



SIMULASI PENGARUH ORIENTASI SUDUT SERAT TERHADAP TEGANGAN TARIK *LAMINATED COMPOSITE*

Hilmi Iman Firmansyah^{1*}, Hangga W.¹, Sulistyono¹

¹ *Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Malang, Indonesia*

*Email Penulis: firmansyahilmi@polinema.ac.id

INFORMASI ARTIKEL

Naskah Diterima 28/06/2021
Naskah Direvisi 29/06/2021
Naskah Disetujui 30/06/2021
Naskah Online 30/06/2021

ABSTRAK

Composite is a material consisting of a mixture or combination of two or more materials, either micro or macro, where the properties of the material are different in shape and chemical composition from the original substance. In this study, the composite was tested to determine the tensile strength using simulation. Composite material modeling consists of carbon fiber as reinforcement and epoxy resin as the matrix. Then the composite material was given a uniaxial loading with a loading value of 50 N. By using variations in the orientation of the fiber angle 45°/90°/-45°, 45°/90°/-45° and 60°/45°/-60°. This study aimed to determine the effect of fiber angle orientation on tensile strength, maximum deformation and location of maximum stress on carbon fiber composites. The best composite design is the composite with fiber angle orientation of 45°/90°/-45° with a tensile stress value of 3.6 MPa and the smallest deformation of 0.0644 mm.

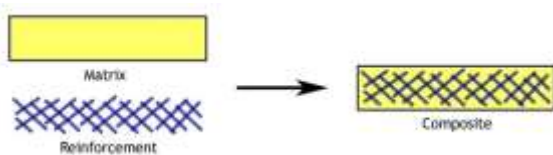
Kata kunci: simulasi, komposit, orientasi sudut serat, deformasi, Laminated Composite

1. PENDAHULUAN

Pada perkembangan dalam bidang material teknik, kebanyakan logam diolah menjadi peralatan rumah tangga, peralatan makan dan minum, ornamen dan alat perang seperti pedang, baju tempur, dan tameng (*shield*) pada awal penemuan logam oleh umat manusia yaitu sekitar tahun 6000 SM.[1] Namun dengan berkembangnya ilmu dan teknologi, logam kemudian diolah untuk perindustrian. Industri otomotif merupakan salah satu bidang industri yang banyak menggunakan logam sebagai bahan baku produksinya. Seperti pada pembuatan rangka mobil, rangka motor, body mobil, suku cadang mobil dan motor dan komponen mesin-mesin kendaraan bermotor. Selain banyak digunakan pada industri otomotif, logam juga banyak digunakan sebagai bahan konstruksi bangunan. Pertahanan militer juga menjadi industri yang menggunakan logam sebagai bahan baku produksi, seperti pembuatan *tank*, Meriam, senapan, dan lain-lain.

Penggunaan logam untuk proses rekayasa dan industri memang cukup diminati sebagai bahan baku. Hampir semua industri menggunakan logam sebagai bahan baku, namun logam juga memiliki beberapa kekurangan untuk dijadikan sebagai material pada proses rekayasa dan industri. Kekurangan logam diantaranya yaitu bersifat korosif. Untuk mengatasi kekurangan logam yang bersifat korosif, akhir-akhir ini komposit menjadi material yang mulai banyak digunakan sebagai bahan baku produksi. Komposit yang memiliki sifat tahan korosi dan umumnya lebih ringan dari logam mulai banyak digunakan sebagai material pada industri dan proses rekayasa.

Komposit adalah material yang tersusun dari campuran dua atau lebih material yang memiliki sifat kimia dan sifat fisik yang berbeda yang nantinya menghasilkan material baru yang memiliki sifat berbeda dengan material penyusunnya.[2] Bahan penyusun dari komposit terdiri dari empat komponen, yaitu matrik, material penguat (*reinforce*), material pengisi (*filler*) dan material penambah (*additive*).



Gambar 1 Ilustrasi komposit

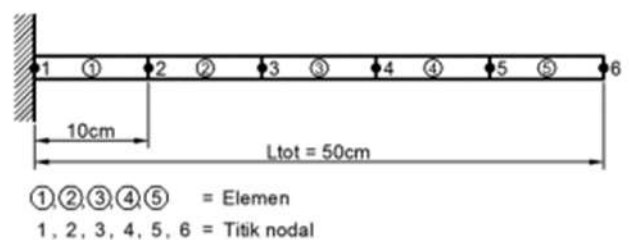
Serat karbon, grafit karbon atau CF adalah bahan yang terdiri dari serat yang sangat tipis sekitar 0,005-0,010 mm dan sebagian besar terdiri dari atom karbon. Atom karbon yang terikat bersama kristal mikroskopis yang sejajar dengan sumbu panjang serat. Hal ini yang membuat serat karbon merupakan serat yang sangat kuat untuk serat seukurannya. Beberapa ribu serat karbon dipintal bersama untuk membentuk sebuah benang, yang dapat digunakan dengan sendirinya atau ditenun menjadi kain.[3]. Serat karbon memiliki banyak pola pintal yang berbeda dan dapat dikombinasikan dengan resin plastik dan dicetak untuk membentuk material komposit seperti plastik yang diperkuat serat karbon (CFRP) untuk membuat bahan yang memiliki *strength-to-weight ratio* tinggi. Densitas serat karbon juga lebih rendah daripada densitas dari baja, sehingga ideal untuk aplikasi yang memerlukan bahan yang

ringan. Dari uraian tersebut menunjukkan serat karbon berpotensi sebagai penguat atau inti pada komposit.

Akbulut dan Sonmez melakukan penelitian tentang optimasi desain komposit laminate menggunakan algoritma annealing. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk meminimalkan ketebalan atau berat suatu komposit *laminate*. [4] Simulasi algoritma annealing digunakan untuk optimasi desain *lay-up*. Orientasi sudut serat dan jumlah *layer* merupakan variabel untuk mendesain struktur komposit *laminate* dalam penelitian ini. Dengan mempertimbangkan beban statis sebagai model kegagalan kritis, pembebanan maksimal dan kriteria Tsai-Wu digunakan bersama untuk memprediksi kegagalan.

Metode elemen hingga adalah metode numerik yang digunakan sebagai salah satu solusi pendekatan untuk memecahkan berbagai permasalahan fisik. Adapun dasar dari metode elemen hingga adalah membagi benda kerja menjadi elemen-elemen kecil yang jumlahnya berhingga sehingga dapat menghitung reaksi akibat beban (*load*) pada kondisi batas (*boundary condition*) yang diberikan. Dari elemen-elemen tersebut dapat disusun persamaan-persamaan matriks yang biasa diselesaikan secara numerik dan hasilnya menjadi jawaban dari kondisi beban yang diberikan pada benda kerja tersebut. Metode elemen hingga (MEH) dapat mengubah suatu masalah yang memiliki jumlah derajat kebebasan tidak berhingga menjadi suatu masalah dengan jumlah derajat kebebasan tertentu sehingga proses pemecahannya lebih sederhana. Metode ini merupakan metode *computer oriented* yang harus dilengkapi dengan program-program komputer digital yang tepat dalam penelitian ini penulis menggunakan program MATLAB untuk perhitungan numerik. Ada beberapa langkah perhitungan dengan menggunakan metode elemen hingga, diantaranya sebagai berikut :

1. Diskretisasi atau pembagian batang menjadi elemenelemen. Pada penelitian ini batang dibagi menjadi lima elemen, sehingga masing-masing elemen memiliki panjang $L=L_{tot}/5$. Derajat kebebasan setiap titik nodalnya adalah dua, yaitu perpindahan transversal dan perpindahan sudut. Sehingga total jumlah derajat kebebasan adalah 12, seperti pada gambar berikut



Gambar 2. Pembagian elemen balok komposit

2. Menyusun matriks *massa local* dan matriks kekakuan lokal (elemen) dalam koordinat struktur Matriks massa lokal dan matriks kekakuan *local*. Matriks massa lokal dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2) yaitu masa persatuan panjang (m) (kg/m) dikalikan dengan panjang balok perelemen (l) (m) dan dikalikan dengan matriks massa:

$$[m] = \frac{ml}{420} \begin{bmatrix} 156 & 22l & 54 & -13l \\ 22l & 4l^2 & 13l & -3l^2 \\ 54 & 13l & 156 & -22l \\ -13l & -3l^2 & -22l & 4l^2 \end{bmatrix} \quad (1)$$

3. Untuk matriks kekakuan lokal dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (3) yaitu modulus elastisitas (E) (Kg/m^2) dikalikan dengan momen inersia balok (I) (m^4) dan dibagi dengan panjang balok perlemen pangkat tiga (l) (m^3) kemudian dikalikan dengan matriks kekakuan:

$$[k] = \frac{EI}{l^3} \begin{bmatrix} 12 & 6l & -12 & 6l \\ 6l & 4l^2 & -6l & 2l^2 \\ -12 & -6l & 12 & -6l \\ 6l & 2l^2 & -6l & 4l^2 \end{bmatrix} \quad (2)$$

4. Untuk mendapatkan momen inersia balok berikut rumus perhitungan yaitu lebar balok (b) (m) dikalikan dengan tebal balok pangkat tiga (h) (m^3) kemudian dibagi dua belas :

$$I = \frac{bh^3}{12} \quad (3)$$

5. Transformasi matriks massa dan matriks kekakuan dalam koordinat lokal ke koordinat global.

$$[M] = [L]^T [m] [L] \quad (4)$$

untuk mengetahui sifat tarik pada komposit maka dapat dilakukan analisa menggunakan persamaan berikut ini (tegangan tarik, regangan tarik dan modulus elastisitas). [5]

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (5)$$

$$\epsilon = \frac{l_i - l_0}{l_0} = \frac{\Delta l}{l_0} \quad (6)$$

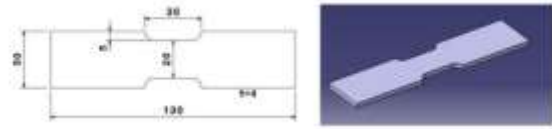
$$E = \frac{\Delta \sigma}{\Delta \epsilon} \quad (7)$$

2. METODE PENELITIAN

Spesimen komposit yang akan disimulasi harus didesain dan digambar terlebih dahulu pada software ANSYS dengan format CAD. Prosedur atau langkah-langkah yang harus dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Memilih data *engineering* material, ini dilakukan untuk menentukan *mechanical properties* dari material yang akan dibuat sebelum dilakukan simulasi.
2. Menggambar dan menentukan dimensi spesimen pada kolom geometry
3. Menentukan jumlah layer dan orientasi serat sesuai variabel penelitian dari spesimen yang telah dibuat

Setelah melakukan beberapa prosedur penelitian diatas maka didapatkan spesimen komposit *laminated* sesuai ASTM D638-03 dengan dimensi dan bentuk spesimen seperti pada gambar berikut (satuan dalam mm) :[6]



Gambar 3 Spesimen Uji Tarik ASTM D638-03

Setelah spesimen telah dibuat langkah selanjutnya adalah memodelkan pembebanan pada saat pengujian. Sebelum proses simulasi dijalankan, memodelkan pembebanan sangat diperlukan untuk mengetahui karakteristik dari spesimen komposit laminated saat dilakukan pengujian. Prosedur pemodelan dibagi menjadi tiga tahap, yaitu:

1. Processing Phase

- *Meshing*

Merupakan langkah awal yang harus dilakukan sebelum melakukan proses simulasi. Tujuan dari meshing ini adalah untuk membagi spesimen sebelum disimulasi menjadi elemen-elemen .

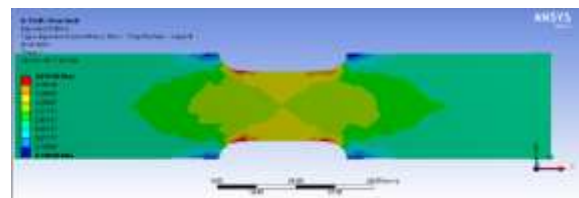
- Menentukan kondisi batas dan kondisi awal pembebanan

2. Solution Phase

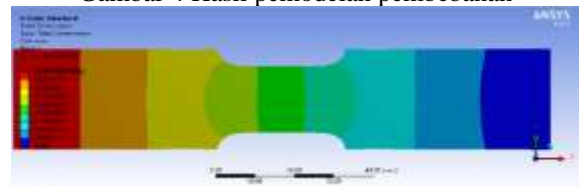
- Menentukan jenis pembebanan, pada simulasi ini jenis pembebanannya adalah pembebanan tarik sebesar 50 N dengan arah gaya seperti pada gambar dan pada ujung satunya dijepit (fixed beam)

3. Postprocessing Phase

- Pada tahap ini hasil dari proses simulasi telah didapat. Seperti nilai tegangan, nilai deformasi, dan lokasi tegangan kritis yang terjadi pada spesimen komposit laminated setelah simulasi selesai.



Gambar 4 Hasil pemodelan pembebanan



Gambar 5 Hasil pemodelan deformasi

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Analisa Tegangan Komposit

Pada penelitian ini pengambilan data dilakukan dengan menggunakan perangkat komputer dan dengan bantuan *software* simulasi yang berbasis metode elemen hingga (ANSYS v14.5). Variabel bebas dalam penelitian ini adalah orientasi sudut serat. Jenis serat yang digunakan

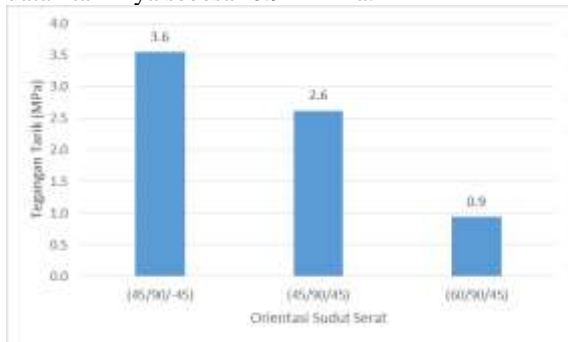
dalam penelitian ini adalah serat karbon dan menggunakan matrik epoxy. Spesimen dibentuk sesuai dengan standar uji tarik ASTM D638-03 dan dengan pemodelan pembebanan tarik pada salah satu sisi spesimen saja sebesar 50 N sehingga nantinya didapatkan respon dari variabel bebas tersebut adalah tegangan maksimal, deformasi maksimal dan lokasi konsentrasi tegangan.

Setelah dilakukan proses simulasi dengan beberapa parameter yang telah dijelaskan maka didapat data sebagai berikut.

Tabel 1 Tegangan maksimal hasil simulasi menggunakan software ANSYS v14.5

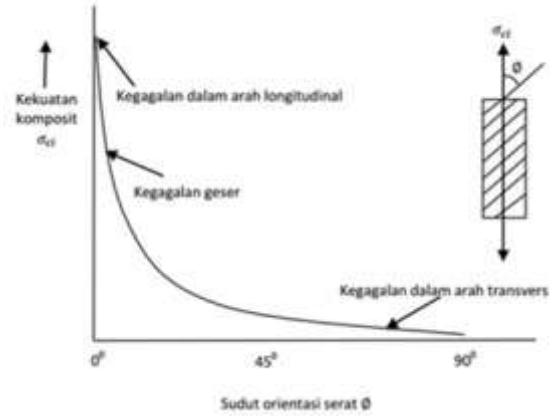
Jenis Spesimen	Tegangan Tarik Maksimal (MPa)
Model 1 (45/90/-45)	3.55 MPa
Model 2 (45/90/45)	2.62 MPa
Model 3 (60/45/-60)	0.944 MPa

Berdasarkan tabel 1 dapat dilihat hasil simulasi menunjukkan bahwa spesimen komposit serat karbon model 1 dengan orientasi sudut serat 45/90/-45 memiliki kekuatan tarik paling tinggi yaitu sebesar 3.55 MPa kemudian komposit serat karbon model 2 dengan orientasi sudut serat 45°/90°/45° memiliki kekuatan tarik sebesar 2.62 MPa dan yang terakhir komposit serat karbon model 3 dengan orientasi sudut serat 60°/45°/-60° dengan nilai kekuatan tariknya sebesar 0.944 MPa.



Gambar 6 Grafik hubungan orientasi sudut serat terhadap kekuatan tarik komposit

Pada gambar 6 menjelaskan grafik hubungan antara orientasi sudut serat karbon terhadap kekuatan tarik hasil simulasi menggunakan software. Pada grafik tersebut dapat diamati bahwa nilai tegangan tarik tertinggi ada pada komposit karbon dengan orientasi sudut serat 45°/90°/-45° dengan nilai kekuatan tariknya sebesar 3.6 MPa kemudian komposit dengan orientasi sudut 45°/90°/45° memiliki kekuatan tarik sebesar 2.6 MPa dan komposit dengan orientasi sudut serat 60°/90°/45° memiliki kekuatan tarik terkecil yaitu sebesar 0.9 MPa. Hasil simulasi ini sesuai dengan teori hubungan antara mode kegagalan, kekuatan, dan orientasi serat (diagram skematik untuk komposit serat kontinu satu arah).



Gambar 7 Hubungan antara mode kegagalan, kekuatan, dan orientasi serat (diagram skematik untuk komposit serat kontinu satu arah)

Menurut smallman gambar 7 menjelaskan karakteristik dari hubungan kekuatan komposit dan orientasi sudut serat [7]. Kurva tersebut secara sederhana menjelaskan apabila semakin besar nilai θ maka kegagalan pada arah longitudinal semakin besar namun kegagalan pada arah transversal semakin kecil begitu pula sebaliknya. Pada simulasi ini, model komposit dengan orientasi sudut serat 60°/90°/45° memiliki kekuatan terendah bila dibandingkan dengan kedua model komposit lainnya yang berorientasi sudut 45°/90°/45° dan 45°/90°/-45°. ini dikarenakan penyusunan orientasi sudut serat 60°/90°/45° lebih besar dari kedua model komposit yang berorientasi sudut 45°/90°/45° dan 45°/90°/-45°. Sehingga ketika diberi pembebanan uniaksial atau longitudinal komposit dengan orientasi sudut 60°/90°/45° mengalami kegagalan longitudinal yang besar sehingga nilai kekuatan tariknya kecil yaitu 0.9 MPa. Berbeda dengan model komposit dengan orientasi sudut 45°/90°/45° dan 45°/90°/-45° yang penyusunan orientasi sudut seratnya lebih kecil dibandingkan dengan modle komposit orientasi sudut 60°/90°/45°. Sehingga jika diberi pembebanan uniaksial atau longitudinal mengalami kegagalan longitudinal yang kecil sehingga nilai kekuatan tariknya tinggi yaitu 3.55 MPa dan 2.62 MPa.

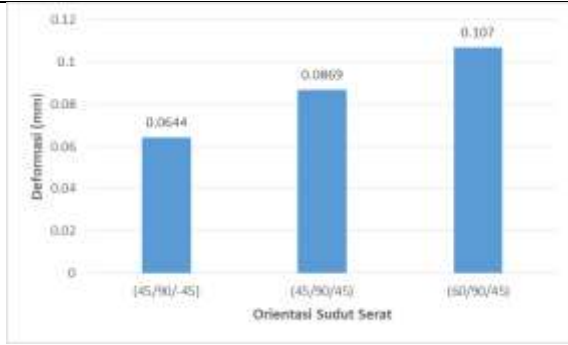
3.2 Analisa Deformasi Komposit

Proses simulasi pada penelitian ini juga menghasilkan datadeformasi komposit serat karbon yang merupakan respon dari beberapa variable bebas pengujian. Berikut ini adalah hasil regangan komposit serat karbon setelah proses simulasi

Tabel 2 Deformasi Maksimal hasil simulasi menggunakan software ANSYS v14.5

Jenis Spesimen	Deformasi Maksimal (mm)
Model 1 (45/90/-45)	0.0644 mm
Model 2 (45/90/45)	0.0869 mm
Model 3 (60/45/-60)	0.107 mm

Berdasarkan tabel 2 dapat dilihat bahwa hasil simulasi komposit model 1 (45°/90°/-45°) memiliki nilai deformasi terendah daripada kedua model komposit dengan nilai 0.0644 mm. Nilai deformasi tertinggi ada pada komposit model 3 dengan orientasi sudut serat (60°/45°/-60°) dengan nilai deformasi sebesar 0.107 mm.

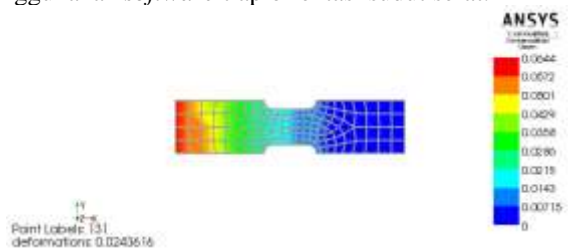


Gambar 7 Grafik hubungan orientasi sudut serat terhadap deformasi komposit

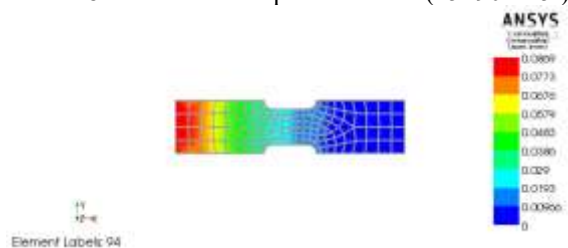
Pada gambar 7 menjelaskan grafik hubungan orientasi sudut serat terhadap deformasi komposit hasil simulasi menggunakan *software*. Pada grafik tersebut dapat diamati bahwa deformasi tertinggi ada pada komposit model 3 dengan orientasi sudut serat 60°/45°/-60° dengan nilai deformasi 0.107 mm kemudian deformasi terendah ada pada komposit model 1 dengan orientasi sudut serat 45°/90°/-45° dengan nilai deformasi 0.0644 mm.

Respon ini terjadi karena model komposit 3 dengan orientasi sudut serat 60°/45°/-60° penyusunan orientasi sudut seratnya lebih besar daripada kedua model komposit dengan orientasi sudut serat sebesar 45°/90°/45° dan 45°/90°/-45°. Sehingga jika komposit diberi pembebanan uniaksial maka terjadi kegagalan geser yang lebih besar pada komposit model 3 daripada komposit model 2 dan model 1 yang mengakibatkan serat pada komposit model 3 meregang lebih besar daripada model 2 dan model 1 yang juga berarti menurunkan kekuatan komposit itu sendiri sehingga komposit model 3 (60°/45°/-60°) memiliki deformasi tertinggi dan kekuatan tarik terendah.

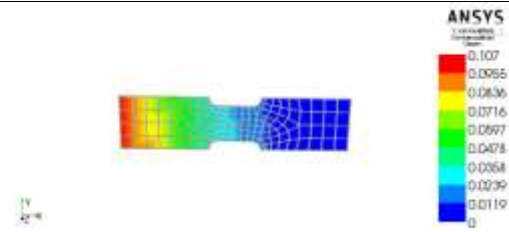
Berikut ini adalah deformasi hasil simulasi menggunakan *software* tiap orientasi sudut serat.



Gambar 8 Deformasi komposit model 1 (45°/90°/-45°)



Gambar 9 Deformasi komposit model 2 (45°/90°/45°)

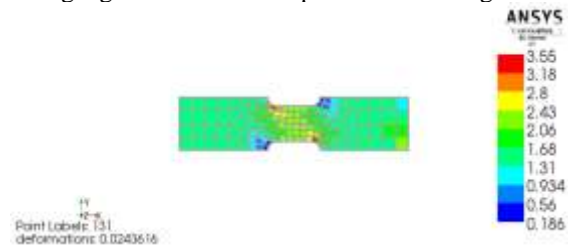


Gambar 10 Deformasi komposit model 3 (60°/45°/-60°)

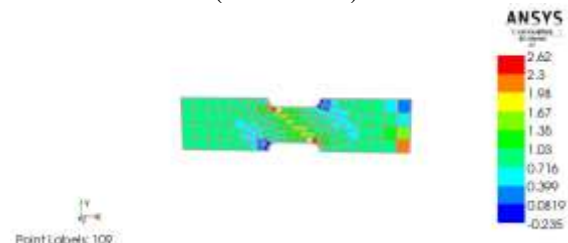
3.3 Analisa Lokasi Tegangan Maksimal

Pada struktur material sangat penting untuk diketahuinya lokasi atau titik tegangan maksimal yang terjadi pada saat material tersebut mengalami pembebanan. Hal ini dikarenakan agar nantinya adanya pengembangan desain pada material tersebut untuk meminimalisir terjadinya lokasi atau titik tegangan maksimal pada material yang alam penelitian ini adalah komposit yang merupakan *anisotropic materials*. [8]

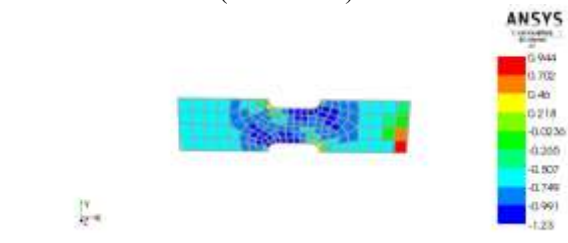
Berikut ini adalah lokasi atau titik tegangan maksimal yang terjadi pada komposit pada saat diberi pembebanan. Dengan menggunakan *software* analisis maka didapat lokasi tegangan maksimal komposit adalah sebagai berikut.



Gambar 11 Lokasi tegangan maksimal komposit model 1 (45°/90°/-45°)



Gambar 12 Lokasi tegangan maksimal komposit model 2 (45°/90°/45°)



Gambar 13 Lokasi tegangan maksimal komposit model 3 (60°/45°/-60°)

Warna merah pada gambar 11, 12, dan 13 menunjukkan lokasi atau titik tegangan maksimal dari ketiga model komposit. Pada komposit model 1 dan dua lokasi tegangan maksimal hampir sama yaitu ada pada bagian takik dari spesimen uji. Namun hal yang berbeda ditunjukkan pada komposit model 3. Lokasi atau titik tegangan maksimal ada pada ujung spesimen. Hal ini menunjukkan bahwa komposit merupakan *anisotropic material*. Komposit *anisotropic material* adalah komposit yang penguatannya

memberikan penguatan tidak sama terhadap arah yang berbeda, sehingga segala pengaruh tegangan atau regangan dari luar akan mempunyai nilai kekuatan yang tidak sama (baik arah transversal maupun longitudinal).

Dengan kata lain pada pengujian tarik, spesimen diberi takik dengan tujuan agar konsentrasi tegangan terpusat pada takik tersebut bila spesimen diberi pembebanan sehingga spesimen uji putus atau terdeformasi pada daerah takik tersebut. Pada simulasi ini spesimen komposit model 1 dan dua letak atau titik tegangan maksimal sudah tepat pada daerah takik sehingga spesimen terdeformasi pada daerah takik. Namun pada spesimen komposit model 3 lokasi tegangan maksimal justru terjadi pada ujung spesimen yang seharusnya ada pada bagian takik. Sehingga pada spesimen komposit model 3 terjadi deformasi pada ujung spesimen.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Semakin besar orientasi sudut serat maka akan menurunkan kekuatan komposit tersebut. Kekuatan tarik tertinggi ada pada komposit dengan orientasi sudut serat $45^{\circ}/90^{\circ}/-45^{\circ}$ dengan nilai 3.55 MPa dan kekuatan tarik terendah ada pada komposit dengan orientasi sudut serat $60^{\circ}/45^{\circ}/-60^{\circ}$ dengan nilai 0.944 MPa. Semakin besar orientasi sudut maka deformasi yang terjadi juga semakin besar. Deformasi terbesar ada pada komposit dengan orientasi sudut serat $60^{\circ}/45^{\circ}/-60^{\circ}$ dengan nilai deformasi sebesar 0.107 mm dan deformasi terkecil ada pada komposit dengan orientasi sudut serat $45^{\circ}/90^{\circ}/-45^{\circ}$ dengan nilai 0.0644 mm.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan ada beberapa saran yang mungkin dapat dilakukan pada penelitian selanjutnya, yaitu perlu dilakukan dengan jumlah *layer* dan model pembebanan yang berbeda

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Alan W Cramb. 1996. "A Short History of Metals", Carnegie Mellon University, Department of Materials Science and Engineering.
- [2] Subagia Ary I.D.G. 2015. Studi Eksperimen Sifat Mekanis Hibrid Komposit Epoxy Dengan Penguatan Serat Karbon
- [3] Bregar, Bill (5 August 2014). "Price keeping carbon fiber from mass adoption - Plastics News"
- [4] Akbulut Mustafa and Sonmez O. Fazil. 2011. Design Optimization of Laminated Composites Using a New Variant of Simulated Annealing, Department of Mechanical Engineering Bogazici University, Istanbul, Turki
- [5] Gibson. R.F. (1994). Principle Of Composite Of Mechanical Engineering, Wayne State University Detroit, Michigan, Mc Graw-Hill, Inc

- [6] Book Standard ASTM D638-03 (2003). Standard Test Method For Tensile Properties Of Plastics. ASTM International
- [7] R. E. Smallman and R. J. Bishop, 2000. "modern physical metallurgy and materials engineering", Hill International Book Company, New York
- [8] Begum & A.M. Islam (2013). *Natural As A Substitute To Synthetic Fiber In Polymer Composites*, Review, Research Journal Of Engineering Science Vol.2 (3), 46-53