

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Penelitian yang telah dilaporkan oleh Xu dkk, (2009) yaitu tentang karakteristik sifat mekanik komposit serat sisal pendek dengan matriks PMMA sebagai aplikasi gigi. Spesimen komposit akan diuji menggunakan UTM (*Universal Testing Machine*) dengan standar ASTM 790-109 dengan panjang bentang 48 mm dan kecepatan 1,28 mm/mnt, dimana terdapat sembilan variasi uji yang masing-masing variasi berjumlah 5 spesimen yaitu resin tanpa penguat serat sisal, resin berpenguat serat sisal tanpa perlakuan dan dengan perlakuan sisal dengan konsentrasi serat 2,5, 5,0, 7,5 dan 10,0 wt%. Serat sisal diberi perlakuan dengan merendam serat ke dalam larutan *aminopropyltriethoxysilane* dengan perbandingan massa 5% selama 24 jam, panjang serat sisal mentah tanpa perlakuan dan perlakuan yaitu 2 mm. Rasio resin PMMA dan katalis 10g / 8ml, setiap variasi serat yang telah ditimbang direndam kedalam katalis selama 10 menit, spesimen komposit dipress pada mesin pengepres panas (*hot-press*) dengan tekanan 2 MPa pada suhu kamar 23° C selama 30 menit. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa matriks PMMA yang diperkuat dengan serat sisal perlakuan wt 10% memiliki kuat lentur paling optimum, namun memiliki kuat lentur yang sama dengan matriks PMMA tanpa penguat serat yaitu 57 MPa. Kuat lentur dan modulus komposit meningkat seiring dengan meningkatnya konsentrasi serat terlebih lagi pada serat sisal dengan perlakuan. Kuat lentur terendah didapat pada konsentrasi serat 5% tanpa perlakuan yaitu kisaran 47 MPa.

Khanam dkk, (2010) telah melakukan penelitian pengaruh komposit hibrid sisal/karbon/poliester terhadap kuat tarik, lentur dan kimia. Serat sisal perlakuan dan tanpa perlakuan dibandingkan terhadap pengaruh komposit hibrid, variasi rasio serat sisal/karbon diberlakukan (100/0, 75/25, 50/50, 25/75 dan 0/100). Perlakuan alkalisasi diberikan pada serat sisal dengan mendidihkan serat ke dalam larutan NaOH 18% selama 30 menit. Serat sisal dipotong sepanjang 2 mm dan serat karbon menggunakan serat woven tanpa perlakuan. Resin poliester dan stirena dicampur yang kemudian ditambahkan 1% *metiltlet keton peroksida* serta

1% *metililet kobalt naftena*. Metode hand lay-up digunakan pada proses hibrida dan *hot press* dilakukan pada suhu 80°C selama 4 jam. Pengujian dilakukan dengan mengacu standar ASTM D 638 untuk uji tarik dan ASTM D 618 untuk uji lentur. Hasil penelitian didapatkan bahwa kuat tarik dan lentur meningkat seiring dengan meningkatnya konsentrasi serat karbon serta hal itu terjadi pada efek alkali pada serat sisal yang secara signifikan meningkat dibandingkan dengan komposit hibrid dengan serat sisal tanpa perlakuan, kuat tarik dan lentur optimum didapatkan pada rasio 100% serat karbon yang masing-masing 122,11 MPa dan 176,53 MPa.

Penelitian yang telah dilakukan oleh Tufan dkk, (2016) tentang komposit hibrid sisal/karbon/polypropylene daur ulang telah dilaporkan. Variasi perbandingan sisal/karbon diberlakukan yang masing-masing 40%:0%, 33%:7%, 26%:14%, 19%:21%, 12%:28% dan 5%:35% dengan fraksi volume serat/matrik 40%:60%. Metode pabrik Willey diberlakukan pada pembuatan komposit polimer cetakan-kompresi, serat sisal kering yang kemudian ditumbuk menjadi partikel kecil yang disaring dengan ukuran 60 dan 80 mesh, serbuk serta sisal, serat karbon dan granula rpp diproses dengan ekstrusi sekrup tunggal (RONDOL 3212), zona suhu empat barel ekstrusi dikendalikan pada temperatur 165-170-175-180 °C, sempel yang telah diekstrusi didinginkan dan digranulasi menjadi pelet, kemudian pelet dikompresi dengan *hot-press* pada temperatur 175°C selama 3 menit. Pengujian diperlakukan sesuai standar ASTM D638 untuk uji tarik dan ASTM D 790 untuk uji lentur masing-masing dengan kecepatan 2 mm/menit. Hasil penelitian ini dilaporkan bahwa komposit hibrid memiliki kuat tarik, lentur dan stabilitas termal lebih tinggi daripada komposit sisal/rpp, hal ini menunjukkan pengaruh penambahan serat sintesis dalam komposit hibrid berpengaruh secara substansial terhadap sifat mekanik dan fisis, kuat lentur dan tarik optimum didapatkan pada rasio sisal/karbon 5%:35% yaitu masing-masing 45,33 MPa dan 22,40 MPa.

Aisyah dkk, (2019) Melaporkan tentang penelitian pengaruh hibridisasi serat karbon/serat kenaf yang diikat dengan matriks *epoxy* terhadap sifat termal. Variasi dalam penelitian ini adalah menggunakan jumlah kain kenaf yang

berbeda, yaitu kain 5×5 dan 6×6 (jumlah benang lungsin \times jumlah benang pakan) serta komposit serat karbon/epoksi sebagai sampel kontrol. Resin epoxy digunakan sebagai matriks polimer. Serat kenaf woven yang digunakan disiapkan secara manual menggunakan alat tenun tangan, sedangkan serat karbon woven dalam bentuk kain dengan struktur anyaman polos. Sifat dan proses fabrikasi komposit hibrida kenaf/karbon/epoxy secara komprehensif dicakup oleh Aisyah dkk, 2018. Metode fabrikasi dengan metode infus vakum selama 24 jam pada suhu ruang dan metode *hand lay-up*. Rasio serat/matriks yaitu 30:70 % berat. Komposit tersusun terdiri atas satu lapisan serat kenaf woven sebagai penguat ditengah dan serat karbon dilapisan atas dan bawah. Pengukuran TGA menggunakan (TGA Q500 dari TA Instruments) dengan memanaskan sampel pada temperatur 25-800 °C pada laju pemanasan 10°C/menit dalam laju aliran gas nitrogen 50 mL/menit. Hasil pada penelitian ini menunjukkan bahwa stabilitas termal serat karbon lebih tinggi dibandingkan dengan komposit hibrida, sedangkan pada komposit hibrida menunjukkan serat kenaf dengan menggunakan kepadatan kain 6×6 meningkatkan stabilitas termalnya serta ditemukan penggunaan kenaf tenun polos meningkatkan stabilitas termal daripada desain satin. Dari grafik TGA juga menunjukkan bahwa penambahan serat karbon dalam komposit hibrida telah meningkatkan sifat TGA komposit hibrida.

Sosiati dkk, (2019) telah meneliti komposit sisal/PMMA dengan penambahan MAPP menggunakan variasi (UTS (*untreated* sisal), TS (*treated* sisal), UTS-MAPP 3%, UTS-MAPP 5% dan UTS 10%) dan dibandingkan dengan komposit hibrid sisal/karbon/PMMA dengan fraksi volum serat/matriks 20:80 Wt% serta variasi rasio sisal/karbon 2:1, 1:1, 1:2 dan sisal 100% untuk diaplikasikan sebagai perangkat biomedis. Metode pada penelitian ini serat divariasi dengan perlakuan dan tanpa perlakuan dengan panjang serat 6 mm, pada serat sisal tanpa perlakuan dicuci dengan air mengalir dan dikeringkan dalam oven pada suhu 70°C selama 30 menit, sedangkan serat sisal perlakuan diproses dengan alkalisasi konsentrasi 6% NaOH pada suhu kamar selama 4 jam dan direndam pada 1% CH₃COOH. Perlakuan serat karbon dilakukan dengan merendam ke dalam larutan asam nitrat (HNO₃) konsentrasi 68,3% selama 48 jam pada suhu

kamar dan dikeringkan pada suhu 80°C selama 6 jam. Teknik fabrikasi disusun secara acak dengan manual (*hand lay up*) dan dipres dengan alat *cold press* selama 60 menit. Pengujian dilakukan dengan UTM (*Universal Testing Machine*) yang mengacu pada ASTM D790-02 untuk uji lentur dengan kecepatan 3,33 mm/menit dan ASTM D638-01 untuk uji tarik pada kecepatan 5 mm/menit. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penambahan MAPP dalam komposit sisal/PMMA meningkatkan kuat tarik dan lentur komposit sisal/PMMA, nilai optimum yang didapat pada komposit sisal/PMMA yaitu dengan penambahan MAPP 5% masing-masing sebesar 44,97 MPa dan 74,87 MPa. Selain itu, pada komposit hibrid sisal/karbon/PMMA mengalami peningkatan kuat tarik seiring dengan bertambahnya konsentrasi serat karbon, peningkatan yang signifikan didapatkan pada rasio sisal/karbon 1:2 sekitar 40% lebih tinggi dibandingkan dengan sisal perlakuan/PMMA yaitu 54,21 MPa.

2.2 Dasar Teori

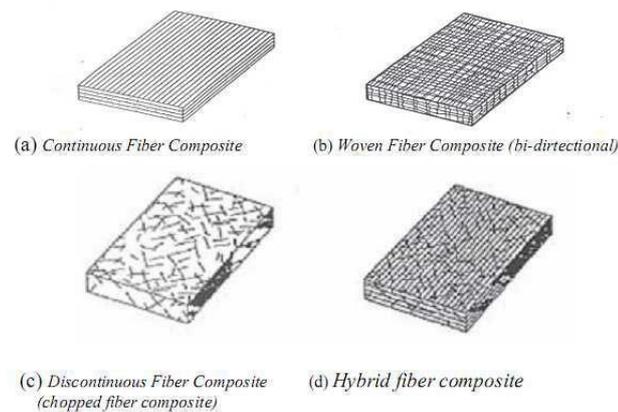
2.2.1 Komposit

Komposit merupakan pengabungan material yang terdiri atas dua atau lebih yang memiliki perbedaan struktur, bentuk, sifat mekanik ataupun fisis, komposisi kimia, dan tidak saling melarutkan dimana pada masing-masing material tersebut memiliki peran yang berbeda yaitu sebagai penguat dan yang lainnya sebagai pengikat serta dapat dilihat secara makroskopis untuk membedakannya (Schwartz, 1984). Komposit tersusun atas dua komponen yaitu bahan pengikat/matriks (*reinforcement*) dan bahan pengisi (*filler*). Filler difungsikan sebagai bahan penguat berupa serat atau partikel yang menerima distribusi tegangan dari komposit (Ony, 2017).

Karakteristik material komposit seperti kuat fisis, mekanik dan termal kimia dapat disesuaikan penggunaannya tergantung pengaplikasiannya diberbagai bidang. Komposit memiliki banyak kelebihan bila dibandingkan dengan berbagai logam paduan yaitu ketahanan leleh baik, perambatan panas yang rendah, ringan, relatif murah, kekakuan dan kekuatan spesifik tinggi serta tahan korosi.

2.2.2 Penguat Komposit

Salah satu bagian utama pada komposit yang memiliki peran penting sebagai penahan beban utama adalah penguat. Penguat yang biasa digunakan pada umumnya berupa serat atau serbuk. Serat pada komposit ada berbagai macam tipe diantaranya adalah seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.1 yang meliputi (Gibson, 1994) :



Gambar 2.1 *Continous Fiber Composite*

Continouse atau *uni-directional* adalah susunan serat yang lurus dan panjang yang berebentuk lamina diantara matriks. Penggunaan serat seperti ini banyak digunakan dalam material komposit. Namun, terdapat kekurangan dalam tipe ini yaitu kekuatan antar lapisannya yang lemah. Hal ini disebabkan matriksnya berpengaruh terhadap kekuatan antar lapisan.

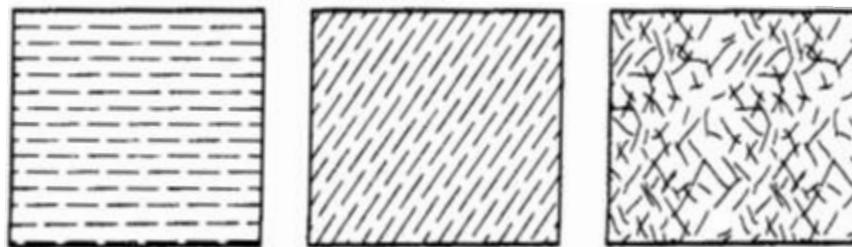
a. *Woven Fiber Composite (bi-directional)*

Komposit dengan tipe serat ini memiliki susunan serat yang mengikat antar lapisan sehingga tidak mudah dipengaruhi pemisahan antar lapisan. Namun, memiliki kekurangan pada kekakuan dan kekuatan yang melemah yang disebabkan oleh susunan serat memanjangnya yang tidak begitu lurus.

b. *Discontinuous Fiber Composite (chopped fiber composite)*

Komposit tipe ini menggunakan serat pendek yang masih dibedakan menjadi, *off-axis aligned discontinuous fiber*, *randomly oriented discontinuous fiber* dan *Aligned discontinuous fiber*. Komposit yang tersebar secara acak dengan menggunakan serat pendek diantara matriks adalah *randomly oriented discontinuous fiber*. Dalam menekan biaya manufaktur

yang lebih murah penggunaan serat acak menjadi pilihan utama untuk digunakan pada produksi dengan volume besar. Sifat mekanik pada komposit berpenguat serat acak masih lemah dibandingkan dengan komposit berpenguat serat searah.

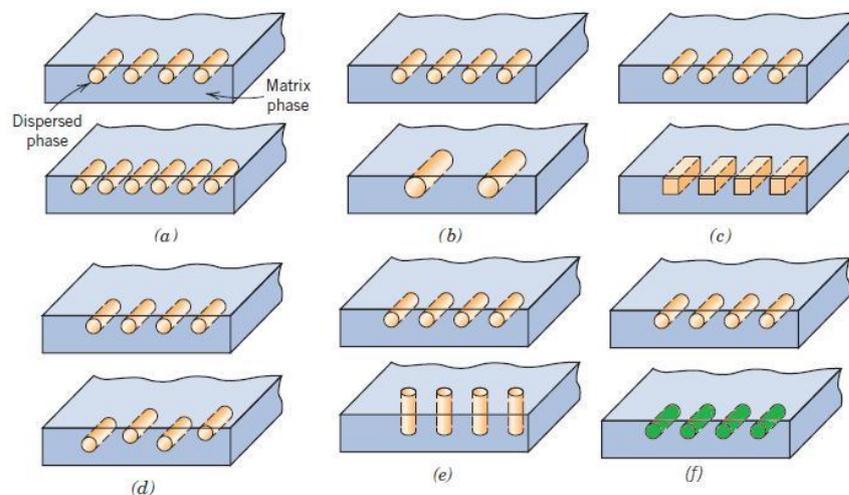
(1) *Aligned*(2) *Off-axis*(3) *Randomly*

Gambar 2.2 Tipe *discontinuous fiber* (Gibson, 1994)

c. *Hybrid fiber composite*

Hybrid fiber composite adalah tipe serat acak dan serat lurus yang digabungkan menjadi kesatuan dalam komposit. Penggabungan ini dimaksudkan untuk menggabungkan kelebihan serta dapat menutupi kekurangan satu sama lain pada kedua tipe.

Karakteristik sifat-sifat material komposit dipengaruhi oleh berbagai macam faktor yang diantaranya adalah tipe-tipe serat yang disebutkan diatas. Selain itu adapun faktor lainnya yang dapat berpengaruh terhadap kuat mekanik, yaitu (Calister, 2009) :



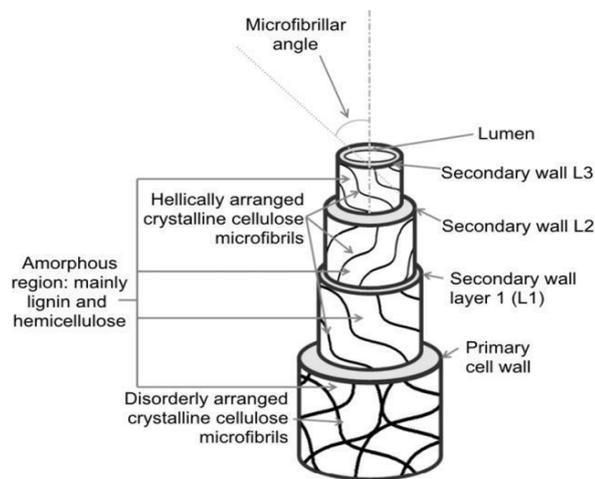
Gambar 2.3 Variasi serat (Calister, 2009) (a.) Komposisi. (b.) Ukuran serat. (c.) Bentuk serat. (d.) Distribusi serat. (e.) Orientasi serat. (f.) Material.

- a. Komposisi : Agar mendapatkan komposit yang memiliki kekuatan mekanik yang tinggi maka diperlukan komposisi serat yang tepat. Dengan semakin banyaknya serat berdampak terhadap kekuatan mekanik pada komposit menurun.
- b. Ukuran : Serat yang memiliki ukuran semakin kecil akan berdampak terhadap kekuatan mekanik yang semakin tinggi.
- c. Bentuk : Sebagian besar serat berbentuk lingkaran. Kelebihan dari serat yang berbentuk lingkaran adalah mempermudah dalam pembentukan material komposit, Namun bila dibandingkan dengan serat yang berbentuk heksagonal dan persegi kekuatan mekaniknya lebih rendah.
- d. Distribusi : Persebaran serat secara merata akan mempengaruhi terhadap kekuatan mekanik yang sempurna.
- e. Orientasi : Orientasi serat termasuk faktor yang berpengaruh terhadap sifat mekanik komposit. Orientasi serat *horizontal* yang digunakan pada komposit memiliki sifat mekanik yang tinggi pada ujung serat komposit, hal ini dengan mengasumsikan pemberian komposit searah.
- f. Material : Faktor material sangat berpengaruh terhadap kekuatan komposit. Penggunaan serat alam lebih rendah kekuatannya bila dibandingkan dengan serat yang berbasis sintetis.

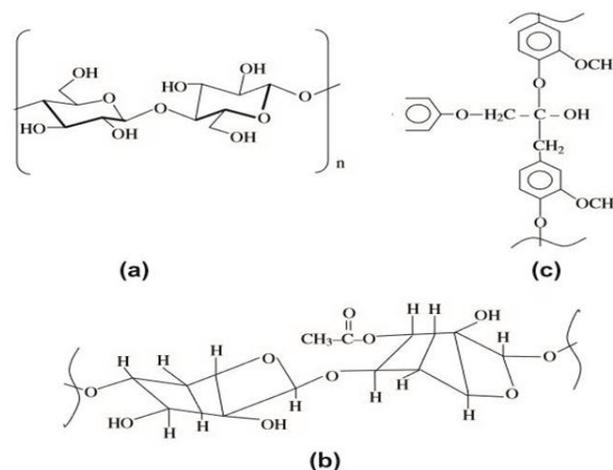
2.2.3 Serat Alam

Serat alam adalah alternatif pengisi (*filler*) komposit yang digunakan pada berbagai komposit polimer karena kelebihanya dibandingkan serat sintetis. Kelebihan yang dimiliki serat alam yaitu ringan, densitas rendah, mudah dalam proses fabrikasi, harga relatif murah, ramah lingkungan, dapat diuraikan secara biologis dan *repeatable*. Dalam beberapa dekade saat ini, pemanfaatan serat alam sebagai penguat (*filler*) pada komposit telah banyak diaplikasikan diberbagai bidang secara komersial seperti sipil, *aerospace*, otomotif, industri dan terbaru pada bidang biomedis.

Pada Gambar 2.4 menunjukkan struktur pada serat alam. Adapun komponen utama pada serat alam yaitu selulosa. Selulosa sangat larut pada asam, namun tahan terhadap alkali. Selain itu, selulosa *relative* tahan terhadap gen oksida. Hemiselulosa merupakan polisakarida yang terdiri atas kombinasi enam cincin glukosa dan lima cincin karbon. Hemiselulosa sangat mudah terhidrolisis dan dapat larut dalam alkali dikarenakan sifat hidrofiliki yang dimilikinya (Mohanty, 2005). Komponen pada serat alam lainnya adalah lignin. Lignin memiliki 3 gugus fungsi yang saling terhubung dengan unit monomer lainnya, maka berbentuk cabang. Struktur kimia pada hemiselulosa, lignin dan selulosa ditunjukkan di Gambar 2.5.



Gambar 2.4 Struktur serat Alam (Kabir dkk, 2011)



Gambar 2.5 Struktur Kimia (a) Selulosa, (b) Hemiselolosa, (c) lignin. (Bledzki, 1999).

Serat alam memiliki berbagai macam jenis, salah satu tanaman yang saat ini banyak dimanfaatkan untuk material komposit yaitu serat sisal, hal ini disebabkan serat sisal memiliki kekuatan mekanik yang lebih tinggi dibandingkan dengan serat alam lainnya. Serat sisal didapatkan dari tanaman *agave sisalana* yang dimanfaatkan dari daunnya, serat sisal pada umumnya banyak digunakan untuk karpet, benang, kerajinan dan tali karena tahan lama, afinitas terhadap zat warna baik, kekuatan mekanik tinggi dan *stretch*.

2.2.4 Serat sisal

Serat sisal merupakan serat yang mudah dibudidayakan sehingga banyak dimanfaatkan untuk beragam macam kebutuhan. Serat sisal banyak diproduksi di seluruh dunia hingga mencapai 4,5 juta ton setiap tahun. Negara yang berproduksi terbesar adalah Brazil dan Tanzania. Serat sisal adalah pemanfaatan dari tanaman *agave sisalana* yang diproses dari ekstraksi daunnya. Tanaman *agave sisalana* berasal dari Amerika Selatan dan Utara, namun sisal juga dapat tumbuh dengan baik di Hindia Timur dan Barat serta Afrika. *Agave sisalana* dapat menghasilkan hingga 200 daun, yang mana pada masing-masing daun terdiri atas 1000-1200 bundel serat yang mengandung 8% material kering, 0,75% kutikula, 87,25% air dan 4% serat (Murherjee dkk, 1984).

Pada umumnya selembar daun sisal memiliki berat sekitar 600 gram yang dapat menghasilkan 1000 helai serat atau 3% dari berat serat. Terdapat tiga tipe pada daun sisal, seperti *ribbon*, *xylem*, dan mekanis. Serat mekanis diekstrak dari bagian tepi daun (*periphery*). Seratnya jarang dipisahkan pada proses ekstraksi dan tebal berbentuk kuda serta kasar. Pada bagian ini adalah yang memiliki peranan terpenting dari serat sisal. Serat *ribbon* terbentuk pada bagian tengah daun. Serat *ribbon* merupakan bagian yang terpanjang pada serat dan memiliki struktur jaringan sangat baik. Apabila dibandingkan dengan bagian serat mekanis maka serat *ribbon* mudah dipisahkan secara membujur selama proses berlangsung. Posisi serat pada daun dan kedewasaan daun berpengaruh terhadap panjang, ketebalan serta kekuatannya. Bagian yang paling tebal pada serat yaitu pangkal daun. Sedangkan daun tertua terletak di dekat tanah, yang mengandung serat kasar dan terpanjang.

Chand, (1988) telah melakukan ekstraksi pada serat sisal. Proses ekstraksi yang dapat dilakukan adalah dengan bantuan dekortikator, penyesirian ataupun pembusukan. Proses ekstraksi dengan metode pembusukan menghasilkan serat dengan jumlah yang sangat banyak, tetapi memiliki kualitas yang rendah. Setelah diekstraksi, serat dibilas dengan air bersih agar sisa residu pada serat hilang seperti padatan yang melekat, klorofil dan lendir daun.

Sisal memiliki kandungan selulosa 85-88% (Joseph dkk, 1996). Metode pengukuran, umur dan perbedaan asal menyebabkan beragamnya komposisi kimia dari serat sisal. Komposisi lignin dan selulosa dipengaruhi dari usia tanaman yang mana masing-masing bervariasi dari 3,75-4,40% dan 49,62-60,95% (Chand dan Hashmi, 1993).

Pada tabel 2.1. adalah hasil kajian yang telah dilakukan beberapa penelitian yang menunjukkan sifat serat sisal.

Tabel 2.1 Sifat serat sisal (Joseph dkk, 1996)

Density (kg/m ³)	Moisture Content (%)	Kekuatan Tarik (MPa)	Modulus (GPa)	Max. Strain (%)	Diameter (Bm)
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	-

Tabel 2.2 Perbandingan sifat mekanik serat alami dan sintetis. (Shahzad dan Nashir, 2017)

Fiber	Density (g cm ⁻³)	Diameter (µm)	Tensile strength (MPa)	Young's modulus (GPa)	Elongation at break (%)
Flax	1,5	40-600	345-1500	27,6	2,7-3,2
Hemp	1,47	25-500	690	70	1,6
Jute	1,3-1,49	25-200	393-800	13-26,5	1,16-1,5
Kenaf			930	53	1,6
Ramie	1,55	-	400-938	61,4-128	1,2-3,8
Nettle			650	38	1,7
Sisal	1,45	50-200	468-700	9,4-22	3-7
Henequen					
PALF		20-80	413-1627	34,5-82,5	1,6
Abaca			430-760		
Oil Palm EFB	0,7-1,55	150-500	248	3,2	25
Oil Palm mesocarp			80	0,5	17
Cotton	1,5-1,6	12-38	287-800	5,5-12,6	7-8
Coir	1,15-1,46	100-460	131-220	4-6	15-40
E-glass	2,55	<17	3400	73	2,5
Kevlar	1,44		3000	60	2,5-3,7
Carbon	1,78	5-7	3400-4800 ^b	240 ^b -425 ^a	1,4-1,8

^aUltra-high modulus carbon fibers

^bUltra-high tenacity carbon fibers

2.2.5 Karbon

Serat karbon merupakan serat sintetis 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, maupun komponen luar angkasa. Laminasi serat karbon kontinu (grafit) juga telah dipakai secara luas (Severini dkk, 2002). Tak jarang serat karbon dilakukan kombinasi dengan serat jenis lain untuk membentuk komposit hibrida (seperti serat karbon dan sisal, serat karbon dan kevlar). Serat karbon yang berdiameter 5-10 µm dapat diperoleh dalam bentuk tali dengan 1000, 3000, 6000, atau 12000 filamen dan sebagai *pre-preg* dengan resin (Smallman dan Bishop, 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 (Smallman dan Bishop, 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 $200-800 \text{ GN.m}^{-2}$ dan $10-20 \text{ GN.m}^{-2}$ (Smallman dan Bishop, 2000).

2.2.6 Matriks

Matriks merupakan bahan pengikat serat pada komposit yang memiliki peranan penting untuk melindungi dari sisi eksternal, menjadikan unit struktur, memindahkan atau meneruskan beban eksternal pada bidang geser antara matriks dan serat, maka serat dan matriks memiliki hubungan yang dapat berpengaruh terhadap sifat suatu material komposit. Matriks adalah bagian fraksi volume yang terbesar (dominan) dalam komposit. Adapun fungsi matriks dalam mengikat serat pada material komposit, berikut adalah fungsi umum menurut Gibson, (1994) :

- a. Melindungi dari lingkungan yang merugikan.
- b. Melindungi serat dari gesekan.
- c. Stabil setelah proses manufaktur.
- d. Mentransfer tegangan ke serat secara merata.
- e. Mempertahankan dan memegang serat pada posisinya.

2.2.7 Polimer

Polimer merupakan zat yang tersusun atas unit struktural berulang yang terbentuk senyawa spesifik yang disebut monomer. Molekul pada polimer

memiliki ukuran yang sangat besar dibandingkan hidrogen. Polimer pada umumnya tersusun atas bahan-bahan organik yang berasal dari hidrogen, karbon ditambahkan dengan unsur *non-logam* lainnya. Polimer memiliki sifat keuletan yang tinggi dan *density* yang rendah. Menurut sifatnya polimer dibagi menjadi 2 kelompok, yaitu (Calister dkk, 2009) :

Berikut jenis polimer yang pada umumnya sering digunakan (Sudira dan Saito, 1985) :

1. *Thermoset*

Thermoset adalah jenis polimer yang tidak dapat mengikuti perubahan suhu (*irreversibel*). Apabila telah terjadi pengerasan maka polimer dalam jenis ini tidak dapat dilunakkan kembali. Pemanasan dengan temperatur yang tinggi tidak akan melunakan *thermoset* melainkan akan terurai. Proses daur ulang pada plastik jenis *thermoset* tidak menarik disebabkan volumenya jauh lebih sedikit (sekitar 10%) dibandingkan dengan volume jenis plastik yang bersifat *thermoplastic*. Berikut contoh polimer *thermoset* seperti *Bismaleimida* (BMI), *Poli-imida* (PI) dan *Epoksida*.

2. *Thermoplastic*

Thermoplastic merupakan jenis plastik yang dapat dilunakkan berulang kali (*recycle*) dengan menggunakan temperatur tinggi. *Thermoplastic* memiliki titik leleh yang bervariasi tergantung pada masing-masing jenis plastik. Sifat *thermoplastic* yaitu dapat kembali ke bentuk semula (*reversibel*). Berikut contoh dari : Polypropylene (PP), Poliester, Poliester eterketon (PEEK), dan Poliester Sulfon.

2.2.8 Polymethyl Methacrylate (PMMA)

Polymethyl Methacrylate atau yang lebih sering disebut PMMA, merupakan polimer *thermoplastic* berbiaya rendah yang biasa digunakan untuk banyak aplikasi dalam kehidupan sehari-hari. Transparansi tinggi pada PMMA menjadi pengganti ideal untuk kaca di mana dampak dan berat menjadi masalah serius. PMMA kompatibel dengan jaringan tubuh manusia sehingga menjadi bahan penting untuk tranplantasi dan *prosthetics*, terutama di bidang *ophthalmology* karena sifat transparan.

Pembentukan PMMA melalui polimerisasi, emulsi atau blok suspensi asam metakrilat. PMMA dianggap sebagai polimer ataktik selama paruh pertama abad ke-20, ini berarti bahwa substituen dari rantai molekul bergantian secara acak di sepanjang rantai. Sejak pengembangan peralatan dan teknik modern, telah ditentukan bahwa rantai molekul sebagian besar *syndiotactic*, yang berarti substitusi molekul pengganti bergantian secara seragam. Pemrosesan akhir PMMA dilakukan melalui injection molding atau ekstrusi pada suhu leleh mulai dari 200-230 °C.

Kelompok-kelompok independen terbentuk ketika sekelompok atom melepaskan ikatan tulang punggung rantai polimer. Kelompok-kelompok besar yang tidak terikat pada unit pengulangan polimer PMMA menginduksi beberapa sifat yang menarik. Kristalisasi dihalangi oleh gugus-gugus pendent karena molekul-molekul tidak dapat mendekati membentuk ikatan kristal. Ini menyebabkan PMMA menjadi amorf. Kelompok-kelompok independen merobek kelompok-kelompok yang berdekatan hampir menghilangkan selip di antara rantai polimer. Hal ini menyebabkan PMMA menjadi kaku, rapuh, memiliki suhu transisi gelas tinggi dan sedikit penyempitan cetakan.

Degradasi mekanik dan optik disebabkan oleh paparan UV yang sangat minim dengan PMMA, karena menyerap sedikit cahaya dan radiasi UV karena transparansi. Sejumlah kecil radiasi yang diserap ini tidak memiliki energi yang diperlukan untuk memecah ikatan molekul di dalam material. Ini adalah properti unik untuk polimer, dan membuatnya sangat cocok untuk ketahanan cuaca jangka panjang.

PMMA memiliki ketahanan gores yang tinggi jika dibandingkan dengan polimer serupa seperti polikarbonat, namun ketahanan goresannya masih tidak dapat bersaing dengan kaca. Sebagian besar bagian PMMA menggunakan sifat optiknya, namun ada lapisan pelindung yang dapat diterapkan untuk mengurangi masalah ini.

Beberapa contoh dari aplikasi PMMA adalah lampu depan dan lampu belakang pada mobil penumpang, papan tanda penerangan dan cover lampu jalan. Polimer juga telah digunakan secara luas pada jendela pesawat sebagai pengganti

kaca sejak Perang Dunia II karena kepadatannya rendah dan ketangguhannya tinggi. PMMA digunakan sebagai pengganti kaca pada berbagai pesawat *sub-sonic* dan telah diperluas ke aplikasi berat lainnya seperti mobil balap, sepeda motor dan kendaraan off-road.

Sifat yang unik, biaya rendah dan bio-kompatibilitas pada jaringan tubuh manusia menjadikan PMMA sebagai akrilik paling penting secara komersial yang tersedia hingga saat ini. Sifat optik dan mekanik secara langsung dipengaruhi oleh mikrostruktur PMMA. Biokompatibilitas PMMA telah membuatnya menjadi bahan penting untuk implan. Sifat-sifat unik untuk berbagai aplikasi memastikan bahwa PMMA polimer penting.

2.2.9 Densitas Komposit dan mekanika material komposit

a. Densitas komposit

Massa jenis atau densitas komposit adalah jumlah suatu zat yang terkandung dalam suatu unit volume. Semakin tinggi massa jenis suatu benda, maka akan semakin besar massa setiap volumenya. Berikut adalah perhitungan massa total dan volume material komposit pada serat :

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

Dengan : m_c = massa komposit (gr)

m_f = massa serat (gr)

m_m = massa matriks (gr)

$$v_c = v_f + v_m + v_v \dots\dots\dots (2.2)$$

Dengan : v_c = volume komposit (cm³)

v_f = volume serat (cm³)

v_m = volume matrik (cm³)

v_v = volume void (cm³)

Sehingga, massa jenis komposit, ρ_c (g/cm³), adalah

$$m_f = \rho_f \cdot v_f \dots\dots\dots (2.3)$$

$$m_m = \rho_m \cdot v_m \dots\dots\dots (2.4)$$

$$\rho_c = \frac{m_c}{v_c} \dots\dots\dots (2.5)$$

Dengan : ρ_c = massa jenis serat (gr)

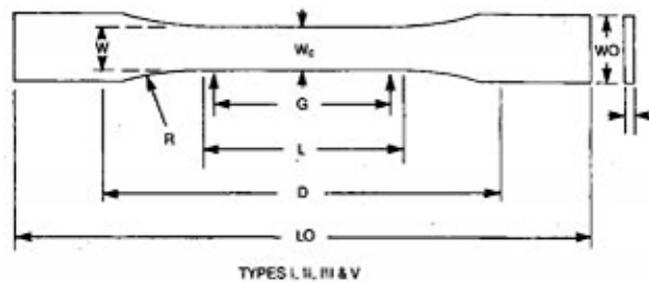
ρ_m = massa jenis matrik (gr)

Maka : $\rho_c = \frac{\rho_f \cdot V_f + \rho_m \cdot V_m}{V_f + V_m + V_v}$ (gr/cm³)..... (2.6)

Pada kenyataannya volume void (V_v) relative sangat kecil, sehingga V_v dapat diabaikan (Chawla, 2012).

b. Pengujian Tarik

Uji tarik yang dilakukan pada penelitian ini mengacu pada standar ASTM D638 *type 1*. Pengujian tarik dilakukan untuk mencari tegangan dan regangan dan modulus elastisitas material komposit.

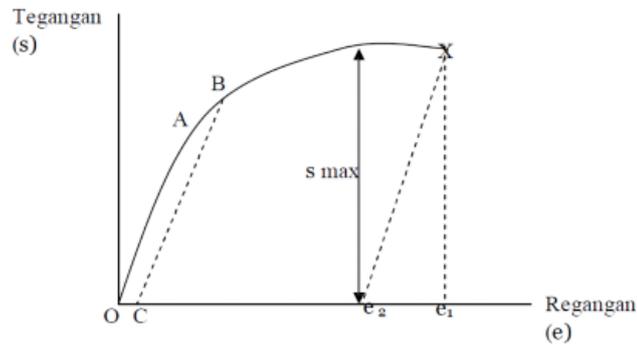


Gambar 2.6 Dimensi spesimen uji tarik ASTM D638

Tabel 2.3 Dimensi spesimen uji tarik ASTM D638

Dimensions (see drawings)	7 (0.28) or under		Tolerances
	Type I	Type II	
W—Width of narrow section ^{E,F}	13 (0.50)	6 (0.25)	±0.5 (±0.02) ^{B,C}
L—Length of narrow section	57 (2.25)	57 (2.25)	±0.5 (±0.02) ^C
WO—Width overall, min ^G	19 (0.75)	19 (0.75)	+ 6.4 (+ 0.25)
WO—Width overall, min ^G	+ 3.18 (+ 0.125)
LO—Length overall, min ^H	165 (6.5)	183 (7.2)	no max (no max)
G—Gage length ^I	50 (2.00)	50 (2.00)	±0.25 (±0.010) ^C
G—Gage length ^I	±0.13 (±0.005)
D—Distance between grips	115 (4.5)	135 (5.3)	±5 (±0.2)
R—Radius of fillet	76 (3.00)	76 (3.00)	±1 (±0.04) ^C
RO—Outer radius (Type IV)	±1 (±0.04)

Dari pengujian tarik diperoleh data berupa beban maksimum yang dapat ditahan komposit sebelum patah dan pertambahan panjang. Dari data-data tersebut dapat dicari nilai kekuatan tarik (tegangan), regangan dan modulus elastisitas komposit (Sudira dan Shinroku, 1995).



Gambar 2.7 tegangan regangan bahan ulet (Sumaryono, 2012)



Gambar 2.8 Skema uji tarik

Besarnya nilai kekuatan tarik komposit dapat dihitung dengan persamaan :

$$\sigma = \frac{F}{A_0} \dots\dots\dots (2.4)$$

Dengan : σ = Tegangan normal (MPa)

F = Gaya yang bekerja (N)

A_0 = Luas penampang mula-mula komposit (mm²)

Besarnya regangan adalah jumlah pertambahan panjang akibat pembebanan dibandingkan dengan panjang daerah ukur (*gage length*) dan dinyatakan dalam persamaan (Sudira dan Shinroku, 1995):

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \dots\dots\dots (2.5)$$

Dengan : ε = Regangan.

ΔL = Pertambahan panjang. (mm)

L_0 = Panjang daerah ukur (*gage length*) (mm)

Pada daerah proporsional yaitu daerah dimana tegangan-regangan yang terjadi masih sebanding, defleksi yang terjadi masih bersifat elastis dan masih berlaku hukum Hooke. Besarnya nilai modulus elastisitas komposit yang juga merupakan perbandingan antara tegangan dan regangan pada daerah proporsional dapat dihitung dengan persamaan (Surdia dan Shinroku, 1995).

$$E = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon} \dots\dots\dots (2.6)$$

Dengan : E = Modulus elastisitas (MPa)

σ = Kekuatan tarik komposit (MPa)

ε = Regangan.

c. Pengujian Bending

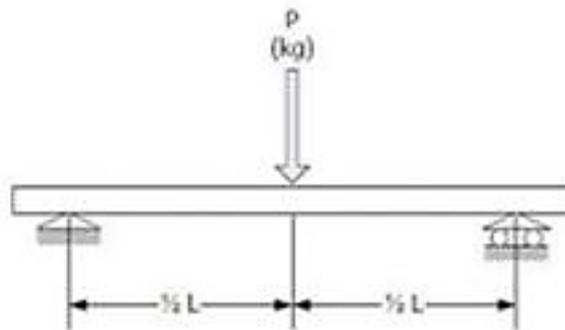
Pengujian lengkung merupakan salah satu pengujian sifat mekanik bahan yang dilakukan terhadap spesimen dari bahan, baik yang akan digunakan sebagai konstruksi atau komponen yang akan menerima pembebanan lengkung maupun proses pelengkungan dalam pembentukan. Pelengkuan (*bending*) merupakan proses pembebanan terhadap suatu bahan pada suatu titik ditengah-tengah dari bahan yang ditahan diatas dua tumpuan.

Pengujian kekuatan *bending* dapat dilakukan dengan *Metode Three Point Bending* atau *Metode Four Point Bending* menurut kondisi dari benda uji yang dipergunakan. Biasanya pada benda uji dengan kerataan yang kurang begitu sempurna dilakukan dengan *Metode Three Point Bending*, akan tetapi dengan hasil yang kurang maksimal apabila dipergunakan *Metode Four Point Bending*. Hal ini disebabkan terjadi konsentrasi pembebanan pada *Metode Three Point Bending*.

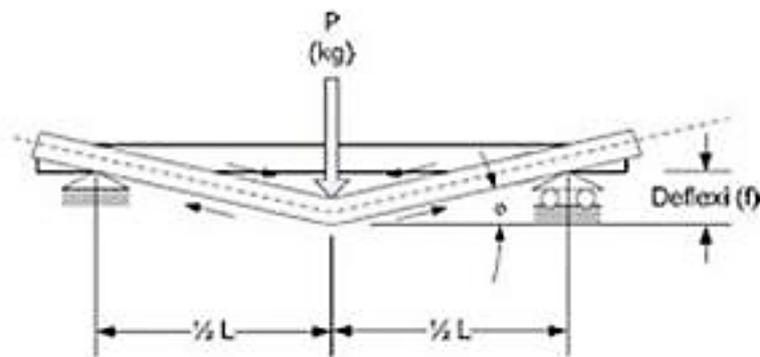
1. Metode *Three Point Bending*

Pada *three point bending*, spesimen atau benda dikenai beban pada satu titik yaitu tepat pada bagian tengah batang ($\frac{1}{2} L$). Pada metode ini material harus tepat berada di $\frac{1}{2} L$, agar mendapatkan momen maksimum karena saat mencari σ dibutuhkan momen maksimum tersebut.

Berikut ini adalah ilustrasi dari pengujian kekuatan bending dengan *Metode Three Point Bending* :



Gambar 2.9 Pembebanan lengkung *Three point bending*



Gambar 2.10 Pengaruh pembebanan lengkung terhadap bahan uji

Sebagaimana perilaku bahan terhadap pembebanan, semua bahan akan mengalami perubahan bentuk (deformasi) secara bertahap dari elastis menjadi plastis hingga akhirnya mengalami kerusakan (patah). Dalam proses pembebanan lengkung dimana dua gaya bekerja dengan jarak tertentu ($L/2$) serta arah yang berlawanan bekerja secara bersamaan (lihat Gambar 2.18). Setelah dilakukan pengujian *bending*, untuk mendapatkan angka kekuatan *bending* digunakan persamaan berikut:

$$\sigma_n = \frac{3PL}{2bd^2} \dots\dots\dots(2.7)$$

$$\sigma_b = \left(\frac{3PL}{2bd^2} \right) \left[1 + 6 \left(\frac{D}{L} \right)^2 - 4 \left(\frac{d}{L} \right) \left(\frac{D}{L} \right) \right] \dots\dots\dots(2.8)$$

Dengan: σ_b = tegangan bending (MPa)

P = gaya pembebanan (N)

L = jarak antar tumpuan (mm)

B = lebar spesimen (mm)

d = tebal spesimen (mm)

D = defleksi maksimum (mm)

Keterangan :

Pada persamaan 2.7 digunakan jika perbandingan $L/d \leq 16$, dimana L adalah support span dan d adalah tebal spesimen. Pada persamaan 2.8 digunakan jika nilai perbandingan $L/d > 16$.

Untuk mendapatkan nilai regangan *bending* digunakan persamaan berikut:

$$\varepsilon_b = 6Dd/L^2 \dots\dots\dots(2.9)$$

Dengan: ε_b = regangan (mm/mm)

D = defleksi maksimum (mm)

L = panjang span (mm)

d = tebal (mm)

Untuk mendapatkan nilai modulus elastisitas bending digunakan persamaan berikut:

$$E_b = L^3 m / 4bd^3 \dots\dots\dots(2.10)$$

Dengan : E_b = modulus elastisitas bending (MPa)

L = panjang span (mm)

b = lebar spesimen (mm)

d = tebal spesimen (mm)

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

2.2.10 Karakteristik patahan pada material komposit

Patah didefinisikan sebagai pemisahan sebuah bahan menjadi dua atau lebih potongan sebagai respon dari tegangan static yang berkerja dan pada temperature yang relative rendah terhadap temperature cairnya. Dua model patah yang mungkin terjadi pada bahan teknik adalah patah liat (*ductile fracture*) dan patah getas (*brittle fracture*). Klasifikasi ini didasarkan pada kemampuan bahan mengalami deformasi *plastic*. Bahan liat (*ductile*) memperlihatkan deformasi plastik dengan menyerap energi yang besar sebelum patah. Sebaliknya, patah getas hanya memperlihatkan deformasi palstik yang kecil atau bahkan tidak ada.

2.2.11 Microscope Optic Digital



Gambar 2.11 Microscope Digital USB

Mikroskop digital adalah variasi dari mikroskop optik tradisional yang menggunakan optik dan charge coupled device (CCD) kamera ke output gambar digital yang disambungkan ke monitor, atau dengan menggunakan perangkat lunak yang berjalan pada komputer. Sebuah mikroskop digital berbeda dengan mikroskop optik yang ketentuannya untuk mengamati sampel secara langsung melalui sebuah lensa mata. Karena gambar diproyeksikan langsung pada kamera CCD, seluruh sistem ini dirancang untuk gambar monitor. Bagian-bagian Mikroskop Digital USB ditunjukkan pada Gambar 2.11.

- a. LED Switch, untuk mengatur pencahayaan terang atau redup.
- b. LED Light, lampu mikroskop.
- c. Zoom Button, tombol untuk memperbesar pengelihatian mikroskop.
- d. Snap Button, tombol untuk mengambil gambar.
- e. Focus Wheel, untuk mengatur fokus gambar.

2.2.12 Scanning Electron Microscope (SEM)

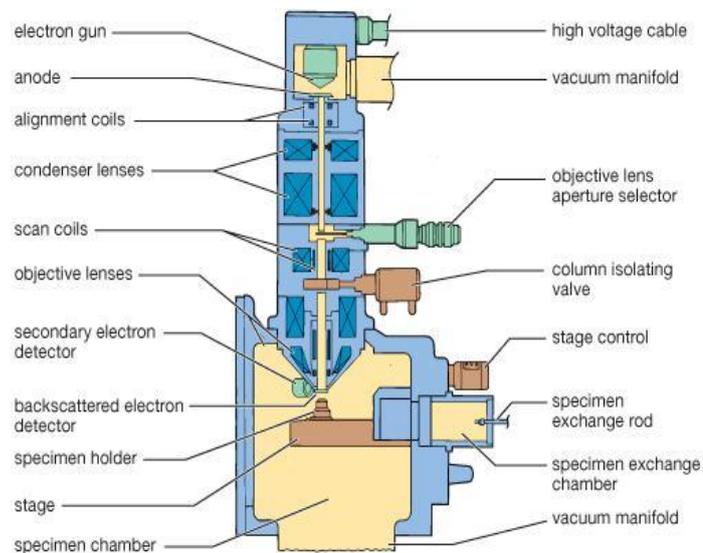
SEM adalah sebuah mikroskop elektron yang didesain untuk mengamati permukaan objek solid secara langsung. SEM memiliki perbesaran 10 – 3.000.000 kali, *depth of field* 4 – 0.4 mm dan resolusi sebesar 1 – 10 nm. Kombinasi dari perbesaran yang tinggi, *depth of field* yang besar, resolusi yang

baik, kemampuan untuk mengetahui komposisi dan informasi kristalografi membuat SEM banyak digunakan untuk keperluan penelitian dan industri. Adapun fungsi utama dari SEM antara lain dapat digunakan untuk mengetahui informasi-informasi mengenai:

1. Topografi, yaitu ciri-ciri permukaan dan teksturnya dimana dapat diketahui kekerasan, sifat memantulkan cahaya, dan sebagainya.
2. Morfologi, yaitu bentuk dan ukuran dari partikel penyusun objek (kekuatan, cacat pada Integrated Circuit (IC) dan chip, dan sebagainya).
3. Komposisi, yaitu data kuantitatif unsur dan senyawa yang terkandung di dalam objek (titik lebur, kereaktifan, kekerasan, dan sebagainya).
4. Informasi kristalografi, yaitu informasi mengenai susunan dari butir-butir yang ada dalam objek yang diamati dimana didalamnya terdapat konduktivitas, sifat elektrik, kekuatan, dan sebagainya).

Prinsip kerja dari SEM adalah sebagai berikut :

- a. *Electron gun* menghasilkan *electron beam* dari filamen. Pada umumnya *electron gun* yang digunakan adalah tungsten *hairpin gun* dengan filamen berupa lilitan tungsten yang berfungsi sebagai katoda. Tegangan yang diberikan kepada lilitan mengakibatkan terjadinya pemanasan. Anoda kemudian akan menarik elektron melaju menuju ke anoda.
- b. Lensa magnetik memfokuskan elektron menuju suatu titik pada permukaan sampel.
- c. Sinar elektron yang terfokus memindai (scan) keseluruhan sampel dengan diarahkan oleh koil pemindai.
- d. Ketika elektron mengenai sampel, maka akan terjadi hamburan elektron, baik *Secondary Electron* (SE) atau *Back Scattered Electron* (BSE) dari permukaan sampel dan akan dideteksi oleh detektor dan dimunculkan dalam bentuk gambar pada monitor.



Gambar 2.12 Bagian SEM

2.2.13 Thermo Gravimetric Analysis (TGA)

Thermogravimetrik adalah salah satu teknik analisis dimana senyawa dikondisikan dalam lingkungan panas dan dingin dengan laju yang terkontrol dengan hasil berupa grafik fungsi temperatur (Brown dan Matson, 1987). Sedangkan tujuan TGA yaitu mengetahui perubahan massa sampel karena proses adsorpsi, reaksi, atau dekomposisi sebagai fungsi temperatur (Setiabudi dkk, 2012) Dari hasil kurva massa dan temperatur memberikan informasi mengenai komposisi sampel serta stabilitas termal. Instrument analitik yang digunakan adalah thermobalance dengan furnace yang diatur untuk menghasilkan data temperatur dengan waktu.

Analisis Termogravimetri (TGA) dapat digunakan untuk berbagai macam jenis material seperti logam, plastik, anorganik, polimer, gelas, keramik dan material komposit. Cuplikan analisis dapat dalam bentuk potongan kecil atau bubuk (powder) maka pada bagian cuplikan dekat dengan suhu gas yang diukur. Berat cuplikan yang biasa digunakan yaitu mulai 1-150 mg serta temperatur yang digunakan pada analisis 25°C - 1500°C . TGA mengukur jumlah perubahan massa suatu material sebagai fungsi kenaikan suhu atau secara eksotermis sebagai fungsi waktu pada atmosfer nitrogen, helium, udara, gas lain atau ruang hampa.

Teknik pada penggunaan TGA yaitu mengukur kecepatan rata-rata perubahan massa suatu bahan atau cuplikan sebagai fungsi dari suhu atau waktu pada atmosfer yang terkontrol. Pengukuran pada TGA khususnya untuk menentukan komposisi suatu bahan atau cuplikan dan memperkirakan stabilitas termal. Metode yang dilakukan dapat mengkararakteristik suatu bahan atau cuplikan yang diamati berdasarkan kehilangan massa atau terjadinya oksidasi, dehidrasi, atau dekomposisi. Terjadinya perubahan massa dalam TGA yaitu bahan akan mengalami kenaikan atau kehilangan massa. Proses kehilangan massa terjadi karena adanya proses dekomposisi yaitu pemutusan ikatan kimia, evaporasi yakni kehilangan atsmiri pada peningkatan suhu, reduksi yaitu interaksi bahan dengan pereduksi, dan desorpsi. Sedangkan kenaikan massa disebabkan oleh proses oksidasi yaitu interaksi bahan dengan suasana pengoksidasi, dan absorpsi.

TGA mengukur jumlah dan laju (kecepatan) perubahan massa sebuah sampel sebagai fungsi temperatur atau waktu dalam suasana yang dikendalikan. Pengukuran yang digunakan terutama untuk menentukan panas dan/atau kestabilan bahan oksidatif serta sifat komposisi material. Teknik ini dapat menganalisis bahan yang menunjukkan massa baik kekurangan atau kelebihan karena dekomposisi, oksidasi atau hilangnya bahan mudah menguap (seperti kelembaban).

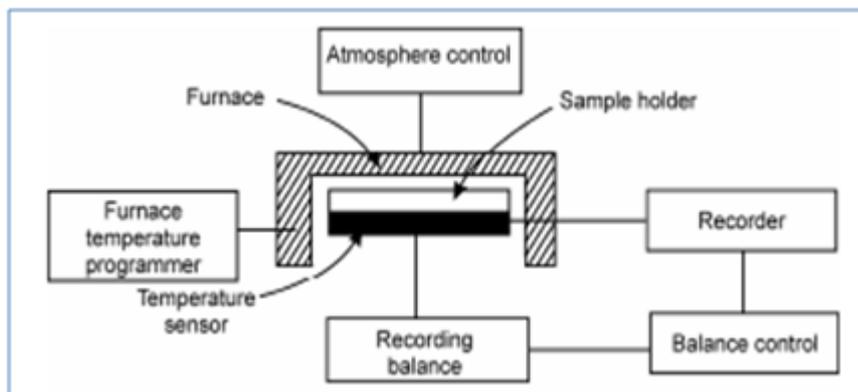
Dalam analisa termogravimetri (TGA) menggunakan alat instrumentasi. Berikut instrumentasi yang biasa digunakan :



Gambar 2.13 Instrumen TGA

Instrumen yang digunakan pada termogavimetri (TG) disebut termobalance. Termobalance terdiri dari beberapa komponen utama yang tersedia

untuk menghasilkan data dalam bentuk kurva TGA. Komponen utama dari termobalance seperti yang terlihat pada gambar dibawah ini:



Gambar 2.14 Komponen Utama Termobalance (Brown dan Matson, 1987)

Berikut penjelasan komponen utama dari termobalance yaitu :

a. Timbangan vertikal

Instrumen timbangan vertikal memiliki suatu tempat sampel yang bergantung pada timbangan yang diperlukan untuk mengkalibrasi instrumen dari efek buoyancy pada variasi densitas gas dengan temperatur, seperti variasi jenis gas.

b. Timbangan Horizontal

Timbangan vertikal memiliki dua tempat (sampel dan referensi) dan dapat digunakan untuk pengukuran DTA dan DSC. Instrumen ini bebas dari efek buoyancy, tetapi memerlukan kalibrasi untuk ekspansi perbedaan panas neraca timbangan.

c. Furnace

Furnace dan sistem kontrol harus didesain untuk menghasilkan pemanasan yang linear pada seluruh temperatur range pada furnace dan dibuat tetap pada temperatur tetap.