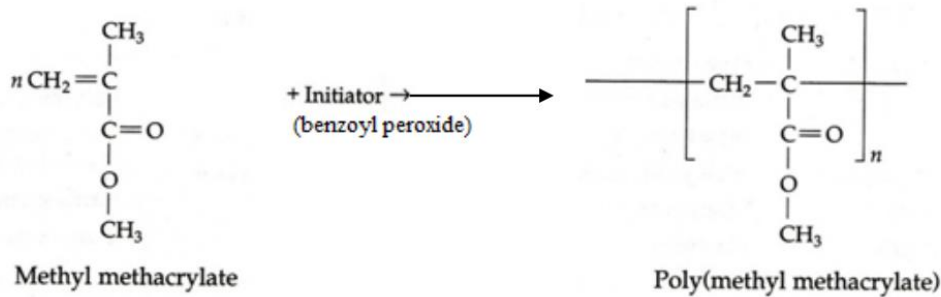
Gambar 2.5 Fasa penyusun komposit (Tamas, 2016)

2.2.3 Klasifikasi bahan matrik pada komposit

2.3.1 Resin akrilik

Resin akrilik atau biasa disebut akrilik berasal dari bahas latin yaitu *acroalin* yang berarti bau yang tajam. Akrilik atau merupakan suatu senyawa yang berasal dari asam *acloarin* atau *gliserin aldehida* yang secara kimia dikenal sebagai *polymethyl metakrilat*. *Polymethyl metakrilat* ini adalah senyawa yang dapat di sintesis dari bahan-bahan berikut: minyak bumi, gas bumi atau arang batu. Akrilik atau resin akrilik yang dipakai dalam bidang medis ini terdiri komposisi berupa

cairan (monomer) *monometil metakrilat* dan dalam bentuk bubuk (polimer) *polymethyl metacrilat* yang strukturnya terlihat pada gambar 2.6 di bawah ini (Wahyuni, 2013).



Gambar 2.6 Struktur kimia metil metakrilat dan poli (metil metakrilat)

2.3.2 Epoxy

Matriks berfungsi sebagai pengikat bahan penguat agar dapat meneruskan gaya dari satu serat ke serat lainnya. Resin ini mempunyai kegunaan yang luas dalam industri teknik kimia, listrik, mekanik dan sipil sebagai perekat, cat pelapis, pencetakan coran benda-benda cetakan. Resin epoksi bereaksi dengan pengeras sehingga menjadi unggul dalam kekuatan mekanik dan ketahanan kimia (Surdia dan Saito, 1999). Resin epoksi juga masuk dalam kategori *polimer termoset* karena sukar larut dalam pelarut dan tak dilelehkan oleh panas. Spesifik untuk sifat mekanik seperti pada Tabel 2.7 (Hadi, 2000).

Tabel 2.2 Spesifik sifat mekanis *epoxy*

Item	Satuan	Nilai Tipikal
Berat Jenis	Gr/cm ³	1.11
Kekuatan Fleksural	GPa	150
Modulus Fleksural	GPa	3.1

2.3.3 Polyester

Pembuatan komposit, matrik berfungsi sebagai pengikat bahan penguat dan juga sebagai pelindung partikel dari kerusakan oleh faktor lingkungan. Beberapa bahan matrik dapat memberikan sifat-sifat yang diperlukan sebagai ketangguhan. Menurut Surdia dan Saito (1999) matrik *polyester* ini memiliki sifat-sifat sebagai berikut:

1. Suhu deformasi termal lebih rendah dibandingkan resin termoset lainnya karena, *polyester* banyak mengandung monomer *stiren*.
2. Memiliki ketahanan panas 110-140°C.
3. Relatif tahan terhadap asam kecuali asam pengoksid, tetapi lemah terhadap alkali.
4. Mudah mengembang dalam pelarut yang melarutkan polimer *stiren*
5. Ketahanan terhadap cuaca sangat baik, khususnya terhadap kelembaban dan sinar UV.

2.4 Karakteristik material komposit

Salah satu faktor yang sangat penting dalam menentukan karakteristik material komposit adalah perbandingan antara matriks dengan serat. Sebelum melakukan proses pencetakan komposit dilakukan perhitungan perbandingan antara serat dan matrik. Dalam menentukan perbandingan antara komponen matriks dengan serat (pengisi) material komposit ini dapat dicari dengan menggunakan persamaan sebagai berikut (Chawla, 1987):

1. Massa komposit

Massa komposit dapat dicari dengan persamaan berikut:

$$m_c = m_f + m_m \dots \dots \dots (2.1)$$

Dimana :

m_c = massa komposit (g)

m_f = massa serat (g)

m_m = massa matrik (g)

2. Massa jenis komposit

Massa jenis komposit dapat dicari dengan persamaan sebagai berikut

$$\rho_c = \frac{m_c}{V_c} \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana :

ρ_c = massa jenis komposit (gr/cm³)

m_c = massa komposit (gr)

V_c = volume komposit (cm³)

3. Fraksi massa serat

$$W_f = \frac{m_f}{m_c} \times 100\% \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana :

w_f = fraksi massa serat (%)

m_f = berat serat (gr)

4. Fraksi volume serat

$$V_f = \frac{m_f/\rho_f}{(m_f/\rho_f)+(m_m/\rho_m)} \times 100\% \dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana :

V_f = fraksi volume serat (%)

ρ_f = massa jenis serat (gr/cm³)

m_m = massa matrik (gr)

m_f = massa serat (gr)

ρ_m = massa jenis matrik (gr/cm³)

5. Persamaan *Rule Of Mixtures*

$$\sigma_c = \sigma_f \cdot V_f + \sigma_m \cdot V_m \dots\dots\dots(2.5)$$

$$\epsilon_c = \epsilon_f \cdot V_f + \epsilon_m \cdot V_m \dots\dots\dots(2.6)$$

$$E_o = E_f \cdot V_f + E_m \cdot V_m \dots\dots\dots(2.7)$$

Dimana :

σ_c = kekuatan komposit (MPa)

ε_c = regangan komposit (mm/mm)

E_c = modulus elastisitas komposit (GPa)

V_m = fraksi volume matrik (%)

Hubungan antara fraksi volume dengan persamaan *Rule Of Mixtures* $\sigma_f > \sigma_m$ dengan bertambahnya V_f maka akan menaikkan harga σ_c . Jika sebaliknya $\sigma_f < \sigma_m$ dengan bertambahnya V_f maka akan menurun harga σ_c . Berlaku juga untuk regangan komposit dan modulus elastisitas komposit.

2.5 Pengujian *bending*

Pengujian lengkung (*bending*) merupakan salah satu pengujian sifat mekanik bahan, baik yang akan digunakan sebagai konstruksi atau komponen yang akan menerima pembebanan lengkung maupun proses pelengkungan dalam pembentukan. Pelengkungan (*bending*) merupakan proses pembebanan terhadap suatu bahan pada suatu titik ditengah-tengah dari bahan yang ditahan diatas dua tumpuan seperti terlihat pada Gambar 2.7, metode pengujian bending komposit dapat dilihat pada Persamaan 2.8, 2.9, 2.10.

Pengujian bending komposit yang mengacu pada standar (ASTM D 790) yang bertujuan untuk mengetahui aspek-aspek kemampuan bahan uji dalam menerima pembebanan lengkung yakni :

1. Kekuatan atau tegangan lengkung (σ)
2. Lentur atau defleksi (δ) sudut yang terbentuk oleh lenturan atau sudut defleksi.
3. Elastisitas (E) (Prayoga, 2012)

Pada perlakuan uji bending bagian atas spesimen mengalami proses penekanan dan bagian bawah mengalami proses tarik sehingga akibatnya spesimen mengalami retak karena tidak mampu menahan tegangan tarik.

Setelah dilakukan pengujian bending, untuk mendapatkan angka kekuatan bending digunakan persamaan berikut :

$$\sigma_b = \frac{3PL}{2bd^2} \dots\dots\dots(2.8)$$

$$\sigma_b = \left(\frac{3PL}{2bd^2}\right) \left[1 + 6\left(\frac{D}{L}\right)^2 - 4\left(\frac{d}{L}\right)\left(\frac{D}{L}\right)\right] \dots\dots\dots(2.9)$$

Dimana : σ_b = tegangan bending (MPa)

P = gaya pembebanan (N)

L = jarak antara tumpuan (mm)

b = lebar spesimen (mm)

d = tebal spesimen (mm)

D = defleksi maksimum (mm)

Keterangan :

Pada persamaan 2.8 digunakan jika perbandingan $L/d \leq 16$, dimana L adalah *support span* dan d adalah tebal spesimen. Pada persamaan 2.9 digunakan jika nilai perbandingan $L/d > 16$.

Untuk mendapatkan nilai regangan bending digunakan persamaan berikut :

$$\varepsilon_b = \frac{6Dd}{L^2} \dots\dots\dots(2.10)$$

Dimana : ε_b = regangan (mm/mm)

D = defleksi maksimum (mm)

L = panjang span (mm)

d = tebal (mm)

Untuk mendapat nilai modulus elastisitas bending digunakan persamaan berikut :

$$E_b = L^3m/4bd^3 \dots\dots\dots(2.11)$$

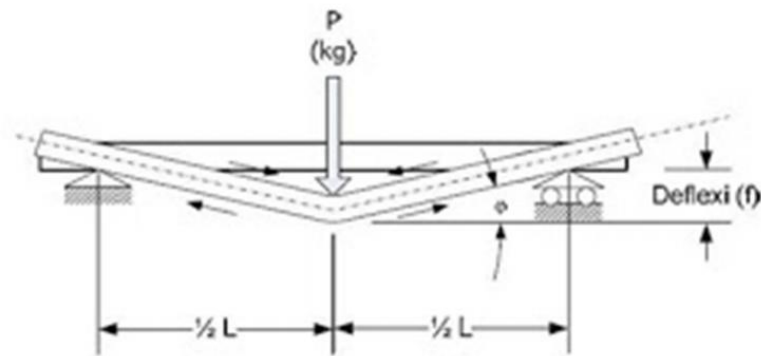
Dimana : E_b = Modulus elastisitas bending (kg/mm²)

L = Panjang spesimen (mm)

b = Lebar spesimen (mm)

d = Tebal spesimen (mm)

m = *slope* tangen pada kurva beban defleksi (N/mm)



Gambar 2.7 Penampang pembebanan lengkung terhadap bahan uji