

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab II kajian pustaka dan dasar teori ini dijelaskan mengenai keterkaitan beberapa referensi dengan penelitian yang akan dilaksanakan. Bab II ini meliputi beberapa aspek bahasan, diantaranya: Material Komposit, Penguat, Pengikat, penelitian terdahulu, Karbon, Fraksi volume, geometri 3D Struktur Penguat Komposit, Sifat Mekanik Komposit, Simulasi Komputer.

2.1 Material Komposit

Komposit berasal dari kata kerja "*to compose*" yang berarti menyusun atau menggabung. Jadi secara sederhana bahan komposit berarti bahan gabungan dari dua atau lebih bahan yang berlainan. Komposit merupakan rangkaian dua atau lebih bahan yang digabung menjadi satu bahan secara mikroskopis dimana bahan pembentuknya masih terlihat seperti aslinya dan memiliki hubungan kerja diantaranya sehingga mampu menampilkan sifat-sifat yang diinginkan (Mikell, 1996).

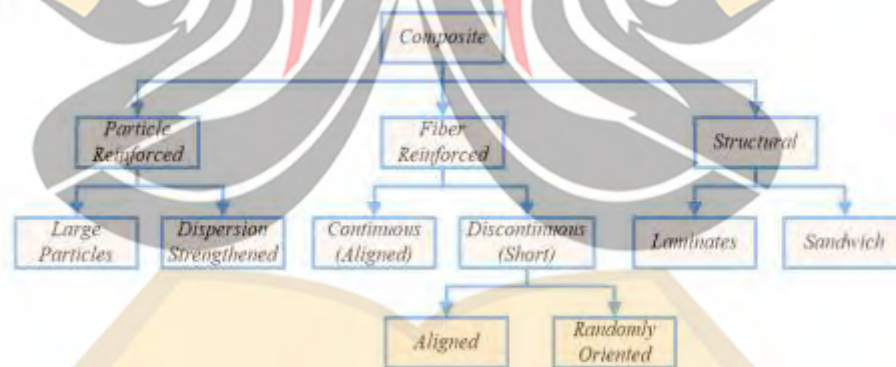
Matthews dkk (1993) komposit adalah suatu material yang terbentuk dari kombinasi dua atau lebih material pembentuknya melalui campuran yang tidak homogen, dimana sifat mekanik dari masing-masing material pembentuknya berbeda. Dari campuran tersebut akan dihasilkan material komposit yang mempunyai sifat mekanik dan karakteristik yang berbeda dari material pembentuknya sehingga kita leluasa merencanakan kekuatan material komposit yang kita inginkan dengan jalan mengatur komposisi dari material pembentuknya. Jadi komposit merupakan sejumlah multi fasa sifat dengan gabungan, yaitu gabungan antara bahan matriks atau pengikat dengan penguat.

Campbell (2010) material komposit dapat didefinisikan sebagai kombinasi dari dua atau lebih material untuk menghasilkan sifat yang lebih baik dari material penyusunnya ketika berdiri sendiri. Beda halnya dengan paduan keramik, material penyusun pada komposit ini tetap mempertahankan masing-masing sifat kimia, sifat fisik maupun mekanik satu sama lain. Keuntungan utama pada material

komposit ialah kekuatan dan kekakuan yang tinggi, dapat dikombinasikan dengan material yang memiliki densitas rendah jika dibandingkan dengan bulk material sehingga memungkinkan terjadi pengurangan berat material pada bagian yang telah jadi.

2.2 Reinforce

Reinforced adalah penguat yang ditempatkan di dalam matriks pada komposit dan harus memiliki kekuatan mekanik yang lebih tinggi dari matriksnya. Penguat tidak selalu berfungsi untuk meningkatkan sifat mekanik komposit dan memberikan efek penguatan, tetapi juga digunakan untuk mengubah sifat-sifat fisik seperti sifat tahan aus, koefisien friksi atau konduktivitas termal. Serat-serat penguat dapat dapat dibuat dari keramik, keramik, dan polimer yang diubah menjadi serat grafit yang disebut dengan serat gelas. Serat yang ditanam dalam matriks akan meningkatkan modulus matriks. Ikatan yang kuat sepanjang serat memberikan modulus yang sangat tinggi (Sulistijono, 2012). Komposit berdasarkan jenis penguatnya (reinforcement) terbagi menjadi 3, yaitu komposit partikel, serat, dan structural . Adapun klasifikasi komposit berdasarkan penguatnya sebagai berikut :



Gambar 2. 1 Klasifikasi reinforcement komposit

2.2.1 Komposit Partikel

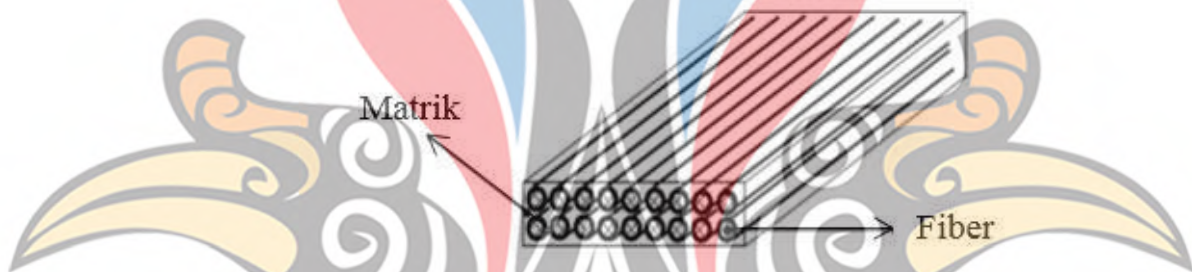
Komposit Partikel adalah Komposit yang tersusun dari matriks kontinyu dan panguat yang diskontinyu yang dapat berbentuk partikel, serbuk pendek atau whiskers. Dengan penguat berbentuk partikel, komposit dapat membagi beban agar terdistribusi secara merata dalam material dan dapat menghambat deformasi plastis matriks (Sulistijono, 2012). Adapun gambar komposit partikel sebagai berikut:



Gambar 2. 2 Komposit partikel

2.2.2 Komposit Serat

Komposit Serat merupakan komposit yang memiliki matriks yang kontinu dan penguat yang berbentuk serat. Serat dapat terdiri dari banyak filament, masing-masing filament memiliki 5-15 μm , sehingga dapat diproses lebih lanjut (Sulistijono, 2012). Berikut adalah komposit serat yang dapat dilihat pada Gambar 2.3



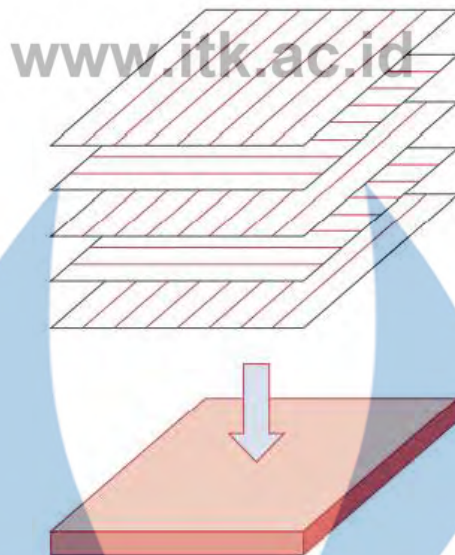
Gambar 2. 3 Komposit serat

2.2.3 Komposit Struktural

Komposit structural biasanya terdiri dari dua bahan homogen, yang memiliki sifat tidak bergantung pada sifat material penyusunnya tetapi juga pada desain geometri dari berbagai struktur elemen. Komposit struktural yang paling umum ialah komposit laminat dan panel sandwich, seperti penjelasan sebagai berikut:

a. Komposit Laminat

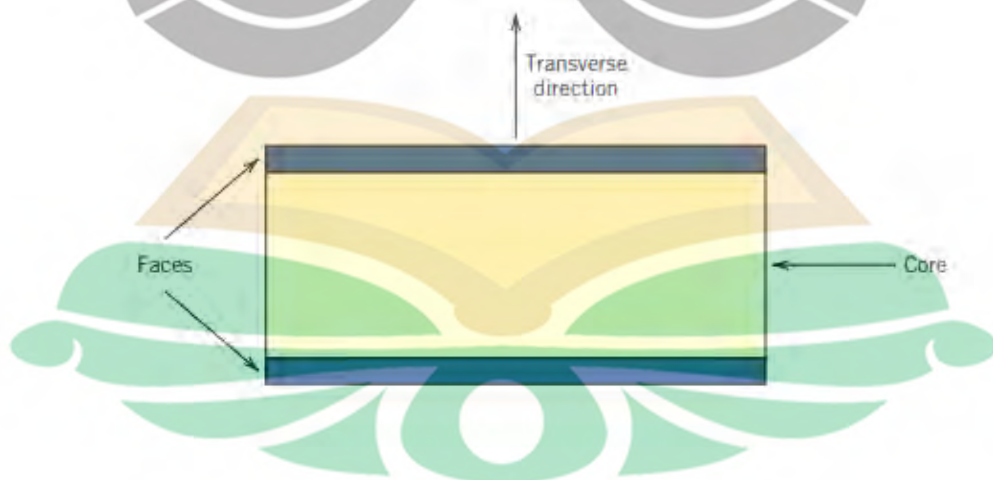
Komposit laminar terdiri dari lembaran atau panel dua dimensi yang memiliki kekuatan tinggi pada arah yang ditentukan, seperti halnya pada kayu dan plastic yang diperkuat serat searah. Lapisan disusun dan selanjutnya disatukan sesuai dengan kebutuhan sehingga orientasi arah memiliki kekuatan yang bervariasi di masing-masing urutan lapisan seperti pada gambar 2. . Contohnya pada lembaran kayu seperti plywood yang memiliki arah yang sejajar antara satu dengan yang lain. (Callister dan Rethwisch, 2010)



Gambar 2. 4 Susunan beraturan pada komposit laminat dengan penguat serat (Callister dan Rethwisch, 2010)

b. Komposit Sandwich Panels

Sandwich panels merupakan komposit yang dianggap bagian dari komposit structural, yang dirancang untuk menjadi material yang ringan atau lapisan yang memiliki kekakuan dan kekuatan yang relative tinggi. Sandwich panel terdiri dari dua lapisan luar atau permukaan yang terikat secara adhesif dengan inti yang lebih tebal seperti pada gambar 2. (Callister dan Rethwisch, 2010)



Gambar 2. 5 Skema yang menunjukkan komposit sandwich panels (Callister dan Rethwisch, 2010)

Lapisan luar bias anya terbuat dari suatu material yang memiliki sifat relatif kaku dan kuat seperti alumunium paduan, plastic dengan penguat serat, titanium, baja,

dan lapisan kayu. Dalam hal ini struktur material tersebut harus memiliki sifat kekakuan dan kekuatan tinggi dan cukup tebal untuk menahan tegangan Tarik dan tekan yang diperoleh dari hasil pembebanan. (Callister dan Rethwisch, 2010),

2.3 3D Struktur Penguat Komposit

Komposit dengan struktur 3D terintegrasi memberikan potensi besar untuk digunakan dalam aplikasi teknik, karena kombinasi dari rendah berat dengan sifat mekanik tinggi dan delaminasi mereka kemampuan tahan yang lebih baik. Komposit struktur 3D biasanya terbuat dari kain spacer, terdiri dari dua bahan yang terpisah permukaan dihubungkan dengan benang spacer. Komposit dibuat dengan kain berstruktur 3D ini memiliki keunggulan yaitu komposit dapat dibuat dalam satu langkah, tidak melalui proses pembuatan yang rumit; dua sisi kain ini diikat oleh benang penjarak, sehingga delaminasi inti muka diperkirakan tidak dapat terjadi, area inti berlubang dapat diisi dengan berbagai macam bahan, tergantung pada kebutuhan dari pengaplikasian. Dalam hal ini komposit struktur 3D dapat diaplikasikan secara luas dan biasa digunakan untuk mobil, kendaraan, kelautan dan sebagainya (Chen dkk, 2015)

Susunan atom-atom yang teratur dalam tiga dimensi menurut suatu pola tertentu dinamakan kristal. Bila dari inti-inti atom dalam suatu kristal ditarik garis-garis imajiner melalui inti-inti atom tetangganya maka akan diperoleh suatu kerrang tiga dimensi yang disebut space lattice (kisi ruang). Space lattice ini dapat dianggap tersusun dari sejumlah besar unit cell (sela satuan). Unit cell merupakan bagian terkecil dari space lattice yang bila disusun ke arah sumbu-sumbunya akan membentuk space lattice. (Suherman, 2003)

Teknologi preforming telah bermunculan sebagai inti manufaktur material komposit dalam desain dan pembuatan 1D, 2D, dan 3D preform. Preform yang semakin kompleks memiliki tujuan untuk meningkatkan sifat yang dimiliki. Aiman (2016) Sedangkan woven 3D memiliki ketahanan atau toleransi kerusakan impact yang lebih baik dibandingkan dengan woven 2D komposit karena adanya benang pada arah z dalam struktur woven. Benang pada arah z memiliki mekanisme penyerapan energi yang unik membuat area kerusakan akibat benturan komposit woven 3D lebih kecil dibandingkan dengan komposit woven 2D.

2.4 Matriks

Matriks adalah fasa yang memberikan bentuk pada struktur komposit dengan cara mengikat penguat atau serat secara bersamaan. Karakteristik yang dimiliki matriks umumnya adalah ulet, serta memiliki kekuatan dan rigiditas yang lebih rendah reinforcednya (Sulistijono, 2012). Matriks ini juga mempunyai fungsi yaitu

- a) Matriks mengikat fiber, menjaga agar tetap sejajar dengan arah tegangan. Beban yang diberikan terhadap komposit akan didistribusikan ke fibres, memungkinkan komposit untuk menerima compression, flexural, maupun shear force. Kemampuan komposit untuk menerima berbagai beban tergantung pada matriks sebagai media pentransfer beban, dan juga efisiensi dari transfer beban juga berkaitan dengan kualitas dari ikatan antara matriks dan fibres.
- b) Matriks melindungi reinforcing filaments dari kerusakan mekanik, misalnya abrasi dan juga dari kondisi lingkungan lingkungan
- c) Matriks menyumbang beberapa sifat seperti kekakuan, ketangguhan dan tahanan listrik (Nayiroh, 2013).

2.5 Penguat Serat Karbon

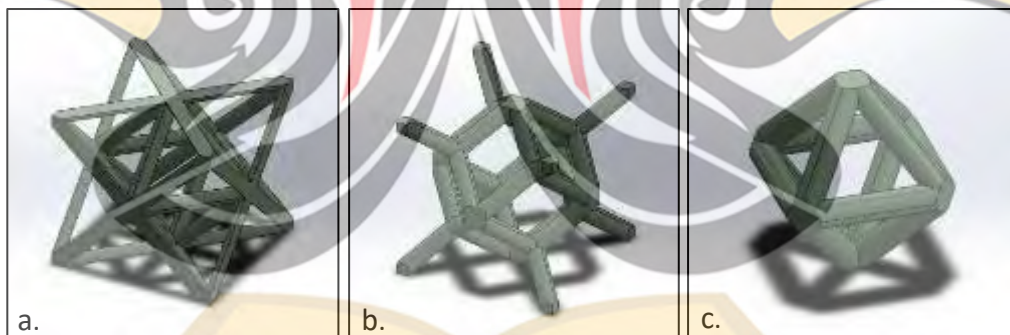
Serat karbon atau carbon fiber adalah serat yang biasa dipakai untuk penguat komposit. Serat karbon sebagian besar digunakan di industri penerbangan dan kelautan, karena melihat dari berat jenis bahan yang dianggap lebih penting daripada biaya pembuatan komponen. Keuntungan dari serat karbon yaitu biaya lebih rendah, berat jenis rendah dari serat gelas, kekuatan tarik dan tekan yang tinggi, adapun kerugian dari serat ini yaitu ketahanan benturan yang rendah dan konduktivitas yang tinggi, sehingga mesin listrik mudah korslet bila tidak dilindungi. Serat karbon mampu memberikan kinerja yang lebih bagus sebagai hasil kombinasi sinergis konduktivitas listrik dan sifat mekanis yang tinggi, seiring dengan penurunan berat secara keseluruhan menjadi lebih ringan (Arti, D.K et al. 2014)

Sifat dari serat karbon dipengaruhi oleh beberapa faktor. Satu faktor yang paling utama adalah arah atau alur serat karbon. Berbeda dengan material keramik, karbon fiber khususnya dan material komposit lain pada umumnya, disebut sebagai

material anisotropik. Maksudnya adalah sifat properti material ini dipengaruhi oleh bentuk dan arah serat penyusunnya. Sehingga kekuatan serat karbon bergantung pada bentuk dan arah serat penyusunnya. Di sisi lain material seperti keramik, plastik, dan lainnya memiliki sifat yang tetap sekalipun bentuk dan arah butir-butir molekulnya berbeda-beda. Karena itulah material-material ini disebut material isentropic (Pulungan, 2017).

2.6 Geometri Elemen Penguat

Geometri menurut (Bird, 2002) merupakan bagian dari matematika yang membahas mengenai titik, garis, bidang, dan ruang. Geometri berhubungan dengan konsep-konsep abstrak yang diberi simbol-simbol. Beberapa konsep tersebut dibentuk dari beberapa unsur yang tidak didefinisikan menurut sistem deduktif. Geometri merupakan salah satu sistem dalam matematika yang diawali oleh sebuah konsep pangkal, yakni titik. Titik kemudian digunakan untuk membentuk garis dan garis akan menyusun sebuah bidang. Pada bidang akan dapat mengonstruksi macam-macam bangun datar dan segi banyak. Segi banyak kemudian dapat dipergunakan untuk menyusun bangun-bangun ruang, seperti pada gambar berikut:



Gambar 2.8 Elemen Penguat (a.) zirconia, (b.) fluorit, (c) barium titanat

Gambar diatas merupakan bentuk geometri penguat didesain menyerupai struktur kristal keramik alasan memilih desain zirconia, fluorit, barium titanat karena sesuai dengan pertimbangan set struktur level yang terkait dengan minimal tiga kali lipat periodik bentuk permukaannya (Maldovan, 2007).

2.7 Epoksi

Bahan yang digunakan sebagai matrik dalam pembuatan komposit polimer adalah polimer *polyester* dan *epoxy* dalam bentuk resin. Matrik *epoxy* umumnya dipakai sebagai matrik pada komposit polimer dengan serat karbon atau serat aramid. Sedangkan resin *polyester* lebih sering digunakan untuk jenis-jenis serat

yang lain. Dari segi kekuatannya dan penyusutan setelah mengalami proses *curing*, matrik *epoxy* lebih unggul dibandingkan resin *polyester*. Matrik *epoxy* mempunyai kegunaan yang luas dalam industri kimia teknik, listrik, mekanik, dan sipil sebagai bahan perekat, cat pelapis, dan benda-benda cetakan. Selain itu matrik *epoxy* juga mempunyai ketahanan kimia yang baik (Prabowo, 2007)

2.8 Mikromekanik

Teori mikromekanik digunakan untuk menghitung dan memprediksi sifat komposit laminat, dalam pembuatan komposit laminat kombinasi antara matriks dan penguat sangat penting untuk itu perlu adanya prediksi antar material penyusun dari komposit dan sifat yang akan dihasilkan pada komposit tersebut. Mikromekanik mempelajari tentang tingkatan konstituen, pengamatannya berupa diameter serat, ukuran partikel, susunan serat, orientasi serat semua hal tersebut sangat mempengaruhi sifat mekanik dari komposit (Gibson, (1994).

2.9 Rules Of Mixture

Rules of mixture (ROM) merupakan sebuah metode yang digunakan untuk menghitung kekuatan pada komposit secara teoritis dengan menggunakan penjumlahan kekuatan tiap penyusun dengan menggunakan fraksi volume tiap penyusun tersebut. ROM bisa digunakan untuk perhitungan kekuatan tekan karena pada saat pengujian tekan spesimen uji memiliki sifat isotropik yang memiliki gaya keseluruhan arah sama besar (Pichai, 2005)

Istilah utama yang digunakan dalam aturan pendekatan campuran adalah fraksi volume serat atau rasio volume serat (V_f) (Strong, Brent, 2008) Dengan jumlah seluruhnya seperti persamaan berikut:

$$V_f + V_m + V_v = 1 \quad (2.1)$$

Dimana:

V_f = rasio volume serat, yaitu volume fisik serat terhadap total volume lapis

V_m = matriks atau rasio volume resin

V_v = rasio volume void, yang merupakan volume void dan porositas sebagai hasilnya dari proses yang digunakan (Strong, Brent, 2008)

Menurut (Gibson, 1994) penempatan serat harus mempertimbangkan geometri serat, arah, distribusi dan fraksi volume, agar dapat dihasilkan komposit dengan sifat mekanik yang baik, berikut fraksi volume komposit dapat dihitung melalui persamaan :

$$V_{\text{serat}} = \frac{\text{Volume serat}}{\text{Volume komposit}} \times 100\% \quad (2.2)$$

$$V_{\text{serat}} = \frac{m_f/p_f}{m_f/p_f + m_m/p_m} \times 100\% \quad (2.3)$$

$$V_{\text{matriks}} = \frac{\text{Volume matriks}}{\text{Volume komposit}} \times 100\% \quad (2.4)$$

$$V_{\text{serat}} = \frac{m_m/p_m}{m_f/p_f + m_m/p_m} \times 100\% \quad (2.5)$$

Dimana :

m_f = Massa serat (gr)

m_m = Massa matrik (gr)

p_f = Massa jenis serat (gr/mm³)

p_m = Massa jenis matrik (gr/mm³)

2.10 Elastisitas

Menurut Soedjo (2004) yang menyatakan bahwa bahan elastis adalah bahan yang mudah diregangkan serta cenderung pulih ke keadaan semula, dengan mengenakan gaya reaksi elastisitas atas gaya tegangan yang meregangkan-nya. Pada hakekatnya semua bahan memiliki sifat elastik meskipun boleh jadi amat sukar diregangkan. Sedangkan menurut Sarjo (2002), sifat elastik adalah kemampuan benda untuk kembali ke bentuk awalnya segera setelah gaya luar yang diberikan benda itu dihilangkan. Elastisitas adalah sifat benda yang berdeformasi untuk sementara, tanpa perubahan yang permanen, yaitu sifat untuk melawan deformasi yang terjadi. Sebuah benda dikatakan elastik sempurna jika setelah gaya penyebab perubahan bentuk dihilangkan benda akan kembali ke bentuk semula. Sekalipun tidak terdapat benda yang elastik sempurna, tetapi banyak benda yang

hampir elastik sempurna, yaitu sampai deformasi yang terbatas disebut limit elastik. Jika benda berdeformasi diatas limit elastiknya, dan apabila gaya-gaya dihilangkan, maka benda tersebut tidak lagi kembali ke bentuk semula. Sebenarnya perbedaan antara sifat elastik dan plastik, hanyalah terletak pada tingkatan dalam besar atau kecilnya deformasi yang terjadi.

2.10.1 Tegangan

Semua bahan berubah bentuk karena pengaruh gaya. Ada yang kembali ke bentuk aslinya bila gaya dihilangkan, ada pula yang tetap berubah bentuk sedikit atau banyak, (Soedarjana, 1986). Jadi, deformasi bahan ditentukan oleh gaya per satuan luas dan bukan oleh gaya total (Silaban, 1991). Jika sebuah batang tegar yang dipengaruhi gaya tarik F ke kanan dan gaya yang sama tetapi berlawanan arah ke kiri, maka gaya-gaya ini akan didistribusi secara uniform ke luas penampang batang. Perbandingan gaya F terhadap luas penampang A dinamakan tegangan tarik. Karena perpotongan dapat dilakukan disembarang titik sepanjang batang maka seluruh batang dalam keadaan mengalami tegangan (stress) ditulis berikut:

$$\text{Tegangan } \sigma = \frac{F}{A} \quad (2.6)$$

dimana,

σ = tegangan tarik, N/m² (=Pa)

F = gaya (N)

A = luas permukaan (m²).

2.10.2 Regangan

Perubahan pada ukuran sebuah benda karena gayagaya atau kopel dalam kesetimbangan dibandingkan dengan ukuran semula disebut regangan. Regangan juga disebut derajat deformasi, (Sarojo, 2002). Kata regangan berhubungan dengan perubahan relatif dalam dimensi atau bentuk suatu benda yang mendapat tekanan. Gambar 1, melukiskan suatu batang yang panjang normalnya l_0 dan memanjang menjadi $l = l_0 + \Delta l$ bila pada kedua ujungnya ditarik oleh gaya F . Pertambahan panjang Δl , tentu saja tidak hanya pada ujung-ujung saja; setiap elemen-elemen batang tertarik pada proporsi yang sama seperti batang seluruhnya.

Regangan tarik pada batang didefinisikan sebagai perbandingan antara pertambahan panjang dengan panjang semula, yang harganya lebih besar dari 0. Regangan tekan suatu batang yang ditekan didefinisikan dengan cara yang sama

sebagai pembanding antara berkurangnya panjang batang dengan panjang semula, yang harganya lebih kecil dari 0. Jadi perubahan pembanding pada panjang batang $0 \Delta\lambda / \lambda$ dinamakan regangan (Blatt, 1986) atau disebut regangan longitudinal (Frauenfelder and Huber, 1966), seperti ditulis berikut:

$$\text{Regangan } (\varepsilon) = \frac{l-l_0}{l_0} = \frac{\Delta l}{l_0} \quad (2.7)$$

dimana:

ε = regangan atau bilangan murni

λ = panjang batang (m),

λ_0 = panjang semula (m)

$\Delta\lambda$ = perubahan panjang (m).

2.10.3 Modulus Elastisitas

Modulus elastisitas adalah ukuran kekakuan suatu bahan. Makin besar modulus, makin kecil regangan elastis yang dihasilkan akibat pemberian tegangan. Sehingga dapat disimpulkan bahwa semakin besar modulus elastis, kekakuan suatu material juga akan semakin besar. Dalam hukum Hooke dinyatakan bahwa tegangan berbanding lurus dengan regangan, perbandingan ini disebut modulus elastisitas atau modulus young.

$$E = \frac{\sigma}{e} \quad (2.8)$$

Keterangan:

E = Modulus Elastisitas

σ = Tegangan

e = Regangan (Popov E.P,1996)

Modulus elastisitas merupakan nilai rancangan yang penting dan digunakan bagi ahli teknik jika ingin merencanakan konstruksi. Hal ini disebabkan karena modulus elastisitas diperlukan untuk menghitung lenturan batang dan anggota struktur yang lain.

2.11 Stress Von Mises

Dalam ilmu material dan teknik, kriteria luluh von Mises dapat juga diformulasikan dalam von Mises stress atau equivalent tensile stress, σ_v , nilai

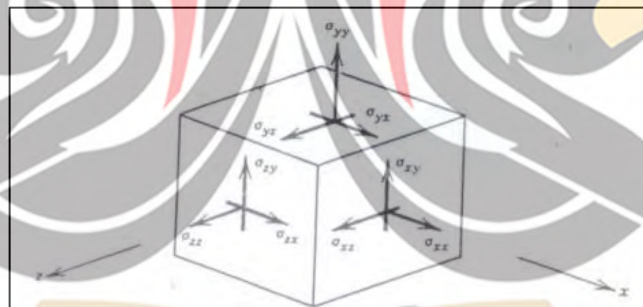
tegangan scalar dapat dihitung dari tensor tegangan. Dalam kasus ini, material dikatakan mulai luluh ketika tegangan von Mises mencapai nilai kritis yang diketahui sebagai yield strength. Tegangan Von Mises digunakan untuk memprediksi tingkat keluluhan material terhadap kondisi pembebanan dari hasil pengujian tarik simple uniaksial (Mulyanto dan Sapto, 2017)

Pada (Ansys Inc, 2020) dijelaskan mengenai tegangan ekuivalen yang sering digunakan yaitu stress von mises, adapun perhitungan stress von mises seperti pada persamaan berikut :

$$\begin{bmatrix} \sigma_{xx} & \sigma_{xy} & \sigma_{xz} \\ \sigma_{yx} & \sigma_{yy} & \sigma_{yz} \\ \sigma_{zx} & \sigma_{zy} & \sigma_{zz} \end{bmatrix}$$

$$\sigma_v = \sqrt{\frac{(\sigma_{xx}-\sigma_{yy})^2+(\sigma_{yy}-\sigma_{zz})^2+(\sigma_{zz}-\sigma_{xx})^2+6(\sigma_{xy}^2+\sigma_{yz}^2+\sigma_{zx}^2)}{2}} \quad (2.9)$$

Tegangan von Mises merupakan resultan tegangan pada 3 arah: x, y dan z yang terjadi pada material. Tegangan ini dianggap penting karena sering digunakan untuk melakukan proses perhitungan faktor keamanan dari suatu system (Ismail dkk, 2017) adapun komponen tegangan seperti pada gambar berikut :



Gambar 1 Komponen Tegangan (Prasetyo, 2010)

2.12 Finite Element Method

Metode elemen hingga adalah salah satu metode yang banyak digunakan untuk mendapatkan penyelesaian dari persamaan differensial biasa maupun persamaan differensial parsial. Pada mulanya metode elemen hingga digunakan untuk memecahkan permasalahan pada mekanika benda padat, namun metode elemen hingga kini telah merambat pada pemecahan masalah engineering yang lain seperti perpindahan panas, getaran dan fluida. Proses inti dari metode elemen

hingga adalah membagi permasalahan-permasalahan yang kompleks menjadi bagianbagian kecil dimana akan mudah ditemukan solusi pada bagianbagian tersebut. Selanjutnya akan dilakukan penggabungan solusi dari masing-masing bagian tersebut sehingga solusi dari permasalahan yang kompleks akan diperoleh (Kokasih, 2012).

Menurut Logan, (2007) Metode elemen hingga adalah metode numerik untuk memecahkan masalah 18nalis fisika dan matematika. Suatu masalah khusus yang menarik di bidang 18nalis dan matematika fisika yang dipecahkan dengan menggunakan metode elemen hingga meliputi simulasi struktur, perpindahan panas, aliran fluida, transportasi massal, dan potensi elektromagnetik.

2.13 Ansys

ANSYS merupakan software berbasis finite element analysis (FEA). Penggunaan ANSYS mencakup simulasi struktur, panas, dinamika fluida, akustik, dan elektromagnetik. ANSYS merupakan computer aided engineering (CAE) yang dikembangkan oleh ANSYS, Inc. (Prihadnyana, 2017)

2.14 Penelitian Terdahulu

Berikut adalah rangkuman hasil penelitian terdahulu yang memiliki keterkaitan dengan penelitian yang telah dilakukan.

Tabel 2. 1 Penelitian terdahulu

No.	Nama dan Tahun Publikasi	Hasil
1.	Saiaf Bin Rayhan, Md Mazedur Rahman, 2020	Metode: Ansys Material Designer digunakan untuk memperkirakan elastik properties dari Uni Directional Material komposit dan membandingkannya antara elemen hingga dengan analisa eksperimental. Hasil: Pada nilai yield perbandingan antara nilai eksperimental data untuk bentuk RVE (Representative Volume Element) kotak, piramida, heksagonal sangat akurat. Sedangkan pada modulus gesernya mengalami penurunan akurasi ketika fraksi volum fiber melebihi 60%.
2.	Tiantian Li, Lifeng Wang, 2017	Metode: Mengkombinasikan 3D Printing teknik, numerical analisis, dan eksperimental untuk mendesain sandwich komposit dengan pengujian Three-point Bending. Desain struktur

-
- menyerupai tiang, honeycomb pada umumnya, dan variasi honeycomb.
- Hasil:** Model honeycomb konvensional dengan baru terjadi peningkatan nilai kekuatan 8,39 Mpa dan 8,31 Mpa menjadi 12,72 Mpa dan 12,94 Mpa nilai kekakuan 109,65 Gpa dan 136,48 Gpa menjadi 292,98 Gpa dan 343,39 Gpa.
-
3. Shunguang Li, 2008
- Metode:** Finite element analysis digunakan untuk memodelkan karakteristik material berdasarkan mikrostrukturnya.
- Hasil:** Struktur geometri sangat mempengaruhi sifat mekanik material. Kekakuan dari dua unit sel dengan geometri struktur tidak simetri dan simetri didapatkan nilai berturut turut $E_1 = 4,603\text{Gpa}$ dan $E_2 = 2,183\text{Gpa}$ menjadi $E_1 = 4,605\text{ Gpa}$ dan $E_2 = 2,372\text{ Gpa}$. Sehingga mikrostruktur merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi sifat mekanik suatu material.
-
4. Hansohl Cho, James C. Weaver, Elmar Pösel, Pieter J. in't Veld, Mary C. Boyce, Gregory C. Rutledge, 2016
- Metode:** Menggambarkan karakteristik geometris dalam material homogen dengan respon mekanik kompresive. Perilaku mekanik diamati dengan eksperimen secara langsung dan simulasi numerik.
- Hasil:** Perbandingan hasil untuk 6 jenis morfologi (BCC, FCC, SC, bi-BCC, bi-FCC, bi-SC) didapatkan hasil bahwa konektifitas antar titik sangat berpengaruh pada sifat mekanik makroskopis dan anisotropis mekanik yang dihasilkan pada komposit secara keseluruhan.
-
5. R Umer, Z Barsoun, HZ Jishi, K Ushijima, and WJ Cantwell, 2018
- Metode:** Memprediksi sifat mekanik dari struktur material dengan respon kompresive. Perilaku mekanik kegagalan diamati dengan menggunakan eksperimen secara langsung, analitik, dan numerik.
- Hasil:** Perbandingan hasil untuk 4 jenis topologi (BCC, BCCz, FCC, dan F2BCC) didapatkan hasil bahwa F2BCC memiliki kekuatan kompresi lebih tinggi dibanding yang lain. Namun bila dilihat dari relatif densitasnya BCCz lebih baik daripada struktur lain. Kekuatan kompresi spesifik jauh lebih unggul dibandingkan dengan material inti (core foam). Dan dapat disimpulkan bahwa sifat unit sel ini dapat meningkat seiring dengan tingginya fraksi volume serat yang diberikan.
-