

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Pustaka

Pada penelitian yang dilakukan oleh Mutalikdesai, dkk (2017) tentang pengaruh penambahan 0%, 2%, 4%, dan 6% *silica fume* terhadap komposit *flax fiber*/epoksi. Resin *Epoxy* LY556 digunakan sebagai matriks dalam penelitian ini. Resin epoksi adalah polimer termoset yang paling umum digunakan dalam komposit matriks polimer yang ditambah dengan 10% *hardener* Araldite HY 951 dengan fraksi volume komposit epoksi/ *flax fiber* yaitu 60 :40 (tanpa partikel), 58:40, 56:40, dan 54:40. Teknik pencampuran partikel *silica fume* dengan matriks epoksi adalah *hand lay-up*. Spesimen *cured* pada suhu kamar selama 24 jam dengan laminasi ukuran 250 mm x 250 mm x 3,5 mm disiapkan. Pengujian mekanis yang dilakukan yaitu uji tarik ASTM D638, impak D256, dan bending ASTM D790. Hasil pada penelitian tersebut mendapatkan kekuatan mekanis maksimum pada penambahan 6% *silica fume* terhadap komposit epoksi/*flax fiber* yaitu untuk kekuatan tarik 50,9 MPa, kekuatan impak 9,55kJ/m², dan kekuatan lentur adalah sebesar 84.25 MPa.

Bozkurt, dkk (2017) juga melakukan penelitian tentang penambahan nanosilika 0%, 1%, 1,5%, 2%, dan 3% terhadap komposit serat kaca/nanosilika/epoksi. Jenis epoksi (MOMENTIVE-MGS L285) dan pengeras (MOMENTIVE-MGS H285) dengan rasio 100:40. Pembuatan komposit dilakukan dengan teknik *hand lay-up* pada laminasi yaitu dengan cara melapisi komposit dengan *woven e-glass* sebanyak sepuluh lapis terhadap serat kaca/epoksi. Kemudian pemotongan dengan alat CNC *router* spesimen sesuai ASTM. Pengujian mekanis yang digunakan adalah uji tarik ASTM D D638-10 dan *bending* D790. Hasil dari penelitian tersebut menyatakan bahwa penambahan 2% nanosilika terhadap komposit serat kaca/nanosilika/epoksi meningkatkan kekuatan tarik yaitu sebesar 280,25 MPa. Diikuti dengan penambahan 1,5% nanosilika yang meningkatkan kekuatan mekanis pada kekuatan lentur dan modulus lentur yaitu sebesar 346,35 MPa dan 18,77 GPa.

Penelitian dengan penambahan jenis partikel bentonit yang telah dilaporkan oleh Velmurugan, dkk (2018) yaitu dengan persentase 0%, 1%, 2%, dan 3% nano *clay* bentonit terhadap komposit serat kaca/epoksi. Ukuran laminasi adalah 100 mm × 50 mm x 3 mm dengan 6 lapisan dengan pengadukan mekanis epoksi/nano *clay* dengan 1000 rpm selama 1 jam. Diikuti oleh *ultrasonication*, yang dilakukan menggunakan rendaman ultrasonik selama 2 jam. *Curing* penuh sampel dilakukan dengan meninggalkannya selama satu hari pada suhu kamar pada tekanan 200 KN m² 70°C selama 10 menit dan suhu 120°C selama 2 jam. Pengujian mekanis yang dilakukan yaitu pengujian kekerasan dengan *Barcol hardness*, pengujian tarik dan *bending* dengan ASTM D790. Hasil dari pengujian mekanis tersebut mendapatkan kekuatan mekanis maksimum pada 2% penambahan nano *clay* bentonit terhadap komposit serat kaca/epoksi yaitu untuk uji kekerasan diperoleh nilai sebesar 41,66 (BHN), diikuti dengan kekuatan tarik dan kekuatan lentur yaitu sebesar 12,79 MPa dan 278.54 N/mm².

Alvian, dkk (2016) melakukan penelitian tentang komposit hibrid epoksi dengan berpenguat bentonit termodifikasi. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan komposisi pengisi bentonit termodifikasi yang sesuai di dalam komposit epoksi dalam menghasilkan sifat mekanik seperti kekuatan bentur (*impact strength*), serta penyerapan air (*water absorption*) yang terbaik. Dalam penelitian ini, resin epoksi dicampurkan dengan bentonit yang telah dimodifikasi dengan menggunakan surfaktan *cetyltrimethylammonium bromide* (CTAB) dengan variasi konsentrasi CTAB sebesar 0,05 M, 0,1 M, dan 0,15 M serta ditambahkan TiO₂. Pengisi bentonit termodifikasi dengan komposisi sebesar 0%, 5%, 10%, 15%, dan 20% dari berat komposit dicampurkan dengan resin epoksi dan dicetak menggunakan metode *hand lay-up*. Hasil pengujian sifat-sifat mekanik menunjukkan bahwa pada komposisi pengisi sebesar 5% dengan konsentrasi surfaktan sebesar 0,1 M, diperoleh impak maksimum 12,5 kJ/m². Hasil uji mekanik selanjutnya adalah melihat struktur patahan dari hasil uji impak oleh analisis *scanning electron microscopy* (SEM). Pada uji daya serap air, kekuatan penyerapan air meningkat seiring bertambahnya komposisi pengisi.

Kemudian penelitian yang dilakukan oleh Sathiyamurthy, dkk (2011) tentang penambahan 0%, 2%, dan 4% CaCO_3 terhadap komposit *coir*-poliester. Spesifikasi resin terdiri dari resin poliester ortofalat tak jenuh (gravitasi spesifik pada 27 C: 1,136, viskositas: 470cPs, dan massa per satuan luas: $449,96\text{g} / \text{m}^2$), katalis metil etil keton peroksida, dan akselerator oktat kobalt. Serat sabut dipotong menggunakan mesin pemotong dengan panjang serat 10 mm, 30mm, dan 50mm. Pada fabrikasi lapisan resin diaplikasikan di atas agen pelepas dengan kuas. Serat berorientasi acak didistribusikan di atas lapisan resin dan ditekan (1000N) selama 1 jam. Setelah 1 jam, komposit dikeluarkan dari cetakan dan *cured* pada suhu kamar (29°C) selama 24 jam. Prosedur yang sama diikuti untuk mempersiapkan berbagai jenis komposit CaCO_3 -*coir*-polyester sesuai matriks desain faktorial penuh. Ada 27 desain spesimen untuk fabrikasi pembuatan komposit tersebut, masing-masing spesimen diberikan nama atau simbol C1 – C27 dengan variasi diameter serat yaitu 0,1 mm, 0,18 mm, dan 0,25 mm. Pengujian mekanis yang dilakukan adalah uji tarik, *bending* dengan ASTM D790-07, dan impak ASTM D256-06. Menghasilkan kekuatan tarik dan kekuatan lentur pada spesimen C23 sebesar 17,8 MPa dan 27,4 MPa (panjang serat 50 mm, diameter 0,18 mm, dan 2% *filler*) dan pada kekuatan impak pada spesimen C12 (panjang serat 30 mm, diameter 0,25 mm, dan 0% *filler*) yaitu sebesar $39,7\text{ kJ/m}^2$.

Menurut Aziz dan Mohamed (2016) analisis daya serap air (*water absorption*) terhadap komposit serat kenaf/HDPE/ CaCO_3 dan sekam padi/HDPE/ CaCO_3 bahwa peningkatan waktu pencelupan selama 80 hari telah meningkatkan jumlah penyerapan air oleh komposit. Pada tahap awal baik komposit yang tidak terisi maupun yang terisi secara signifikan meningkatkan penyerapan air dan setelah waktu tertentu semua komposit mulai mengurangi penyerapan air dari sekitarnya hingga mencapai titik jenuh. Titik saturasi adalah di mana komposit tidak menyerap lebih banyak air dan kadar air dalam komposit tetap konstan yaitu pada komposit sekam padi/HDPE yang diisi dengan partikel CaCO_3 sebesar 2,5% sedangkan pada komposit kenaf/HDPE/ CaCO_3 mengalami penyerapan air yang tinggi yaitu sebesar 6,4%. Hal ini disebabkan oleh serat kenaf yang memiliki sifat hidrofilik (mudah menyerap air).

Bajuri, dkk (2018) juga melakukan penelitian tentang pengujian daya serap (*water absorption*) terhadap komposit kenaf/nanosilika/epoksi. Tes penyerapan air dilakukan sesuai dengan ASTM D570-98. Sampel diukur menjadi 57 mm × 10 mm. Untuk setiap pemuatan, 3 replikasi dibuat. Sampel dikeringkan dalam oven pada suhu 40°C selama 24 jam sebelum ditimbang. Kemudian sampel direndam ke dalam air dengan suhu $t_{30} \pm 1^\circ\text{C}$. Sampel kemudian ditimbang setelah 3, 6, 24, 48, 72 dan 96 jam untuk minggu pertama. Hasil penelitian penyerapan tertinggi diperoleh oleh spesimen kenaf/epoksi yaitu sebesar 29,80 % dan untuk komposit kenaf/nanosilika/epoksi mampu menurunkan penyerapan air hingga 13,44%.

2.2 Dasar Teori

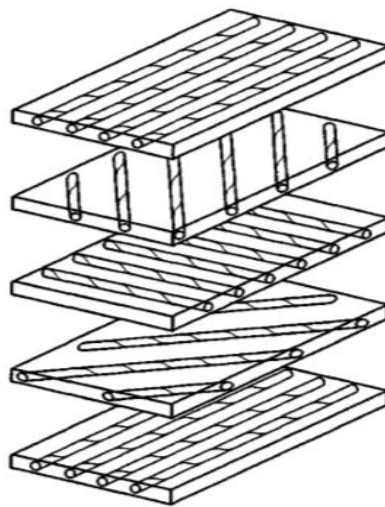
2.2.1 Pengertian Komposit

Kata komposit dalam istilah material komposit menandakan bahwa dua atau lebih material digabungkan pada skala makroskopik untuk membentuk material ketiga yang bermanfaat. Kuncinya adalah pemeriksaan makroskopis bahan yang komponennya dapat diidentifikasi dengan mata telanjang. Bahan yang berbeda dapat digabungkan dalam skala mikroskopis, seperti dalam paduan logam, tetapi bahan yang dihasilkan, untuk semua tujuan praktis, secara makroskopis homogen, yaitu, komponen tidak dapat dibedakan dengan mata telanjang (Jones 1999). Penyusunan komposit pada dasarnya terdiri dari dua material pembentuk, yaitu matriks yang merupakan pengikat dalam komposit yang mempunyai volume terbesar/dominan serta pengisi (*filler*) yang berfungsi sebagai penanggung beban pada komposit.

Berikut ini menurut ada tiga jenis bahan komposit secara umum yang sering digunakan:

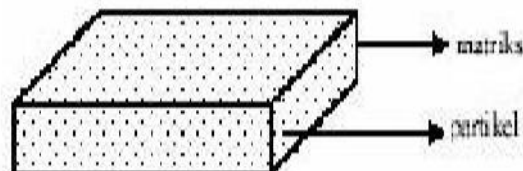
1. Bahan komposit berserat (*Fibrous composite materials*) yang terdiri dari serat dalam matriks. Fungsi utama dari serat adalah sebagai penopang kekuatan dari komposit, sehingga tinggi rendahnya kekuatan komposit sangat tergantung dari serat yang digunakan, karena tegangan yang dikenakan pada komposit mulanya diterima oleh matrik akan diteruskan kepada serat, sehingga serat akan menahan beban sampai beban maksimum. Oleh karena itu, serat harus mempunyai tegangan tarik dan modulus elastisitas yang lebih tinggi daripada matrik penyusun komposit.

2. Bahan komposit berlaminasi (*Laminated composite materials*) yang terdiri dari bahan komposit yang dilaminasi setidaknya dua bahan berbeda yang terikat bersama. Laminasi digunakan untuk menggabungkan aspek terbaik dari lapisan penyusun dan bahan ikatan untuk mencapai bahan yang lebih berguna. Sifat-sifat yang dapat ditekankan oleh laminasi adalah kekuatan, kekakuan, berat rendah, ketahanan korosi, ketahanan aus, keindahan atau daya tarik, isolasi termal, insulasi akustik, dll.



Gambar 2.1 *Laminated composite materials* (Jones,1999)

3. Bahan komposit partikulat (*Particulate composite materials*) komposit partikulat terdiri dari partikel satu atau lebih bahan yang tersuspensi dalam matriks bahan lain. Partikel dapat berupa logam atau bukan logam seperti halnya matriks yang terdiri dari partikel dalam matriks. Contoh-contoh umum termasuk penggunaan partikel aluminium dalam karet; partikel silikon karbida dalam aluminium; dan kerikil, pasir, dan semen untuk membuat beton.



Gambar 2.2 *Particulate composite materials* (Jones, 1999)

2.2.2 Jenis Komposit Serat

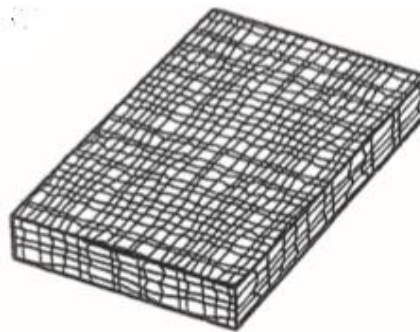
Menurut Jones (1999) Berdasarkan penempatannya terdapat beberapa jenis serat pada komposit,yaitu :

- a. *Continuous Fiber Composite* atau *uni-directional*, mempunyai susunan serat panjang dan lurus, membentuk lamina diantara matriksnya. Jenis komposit ini paling banyak digunakan. Kekurangan tipe ini adalah lemahnya kekuatan antar antar lapisan. Hal ini dikarenakan kekuatan antar lapisan dipengaruhi oleh matriksnya.



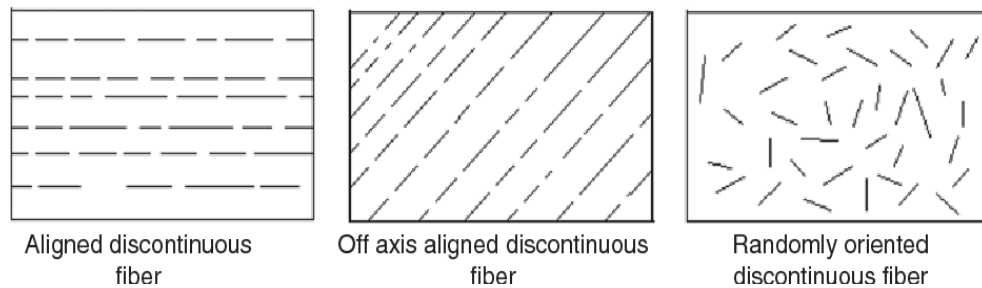
Gambar 2.3 *Continuous Fiber Composite* (Gibson,2012)

- b. *Woven Fiber Composite (bi-directional)* Komposit ini tidak mudah terpengaruh pemisahan antar lapisan karena susunan seratnya juga mengikat antar lapisan. Akan tetapi susunan serat memanjangnya yang tidak begitu lurus mengakibatkan kekuatan dan kekakuan tidak sebaik tipe continuous fiber.



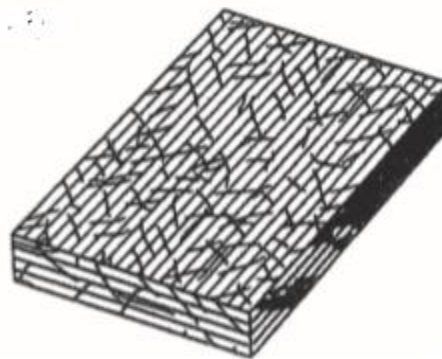
Gambar 2.4 *Woven Fiber Composite* (Gibson,2012)

- c. *Discontinuous Fiber Composite (chopped fiber composite)* komposit dengan tipe serat pendek masih dibedakan lagi menjadi menjadi tiga yaitu :
1. *Aligned discontinuous fiber* merupakan suatu sistem dan metode untuk menyelaraskan serat diskontinyu, membuat *preform* yang dirancang khusus, dan bahan komposit yang terdiri dari serat terputus yang sangat selaras.
 2. *Off-axis aligned discontinuous fiber*
 3. *Randomly oriented discontinuous fiber. Randomly oriented discontinuous fiber* merupakan komposit dengan serat pendek yang tersebar secara acak diantara matriksnya. Tipe acak sering digunakan pada produksi dengan volume besar karena faktor biaya manufakturnya yang lebih murah. Kekurangan dari jenis serat acak adalah sifat mekanik yang masih dibawah dari penguatan dengan serat lurus pada jenis serat yang sama. Berikut ini adalah gambar dari ketiga serat pendek tersebut :



Gambar 2.5 Jenis *discontinuous fiber composite* (Nayiroh,2010)

4. *Hybrid fiber composite* merupakan komposit gabungan antara tipe serat lurus dengan serat acak. Pertimbangannya supaya dapat meminimalisir kekurangan sifat dari kedua tipe dan dapat menggabungkan kelebihanannya.



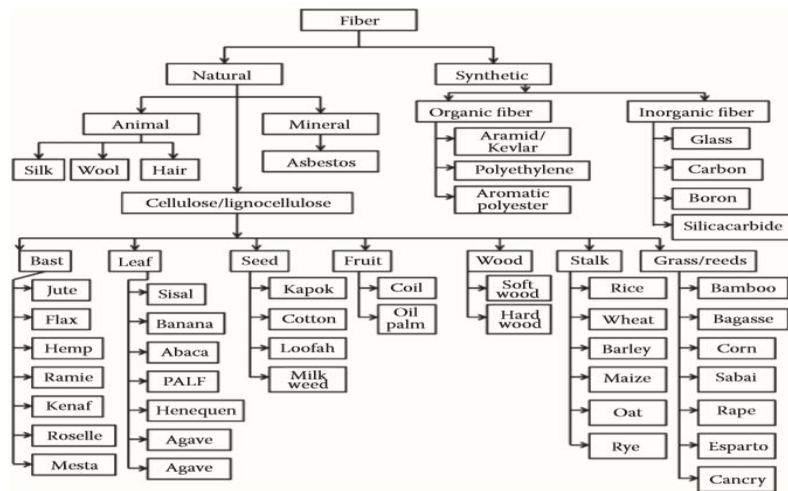
Gambar 2.6 *Hybrid fiber composite* (Gibson, 2012)

2.2.3 Serat Alam

Penggunaan serat alam sebagai bahan pengganti plastik dan logam, mampu memberikan kontribusi yang lebih pada dunia industri khususnya pada industri otomotif. Bahan yang mudah didaur ulang dan ramah lingkungan menjadikan serat alam sebagai pilihan untuk menghasilkan komponen atau material yang tangguh, unggul dan ringan. Selain serat alam yang mudah didapatkan, harga yang ekonomis membuat perusahaan-perusahaan di dunia berlomba-lomba untuk meneliti dan mengembangkan teknologi material komposit.

Menurut Campilho (2016) serat alami biasanya memiliki diameter pada urutan 10 μm dan dengan merupakan bahan komposit, karena disusun oleh dinding sel primer dan tiga dinding sel sekunder. Dinding sel termasuk mikrofibril yang berorientasi acak. Sudut mikrofibril sehubungan dengan sumbu serat memiliki peran utama dalam sifat serat, mengingat bahwa sudut yang lebih kecil memberikan kekuatan dan kekakuan yang tinggi, sedangkan sudut yang lebih besar memberikan daktilitas. Karena serat dibundel bersama oleh lignin dan difiksasi ke batang oleh pektin (keduanya lebih lemah dari selulosa), konstituen ini harus dihilangkan agar serat dapat mencapai efek penguatan maksimum. Panjang serat juga berperan penting dalam kekuatan komposit, terutama ketika adhesi antarmuka lemah.

Berikut ini adalah serat alami yang diklasifikasikan berdasarkan asal usulnya menurut Sapuan, dkk (2018) adalah sebagai berikut :



Gambar 2.7 Klasifikasi serat alam dan sintetis (Sapuan, dkk 2018).

2.2.3.1 Tanaman Kenaf



Gambar 2.8 Tanaman kenaf (/www.apparesearch.com)

Menurut sumber (www.materipertanian.com) nama ilmiah kenaf atau nama latinnya adalah *Hibiscus Cannabius*. Memiliki klasifikasi sebagai berikut :

Kingdom	: Plantea
Sub kingdom	: Viridiplantae
Infra kingdom	: Streptophyta
Super divisi	: Embryophyta

Divisi	: Tracheophyta
Sub divisi	: Spermatophytina
Kelas	: Magnoliopsida
Super Ordo	: Rosanae
Ordo	: Malvales
Famili	: Malvaceae
Genus	: Hibiscus L.
Spesies	: Hibiscus Cannabius L.

Kenaf merupakan tanaman semusim yang batangnya ramping berduri tajam, tingginya sampai 4 m. berasal dari Afrika dan ditanam diseluruh daerah tropis. Suhu yang cocok untuk menanam kenaf sekitar 15°-25°.

2.2.3.2 Serat Kenaf

Peradaman zaman yang semakin canggih sekarang ini, membuat para peneliti mengembangkan ilmu material dibidang komposit. Penggunaan serat alam mampu menggantikan peran bahan material yang sudah ada sebagai bahan pengisi (*filler*). Di industri yang ada didunia sudah mulai menggunakan material komposit dengan serat alam sebagai bahan produksi material. Serat yang digunakan pada komponen material adalah serat kenaf. Salah satu industri otomotif yaitu PT.Toyota Motor Manufacturing Indonesia yang menggunakan serat kenaf bercampur dengan *polypropylene* sebagai perekat untuk pembuatan papan pada bahan baku interior mobil (*Back seatboard, door trim, dashboard, karpet, dll.* (Fauziah,2009).



Gambar 2.9 Serat Kenaf

Berikut ini adalah tabel yang menunjukkan sifat mekanis serat alam

Tabel 2.1 Sifat-sifat mekanis dari serat alam

Serat	Densitas (g/cm ³)	Diameter (μ m)	Tensile Strength (MPa)	Modulus Young (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	0.2-1.2	25-200	930	53	1.6
Rami	1.55	25-200	400-938	38	1.2-3.8
Sisal	1.45	50-200	468-700	9.4-22	3-7
Abaca	1.5	150-500	430-760	3.2	1.6

Kapas	1.5-1.6	12-38	121-220	5.5-12.6	7-8
Eglass	2.55	<17	3400	73	2.5
Kevlar	1.44		3000	60	2.5-3.7
Carbon	1.78	5-7	3400- 4800	240-425	1.4-1.8

2.2.4 Matriks

Secara alami, serat dan kumis tidak banyak digunakan kecuali mereka terikat bersama untuk mengambil bentuk elemen struktural yang dapat menerima beban. Bahan pengikat biasanya disebut matriks. Tujuan dari matriks ini bermacam-macam: mendukung serat, perlindungan serat, transfer tegangan antara serat yang rusak, dan lain-lain. Biasanya, matriks ini memiliki kepadatan, kekakuan, dan kekuatan yang jauh lebih rendah daripada serat. Namun, kombinasi serat dengan matriks dapat memiliki kekuatan dan kekakuan yang sangat tinggi, namun tetap memiliki kepadatan yang rendah. Bahan matriks dapat berupa polimer, logam, keramik, atau karbon (Jones, 1999).

Meskipun matriks sendiri umumnya memiliki sifat mekanik yang rendah dibandingkan dengan serat, matriks mempengaruhi banyak sifat mekanik komposit. Sifat-sifat ini meliputi modulus dan kekuatan transversal, modulus dan kekuatan geser, kekuatan tekan, kekuatan geser interlaminar, koefisien ekspansi termal, ketahanan termal, dan kekuatan kelelahan (Kaw, 2006).

Ada beberapa jenis matriks yang digunakan untuk bahan pengikat dengan serat untuk menghasilkan material komposit yang bagus dalam segi mekanis, fisis, kemudian secara struktur ikatan yang diuji dengan menggunakan optik atau *Structural equation modeling* (SEM). Menurut Kaw (2006), ada berbagai macam jenis matriks atau resin yaitu : *Phenolic, epoxy, polyester, polyimide*. Berikut ini adalah masing-masing kekurangan dan kelebihan menggunakan matriks atau resin tersebut:

Polyester : Keuntungannya adalah biaya rendah dan kemampuan untuk dibuat tembus; kekurangannya termasuk suhu layanan di bawah 170 ° F (77 ° C), kerapuhan, dan penyusutan tinggi, sebanyak 8% selama perawatan.

Epoxy : Keuntungannya adalah kekuatan mekanik yang tinggi dan kekakuan yang baik terhadap logam ; kekurangannya adalah biaya tinggi dan kesulitan dalam pemrosesan.

Phenolic : Keuntungannya adalah biaya rendah dan kekuatan mekanik yang tinggi; kekurangannya termasuk kadar *void* yang tinggi.

2.2.5 Serbuk Partikel

Menurut Widyastuti, (2009) pada umumnya penambahan partikel digunakan sebagai pengisi dan penguat bahan komposit bermatrik keramik, karena jenis ini merupakan bahan yang keras dan getas, juga mudah retak dan patah. Disinilah fungsi dari partikel yang berfungsi untuk mencegah penambahan retak yang akan terjadi. Berikut ini adalah jenis partikel yang digunakan pada penelitian ini :

2.2.5.1 Silika (SiO₂)

Menurut Smallman dan Bishop (1999) silika adalah keramik temperatur tinggi yang banyak digunakan dalam industri baja dan gelas. Batu silika dibuat dengan membakar kuarsa yang tingkat kemurniannya rendah pada temperatur 1450°C, dan dengan demikian mengkonversi sedikitnya 98,5% bagiannya menjadi campuran tridimit dan kristobalit yang bentuknya lebih terbuka dan kurang padat. Istilah konversi disini ekuivalen dengan istilah konversi untuk transformasi alotropi pada material metalik dan merujuk pada transformasi yang karakternya dapat disusun ulang, melibatkan pemutusan dan penggabungan kembali ikatan interatomik. Massa jenis Silika yaitu 2,65 g/cm³ dengan titik lebur 1731°C. Perubahan zat padat ini umumnya lambat dan akibatnya strukur kristal sering kali tertahan dalam kondisi metastabil pada temperatur di luar rentang stabilitas nominal yang dapat dilihat pada tabel 2.2 berikut ini :

Tabel 2.2 Bentuk Utama Kristal Silika

<i>Form</i>	<i>Range of stability (°C)</i>	<i>Modifications</i>	<i>Density (kg m⁻³)</i>
Cristobalite	1470–1723 (m.p.)	β —(cubic)	2210
		α —(tetragonal)	2330
Tridymite	870–1470	γ —(?)	—
		β —(hexagonal)	2300
		α —(orthorhombic)	2270
Quartz	<870	β —(hexagonal)	2600
		α —(trigonal)	2650

2.2.5.2 Bentonit

Menurut Utracki (2004) bentonit (dinamai Ford Benton, Wyoming) kaya akan *montmorillonit* (biasanya > 80%). Warnanya bervariasi dari putih ke kuning, hijau zaitun, coklat ke biru. Kelas mineral ini menunjukkan spektrum sifat yang luas dan akibatnya menemukan berbagai aplikasi dan penggunaan. Asalnya adalah perubahan hidrotermal abu vulkanik yang diendapkan dalam berbagai air tawar (mis., Danau alkali) dan cekungan laut (fosil laut yang melimpah dan batu kapur), ditandai oleh lingkungan pengendapan energi rendah dan kondisi iklim sedang. Sifat fisik lainnya berupa massa jenis 2,2-2,8 g/L; indeks bias 1,547-1,557; dan titik lebur 1330-1430°C

Berdasarkan hasil sampel bentonit yang diambil langsung di lapangan oleh Supeno (2007), dapat dilihat pada tabel 2.3 komposisi adalah sebagai berikut.

Tabel 2.3 Komposisi Bentonit

Komposisi	%
Kalsium oksida (CaO)	0,23
Magnesium oksida (MgO)	0,98
Aluminium oksida (Al ₂ O ₃)	13,45
Ferri oksida (Fe ₂ O ₃)	2,18
Silika (SiO ₂)	74,9
Kalium oksida (K ₂ O)	1,72
Air	4

Berdasarkan tipenya menurut Supeno (2007), bentonit dibagi menjadi dua, yaitu :

- a. Na-bentonit : merupakan bentonit yang jika didispersikan dalam air akan mengembang hingga delapan kali volume awal dan akan terdispersikan cukup lama sehingga susah untuk disedimentasi. Bentonit ini dapat mengembang hingga 8-15 kali apabila dicelupkan ke dalam air dan tetap terdispersi beberapa waktu di dalam air. Dalam keadaan kering berwarna putih atau krem, pada keadaan basah dan terkena sinar matahari akan berwarna mengkilap. Suspensi koloidal mempunyai pH: 8,5-9,8. Bentonit jenis ini biasa digunakan untuk pembuatan pellet besi, penyumbatan kebocoran bendungan dan kolam.
- b. Ca-bentonit : Tipe bentonit ini memiliki daya mengembang yang lebih rendah dibandingkan dengan Na-Bentonit apabila dicelupkan ke dalam air, tetapi secara alami setelah diaktifkan mempunyai sifat menghisap yang baik. Suspensi koloidal mempunyai pH: 4-7. Dalam keadaan kering berwarna abu-abu, biru, kuning, merah, coklat. Na-bentonit dimanfaatkan sebagai bahan perekat, pengisi, lumpur bor, sesuai sifatnya mampu membentuk suspensi koloidal setelah bercampur dengan air. Sedangkan Ca-bentonit banyak dipakai sebagai bahan penyerap.

2.2.5.3 Kalsium Karbonat (CaCO_3)

Menurut Omari, dkk (2016) CaCO_3 adalah salah satu bahan paling melimpah yang ditemukan di kerak bumi dan membentuk jenis batuan seperti batu kapur dan kapur. Selain itu, ini adalah sedimen kimia paling melimpah di lautan modern dan paling purba, membentuk sekitar 10% dari sedimen. CaCO_3 dapat menjadi konstituen sedimen dominan di hampir semua lingkungan, di setiap lintang, dan di setiap kedalaman air. Namun, itu paling umum di laut hangat, tropis, dan subtropis di mana organisme yang menghasilkan sedimen karbonat dapat berkembang. Di sisi lain, karbonat terbentuk secara luas di banyak wilayah di batas barat lautan besar, di belahan bumi selatan dan utara, pada suhu air laut berkisar antara 2 hingga 40°C. Memiliki massa jenis 2,71 g/cm³ dengan titik lebur

pada suhu 825°C. Tabel 2.4 menunjukkan Formula Empiris, Berat Molekul, dan Nomor Identifikasi dari CaCO₃ (Al Omari, dkk 2016).

Tabel 2.4 Formula Empiris, Berat Molekul, dan Nomor Identifikasi dari CaCO₃

Name	Empirical Formula	Molecular Weight	CAS No.	CI No.	EEC No.	INS No.
Calcium carbonate	CaCO ₃	100.09	[471-34-1]	[77220]	[207-439-9]	170(i)

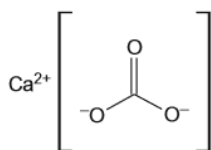


Figure 2.1 Chemical structure of CaCO₃.

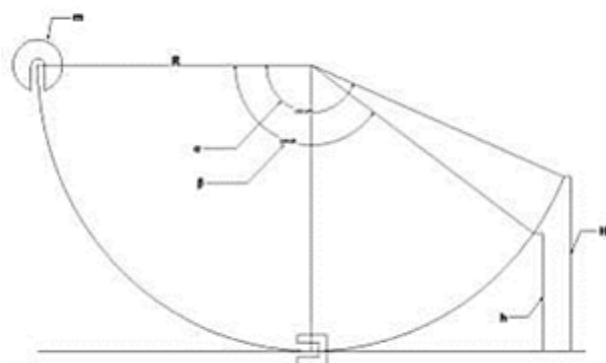
Table 2.5 The Theoretical Elemental Compositions of CaCO₃

Compound	Molecular Formula	%		
		C	Ca	O
Calcium carbonate	CaCO ₃	12.00	40.04	47.96

2.2.6 Pengujian Mekanis dan Fisis pada Komposit

2.2.6.1 Pengujian Impak

Pengujian impak merupakan suatu pengujian yang mengukur ketahanan bahan terhadap beban kejut. Pada dasarnya pengujian impak ini adalah penyerapan energi potensial dari pendulum beban yang berayun dari suatu ketinggian tertentu dan menumbuk benda uji sehingga benda uji mengalami deformasi. Gambar dibawah ini merupakan ilustrasi dari pengujian impak *charpy* (Yuwono, 2009).



Gambar 2.10 Ilustrasi pengujian impak *charpy*

Rumus yang digunakan untuk perhitungan besarnya energi yang terserap oleh komposit dari pengujian impak *charpy* adalah :

$$\text{Energi}_{\text{serap}} = m \cdot g \cdot R [\cos \beta - \cos \alpha] \dots \dots \dots (2.1)$$

Dimana : m = Massa pendulum (kg)

g = Percepatan gravitasi (m/s^2)

R = Panjang lengan pendulum (m)

β = Sudut ayun pendulum setelah menghantam spesimen ($^\circ$)

α = Sudut ayun bebas pendulum ($^\circ$)

Dari hasil perhitungan energi serap diatas, besarnya kekuatan impak dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

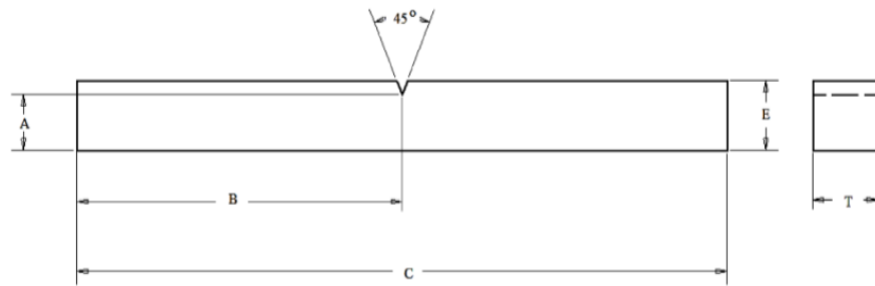
$$\text{Harga Impak (HI)} = \frac{E_{srp}}{A} \dots \dots \dots (2.2)$$

Dimana : HI = Ketangguhan impak (kJ/m^2)

E_{srp} = Energi serap spesimen (Joule)

A = Luas penampang spesimen (m^2)

Pada pengujian impak dilakukan dengan standar ASTM D 6110 dengan dimensi dapat dilihat pada gambar 2.9 dan pada tabel 2.5



Gambar 2.11 Dimensi spesimen dari ASTM D 6110

Tabel 2.5 Standar ukuran dimensi ASTM D 6110

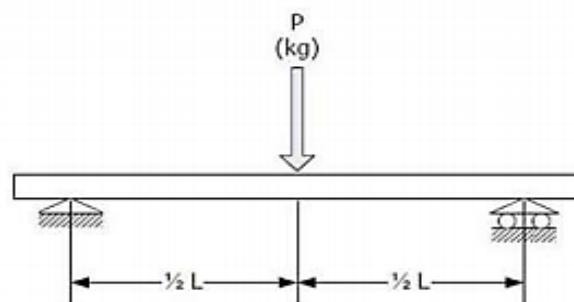
Tebal spesimen 3 - 12,7 mm

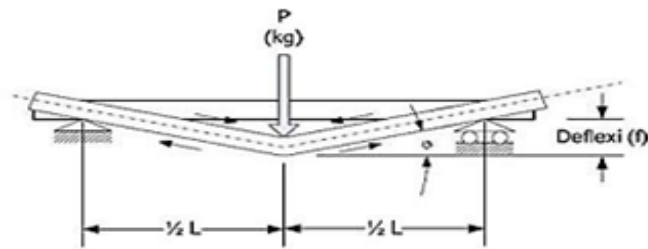
A	10.16 ± 0.05	0.400 ± 0.002
B	63.5 max 61.0 min	2.50 max 2.40 min
C	127.0 max 124.5 min	5.00 min 4.90 min
D	0.25R ± 0.05	0.010R ± 0.002
E	12.70 ± 0.15	0.500 ± 0.006

Satuan dalam mm dan inch

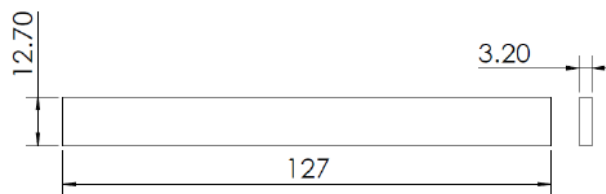
2.2.6.2 Pengujian *Bending*

Pengujian *bending* merupakan salah satu bentuk pengujian untuk menentukan mutu suatu material secara visual. Selain uji *bending* digunakan untuk mengukur kekuatan material akibat pembebanan dan kekenyalan hasil dari sambungan las baik di *weld metal* maupun HAZ. Berikut ini adalah gambar ilustrasi pengujian *bending* ASTM D 790 dan standar ukurannya :





Gambar 2.12 Ilustrasi pengujian *bending* yang memberikan pembebanan dan kemudian menyebabkan defleksi



Gambar 2.13 Standar ukuran spesimen untuk uji *bending* ASTM D790

Untuk rumus perhitungan dapat dilakukan dengan persamaan berikut :

$$\sigma_b = \frac{3PL}{2bd^2} \dots\dots\dots(2.3)$$

- Dimana :
- σ_b = Kekuatan *bending* (Mpa)
 - P = Beban (N)
 - L = Panjang span (mm)
 - b = Lebar batang uji (mm)
 - d = Tebal batang uji (mm)

$$\sigma_b = \frac{3PL}{2bd^2} \left[1 + 6 \left(\frac{D}{L} \right)^2 - 4 \left(\frac{d}{L} \right) \left(\frac{D}{L} \right) \right] \dots\dots\dots(2.4)$$

- Dimana
- σ_b = tegangan bending (MPa)
 - P = gaya pembebanan (N)
 - L = jarak antar tumpuan/span (mm)

- b = lebar spesimen (mm)
 d = tebal spesimen (mm)
 D = defleksi maksimum (mm)

Persamaan 2.3 digunakan apabila perbandingan $L/d \leq 16$ dimana L adalah *support span* dan d adalah tebal spesimen. Pada persamaan 2.4 digunakan jika nilai perbandingan $L/d > 16$. Untuk mendapatkan nilai regangan bending digunakan persamaan berikut:

$$\epsilon_b = \frac{6Dd}{L^2} \dots\dots\dots(2.5)$$

Dimana

- ϵ_b = regangan (mm/mm) D = defleksi maksimum (mm)
 L = panjang span (mm)
 d = tebal (mm)

Untuk mendapatkan nilai modulus elastisitas menggunakan persamaan berikut :

$$E_B = \frac{L^3 m}{4bd^3} \dots\dots\dots(2.6)$$

- 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)

2.2.6.3 Pengujian Daya Serap Air (*water absorption*)

Pengujian daya penyerapan air (*water absorption*) merupakan pengujian dengan cara mencelupkan spesimen komposit kedalam air dan pada saat perendaman waktu ditentukan, sehingga mampu menghitung ketebalan akibat *void* yang ada pada spesimen komposit hibrid. Prosedur pengujian melibatkan pengeringan spesimen dengan berat konstan, menimbanginya, mengukurnya dan merendamnya dalam air untuk jumlah waktu tertentu, dan menimbanginya lagi.

Ukuran spesimen untuk pengujian daya serap air mengacu pada ASTM D570-98 (Shakeri, 2009). Untuk menghitung pertambahan berat (*weight gain*) dan

tebal (thickness swelling) dalam pengujian daya serap air dapat menggunakan persamaan 2.7 dan persamaan 2.8 sebagai berikut:

$$WG = \frac{B_2 - B_1}{B_1} \times 100 \% \dots\dots\dots(2.7)$$

Dimana WG = Penambahan berat (*weight gain*) (%)
 B₁ = Berat sebelum perendaman (gram)
 B₂ = Berat setelah perendaman (gram)

Persamaan 2.8 menghitung pertambahan tebal (*thickness swelling*) :

$$TS = \frac{T_2 - T_1}{T_1} \times 100 \% \dots\dots\dots(2.8)$$

Dimana TS = Penambahan tebal (*weight gain*) (%)
 T₁ = Tebal sebelum perendaman (mm)
 T₂ = Tebal setelah perendaman (mm)

2.2.7 Karakterisasi Patahan pada Material Komposit

2.2.7.1 Microscop Optic Digital

Microscop optic digital adalah variasi dari mikroskop optik tradisional yang menggunakan optik dan *charge couple device* (CCD) kamera ke output gambar digital yang disambung ke monitor, atau dengan menggunakan perangkat lunak pada komputer. Berikut ini adalah gambar dan komponen beserta fungsinya dari *microscop optic digital* :



Gambar 2.14 *Microscop Optic Digital*

Bagian- bagian dari *Microscop Optic Digital* adalah :

- a. *LED switch*, untuk mengatur pencahayaan.
- b. *LED light*, lampu untuk memancarkan cahaya pada mikroskop.
- c. *Zoom button*, tombol untuk mempebesar spesimen yang diteliti pada mikroskop.
- d. *Snap button*, tombol untuk mengambil gambar.
- e. *Focus wheel*, untuk memfokuskan gambar dari objek atau spesimen.

Untuk spesifikasi *Microscop Optic Digital* bisa dilihat pada tabel dibawah ini :

Tabel 2.6 Spesifikasi dari *Microscop Optic Digital*

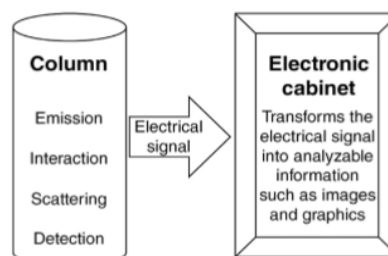
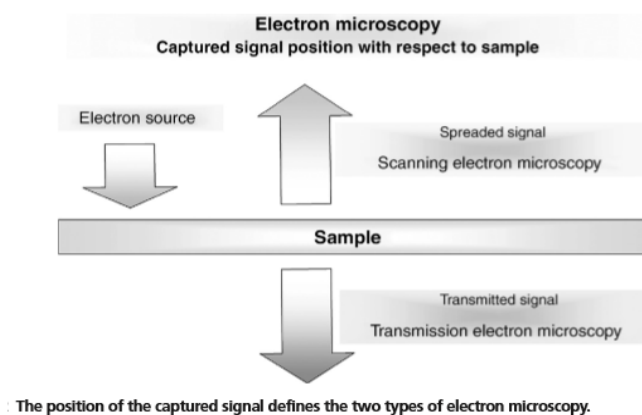
Warna	Hittam
Resolusi Gambar/Video	640*480 pixels
Kontroler	16Bit DSP
Pembesaran	50x-1600x (manual)
Format Foto	JPEG
Format Video	AVI
Lampu LED	8
Penghubung	USB 2.0
Penerima system	WIN XP/VISTA, WIN 7 32/64-bit
Ukuran Microscope	3.2*11.4 (cm) (diameter*panjang)

2.2.7.2 Scanning Electron Microscopy (SEM)

Silva dan Ferri (2017) mengemukakan bahwa mikroskopi adalah teknik yang digunakan untuk memvisualisasikan struktur yang tidak dapat diamati dengan mata telanjang. Tujuan utamanya adalah untuk membentuk gambar daerah yang dimaksudkan untuk diamati. Teknik mikroskopi memungkinkan visualisasi struktur yang ada dalam sampel atau pada permukaannya, tergantung pada teknik yang digunakan dan karakteristik sampel. Untuk memvisualisasikan sampel, teknik untuk meningkatkan kapasitas resolusi mata manusia digunakan, yaitu pada urutan 0,2 mm. sampai kuartal pertama abad ke-20, sampel diamati menggunakan cahaya tampak dengan apa yang disebut mikroskop optik, dan teknik ini bergantung pada pengembangan teknik produksi lensa dengan kualitas optik yang sesuai untuk mencapai batas resolusi setengah dari panjang gelombang terpendek yang terlihat. cahaya. di antara berbagai cara untuk mengklasifikasikan teknik mikroskop, salah satunya terkait dengan sumber eksitasi untuk sampel. saat ini,

tiga teknik mikroskop yang paling banyak digunakan mikroskop cahaya, mikroskop elektron, dan mikroskop probe masing-masing menggunakan cahaya, elektron, dan probe sebagai sumber eksitasi.

Scanning Electron Microscopy (SEM) terdiri dari dua bagian utama, kolom dan kabinet. Kolom adalah ekstensi yang dilalui elektron dari emisinya hingga mencapai sampel, tempat detektor yang dipasang akan menangkap sinyal yang dihasilkan dari interaksi antara elektron dan sampel. Detektor adalah transduser energi yang mengubah satu jenis sinyal menjadi sinyal listrik, yang dikirim ke kabinet kontrol. Kabinet kontrol memiliki sistem elektronik yang dapat mengukur sinyal listrik yang dikirim oleh detektor dan mengubahnya menjadi informasi yang dapat dianalisis seperti gambar dan grafik .



The electron column shows all of the elements that pertain to the signals from their emission until their capture. In the cabinet, the signals are processed for easy display.

Gambar 2.15 Mekanisme pengujian SEM (Silva dan Ferri, 2017)