

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Pustaka

Temuan (Hastuti et al., 2021) menunjukkan kekuatan lentur terendah pada serat volume 15 dan kekuatan lentur tertinggi pada variasi fraksi volume serat 10%. Kekuatan lentur menurun 18,7 persen ketika variasi volume serat naik dari 10% menjadi 15%. Pada variasi volume serat 20%, kekuatan lentur meningkat sebesar 13,6 persen. Karena kemampuan serat untuk menahan beban kejut, volume fraksi serat sabut kelapa telah meningkat dalam korelasi langsung dengan kekuatan impak. Hal ini dikarenakan cetakan komposit tidak memiliki matriks sehingga kekuatan lenturnya turun, karena matriks dan serat kelapa penguat tidak memiliki ikatan yang optimal.

Temuan (Sulardjaka et al., 2020) menunjukkan bahwa kekuatan tarik, modulus elastisitas, dan daktilitas komposit serat eceng gondok dengan matriks LDPE semuanya meningkat ketika 25% dari massa dimodifikasi dengan PVA. Penelitian tentang komposit poliester yang diperkuat serat eceng gondok menghasilkan kekuatan tarik dan lentur masing-masing sebesar 25 dan 28,5 MPa, menurut penelitian tersebut. Komposit yang diperkuat serat eceng gondok ini memiliki kekuatan tarik sekitar 35% dari komposit sejenis yang diperkuat dengan serat rami atau kenaf.

Temuan (Suryawan et al., 2019) menunjukkan bahwa kekuatan tarik material komposit dengan tulangan serat jelatang dipengaruhi oleh fraksi volume serat 10%, 15%, dan 20%. Kekuatan tarik meningkat dengan meningkatnya fraksi volume serat. Kekuatan tarik 12,18 MPa tercatat pada fraksi volume serat 20%. Kekuatan lentur material ini, diukur dalam MPa dan milimeter tegangan lentur, ditemukan 46,66 MPa pada 20% komposit serat/resin epoksi dengan rasio serat terbesar. Pada komposisi 10%, kekuatan lentur terkecil adalah 44,38 MPa dan regangan 0,018 mm.

Temuan (Sutarno et al., 2019) menunjukkan bahwa faktor-faktor yang berpengaruh signifikan terhadap pengaruh dimensi dan variasi rasio pasir vulkanik pada proses *mineral casting* dengan *epoxy* resin berpenguat *CNTs* meliputi fraksi *fly ash* dan *CNTs*. Spesimen terbaik pada pengujian kekerasan adalah percobaan 3 spesimen 1 dengan kriteria *CNTs* (0,2) rasio agregat (50:25:25), agregat : *epoxy* (80:20), dan *fly ash* 5%, sedangkan terbaik pada pengujian absorpsi dengan percobaan 9 spesimen 3 dengan kriteria *CNTs* (0,6), rasio agregat (60:25:25), agregat : *epoxy* (75:25), dan *fly ash* 10%. Kombinasi faktor optimal yang didapat pada pengujian kekerasan A1, dengan *CNTs* 0,2% B1 rasio agregat 50:25:25, C2 rasio agregat : *epoxy* 75, D1 dengan *fly ash* 5%.

Temuan (Suryana et al., 2018) Serat eceng gondok dan pasir silika memiliki rata-rata rasio N.m/mm² tertinggi, dengan variasi 70% pasir silika dan resin poliester menghasilkan 0,00288025 N.m/mm², sedangkan eceng gondok memiliki

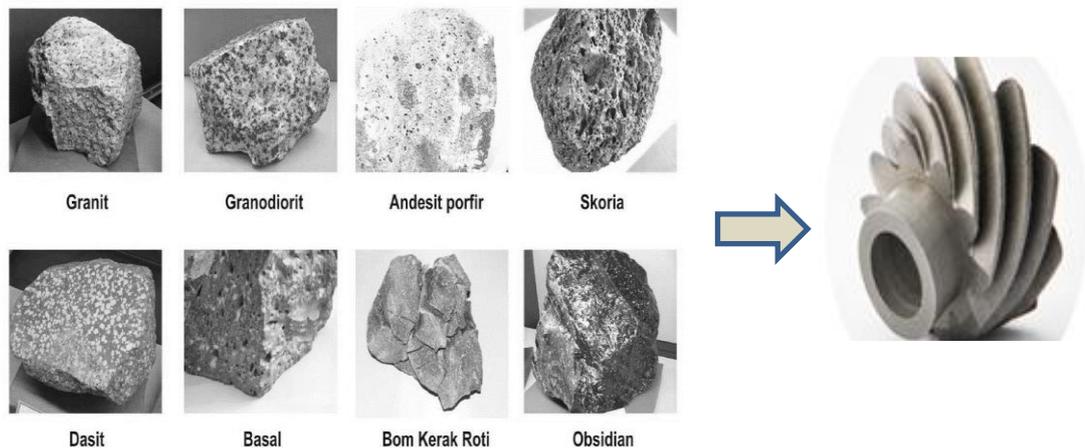
rasio N.m/mm² rata-rata tertinggi, dengan variasi 50% menghasilkan 0,0020535. Eceng gondok dan 70% polyester memiliki nilai rata-rata terendah 0,00140975 N.m/mm². Terdapat kuat tarik sebesar 1,758 kg/mm² pada eceng gondok dengan variasi 50% dan pasir silika 30% pada pengujian plant.

Berdasarkan beberapa kajian pustaka tersebut maka penulis melakukan pengembangan penelitian tentang pencampuran perbandingan matriks dan *filler* pada batuan beku dalam, yang bertujuan untuk mengetahui sifat mekanik kekerasan dan *bending* pada komposit. Mengetahui campuran terbaik pada pembentukan komposit mengacu pada standar ASTM.

2.2 Kajian Teori

2.2.1 Batuan Beku Dalam

Batuan beku asam, batuan beku menengah, dan batuan beku basa semuanya diklasifikasikan berdasarkan kandungan dan komposisi silikanya (Ramdhiani et al., 2018). Untuk pengecoran mineral yang optimal, pemilihan dimensi dipengaruhi oleh pendekatan berbasis komputer yang menekankan sifat unggul proses. 500 mikron (10 persen), silikon dioksida (5 persen), batuan berbatu dengan dimensi 1 sampai 3 mm (20 persen), 3 sampai 6 mm (10 persen), 6 sampai 10 milimeter (10 persen) dan dimensi lebih kasar dari 14 milimeter dan lebih besar (10 persen) digunakan dalam produksi agregat (30 persen). Sebanyak 88% dengan epoksi 12 persen ditemukan dalam penelitian lain dengan rasio 50:25:25 (Wang et al., 2017). Gambar 2.1 menunjukkan berbagai jenis batuan beku dalam (*intrusif*) yang dapat digunakan untuk membuat bahan baku.

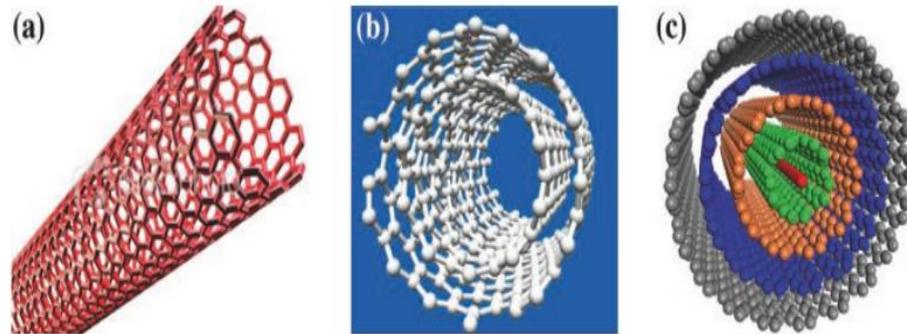


Gambar 2. 1 Jenis Bahan Mineral Beku Pembentukan Komponen Dinamis
Sumber: (Saputra et al., 2021)

2.2.2 Carbon Nanotubes (CNTs)

Tabung nano karbon berbentuk tabung memiliki diameter dalam kisaran nanometer dan terbuat dari karbon. (Khanna & Islam, 2018). Struktur molekul *CNTs* dikategorikan sebagai karbon nanotube berdinding tunggal (*SWCNT*) atau karbon nanotube berdinding ganda (*DWCNT*) dan karbon nanotubes berbentuk

multi (*MWCNT*). Karbon nanotube 20 persen lebih ringan dari baja, tetapi memiliki ketahanan mekanis 15-20 kali lebih besar. Ada nanotube karbon berdinding tunggal (*SWCNT*) dengan diameter sekitar satu nanometer, dan panjang tabung dapat bervariasi jutaan kali. Bentuk busur, zigzag dan kiral dapat dibentuk dengan menggulung lembaran grafem menjadi silinder halus. (Kumari, 2021). Gambar 2.2 menggambarkan tiga jenis struktur nanotube karbon: dinding tunggal (*SWCNT*), dinding ganda (*DWCNT*) dan multi-dinding (*MWCNT*).

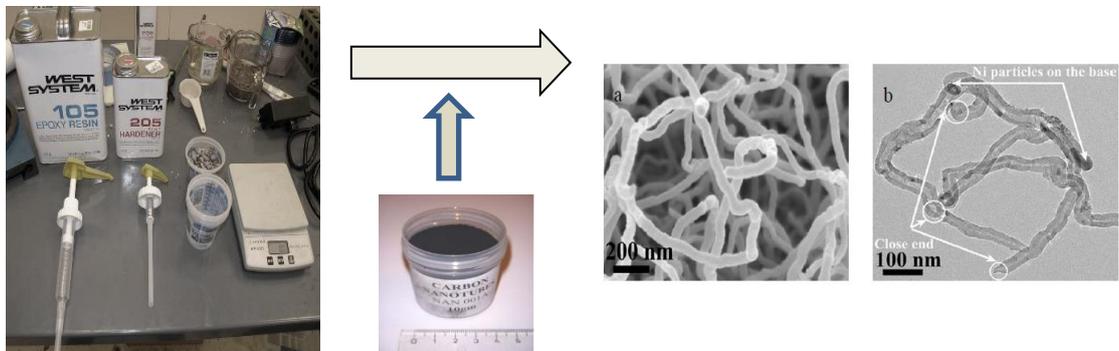


(a) *Single walled carbon nanotubes (SWCNT)*, (b) *Double walled carbon nanotubes (DWCNT)*, (c) *Multi walled carbon nanotubes (MWCNT)*.

Gambar 2. 2 Struktur dan Tipe *Carbon Nanotubes (CNTs)*

Sumber: (Kaushik & Majumder, 2015)

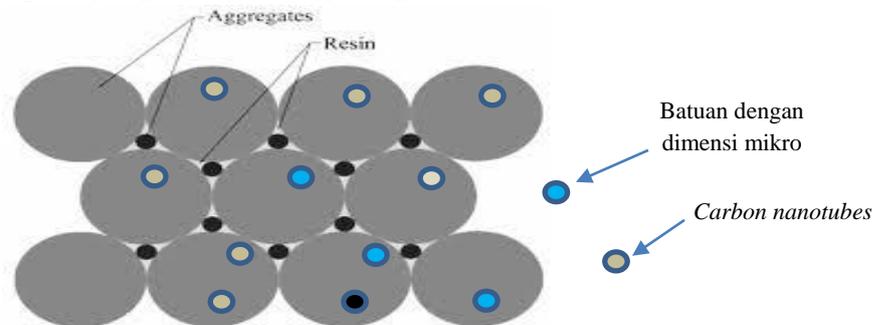
Silinder konsentris dari lembaran grafem yang dilapisi semi-fullerene membentuk struktur nanotube karbon berdinding banyak (*MWCNT*). Ini memiliki keuletan tarik lebih dari 200 N/mm^2 dan panjang tarik beberapa meter dan diameter 10-20 milimeter, memungkinkan untuk membentuk ikatan terkuat pada dimensi di bawah 100 nanometer (Khanna & Islam, 2018). Dengan bertambahnya ukuran pada struktur menunjukkan sifat antara *fullerenes* dan grafit (Wille & Loh, 2016). Ukuran *carbon nanotubes* dibawah 100 nanometer menghasilkan struktur tertutup sesuai dengan gambar 2.3 berikut ini.



Gambar 2. 3 CNTs Dibawah 100 nanometer Meningkatkan Sifat *Cementious*

Sumber: (Aliyu et al., 2017)

Kekuatan tarik material dapat ditingkatkan dengan menambahkan 1% karbon nanotube ke material (Setiyawan et al., 2020), menambah kekakuan sebanyak 40% (Wang et al., 2017), kekuatan tarik 25% dan meningkatkan sifat *cementious* (Kaushik & Majumder, 2015). Ikatan antara *CNTs* dan batuan beku diklasifikasikan sebagai 100-400 mesh dapat ditingkatkan dengan menggunakan bahan berukuran nano, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.4 di bawah ini:



Gambar 2.4 Ikatan Antar Molekul Struktur (Agregat, *CNTs* dan SiO₂)

Sumber: (Kępczak et al., 2016)

Peningkatan ikatan dapat dicapai dengan menggunakan persentase kecil *CNTs* (karbon nanotube). Meningkatkan kekuatan dan kepadatan sintering sifat mekanik pada suhu yang lebih tinggi dan untuk jangka waktu yang lebih lama dalam proses manufaktur komposit dengan meningkatkan suhu dan waktu. (Dahlia et al., 2016). Selain mineral batuan beku dalam, penguatan MWCNT adalah bahan utama yang digunakan dalam komposit untuk mencapai sifat terbaik. Untuk menemukan bahan baku terbaik, sifat terbaik dari setiap bahan dipertimbangkan. Kekuatan komposit ditentukan oleh komposisinya, yang meliputi agregat dan parameternya. Sifat mekanik komposit dan karbon nanotube akan ditingkatkan dengan memperkuatnya dengan bubuk resin.

2.2.3 Sifat Fisik *Carbon Nanotubes (CNTs)*

Karbon nanotube memiliki sifat fisik yang luar biasa, membuatnya berguna dalam berbagai pengaturan komersial, seperti departemen penelitian dan pengembangan perusahaan yang terlibat dalam penciptaan teknologi baru. Karena keunikan dan kelebihannya, karbon nanotube (*CNTs*) banyak digunakan dalam industri:

1. Memiliki kekuatan mekanis yang besar

Carbon nanotube (CNTs) memiliki kekuatan tarik 11-63 Gpa dan *modulus Young* 270-950 Gpa, membuatnya mirip dengan grapheme. Ukuran untuk tipe *single walled carbon nanotube (SWCNT)* dan *multi walled carbon nanotube (MWCNT)* masing-masing berdiameter 1-2 nm, sedangkan panjang dinding untuk kedua tipe tersebut sekitar 0,36 nm.

2. Reaktivitas kimia

Peningkatan kelengkungan permukaan *CNTs* akan menyebabkan peningkatan reaktivitas kimianya. Hal ini menyebabkan elemen dinding *CNTs* memiliki

reaktivitas kimia yang berbeda dari ujungnya. Reaktivitas *CNTs* akan meningkat jika penampang lebih kecil (Nur & Dyartanti, Retno, 2017).

3. Memiliki daya hantar elektronik yang besar

Peningkatan *CNTs* ke bahan plastik ketika pemfokusan rendah dapat membagikan peningkatan nilai daya hantar listrik yang baik. Mengakibatkan kemampuan penghantar listriknya tinggi. Nilai daya hantar panas *CNTs* lebih tinggi dari grafit pada temperatur ruangan dengan nilai sebesar 300 W/k (Saputri & Saraswati, 2021).

4. Karena penampangnya yang kecil dan rasio panjang terhadap diameternya yang besar, *CNTs* menyebar perlahan. Karena kekuatan tariknya yang ekstrim, ini meningkatkan sifat komposit.

5. Lapisan anti-statis yang mengandung *CNTs* digunakan untuk melindungi komponen elektronik dari sensitivitas selama penyimpanan dan pengiriman. (Nur & Dyartanti, Retno, 2017).

2.2.4 Silikon Dioksida (SiO_2)

Pasir kuarsa, abu sekam padi, dan abu ampas tebu adalah sumber alami silikon dioksida, lebih dikenal sebagai silika. SiO_2 memiliki titik leleh antara 1600 dan 1725 derajat Celcius, membuatnya sangat stabil secara termal. Ini memiliki kelarutan dalam air hanya 0,079 gram per liter, membuatnya hidrofilik, serta memiliki indeks bias yang tinggi. Kelembaman, penyerapan, keseimbangan mekanik, perubahan partikel ion yang baik, dan konsistensi panas yang tinggi dari senyawa ini membedakannya (Hardyanti et al., 2017). Peningkatan ketangguhan karena permukaan tahan abrasi silikon dioksida. Selain ketahanan korosi dan stabilitas kimia, silikon dioksida juga dapat digunakan. Mineral dengan konduktivitas termal rendah, penyusutan rendah, dan kekerasan tinggi digunakan untuk mensintesis silikon dioksida. Kombinasi agregat dan parameter mempengaruhi kekuatan komposit, yang dapat meningkatkan kemampuan untuk membentuk lapisan hidrofobik.

2.2.5 Pasir Kuarsa

Penambangan pasir kuarsa adalah salah satu metode yang paling umum untuk mengekstraksi mineral utama dari pelapukan batuan, seperti pasir kuarsa dan feldspar (Falah & Muzaki, 2020). Pasir kuarsa, juga disebut pasir silika, adalah pasir alami yang terbentuk sebagai akibat dari erosi air dan angin dan ditemukan di sepanjang sungai dan garis pantai. Silika trigonal mengkristal silikon dioksida membentuk pasir kuarsa heksagonal (SiO_2). Kekerasan mineral 7 pada skala Mohs, berat jenis 2,50-2,7, dan densitas $2,65 \text{ g/cm}^3$ adalah beberapa karakteristik yang paling membedakannya. Pasir kuarsa pada umumnya berbentuk seperti prisma segi enam dengan piramida segi enam di ujungnya. Bahan dengan permukaan kasar dan kekerasan tinggi, seperti kuarsa, lebih cenderung menempel pada zat lain. Untuk meminimalkan pengupasan permukaan material, diharapkan berbagai komposisi pasir kuarsa mampu mengikat antar agregat. Pasir kuarsa

diketahui memiliki berbagai macam ukuran dan bentuk butir, mulai dari yang halus sebesar 0,06 mm sampai yang kasar sebesar 2 mm, tergantung dari ukuran dan bentuk yang ada (Ramadhan & Suparma, 2018). Adapun struktur unsur kimia pada pasir kuarsa sesuai dengan tabel 2.1 berikut ini.

Tabel 2. 1 Unsur dan Kandungan Mineral Dalam Pasir Kuarsa

Unsur	Kandungan Mineral Pasir Kuarsa
SiO ₂	55,30-99,87%
Fe ₂ O ₃	0,01-9,14%
Al ₂ O ₃	0,01-19,00%
TiO ₂	0,01-0,49%
CaO	0,01-3,24%
MgO	0,01-0,26%
K ₂ O	0,01-17,00%

Sumber: (Ramadhan & Suparma, 2018)

2.2.6 Material Komposit

Ketika dua atau lebih bahan yang berbeda digabungkan, bahan komposit dibuat melalui proses rekayasa material. Sifat komposit lebih kuat secara mekanis daripada komponen individualnya. Material komposit dapat digunakan sebagai pengganti logam karena sifatnya yang sangat baik. Tahan korosi dan memiliki kekakuan spesifik (modulus/densitas) yang lebih tinggi dari kekuatan lelah logam (*fatigue*).

Istilah "komposit" mengacu pada proses di mana dua atau lebih bahan digabungkan dan kemudian diberi perlakuan khusus untuk membuat campuran bahan yang lebih baik. Ketika komposit digabungkan secara makroskopis, komponen matriks dan pengisi masih dapat terlihat, yang membedakannya dengan paduan. Telah terjadi perpaduan yang homogen antara matriks dan filler, bila digabungkan secara mikroskopis sehingga unsur-unsur pendukungnya tidak terlihat lagi pada paduan logam. Sifat-sifat elemen pendukung terlihat jelas dalam matriks komposit. Tidak ada lagi elemen pendukung yang terlihat dalam paduan logam (Zulkifli & Dharmawan, 2019). Adapun komposit matriks logam dapat dilihat pada gambar 2.5 berikut ini:



Gambar 2. 5 Komposit Matriks Logam dengan Penguat Al₂O_{3(p)}

Sumber: (Adjiantoro & Sriyono, 2018)

Komposit terbentuk dari dua bahan material yang berbeda yang terdiri dari *filler* (pengisi) dan matriks (pengikat) yaitu sebagai berikut.

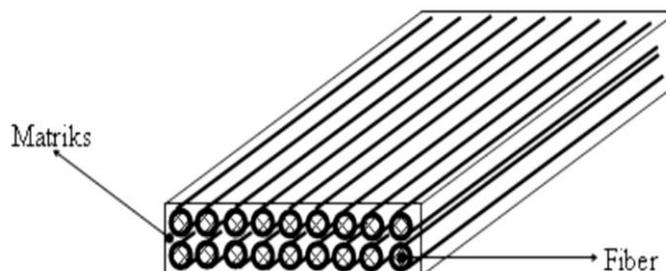
1. Pengisi (*filler*) berguna sebagai pengisi komposit yang memiliki karakteristik lebih ulet, mempunyai kekuatan yang baik dan mampu menggabungkan penguat dengan pengisi dan meningkatkan bentuk dalam komposit. Pada eksperimen pembuatan komposit pengisi yang digunakan dalam bahan komposit yaitu berbentuk batuan beku dalam. Mempunyai persentase volume lebih dari 50% dan lebih banyak daripada bahan penguatnya.
2. Penguat (*Reinforcement*) berguna sebagai pengikat komposit yang memiliki karakteristik sedikit elastis namun lebih kaku dan meningkatkan kekuatan yang lebih baik. Pada eksperimen pembuatan komposit penguat yang digunakan dalam bahan komposit yaitu berbentuk *Phenolic resin*. Material tambahan ini hanya menggunakan matriks tidak boleh lebih dari 50%. Matriks Mempunyai kemampuan mengikat *filler* dengan sangat baik.

Volume (dominan) terbesar dalam komposit dikenal sebagai matriks pengisi dan penguat. Karena kurangnya kekuatan dan kekakuan, bahan ini ulet. Operasi berikut dilakukan oleh matriks:

1. Penguatan disatukan dan dicetak menjadi produk jadi.
2. Komposit menjadi lebih ulet.
3. Mencegah dekomposisi tulangan, yang jika tidak akan merusak komposit, dengan mencegah retak.
4. Melindungi komposit dari bahan kimia berbahaya.
5. Penguatan dilindungi dari keausan oleh bahan.

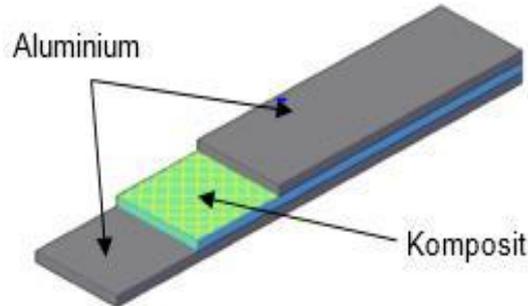
Komposit berdasarkan bentuknya mempunyai 3 jenis penguat yang digunakan yaitu sebagai berikut:

1. Komposit serat (*Fibrous Composites*) yaitu suatu bentuk komposit yang hanya berlaku atas satu laminat atau satu lapisan yang digunakan sebagai penguat yang terdiri dari serat dan *fiber*. *Fiber* yang bisa dipakai seperti *carbon fiber*, *glass fibers*, dan *aramid fibers*. *Fiber* ini dapat tersusun secara random ataupun dengan arah tertentu apalagi bisa dibuat dengan lebih kompleks seperti anyaman. Adapun skema komposit serat sesuai pada gambar 2.6 berikut ini:



Gambar 2. 6 Komposit Serat
Sumber: (Lasarus, 2018)

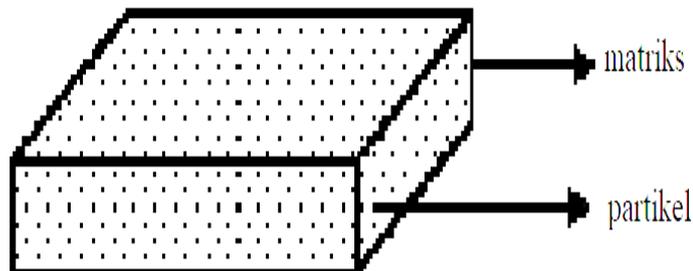
2. Komposit Laminat (*Laminated Composites*) yaitu suatu bentuk komposit yang terbentuk atas dua lapisan atau lebih yang digabungkan menjadi satu dan disusun berlapis-lapis. Dimana masing-masing lapisannya mempunyai karakteristik sifat sendiri yang bertujuan untuk memperoleh sifat seperti sifat termal, kekakuan dan ketahanan korosi. Adapun skema komposit laminat sesuai pada gambar 2.7 berikut ini.



Gambar 2. 7 Komposit Laminat

Sumber: (Suteja et al., 2019)

3. Komposit Partikel (*Particulate Composites*) yaitu suatu komposit yang memanfaatkan partikel/serbuk dari material seperti butiran (batuan atau pasir) sebagai penguatnya dan terhubung secara rata pada matriksnya. Adapun skema komposit partikel sesuai pada gambar 2.8 berikut ini.



Gambar 2. 8 Komposit Partikel

Sumber: (Lasarus, 2018)

Karakteristik utama komponen penunjang pada material komposit masih terlihat sangat jelas, sementara itu pada logam paduan sudah tidak terlihat lagi bagian komponen-komponen penunjangnya. Salah satu kelebihan pada material komposit jika dibandingkan menggunakan material yang lain, terletak pada kombinasi komponen-komponen yang terbaik berdasarkan dari masing-masing kualitas unsur pembentuknya. Karakteristik material hasil kombinasi nantinya dapat saling menyempurnakan kekurangan-kekurangan yang ada untuk meningkatkan kualitas pada material penyusunnya. Sifat-sifat yang dapat diperbaiki (Jones, 1999) diantaranya:

1. Meningkatkan sifat tahan temperature tinggi

2. Ketahanan lelah (*Fatigue resistance*)
3. Kekuatan lebih tinggi
4. Berat (*Weight*)
5. Ketahanan korosi (*Corrosion resistance*)
6. Kekakuan (*Rigidity*)
7. Memperbaiki sifat tahan gesekan dan ketahanan aus

Secara keseluruhan semua kemampuan sifat komposit di atas tidak dalam waktu yang bersamaan (Jones, 1999). Saat ini kemajuan teknologi komposit mulai meningkat dengan sangat cepat. Pemanfaatan material komposit diaplikasikan dalam berbagai macam komponen di antaranya sebagai komponen otomotif, helikopter, satelit, pesawat terbang, kapal laut, arsitektur, peralatan medis dan peralatan olahraga seperti bola kasti, kerangka sepeda, baseball, sky dan lain sebagainya.

2.2.7 Phenolic Resin

Phenolic resin merupakan hasil polikondensasi antara *phenol* dengan *formaldehyde* (Ary Subagia et al., 2018). Katalis basa dan katalis asam digunakan dalam proses pembuatan resin. Reaksi ini dilakukan pada 90 derajat Celcius selama antara satu dan tiga jam, tergantung pada suhu reaktor yang diaduk. Kepadatan dan kekerasan resin menjadikannya bahan bangunan yang berguna. Karena stabilitas dimensinya yang tinggi, penyerapan air yang rendah, dan ketahanan retak, resin ini merupakan pilihan yang sangat baik untuk aplikasi struktural. Ada berbagai kegunaan untuk resin fenolik, resin termoset yang berbentuk bubuk dan tahan panas dan air.

2.2.8 Sifat Mekanik Material

Menjelaskan sifat mekanik suatu material, maka harus mengetahui merespons terhadap deformasi pada material. Sifat mekanik suatu material sering dikaitkan dengan kapasitasnya untuk menerima gaya eksternal dan internal, yang dapat mempengaruhi sifat dan kemampuan material. Sifat mekanik seperti kekuatan, kekerasan, perlakuan panas, dan keuletan sering dipelajari. Material komposit diuji sifat mekanik kekerasan dan kekuatan lenturnya sebagai berikut:

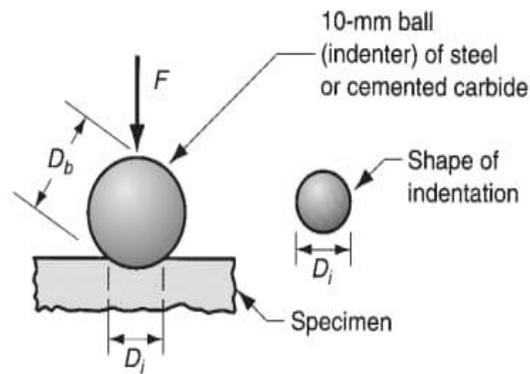
1. Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan atau *hardness test* adalah suatu cara yang paling efektif dilakukan untuk mengidentifikasi ketahanan, kekuatan dan kemampuan menahan deformasi pada suatu material yang diuji (Dwipayana et al., 2018). Nilai kekerasan material yang tertera akan dilakukan analisis besarnya beban yang diterima pada luasan permukaan yang mendapatkan pembebanan pengujian. Pada proses pengujian kekerasan dilakukan penekanan untuk mendapatkan proses tekan yang mudah dan cepat mendapatkan harga kekerasan. Untuk mengetahui kekerasan suatu material dengan menggunakan metode penekanan. Ada tiga cara untuk menentukan ketahanan pengujian kekerasan yaitu kekerasan *brinell*, *rockwell* dan *vickers* yang memiliki

perbedaan di proses menentukan angka kekerasan dari masing-masing pengujian sebagai berikut.

a. Pengujian *Brinell*

Sebuah indenter bulat digunakan untuk melakukan uji kekerasan *brinell* pada spesimen. Untuk logam keras dapat membawa beban 3000 kg, untuk logam sedang beratnya bisa mencapai 1500 kg, sedangkan untuk bahan yang lembut hanya mampu membawa beban 500 kg. Indentor 5 mm, 2,5 mm, dan 1 mm digunakan untuk jangka waktu tertentu. Gambar 2.9 mengilustrasikan prosedur pengujian *brinell*:

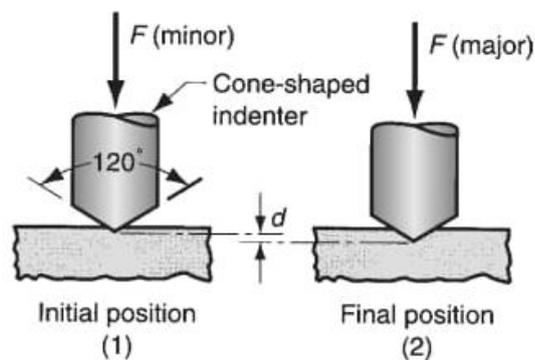


Gambar 2. 9 Skema Uji *Brinell*

Sumber: (Kumayasari & Sultoni, 2017)

b. Pengujian *Rockwell*

Kekerasan lekukan material diukur menggunakan bola baja atau kerucut berlian yang ditekan ke permukaan material yang diuji untuk melakukan uji kekerasan *rockwell*. Kerucut berlian dengan sudut puncak 120° dan ujung membulat digunakan sebagai indenter untuk pengukuran. Gambar 2.10 mengilustrasikan prosedur pengujian *rockwell*:

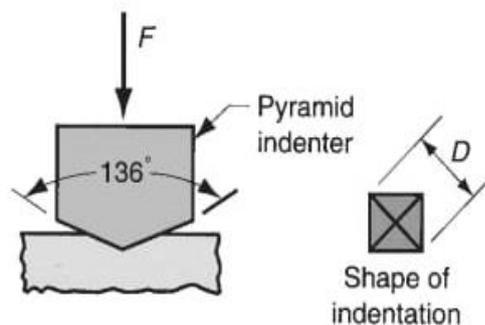


Gambar 2. 10 Skema Uji *Rockwell*

Sumber: (Kumayasari & Sultoni, 2017)

c. Pengujian *Vickers*

Indentor intan digunakan untuk melakukan uji kekerasan *vickers* pada material atau spesimen. Gaya tekan digunakan untuk menekan bentuk piramida lurus dengan sudut puncak 136° ke dalam bahan untuk waktu yang telah ditentukan. Tekanan sisa yang tersisa diukur setelah gerakan mengangkat diagonal. Bagilah gaya dengan luas bekas tekanan piramidal untuk mendapatkan kekerasan *vickers* (Rauf et al., 2018). Adapun skema pengujian *vickers* sesuai pada gambar 2.11 berikut ini:



Gambar 2. 11 Skema Uji *Vickers*

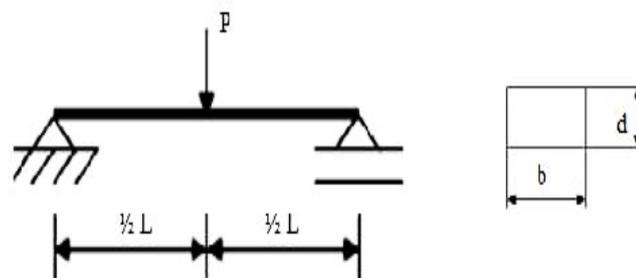
Sumber: (Kumayasari & Sultoni, 2017)

2. Pengujian *Bending*

Uji lentur adalah metode pengujian yang secara langsung mengukur sifat mekanik dari karakteristik kualitas suatu bahan. (Utomo et al., 2020). Standar uji ASTM D580 dengan kondisi uji statis digunakan untuk uji lentur. Selanjutnya, kekuatan tarik material di bawah beban dinilai dengan menggunakan uji lentur. Selama pengujian lentur, bagian atas dan bawah benda mengalami tegangan yang berbeda. Uji lentur diklasifikasikan sebagai tekukan tiga titik atau empat titik.

a. *Three point bending*

ialah cara pengujian yang menggunakan 2 tumpuan dan 1 penekan. Pengujian *three point bending* sesuai pada gambar 2.12 berikut ini:

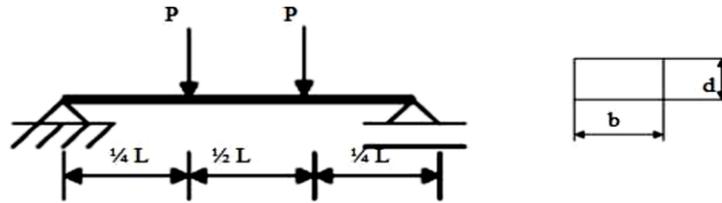


Gambar 2. 12 Pengujian *Three Point Bending*

Sumber: (Mukmin, 2019)

b. *Four point bending*

ialah cara pengujian yang menggunakan 2 tumpuan dan 2 penekan. Pengujian *three point bending* sesuai pada gambar 2.13 berikut ini:



Gambar 2. 13 Pengujian *Four Point Bending*
Sumber: (Mukmin, 2019)

2.2.9 Metode Taguchi

Penggunaan teknik Taguchi, metode statistik, digunakan untuk mengurangi kesalahan. Pada tahun 1949, Dr. Genichi Taguchi memperkenalkan metode Taguchi (Maulidia et al., 2020). Taguchi adalah metode yang relatif baru di kalangan industri dan teknik. Tujuannya adalah untuk mengurangi biaya operasi sekaligus meningkatkan mutu produk, kualitas dan proses. Eksperimen digunakan dalam rekayasa dan pengembangan kapasitas untuk menerapkan teknik ini. Mengidentifikasi faktor-faktor yang memiliki dampak terbesar pada hasil, terutama yang paling berpengaruh. Target harga rencana target harus dikurangi dalam desain produk untuk mengurangi kesalahan kualitas. Oleh karena itu dilakukan dengan mengidentifikasi variabel-variabel yang mempengaruhi kualitas dan menyesuaikan tingkatannya.

2.2.10 Desain Eksperimen Taguchi

Tiga tahap utama dari desain eksperimen taguchi mencakup semua pendekatan eksperimen (Muid et al., 2018). Tiga tahapan tersebut yaitu:

1. Tahap Perencanaan Eksperimen

Tahap perencanaan adalah proses yang pertama dilakukan yang terdiri dari rumusan masalah, menentukan tujuan penelitian, menentukan variabel terikat, penetapan faktor-faktor yang mempengaruhi variabel independen, memisahkan faktor kontrol dan gangguan yang tidak dapat dikendalikan pada penelitian. Serta menentukan jumlah level, dari kolom interaksi, mengetahui derajat kebebasan dan menentukan *orthogonal array*.

a. Perumusan Masalah

Mengetahui masalah atau faktor yang diamati serta menjawab tujuan eksperimen pada penelitian. Perumusan masalah harus secara khusus dan jelas secara metode penerapan yang dapat dilimpahkan ke dalam eksperimen yang dijalankan.

b. Tujuan eksperimen

Mengetahui penyebab dan konsekuensi yang mendasari masalah yang diamati sangat penting untuk mencapai tujuan studi yang dinyatakan.

- c. Identifikasi faktor-faktor (variabel bebas)
Selama tahap ini, akan ditentukan variabel mana yang akan diperiksa untuk melihat apakah mereka memiliki dampak terhadap variabel dependen penelitian.
 - d. Menentukan jumlah level dan nilai faktor
Hasil penelitian lebih akurat ketika lebih banyak faktor dan level dipelajari, tetapi lebih banyak faktor dan level meningkatkan jumlah pengamatan, yang meningkatkan biaya eksperimen.
 - e. Pemilihan tabel *orthogonal array*
Faktor-faktor dan interaksi yang diharapkan dari nilai level setiap faktor mempengaruhi pemilihan *orthogonal array* yang sesuai. Untuk mengetahui jenis matriks *orthogonal array* yang dipilih maka akan disesuaikan dengan desain eksperimen atau banyaknya percobaan yang dilakukan.
2. Tahap Implementasi Eksperimen
- Tahap penerapan adalah langkah utama yang dilakukan selanjutnya ketika hasil percobaan diakumulasi. Ketika eksperimen yang dilakukan tersusun, terlaksana dan terarah secara baik, maka analisis ulasan akan terlihat lebih mudah dikerjakan dan akan menciptakan informasi aktual tentang faktor dan level.
- a. Jumlah Replikasi
Tujuan dari replikasi adalah untuk meningkatkan akurasi dengan mengulangi proses penelitian dan menggunakan perlakuan yang sama pada tes yang sama dalam kondisi yang sama. Ini adalah tujuan replikasi untuk meminimalkan kesalahan eksperimen dan menentukan biaya sebenarnya dari dugaan kesalahan eksperimen selama proses pengujian.
 - b. Pemisah faktor dan gangguan
Memberikan semua komponen percobaan kesempatan yang sama untuk mendapatkan perlakuan dengan harapan setiap perlakuan akan memberikan efek yang sama.
3. Tahapan Analisis Eksperimen
- Pada fase penelitian ini dilaksanakan proses pengumpulan data dan pengerjaan data yang terdiri dari perkiraan data, penataan data, penyampaian data serta perhitungan data. Dengan cara pengaturan khusus untuk percobaan tertentu, sesuai dengan desain yang ditentukan. Data statistik tentang analisis varians, pengujian hipotesis dan penerapan rumus yang telah ditemukan dalam data uji juga disertakan.

2.2.11 Karakteristik Kualitas

Karakteristik kualitas merupakan nilai yang menjelaskan penerapan atau proses. (Maulidia et al., 2020). Karakteristik kualitas digunakan untuk mengetahui kontribusi dan tahapan perencanaan percobaan dari awal experiment. Dalam

karakteristik kualitas *signal to noise ratio* terdiri atas 3 tingkatan yang diterapkan yaitu:

1. *Smaller the Better (STB)*

Kapasitas karakteristik apabila semakin lebih kecil nilainya atau hampir mendekati angka nol, maka kualitasnya bertambah unggul.

2. *Nominal the Better (NTB)*

Karakteristik nilai apabila ditentukan nilai sasaran tidak nol atau nilai menuju target. Jika nilainya lebih hampir mendekati harga nominal maka kapasitasnya menjadi paling unggul.

3. *Larger the Better (LTB)*

Pencapaian karakteristik apabila ditentukan nilai sasaran tidak tertentu atau lebih banyak. Jika angkanya lebih mendominasi dari angka yang ditentukan atau paling besar maka kapasitasnya akan menjadi paling sempurna.

2.2.12 Matriks *Orthogonal Array*

Dalam desain faktorial fraksional yang dikenal sebagai matriks *orthogonal array*, elemen-elemen tertentu disusun dalam baris dan kolom. Faktor-faktor yang dapat ditentukan atau diubah dikenal sebagai kolom dalam percobaan. Setiap variabel input eksperimen diwakili oleh satu baris. Misalnya, *orthogonal array* dikatakan sesuai apabila di mana semua faktor pada setiap tingkat matriks seimbang dan berbeda dari efek variabel lain (Setyanto & Lukodono, 2017). Oleh karena itu, matriks seimbang dengan faktor dan level yang sesuai adalah yang memiliki matriks *orthogonal array* yang sama. Faktor atau tingkat pengaruh ketidakpastian pada faktor dan tingkat lain kemudian dapat ditentukan. Jika *orthogonal array* digunakan untuk menentukan berapa banyak faktor, level, dan studi yang diperlukan, maka klasifikasi kebebasan untuk setiap faktor dan level harus dilakukan sesuai dengan derajat kebebasan.

2.2.13 *Analysis Of Variance (ANOVA)*

Menurut (Sugianto, 2017), Metode Taguchi menggunakan metode statistik analisis varians untuk mendeskripsikan dan menginterpretasikan hasil pengujian. Analisis varians adalah metode untuk menghitung estimasi kontribusi setiap parameter terhadap semua perhitungan respons secara lebih kuantitatif. Untuk tujuan menentukan seberapa akurat hasil estimasi, metode yang disebut analisis varians (*ANOVA*) diterapkan pada desain penelitian. Dengan menggunakan pendekatan analisis varians, metode taguchi digunakan untuk menentukan variabel mana yang mempengaruhi nilai respon terhadap data variabel dalam prosesnya. Dengan menggunakan analisis varians, dimungkinkan untuk menentukan tingkat pengaturan terbaik atau tertinggi untuk mengurangi variasi. Menentukan dan mengetahui proses dan parameter mana yang signifikan secara statistik dan kontribusi setiap parameter ditentukan.