

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab 2 tinjauan pustaka akan dijelaskan mengenai keterkaitan beberapa referensi meliputi: Komposit, Penguat, Matriks, *Rule of mixture*, Modulus Elastisitas, Modulus Geser, Poisson's Ratio, Tegangan, Serat Karbon dan Resin Epoksi, Tensile Test, Metode Elemen Hingga, Penelitian Terdahulu terhadap penelitian “Analisis Tegangan Material Komposit Dengan Penguat Yang Didesain Mengadopsi Struktur Kristal Logam Menggunakan Simulasi Komputer”

2.1 Komposit

Komposit adalah suatu material yang terdiri dari kombinasi atau penggabungan dua atau lebih material yang tidak homogen, dimana sifat dari masing- masing material penyusunnya berbeda. Dari kombinasi material tersebut akan dihasilkan material komposit yang memiliki sifat mekanik dan karakteristik yang berbeda dari material pembentuknya. Sifat komposit yang dihasilkan merupakan gabungan dari material penyusunnya. Komposit terbentuk dari gabungan antara material matriks atau pengikat dengan *reinforce* atau penguat. Matriks berfungsi untuk menerima dan meneruskan *stress* ke serat, membentuk ikatan koheren, melindungi dan mengikat serat agar dapat bekerja dengan baik. (Matthews, 1999) Komposit meliputi material yang dapat menahan beban kuat (penguat) yang diikat material lebih lemah (matriks). Penguat menyediakan kekuatan dan kekakuan membantu untuk mendukung beban struktural, sedangkan matrik membantu memelihara orientasi dan posisi penguat. Secara signifikan, unsur-unsur penyusun mempertahankan sifat fisik dan kimia, namun bersama-sama menghasilkan kombinasi dengan kualitas yang lebih baik. (Taj dkk, 2007)

Klasifikasi komposit berdasarkan jenis penguat dapat dibedakan menjadi 3 bagian yaitu: *Fiber reinforced*, partikel *reinforced*, dan struktural *reinforced* yang dijelaskan sebagai berikut:

1. Komposit Serat

Komposit serat merupakan jenis komposit yang menggunakan serat sebagai penguat. Jenis komposit ini hanya terdiri dari satu lamina atau satu lapisan yang menggunakan pengisi berupa serat. Biasanya disusun secara acak maupun dengan orientasi tertentu bahkan juga dalam bentuk yang lebih kompleks seperti anyaman (Martikno, 2007).

2. Komposit Partikel

Komposit partikel merupakan komposit yang menggunakan partikel atau serbuk sebagai penguatnya dan terdistribusi secara merata dalam matriks. Komposit partikel merupakan produk yang dihasilkan dengan menempatkan partikel-partikel dan sekaligus mengikatnya dengan suatu matriks bersama-sama dengan satu atau lebih unsur-unsur perlakuan seperti panas, tekanan, kelembaban, katalisator dan lain-lain. Komposit partikel ini berbeda dengan jenis serat acak sehingga bersifat isotropik. Kekuatan komposit serat dipengaruhi oleh *stress* koheren diantara fase partikel dan matriks yang menunjukkan sambungan yang baik. (Surdia, 1999)

3. Komposit Struktural

Komposit yang terdiri dari dua lapis atau lebih material yang digabung menjadi satu dan setiap lapisnya memiliki karakteristik sifat tersendiri.

a. Komposit *Sandwich* (*Sandwich Composite*) Komposit sandwich merupakan gabungan dua lembar skin yang disusun pada dua sisi luar dan *core* yang ringan di antara dua skin. Material inti (*core*) ini digunakan untuk membuat struktur komposit yang kuat dan kaku, menambah ketebalan komposit tanpa meningkatkan berat secara drastis. Struktur *sandwich* biasanya digunakan untuk aplikasi yang membutuhkan kekuatan dan kekakuan bending yang tinggi dengan bobot yang ringan. Skin berfungsi untuk menahan beban aksial dan tranfersal (sehingga harus kuat dan kaku). (Gibson, 1994)

b. Komposit Laminat (*Laminated Composite*) Komposit Laminat merupakan jenis komposit yang terdiri dari dua lapis atau lebih yang digabungkan menjadi satu dan setiap lapisannya (lamina) memiliki karakteristik berdasarkan arah orientasi seratnya. (Gibson, 1994)

2.2 Penguat

Penguat (*Reinforce*) adalah material pengisi yang digunakan untuk memperbaiki sifat dan struktur matriks. Penguat diharapkan mampu menjadi penguat matrik pada komposit untuk menahan gaya yang terjadi. Sehingga sebagai penguat harus memiliki sifat dengan kekuatan dan kekakuan tinggi. Penguat bisa dalam bentuk partikulat, serat ataupun struktural berdasarkan geometri dan bentuknya. (Groover, 2012) Penggunaan material komposit serat sangat efisien dalam menerima beban dan gaya yang searah serat, sebaliknya sangat lemah bila dibebani dalam arah tegak lurus serat. (Hadi, 2000)

Dalam pembuatan komposit tata letak dan arah serat dalam matrik yang akan menentukan kekuatan mekanik komposit, dimana letak dan arah dapat mempengaruhi kinerja komposit tersebut. Menurut tata letak dan arah serat diklasifikasikan menjadi tiga bagian yaitu:

1. *One dimensional reinforcement*, mempunyai kekuatan dan modulus maksimum pada arah axis serat.
2. *Two-dimensional reinforcement* (planar), mempunyai kekuatan pada dua arah atau masing-masing arah orientasi serat.
3. *Three-dimensional reinforcement*, mempunyai sifat isotropik kekuatannya lebih tinggi dibanding dengan dua tipe sebelumnya.

Pada pencampuran dan arah serat mempunyai beberapa keunggulan, jika orientasi serat semakin acak (*random*) maka sifat mekanik pada satu arahnya akan melemah, bila arah tiap serat menyebar maka kekuatannya juga akan menyebar ke segala arah maka kekuatan akan meningkat (Gibson, 1994). Fungsi utama dari penguat dalam komposit adalah untuk menerima beban gaya, untuk memberikan kekakuan, kekuatan dan properti struktur lainnya pada komposit, dan untuk memberikan konduktivitas listrik (tergantung pada jenis serat yang digunakan) (Mazumdar, 2002)

2.3 Matriks

Matriks merupakan perekat atau pengikat dan pelindung *filler* (pengisi) dari kerusakan eksternal. Matriks yang umum digunakan adalah poliester, epoksi, dan lain sebagainya (Suryati, 2012). Pemilihan bahan matriks harus disesuaikan dengan

jenis *filler* yang digunakan, agar matrik memiliki kecocokan dengan bahan *filler* (penguat) secara kimia agar kedua fasa bahan terikat sempurna, karena pembuatan komposit membutuhkan ikatan permukaan bahan yang kuat antara *filler* dan matrik. Untuk memilih matriks harus diperhatikan sifat-sifatnya, antara lain tahan panas, tahan cuaca buruk, dan tahan guncangan untuk menciptakan komposit yang baik. (Hartomo dkk, 1992) Dalam komposit matriks memiliki fungsi (Gibson 1994) seperti berikut:

1. Mengikat serat menjadi satu kesatuan struktur
2. Melindungi serat dari kerusakan akibat kondisi lingkungan
3. Mentransfer dan mendistribusikan beban ke serat
4. Menyumbangkan beberapa sifat seperti
5. kekakuan, ketangguhan, dan tahanan listrik

Klasifikasi komposit berdasarkan jenis penguat dapat dibedakan menjadi 3 bagian yaitu: *Ceramic matrix composite* (CMC), *Metal matrix composite* (MMC), *Polimer matrix composite* (PMC) yang dijelaskan sebagai berikut:

1. PMC (*Polymer Matrix Composite*)

Matrix polimer digunakan karena memiliki sifat ulet, densitas rendah, tahan korosi serta fabrikasi mudah. Paling umum digunakan adalah jenis epoksi, poliester, fenolik, dan lain – lain. PMC terbagi dua berdasarkan pengaruh temperatur pada jenis polimer yaitu termoplastik dan termoset. Termoplastik memiliki sifat ikatan linier atau bercabang dengan temperatur leleh rendah namun dapat dibentuk ulang dan lemah. Termoset memiliki sifat ikatan silang dengan temperatur leleh tinggi namun tidak dapat dibentuk ulang dan kuat. Dua jenis polimer tersebut tentu proses manufaktur komposit akan berbeda perlakuan (Kalpakjian, 2010).

2. MMC (*Metal Matrix Composite*)

Matrix logam digunakan karena memiliki sifat modulus elastisitas tinggi, ketangguhan tinggi, dan ketahanan terhadap kenaikan temperatur tinggi. Namun kelemahan dari matrix logam ini adalah densitas tinggi dan susah dalam pembuatannya dibandingkan matrix polimer. Contohnya matrix logam yaitu aluminium, magnesium, tembaga, titanium dan superalloy. Matrix logam terbagi dua berdasarkan komposisinya, logam

murni dan paduan. Logam paduan terbagi menjadi dua jenis berdasarkan diameter atom paduannya yaitu substitusi dan intersisi (Kalpakjian, 2010).

3. CMC (*Ceramic Matrix Composite*)

Matrix keramik digunakan karena memiliki sifat tahan terhadap temperatur tinggi lingkungan korosif, kuat dan kaku. Namun kelemahan matrix keramik adalah ketangguhan rendah. Matrix keramik contohnya silikon karbida, silikon nitrida, aluminium oksida, dan lain – lain. Matrix keramik terbagi menjadi 3 jenis berdasarkan ikatannya yaitu ionik, kovalen dan gabungan. (Kalpakjian, 2010)

2.4 *Rule of Mixture*

Jumlah kandungan serat dalam komposit, merupakan hal yang menjadi perhatian khusus pada komposit berpenguat serat. Untuk memperoleh komposit berkekuatan tinggi, distribusi serat dengan matriks harus merata pada proses pencampuran agar mengurangi timbulnya void. Untuk menghitung fraksi volume, parameter yang harus diketahui adalah berat jenis resin, berat jenis serat, berat komposit dan berat serat. Jika selama pembuatan komposit diketahui massa serat dan matriks, serta densitas serat dan matriks, maka fraksi volume dan fraksi berat serat dapat dihitung. (Shackelford, 1992)

Menurut Gibson (1994), *Rule of Mixture* digunakan untuk menghitung sifat dari komposit seperti:

1. Densitas, ditentukan oleh jumlah densitas penguat dengan pengikat.
2. Tegangan longitudinal, ditentukan oleh jumlah tegangan normal longitudinal pengikat dan penguat.
3. Modulus longitudinal, ditentukan oleh modulus longitudinal pengikat dan penguat.
4. Regangan transversal, ditentukan oleh jumlah regangan dari penguat dengan pengikat.

2.6 **Modulus Elastisitas**

Modulus elastisitas (*Modulus Young's*) adalah ketahanan bahan untuk mengalami deformasi elastis ketika gaya diterapkan pada benda itu dan benda dapat

kembali ke bentuk atau ukuran semula jika gaya ditiadakan. Konsep modulus elastisitas ini menggambarkan bahwa setiap material akan mengalami perubahan bentuk yang ditandai dengan penambahan atau pengurangan panjang apabila mengalami tegangan tertentu. Besarnya perubahan panjang yang dimiliki oleh setiap material berbeda-beda tergantung dari besaran elastisitas material tersebut. Modulus elastisitas menggambarkan kekakuan suatu material yang berarti bahwa apabila suatu material memiliki nilai modulus elastisitas yang besar, maka semakin kecil perubahan bentuk yang terjadi apabila diberi tegangan tertentu (Meyers dan Chawla, 2009).

2.6 Modulus Geser

Modulus geser (*Shear Modulus*) adalah modulus elastisitas yang digunakan untuk deformasi yang terjadi ketika gaya diterapkan sejajar dengan satu permukaan benda sementara permukaan yang berlawanan ditahan oleh gaya lain yang sama. Modulus geser merupakan modulus elastisitas dengan regangan berupa regangan geser yang menunjukkan pergerakan benda yang saling bergesekan. Modulus geser pada sebuah komposit G_{12} ditentukan sifat mekanik material dengan menganggap tegangan geser pada fiber dan matriks sama (namun, deformasi geser tidak bisa sama) (Gibson, 1994)

2.7 Poisson's Ratio

Dalam hubungan antara tegangan dan regangan, selain modulus elastisitas terdapat parameter lain yang sangat penting yaitu angka poisson (*poisson ratio*). Angka poisson adalah angka perbandingan antara regangan horizontal (*lateral strain*) dan regangan vertikal (*axial strain*) yang disebabkan oleh beban sejajar sumbu dan regangan aksial. *Poisson's Ratio* dapat dituliskan dalam persamaan berikut (Yoder, E.J. dan Witczak, M.W., 1975).

2.8 Tegangan

Tegangan atau sering disebut dengan *stress* dilambangkan dengan (σ) yang memiliki satuan N/m². Konsep tegangan dapat diilustrasikan dalam bentuk yang paling sederhana seperti pada sebuah batang prismatis yang diberikan/mengalami

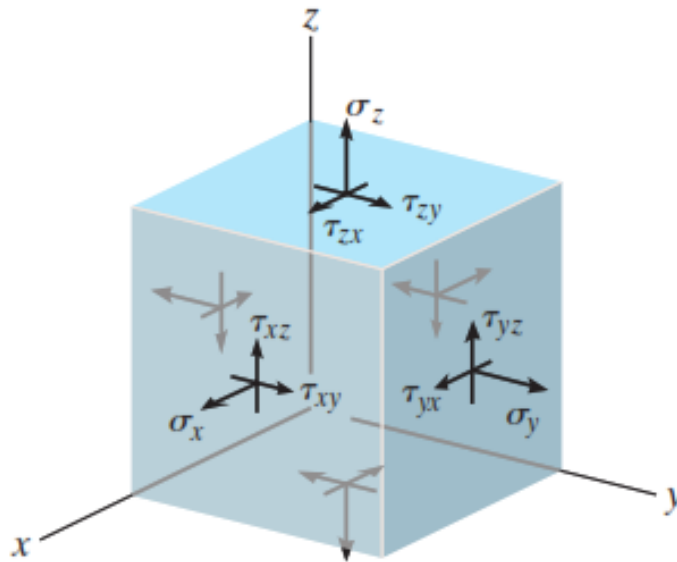
gaya aksial. Batang prismatis adalah sebuah elemen struktur lurus yang mempunyai penampang konstan di seluruh panjangnya, sedangkan gaya aksial adalah beban yang mempunyai arah yang sama dengan sumbu elemen, sehingga pada batang tersebut akan mengalami tarikan atau tekanan. Untuk menganalisa suatu struktur harus memperhatikan tegangan, regangan dan deformasi yang terjadi. Tegangan adalah gaya persatuan luas dan juga dapat didefinisikan sebagai berikut (Saputra, 2017):

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (2.1)$$

Dimana σ merupakan tegangan yang terjadi akibat pembebanan yang dikenakan pada suatu benda (N/m^2), P merupakan pembebanan yang dikenakan pada suatu benda (N), dan A merupakan luas penampang pembebanan (m^2).

Apabila suatu komponen menerima beban yang diterima secara lambat, tanpa kejutan dan ditahan pada nilai yang konstan, maka tegangan yang dihasilkan pada komponen tersebut disebut tegangan statis (*static stress*). Contohnya adalah beban pada sebuah struktur karena bobot mati pada sebuah bangunan (Mott, 2009).

Tegangan von mises adalah resultan tegangan x , y dan z dari sumbu tiga arah. Tegangan tidak dapat diabaikan karena sering digunakan dalam proses perhitungan untuk mencari safety factor dari suatu sistem. Dalam teori distorsi energi, tegangan luluh material dibandingkan dengan tegangan von mises untuk mengetahui apakah suatu sistem kontak mengalami perubahan bentuk, perubahan bentuk secara permanen serta perpaduan antara deformasi elastis dan deformasi plastis yang disebut dengan deformasi total (Ismail dkk, 2017). Dalam ilmu pengetahuan bahan teknik, kriteria luluh von mises juga diformulasikan dalam tegangan von mises, σ_v , menghitung tensor tegangan akan mendapatkan nilai tegangan scalar. Bahan atau material dapat dikatakan luluh saat tegangan von mises mencapai *yield strength* atau nilai kritis (Mulyanto dan Sapto, 2017). Gambaran mengenai tegangan yang terjadi pada sebuah kubus dapat dilihat sebagai berikut :



Gambar 2. 1 Tegangan pada elemen tiga dimensi (Hibbeler, 2017)

Pembebanan menunjukkan perilaku suatu benda yang diberikan tarikan atau penekanan sehingga terjadi perubahan seperti pemusatan tegangan maupun deformasi pada suatu benda yang dikenakan. Pembebanan yang dilakukan dapat membentuk kurva tegangan-regangan. Kurva tegangan-regangan ini digunakan untuk mendapatkan nilai kekuatan tarik, modulus elastisitas, elongasi, serta kekuatan luluh suatu polimer. Nilai modulus elastisitas, tegangan, dan regangan didapatkan dengan persamaan dari hasil pembebanan tarik. Sedangkan nilai kekuatan tekan dihitung setelah material mengalami deformasi dalam presentasi tertentu. Hal ini dikarenakan necking tidak terjadi pada pengujian tekan berbeda dengan tarik yang terjadi necking saat pembebanan melewati batas luluhnya (Callister, 2014)

Regangan atau strain dilambangkan dengan (ϵ). Regangan pada suatu benda terjadi jika benda tersebut mengalami perubahan panjang akibat diberikan beban secara aksial. Sama halnya dengan tegangan, regangan juga mengalami tekanan dan tarikan. Jika batang mengalami tarikan maka regangannya disebut regangan tarik yang menunjukkan perpanjangan benda. Namun apabila benda mengalami tekanan, maka regangannya disebut dengan regangan tekan yang menunjukkan benda tersebut mengalami pemendekan. Regangan adalah perbandingan deformasi total terhadap panjang mula-mula suatu struktur. Regangan juga dapat didefinisikan sebagai berikut (Saputra, 2017):

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} \quad (2.2)$$

Dimana ε merupakan regangan yang terjadi pada suatu benda (mm/mm), ΔL merupakan perubahan panjang yang terjadi pada suatu benda (mm), L merupakan panjang mula-mula suatu benda (mm).

2.9 Serat Karbon dan Resin Epoksi

Serat karbon adalah serat sintetis yang dibuat oleh manusia yang bukan dari alam. Jenis material yang satu ini punya beberapa karakteristik tertentu yang dipengaruhi oleh beberapa faktor. Salah satunya adalah alur atau arah serat karbon, yang membuat serat karbon maupun beragam jenis material komposit lainnya disebut pula dengan istilah material anisotropik. Artinya, arah dan bentuk serat penyusunnya sangat mempengaruhi karakteristik material (Fachur Sag, 2019) Karbon fiber merupakan material yang terdiri dari serat berdiameter 5-10 μm dengan sebagian besar susunannya adalah atom karbon, dimana struktur karbon berbentuk kristal. Karbon fiber dibuat dengan karbonisasi dari material PAN (*Polyacrylonitrile*) dan Rayon yang biasa digunakan saat ini, material tersebut merupakan polimer tekstil. Setelah proses karbonisasi dilanjutkan proses grafitisasi pada temperatur tinggi dan dilanjutkan dengan proses penggulungan serat-serat karbon atau ditenun menjadi bentuk anyaman. Karbon fiber dapat diaplikasikan pada pesawat terbang, otomotif, konstruksi, militer, dan peralatan olahraga. Karbon fiber biasanya dijadikan filler untuk material komposit, kelebihan dari karbon fiber ini antara lain memiliki massa jenis yang kecil, memiliki kekakuan, kekuatan tarik dan modulus elastisitas yang tinggi, memiliki chemical resistance yang tinggi, temperature tolerance yang tinggi and thermal expansion yang rendah (Hexcel Composite, 1999).

Epoksi merupakan salah satu matrik yang memiliki kegunaan yang luas dalam dunia industri sebagai perekat, cat pelapis, dan benda benda cetakan. Resin epoksi merupakan salah satu matrik thermoset dari reaksi resin poliepoksi dengan zat pengeras. Terdapat dua macam sistem epoksi yaitu sistem satu komponen dan sistem dua komponen. Sistem satu komponen terdapat pada resin epoksi jenis resin larutan, pasta resin cair, bubuk, pelet, dan pasta. Sistem dua komponen terdiri atas resin yang bereaksi dengan pengeras dan menjadi unggul dalam ketahanan mekanik

dan kimia. Biasanya dijual dalam dua komponen, satu kaleng berisi resin, satu kaleng lain berisi *hardener*. Sifat resin epoksi bervariasi tergantung dari pencampuran antara resin dengan pengerasnya, dan pada kondisi lingkungan. (Hartomo dkk, 1992)

2.10 Metode Elemen Hingga

Metode elemen hingga merupakan metode yang biasa digunakan untuk menyelesaikan suatu geometri struktur, beban dan bahan material yang rumit. Konsep dasar metode elemen hingga adalah pendekatan menggunakan informasi-informasi pada titik simpul (*node*). Proses penentuan titik simpul tersebut dinamakan pendiskritan. Usaha pendiskritan ini dilakukan agar memudahkan dalam analisis karena adanya keterbatasan dalam analisis secara global pada bentuk struktur yang rumit. Dengan metode elemen hingga kita dapat mengubah suatu masalah dengan jumlah derajat kebebasan tertentu sehingga proses pemecahannya akan lebih sederhana. Misalnya suatu batang panjang yang bentuk fisiknya tidak lurus, dipotong-potong sependek mungkin sehingga terbentuk batang-batang pendek yang relatif lurus yang mendekati bentuk aslinya. Maka pada batang yang panjang tadi disebut kontinum dan batang yang pendek disebut elemen hingga.

ANSYS adalah suatu *software* komputer umum yang mampu menyelesaikan persoalan-persoalan elemen hingga dari pemodelan hingga analisis. ANSYS digunakan untuk mensimulasikan semua disiplin ilmu fisika baik statis maupun dinamis, analisis struktural (kedua-duanya linier dan nonlinier), perpindahan panas, dinamika fluida, dan elektromagnetik untuk para engineer. ANSYS dapat digunakan untuk berbagai analisis antara lain: analisis structural, analisis thermal, analisis fluida. MAPDL (*Mechanical Ansys Parametric Design Language*) lebih dikenal dengan Ansys Classic terintegrasi dengan workbench dalam satu modul. Hal ini memudahkan kemungkinan untuk menghubungkan antara workbench dan MAPDL. Perangkat lunak analisis elemen hingga APDL untuk melakukan bangun model computer atau transfer model CAD untuk structure, dan thermal produk komponen atau sistem lainnya. (Novian dan Rahmawaty, 2015) ANSYS bekerja menggunakan metode elemen hingga. Analisis yang dilakukan pada objek dengan dilakukan diskritasi atau membagi objek

menjadi bagian-bagian yang lebih kecil (elemen) dalam jumlah terbatas elemen hingga. Hasil dari analisis ANSYS ini berupa hasil pendekatan dengan menggunakan analisis numerik di mana tingkat ketelitiannya sangat bergantung pada cara memecah objek (model) dan menggabungkannya. Secara umum, solusi elemen hingga dapat dipecah menjadi tiga tahap berikut. (1) *Preprocessing*: mendefinisikan masalah, (2) Solusi: menetapkan beban, kendala, dan penyelesaian. (3) *Postprocessing*: pemrosesan lebih lanjut dan melihat hasilnya. (Nakasone dkk, 2006).

2.11 Penelitian Terdahulu

Berikut adalah rangkuman hasil penelitian terdahulu yang memiliki keterkaitan dengan penelitian yang dilakukan untuk sebagai dasar penelitian.

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 terjadi peningkatan akurasi. Sedangkan pada modulus gesernya mengalami penurunan akurasi ketika fraksi volum serat melebihi 60%.
2.	Wang, 2010	Metode: Finite element analysis (solidwork dan Ansys) digunakan untuk mengetahui dan memodelkan material komposit dengan meningkatkan kekuatan Hasil: Struktur geometri material komposit sangat mempengaruhi nilai kekakuan, kekuatan, dan disipasi energi.
3.	Shunguang Li, 2008	Metode: Finite element analysis digunakan untuk memodelkan karakteristik material berdasarkan mikrostukturnya. Hasil: Struktur geometri sangat mempengaruhi sifat mekanik material. Kekakuan dari dua unit sel dengan geometri struktur tidak simetri dan simetri didapatkan nilai berturut turut $E1 = 4,603$

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 makroskopi dan anisotropis mekanik yang dihasilkan pada komposit secara keseluruhan.

5. R Umer, Z Barsoum, 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.

