

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Untuk memperoleh manfaat dari masing-masing serat alam dan serat sintetis, keduanya dapat dikombinasikan ke dalam matriks yang sama untuk menghasilkan komposit hibrida yang bersifat lebih unggul dan mempunyai kualitas lebih baik. Pengkombinasian antara serat alam dan serat sintetis ke dalam polimer dapat diketahui mampu menyebabkan perubahan substansial sifat mekanis komposit. Komposit hibrida mempunyai keunggulan dalam fabrikasi produk dengan pengurangan biaya, modulus spesifik yang tinggi, kekuatan, ketahanan korosi, serta dalam banyak kasus mempunyai stabilitas termal yang baik (Haneefa dkk, 2008).

Penelitian mengenai komposit hibrida serat karbon dan sisal pernah dilakukan oleh Noorunnisa, dkk (2010) tentang kekuatan mekanis tarik dan bending komposit. Metode fabrikasi yang digunakan yaitu *hand lay-up* serta berdasarkan standar ASTM D638 dan D618. Fabrikasi komposit menggunakan matriks *unsaturated polyester resin* dengan variasi berat *filler* serat sisal dan serat karbon 0-100 % berat. Dari hasil pengujian diketahui bahwa semakin besar perbandingan serat karbon, maka kekuatan mekanis semakin tinggi. Kekuatan mekanis paling tinggi diperoleh pada variasi serat karbon 100% berat dimana nilai uji tarik dan bending adalah 122,11 MPa dan 176,53 MPa.

Beban yang diterima oleh komposit akan didistribusikan dan ditransfer melalui celah antarmuka *filler* dan matriks. Ikatan antar *filler* serat mampu meningkatkan kekuatan mekanik komposit. Namun, serat karbon biasanya mempunyai ikatan yang lemah terhadap matriks polimer karena sifatnya yang halus dan lembab terhadap cairan kimia (Park dan Kim, 2000). Zhang, dkk (2004) melakukan penelitian tentang perbandingan perlakuan permukaan serat karbon pada epoxy komposit. Perbandingan perlakuan yang dilakukan yaitu serat karbon perlakuan *furnace* dengan suhu 450°C, 500°C, 550°C, dan 600°C selama satu jam dibandingkan dengan perlakuan nitrogen cair selama 1 menit, 5 menit, 10 menit, dan 20 menit. Didapatkan hasil bending komposit dengan serat karbon variasi

perlakuan *furnace* paling tinggi pada 600°C yaitu 109,7 Mpa, akan tetapi masih lebih rendah jika dibandingkan dengan tegangan bending komposit serat karbon perlakuan nitrogen cair 10 menit yaitu 112,2 Mpa. Dengan demikian perlakuan serat karbon dengan nitrogen cair mampu meningkatkan ikatan antarmuka serat karbon lebih baik dibandingkan dengan perlakuan *furnace* yang ditandai dengan nilai tegangan bending lebih tinggi.

Kemudian serat alam seperti serat sisal mempunyai sifat hidrofilik yang tidak kompatibel dengan matriks polimer termoplastik yang bersifat hidrofobik. Hal tersebut dapat menurunkan kekuatan mekanis dari komposit hibrida, sehingga perlu dilakukannya perlakuan alkali terhadap serat alam (Akil dkk, 2011). Perlakuan alkali selama 1 jam dengan larutan NaOH 6% merupakan konsentrasi paling optimal (Sosiati dkk, 2015).

Penelitian tentang perlakuan alkali serat alam sebelumnya pernah dilakukan oleh Yudhanto dkk (2016). Penelitian tersebut membahas tentang sifat mekanis dan kemampuan matriks membasahi serat (*wettability*) serat sisal akibat perendaman alkali (NaOH) konsentrasi 5% dengan variasi waktu 0, 2, 4, 6, dan 8 jam. Hasilnya menunjukkan bahwa perlakuan perendaman alkali selama 4 jam meningkatkan *wettability* antar serat dan matriks akibat *surface roughness* yang baik pada selulosa serat sehingga terjadi *interfacial bonding* yang baik. Kekuatan tarik dan modulus elastisitas tertinggi pada serat perlakuan alkali selama 4 jam.

Poly (vinyl-chloride) (PVC) merupakan salah satu material termoplastik polimer padat yang sering digunakan karena sifatnya yang murah, fleksibel, dan tidak mudah terbakar (Kollar dan Zsoldos, 2012). Tegangan tarik PVC mampu mencapai 60 MPa, modulus elastisitasnya antara 2-7 GPa dengan densitas 1380-1410 kg/m³ (Willoughby dkk, 2002 ; Wirawan dkk, 2009). Akan tetapi ketika mengalami dekomposisi penguraian PVC dapat menghasilkan zat berbahaya yang dapat merusak atmosfer. Menggabungkan PVC dengan serat alam menjadi komposit merupakan sebuah langkah terbaru menuju keramahan ekologi lingkungan (Ayora dkk, 1997).

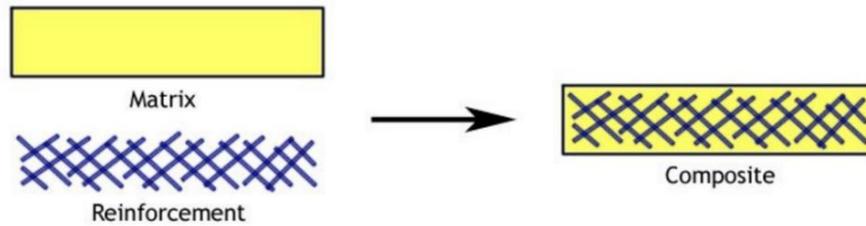
Djidjeli dkk, (2007) melakukan penelitian tentang kekuatan mekanis dan daya serap air komposit dengan matriks PVC berupa serbuk dengan *filler* serat alam sisal. Hasilnya komposit dengan serat sisal tanpa perlakuan mempengaruhi sifat mekanis dari komposit, hal tersebut karena sifat hidrofilik serat yang tidak cocok dengan PVC. Kemudian dilakukan variasi dengan sisal perlakuan alkali dengan *maleic anhydride* (MA), didapatkan alkalisasi berpengaruh terhadap penurunan jumlah serapan air, sifat tarik lebih baik, serta kekerasan lebih baik.

Penelitian selanjutnya tentang komposit dengan matriks PVC pernah dilakukan oleh Zheng dkk, (2007). Zheng membahas tentang kekuatan mekanis komposit PVC/ampas tebu dengan variasi perlakuan alkali serat ampas tebu. Proses fabrikasi dilakukan dengan menggunakan *compression molding*. Dari hasil penelitian didapat nilai kekuatan tarik komposit PVC/ampas tebu alkali sebesar 52 MPa yang lebih tinggi dari komposit PVC/ampas tebu mentah yaitu 38 MPa dan ketangguhan impak dari komposit PVC/ampas tebu alkali 9,2 kJ/m² lebih besar dibandingkan dengan komposit PVC/ampas tebu mentah sebesar 7,5 kJ/m².

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Komposit

Istilah komposit seringkali dikaitkan dengan material yang dibuat dengan mengkombinasikan fasa matriks dengan campuran filamen yang berfungsi sebagai fasa penguat. Komposit dikembangkan dari gagasan sederhana dan praktis yaitu dimana dua atau lebih material homogen yang mempunyai sifat berbeda digabungkan (Bishop dan Smallman, 2000). Perbedaan sifat antara matriks dan penguat (*filler*) mempunyai fungsi masing-masing, diantaranya matriks berfungsi untuk material utama penyusun, sedangkan *filler* berfungsi untuk merekatkan antar matriks dan meneruskan beban material ketika komposit memperoleh beban (Ony, 2017).

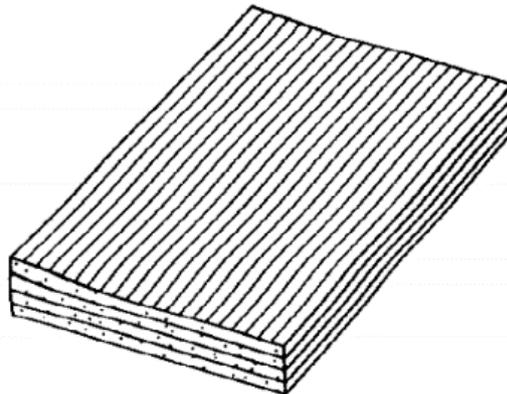


Gambar 2. 1 Susunan komposit (Ony, 2017)

Menurut Schwartz (1984) dalam buku *composite material handbook* berdasarkan material penguatnya, komposit dapat digolongkan kedalam lima jenis komposit berbeda yaitu :

1. Komposit serat (*fibrous composite*)

Komposit serat terdiri dari serat sebagai bahan penguat dan matriks sebagai bahan pengikat, pengisi volume, dan pelindung serat-serat untuk mendistribusikan gaya atau beban antar serat. Pada umumnya penguat yang berbentuk serat mempunyai kekuatan dan kekakuan yang lebih baik dibandingkan dengan matriksnya. Komposisi dan ukuran serat akan mempengaruhi sifat komposit yang akan dihasilkan.



Gambar 2. 2 Komposit serat (Ronald F. Gibson 1994)

2. Komposit serpih (*flake composite*)

Komposit serpih adalah komposit dengan metode fabrikasi berupa penambahan material dengan bentuk serpihan kedalam matriksnya.

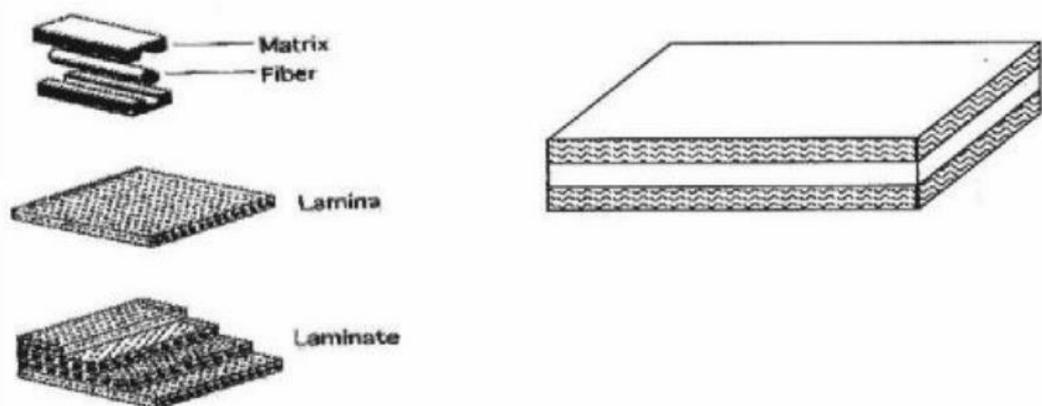
Serpihan yang digunakan dapat berupa serpihan mika, glass, maupun serpihan metal baja.

3. Komposit skeltal (*filled composite*)

Komposit skeltal adalah komposit yang didalamnya mengandung partikel yang hanya digunakan untuk memperbesar volume material dan bukan untuk kepentingan sebagai bahan penguat. Pada komposit skeltal biasanya diberi tambahan material atau filler kedalam matriksnya dengan struktur bentuk tiga dimensi.

4. Komposit laminat (*laminated composite*)

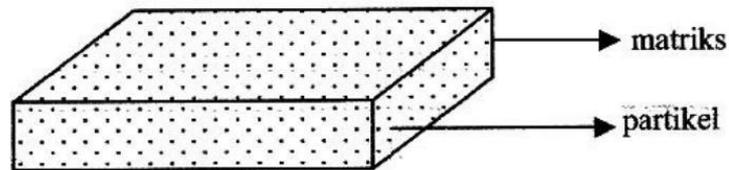
Komposit laminat adalah jenis komposit yang tersusun dari dua atau lebih material penguat yang digabung menjadi satu, dengan setiap lapisannya mempunyai sifat berbeda. Laminat dibuat agar elemen struktur mampu menahan beban *multiactial*, sesuatu yang tidak dapat dicapai dengan lapisan tunggal.



Gambar 2. 3 Komposit lamina (Ronald F. Gibson, 1994)

5. Komposit partikel (*particulate composite*)

Komposit partikel adalah komposit yang menggunakan partikel serbuk sebagai penguatnya dan terdistribusi secara merata dalam matriksnya. Komposit ini biasanya mempunyai bahan penguat yang dimensinya kurang lebih sama, seperti bulat, balok, serta bentuk bentuk lainnya yang memiliki sumbu hampir sama.



Gambar 2. 4 Komposit partikel (Ronald F. Gibson, 1994)

2.2.2 Polivinil klorida (PolyVinyl-Chloride)

Polivinil klorida (PVC) merupakan plastik yang dominan digunakan dalam industri bangunan dan konstruksi serta mampu menggantikan berbagai material tradisional seperti baja, besi cor, dan tembaga (Bishop dan Smallman, 2000). PVC termasuk dalam kategori termoplastik serbaguna, hal tersebut karena kekuatan mekanik, sifat kimia, dan pelapukan yang baik (Aznizam dan Azman, 2003).

Tabel 2. 1 sifat mekanik PVC (Smith, 2017)

Sifat	Nilai
Massa Jenis	1,45 g/cc
Daya Serap Air	0,06 %
Kekerasan <i>Rockwell</i>	115 skala R
Kuat Tarik	55 MPa
Modulus Tarik	2833 MPa
Kuat Bending	90 MPa
Modulus Bending	3316 MPa
Impak Izod	1,0 ft-lb/in
Temperatur defleksi	102 C
Resistensi Kimia	Class B

PVC bersifat responsive terhadap aditif fungsional yang memungkinkan untuk pembuatan produk kaku dan fleksibel, berguna dalam aplikasi keteknikan (Nass , 1985; Willoughby , 2002; Wirawan dkk., 2009).

2.2.3 Serat Sisal

Serat alam merupakan alternatif *filler* komposit untuk berbagai komposit polimer karena beberapa keunggulan sifatnya dibandingkan serat sintetis, antara lain yaitu harganya murah, densitas rendah, dan ramah terhadap lingkungan (Mallick, 2007). Akhir-akhir ini, pemanfaatan serat alam sebagai *filler* komposit telah diaplikasikan secara komersial di berbagai bidang industri seperti bidang otomotif dan olahraga. Di antara berbagai jenis serat alam, sisal merupakan salah satu tanaman yang paling banyak dimanfaatkan. Serat yang dihasilkan dari daun sisal tersebut sering digunakan sebagai tali, benang, karpet, dan kerajinan hal tersebut dikarenakan kekuatannya yang baik, tahan lama, dan afinitas terhadap zat warna baik (Kusumastuti, 2009).



Gambar 2. 5 Pohon sisal (sumber : <http://www.palmaris.org>)

Produksi sisal di seluruh dunia mencapai 4.5 juta ton setiap tahunnya. Tanzania dan Brazil merupakan negara penghasil sisal terbesar (Chand *et al* 1988). Tanaman sisal dapat menghasilkan 200- 250 daun, yang dimana masing-masing daun terdiri 1000-1200 bundel serat yang mengandung sejumlah 4% serat, 0.75% kutikula, 8% material kering, dan 87.25% air (Murherjee dan Satyanarayana, 1984).



Gambar 2. 6 Serat sisal (Kusumastuti, 2009)

Komposisi kimia dari serat sisal telah dikaji oleh beberapa peneliti, diantaranya Ansell (1991) dalam Kusumastuti (2009) menemukan bahwa serat sisal mengandung 78% selulosa, 8% lignin, 10% hemi-celluloses, 2% wax dan 1% ash. Kemudian Rowell (1992) dalam Kusumastuti (2009) menyatakan bahwa sisal mengandung 43-56% selulosa, 7-9% lignin, 21-24% pentosan dan 0.6-1.1% ash. Menurut Joseph, dkk (1996) dalam Kusumastuti (2009), sisal mengandung 85-88% selulosa. Bervariasinya komposisi kimia dari serat sisal disebabkan oleh perbedaan tempat asal dan umur serat metode pengukuran. Kemudian Chand dan Hashmi (1993) menunjukkan bahwa selulosa dan lignin yang terdapat pada sisal bervariasi dari 49.62-60.95 dan 3.75-4.40%, tergantung pada usia tanaman.

Tabel 2. 2 Sifat serat sisal (Joseph dkk, 1996)

Densitas (kg/m ³)	Moisture content (%)	Kekutan Tarik (MPa)	Modulus (GPa)	Maximum Strain (%)	Diameter (μm)
1450	11	604	9.4-15.8	-	50-200
1450	-	530-640	9.4-22	3-7	50-300
-	-	347	14	5	-
1030	-	500-600	16-21	3.6-5.1	-
1410	-	400-700	9-20	5-14	-100-300
1400	-	450-700	7-13	4-9	-
-	-	530-630	17-22	3.64-5.12	100-300
1450	-	450-700	7-13	4-9	-

2.2.4 Serat Karbon

Serat karbon merupakan jenis serat terkuat saat ini yang sering digunakan sebagai material konstruksi. Polimer yang diperkuat dengan serat karbon banyak digunakan untuk aplikasi alat olahraga, mobil balap, pesawat terbang, serta komponen luar angkasa. Laminasi serat karbon kontinu (grafit) juga telah dipakai secara luas (Severenia, 2002). Seringkali serat karbon dilakukan kombinasi dengan serat jenis lain untuk membentuk komposit hibrida (seperti serat karbon dan sisal, serat karbon dan kevlar). Serat karbon berdiameter 5-10 μm dapat diperoleh dalam bentuk tali dengan 1000, 3000, 6000, atau 12000 filamen dan sebagai *pre-preg* dengan resin (Bishop dan Smallman, 2000).

Dengan berdasarkan degradasi terkendali atau pirolisis serat, proses pembuatan serat karbon dilakukan dalam beberapa tahap. Peregangan panas merupakan

inti dari pemrosesan, dengan demikian kecenderungan penyusutan serat dapat dicegah dan dihasilkan orientasi molekular dengan tingkat tinggi. Dengan peregangan panas terjadi peningkatan temperatur hal tersebut memicu grafitasi dan memperbaiki modulus elastisitas tetapi enurunkan regangan perpatahan (Bishop dan Smallman, 2000). Akhirnya dilakukan perlakuan permukaan untuk lebih meningkatkan kemampuan pembentukan ikatan dengan matriks dan ukuran untuk memudahkan penggunaan (Zhang dkk, 2004).

Setiap serat karbon yang dihasilkan sangat murni, dan pada dasarnya terdiri dari beberapa bentuk anyaman pita grafit turboplastik dan sedikit karbon amorf. Orientasi pita mendekati sumbu serat dan modulus aksial meningkat jika struktur mendekati bentuk dan struktur grafit sempurna. Struktur serat bersifat sangat anisotropik, modulus elastisitas sepanjang serat dan tegak lurus serat adalah 200-800 GN.m⁻² dan 10-20 GN.m⁻² (Bishop dan Smallman, 2000).

2.2.5 Alkalisasi

Perbedaan sifat pada serat alam (*hydrophilic*) dan matriks (*hydrophobic*) menyebabkan ikatan antar serat dan matriks menjadi lemah dan dapat menurunkan sifat mekanis komposit, sehingga perlu dilakukan proses alkalisasi (Akil dkk, 2011). Alkalisasi pada serat alam dilakukan dengan tujuan untuk melarutkan kotoran alam dan kandungan lignin yang terdapat pada lapisan luar serat. Larutan yang sering digunakan dalam proses alkalisasi yaitu NaOH (Natrium Hidroksida), KOH (Kalium Hidroksida) dan LiOH (Lithium Hidroksida). Serat yang telah diberi perlakuan alkali akan memiliki tingkat penyerapan yang tinggi jika proses alkalisasi terlalu lama dan konsentrasi yang tinggi, dikarenakan lignin yang masih menempel pada selulosa telah larut. Lignin yang ada memiliki sifat hidrofobik yang kurang bersifat kompatibel dengan matriks, sehingga dengan proses alkalisasi yang tepat dapat memperbaiki kompatibilitas serat dengan matriksnya (John & Anandjiwala, 2008).

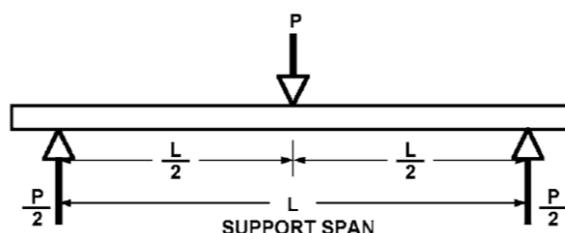
Perlakuan alkali dengan menggunakan larutan kimia tidak hanya dilakukan pada serat alam saja, melainkan juga dilakukan pada serat sintetis. Seperti halnya pada serat karbon, untuk mendapatkan sifat gabungan yang baik dilakukan perlakuan

permukaan untuk lebih meningkatkan kemampuan pembentukan ikatan dengan matriks dan ukuran untuk memudahkan penggunaan (Zhang dkk, 2004). Perlakuan permukaan pada serat karbon dapat menggunakan nitrogen cair (N_2) yang direndam dengan lama waktu yang diperlukan. Proses perlakuan serat karbon dengan nitrogen cair dalam waktu yang optimal mampu menghilangkan sifat amorf (*amorphous*) sehingga meningkatkan ikatan antar serat dan ikatan dengan matriks. Sifat amorf pada sisi serat karbon adalah ikatan pada struktur molekulnya, dimana amorf ikatan antar molekulnya tidak teratur sedangkan semi-kristal adalah kombinasi antara rangkaian yang teratur. Pada bagian amorf mempunyai daya serap yang lebih besar dan kekuatan yang rendah jika dibandingkan dengan sifat kristalin serat. Pada bagian kristalin letak dan jarak antara molekul-molekul tersusun sangat teratur dan sejajar, sedangkan bagian amorf letak dan jarak antara molekul tidak teratur. Pada jarak yang besar inilah yang dapat berpengaruh terhadap ikatan antar serat dan matriks (Zhang dkk, 2004).

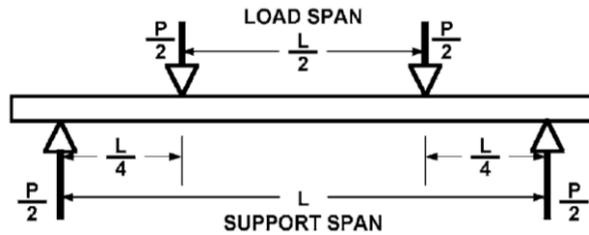
2.2.6 Pengujian bending

Uji bending merupakan salah satu bentuk pengujian untuk mengetahui sifat mekanis tegangan bending, regangan bending, dan modulus elastisitas bending suatu material. Proses pengujian dilakukan dengan cara meletakkan spesimen uji pada span dan dibawah penekan alat uji, kemudian spesimen akan mendapatkan tekanan bending hingga terjadi patahan (Wona dkk, 2015).

Standar untuk pengujian bending dibedakan berdasarkan jenis material, seperti material komposit polimer yang khusus menggunakan standar ASTM D790. Ada dua macam bentuk penekanan bending yang dilakukan, yaitu dengan tiga titik bending (ASTM D790) dan empat titik penekanan (ASTM D6272).



Gambar 2. 11 Tiga titik bending (ASTM D790)



Gambar 2. 12 Empat titik bending (ASTM D6272)

Untuk menentukan tegangan bending yang berdasarkan ASTM D790 dilakukan dengan menggunakan persamaan 2.1 sebagai berikut :

$$\sigma_f = \frac{3 P L}{2 b d^2} \dots\dots\dots [2.1]$$

Keterangan :

- σ_f = tegangan bending (Mpa)
- P = beban (N)
- L = *support span* (mm)
- b = lebar (mm)
- d = tebal (mm)

Akan tetapi jika rasio perbandingan *support span* dan tebal spesimen lebih dai 16 maka menggunakan persamaan 2.2 sebagai berikut :

$$\sigma_f = \left(\frac{3 P L}{2 b d^2} \right) \left[1 + 6 \left(\frac{D}{L} \right)^2 - 4 \left(\frac{d}{L} \right) \left(\frac{D}{L} \right) \right] \dots\dots\dots [2.2]$$

Keterangan :

- D = defleksi (mm)

Sedangkan untuk menentukan modulus elastisitas bending digunakan persamaan 2.3 sebagai berikut :

$$E_B = \frac{L^3 m}{4 b d^3} \dots\dots\dots [2.3]$$

Keterangan :

E_B = modulus elastisitas (GPa)

m = slope (N/mm)

Kemudian regangan bending maksimal terjadi dimana perubahan nilai perpanjangan elemen permukaan luar spesimen uji di bagian tengah. Untuk menentukan besarnya nilai regangan bending dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan 2.4 berikut :

$$\epsilon_f = \frac{6Dd}{L^2} \dots\dots\dots [2.4]$$

Keterangan :

ϵ_f = regangan bending (mm/mm)

2.2.7 Pengujian daya serap air

Pada saat fabrikasi spesimen, kemungkinan terjadinya udara yang terjebak dalam lapisan atau terjadi karena dekomposisi mineral yang membentuk akibat perubahan cuaca, maka terbentuklah lubang atau rongga kecil didalam sempel komposit (pori). Pori dalam spesimen bervariasi dan menyebar diseluruh spesimen yang sudah di potong sesuai ukuran. Pori-pori mungkin menjadi tampungan air bebas didalam spesimen.

Presentase berat air yang mampu diserap spesimen dan serat didalam air disebut daya serap air, sedangkan banyaknya air yang terkandung dalam spesimen dan serat disebut kadar air. Pengujian daya serap air dilakukan terhadap semua variasi spesimen yang ada, data didapatkan dari hasil penimbangan berat spesimen kering dan basah. Lama perendaman dalam air dilakan secara bertahap 6 jam, 12 jam, 18 jam, dan 24 jam dalam suhu kamar. Massa awal sebelum direndam diukur dan juga massa sesudah perendaman.

Pengujian daya serap air mengacu pada ASTM D570 tentang prosedur pengujian, dimana bertujuan untuk menentukan besarnya persentase air yang masuk atau terserap oleh spesimen yang direndam dengan variasi perendaman.

Berikut adalah persamaan 2.5 untuk menghitung pertambahan berat dalam uji daya serap air.

$$WA = \frac{B2-B1}{B2} \times 100 \dots\dots\dots[2.5]$$

Keterangan :

WA = daya serap air (%)

B1 = berat sebelum perendaman (gram)

B2 = berat setelah perendaman (gram)

Kemudian berikut persamaan 2.6 untuk menghitung *thickness swelling*.

$$Ts = \frac{T2-T1}{T2} \times 100 \dots\dots\dots[2.6]$$

Keterangan :

Ts = *thickness swelling* (%)

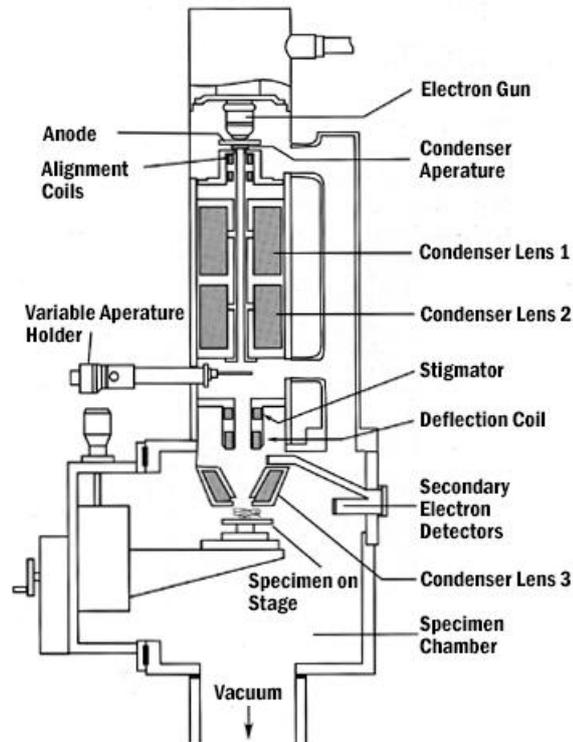
T1 = tebal sebelum perendaman (mm)

T2 = tebal setelah perendaman (mm)

2.2.8 Instrumen analitik

1. *Scanning Electron Microscopy* (SEM)

SEM merupakan mikroskop elektron yang digunakan untuk mengamati morfologi permukaan suatu material dengan memanfaatkan berkas elektron. Instrumen SEM mampu menghasilkan gambar dari suatu objek dengan perbesaran sampai skala 0,1 nm (Permanasari dkk, 2010). SEM dapat melakukan perbesaran 10 sampai 3.000.000 kali, *depth of field* 4 – 0.4 mm, dan resolusi sebesar 1 – 10 nm. Kombinasi dari perbesaran yang tinggi, *depth of field* yang besar, resolusi yang baik sehingga membuat SEM banyak digunakan untuk penelitian (Radetic, 2011).



Gambar 2. 13 Komponen pada SEM (Radetic, 2011)

2. Mikroskop optik

Proses karakterisasi serat dan komposit menggunakan alat bantu tambahan dikarenakan objek yang diamati berukuran mikro (μm) yang tidak bias dilihat dengan mata telanjang. Mikroskop merupakan salah satu alat bantu yang biasa digunakan untuk mengamati objek berukuran sangat kecil dengan cara memperbesar bayangan objek hingga berkali – kali lipat, bayangan objek yang diamati dapat diperbesar 40 kali, 100 kali, 400 kali, bahkan 1000 kali. Perbesaran yang mampu dijangkau semakin meningkat seiring dengan perkembangan teknologi.



Gambar 2. 14 Mikroskop optik digital usb