



Analysis of Fiber Metal Composite Shear Strength Using Independent Variables of Fiber Angle Orientation and Metal Surface Roughness

Hilmi Iman Firmansyah^{1*}, Wirawan², Moh. Nasir Hariyanto³

¹Politeknik Negeri Malang, Indonesia

²Politeknik Negeri Malang, Indonesia

³Politeknik Negeri Malang, Indonesia

*Email Penulis: firmansyahilmi@polinema.ac.id

INFORMASI ARTIKEL

Naskah Diterima 15/09/2022
Naskah Direvisi 24/10/2022
Naskah Disetujui 13/11/2022
Naskah Online 30/12/2022

ABSTRAK

Fiber Metal Laminates (FML) merupakan salah satu klasifikasi material logam yang terdiri dari beberapa lapisan tipis logam yang digabungkan dengan material komposit. Kendala dari FML adalah lemahnya ikatan antar material lapisan dan komposit inti. Lemahnya ikatan antara material lapisan dengan komposit inti bisa dipengaruhi beberapa hal diantaranya adalah tidak adanya system interlock antara material lapisan dan komposit inti sehingga kekuatan komposit FML menurun. Pada penelitian ini dilakukan penelitian mengenai kekuatan geser komposit FML dengan menggunakan variable bebas kekasaran permukaan dan Orientasi sudut serat. Metode pembuatan komposit menggunakan metode *vacuum resin infusion* (VARI) setelah jadi specimen maka diuji kekuatan gesernya menggunakan mesin *hydraulic servo pulser*. Kekuatan geser tertinggi pada komposit FML dengan orientasi sudut serat 45/45° dan dengan nilai kekasaran permukaan 2,128 µm dengan nilai kekuatan gesernya adalah 2,7 MPa

Kata kunci: Fiber metal laminates, Orientasi sudut serat, Kekasaran permukaan, kekuatan geser

1. PENDAHULUAN

Material semakin berkembang dengan disertai pengembangan ilmu pengetahuan. Saat ini material komposit semakin banyak digunakan untuk bahan baku material dalam segala jenis produk. Komposit merupakan material yang terdiri dari campuran atau kombinasi dua atau lebih material baik secara mikro atau makro dimana sifat material tersebut berbeda bentuk dan komposisi kimia dari zat asalnya (Smith, 1996). [1]

Klasifikasi komposit berdasarkan penyusunnya dibedakan menjadi tiga, yang pertama adalah *fibrous composite material* (komposit serat) yang terdiri dari dua komponen penyusun yaitu matriks dan serat, kedua adalah *Particulate composite material* (komposit partikel) merupakan jenis komposit yang menggunakan partikel atau butiran sebagai pengisi dan yang ketiga adalah *laminated composite material* atau *structural composite material*

(komposit berlapis) yang terdiri sekurang-kurangnya dua material yang berbeda dan direkatkan Bersama

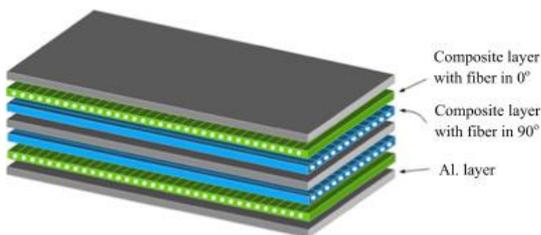
Fiber metal laminates (FML) adalah struktur komposit *hybrid* yang komponen penyusunnya merupakan lembaran logam paduan dan lapisan serat polimer sebagai penguat (Tamer Sinmazçelik dkk, 2011). [2]

Fiber metal laminates merupakan struktur komposit lapis yang menggabungkan keuntungan dari material logam dan matrik yang diperkuat serat. Material logam yang merupakan *isotropic* material memiliki sifat mekanik kekuatan dan ketahanan *impact* yang tinggi namun material logam bersifat korosif, sedangkan material yang secara keseluruhan komposit memiliki karakteristik kelelahan (*fatigue*) yang baik kemudian kekuatan dan kekakuan yang tinggi. Kedua material ini yang memiliki keunggulan pada sifat mekanisnya masing-masing dikombinasikan menjadi satu material yang disebut *fiber metal laminates* yang bertujuan memperbaiki kekurangan pada masing-masing material (Tamer Sinmazçelik dkk, 2011).

Wijoyo dan Achmad Nurhidayat (2015) [9] meneliti sandwich komposit dengan serat aren dan polyester dengan core pelepah pohon pisang dengan responnya adalah kekuatan bending. Variabel dalam penelitian ini adalah jumlah lamina. Penelitian ini menggunakan bahan utama serat aren dan matriks polyester dengan tipe 157 BQTN, katalis MEKPO, akselerator Cobalt naphtenate, max way, max/minor, dan inti limbah pelepah pohon pisang. Peralatan yang digunakan adalah mesin uji bending, timbangan digital, mikroskop mikro, foto makro dan peralatan fabrikasi komposit. Spesimen uji yang dibuat komposit dengan jenis sandwich dan menggunakan metode hand lay-up. Jumlah lamina yang digunakan adalah 1,2 dan 3 layer serat aren. Hasil dari penelitian ini adalah semakin banyak jumlah layer maka kekuatan bending komposit juga meningkat.

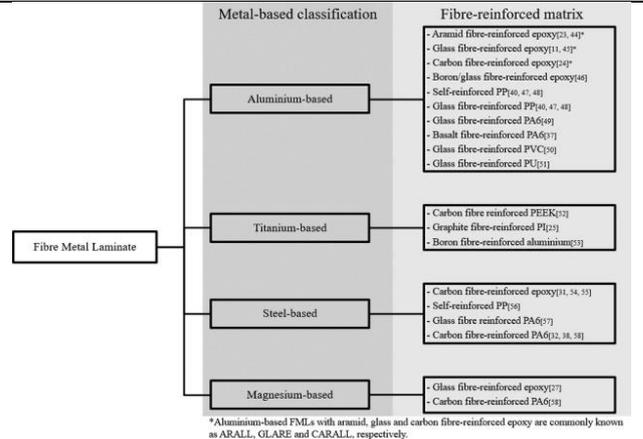
Aneta Krzyzak dkk (2016) [8] meneliti struktur komposit sandwich untuk aeronotika atau ilmu penerbangan. Panel sandwich adalah komposit yang terdiri dari dua lapisan tipis pada permukaan luar yang ringan dan inti yang tebal. Meskipun berinti tebal sandwich komposit adalah material yang ringan dan memiliki kekuatan bending tinggi. Komposit ini memiliki struktur yang renggang, yang menjadikannya sebagai isolator panas yang baik. Mechanical properties komposit ini bergantung langsung pada karakter komponen sandwich dan metode fabrikasinya. Komposit sandwich pada penelitian ini dibuat dengan tiga metode, yaitu hand lay-up, press method, dan autoclave use. Hasil dari penelitian ini menunjukkan metode pembuatan dan tekanan yang tepat pada saat pembentukan panel sandwich mempengaruhi mechanical properties dari struktur polimer sandwich komposit seperti kekuatan lentur, kekuatan impact dan kekuatan tekan.

HI Firmansyah dkk (2018) [7] meneliti tentang komposit *laminate*, menggunakan komposit serat karbon yang dilapisi Aluminium. Dengan variasi nilai kekasaran permukaan logam dan orientasi sudut serat untuk mengetahui nilai kekuatan tariknya. Kekuatan Tarik tertinggi didapat pada variasi kekasaran permukaan 2.887 μm dengan nilai kekuatan tariknya adalah 367 MPa.



Gambar 1 *Fiber Metal Laminates (FML)*

Struktur material ini disusun dengan cara menggabungkan komposit *laminate* pada lapisan logam. *Fiber metal laminates* biasanya tersusun dari aluminium dengan aramid dan *fiber glass*. Namun juga bisa digunakan material lain sebagai penguat. Gambar 2 berikut menjelaskan mengenai klasifikasi dari *fiber metal laminates*.

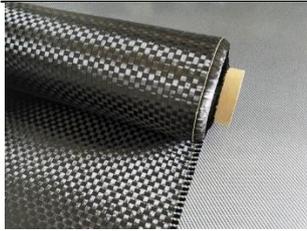


Gambar 2 Klasifikasi *fiber metal laminates*

Pada Gambar 2 dijelaskan mengenai beberapa klasifikasi tentang *fiber metal laminates*, terdapat beberapa kombinasi material yang bisa digunakan untuk membuat komposit FML. Material logam yang bisa digunakan adalah Aluminium, Titanium, Steel dan Magnesium. Kemudian untuk material kompositnya bisa menggunakan serat aramid, serat kaca, serat karbon dan lain-lain.

Pada struktur *laminates* (lapis) ada beberapa permasalahan yang sering terjadi, diantaranya adalah delaminasi. Delaminasi adalah model kegagalan pada komposit yang berstruktur lapisan. Penyebab delaminasi adalah karena lemahnya ikatan antar layer pada komposit *laminates*. Lapisan yang mudah terpisah maka berpengaruh terhadap kekuatan komposit *laminates* itu sendiri, (WJ Cantwell & J Morton, 1991). [3] Agar ikatan antar *layer* dapat diperkuat maka metode perlakuan *mechanical bonding* bisa dilakukan. Dengan memberikan kekasaran permukaan diharapkan mampu meningkatkan ikatan antar lapisan. Oleh karena itu pemilihan variable kekasaran permukaan aluminium pada struktur FML yang diharapkan mampu mempengaruhi kekuatan geser material tersebut.

Penelitian ini menggunakan serat karbon sebagai penguat pada struktur FML. Serat karbon 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 membuat serat karbon merupakan serat yang sangat kuat untuk seukurannya. Beberapa ribu serat karbon dipintal bersama untuk membentuk sebuah benang, yang dapat digunakan dengan sendirinya atau ditunen menjadi kain (Bregar & Bill, 2017) [4]. 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 FML.



Gambar 3 Serat karbon

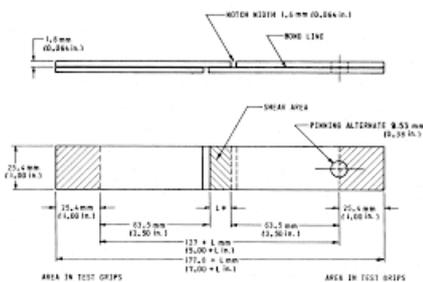
Pengujian geser dilakuakn untuk mengetahui tegangan geser yang terjadi pada struktur FML. Dengan asumsi bahwa tegangan geser yang terjadi pada FML dapat mempengaruhi delaminasi pada struktur FML sehingga berpengaruh juga terhadap kekuatan struktur FML secara keseluruhan. (Surdia, 1995) [5]

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (1)$$

Di mana:

- σ = Tegangan geser [MPa]
- F = Gaya [N]
- A = Luas penampang [mm^2]

Pengujian geser dilakukan menggunakan mesin uji Tarik universal dengan pedoman ASTM D732 [10]

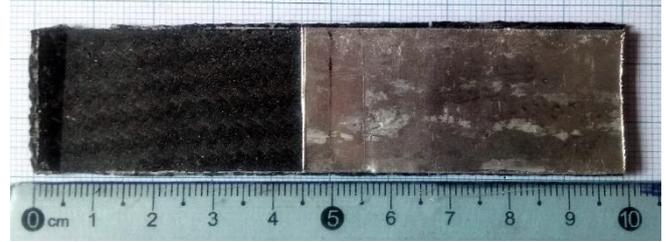


Gambar 4 Spesimen uji geser ASTM D732
 Sumber : ASTM D732

2. METODE PENELITIAN

Sebelum dilakukan proses pembuatan FML langkah pertama yang harus dilakukan adalah mempersiapkan aluminium terlebih dahulu. Aluminium diberikan kekasaran permukaan dengan menggunakan *sand blasting machine* dengan beberapa parameter sapuan sehingga menghasilkan kekasaran yang diinginkan. Setelah proses *sand blasting* dilakukan berikutnya adalah mengukur nilai kekasaran permukaan yang dihasilkan dengan menggunakan *surface roughness tester* sehingga didapatkan variasi nilai R_a . Setelah proses pengukuran kekasaran permukaan, aluminium diberi perlakuan panas annealing dengan temperature 300°C selama satu jam agar struktur butiran aluminium menjadi homogen dan menghilangkan tegangan sisa akibat proses. Kemudian aluminium dipotong sesuai standar specimen uji geser ASTM D732. Langkah berikutnya adalah memotong serat karbon sesuai specimen uji geser ASTM D732 dengan sudut anyaman 0/90° dan 45/45°. Setelah beberapa proses tersebut dilakukan selanjutnya adalah proses pembuatan FML dilakukan dengan menggunakan metode *vacuum infusion*. Karakteristik FML kemudian diamati dengan pengujian

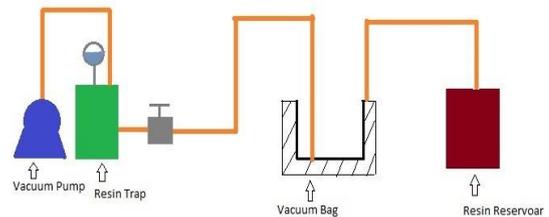
geser dan area delaminasi pada struktur *fiber metal laminates*.



Gambar 5 Spesimen uji geser sesuai ASTM D732

2.1 Vacuum Resin Infusion (VARI)

Metode VARI menghasilkan material komposit yang mempunyai rasio fiber- resin yang tinggi dibandingkan dengan metode hand lay-up. Metode hand lay-up menggunakan cara manual untuk mengalirkan resin, sedangkan pada metode VARI aliran resin dilakukan oleh tekanan vacuum yang konstan. Penggunaan tekanan vacuum konstan ini yang mengatur distribusi resin agar tetap dalam suatu jumlah tertentu. Hal ini menyebabkan rasio fiber-resin menjadi tinggi sehingga menghasilkan material komposit yang kuat dan ringan. (Schwartz, 2003) [6]

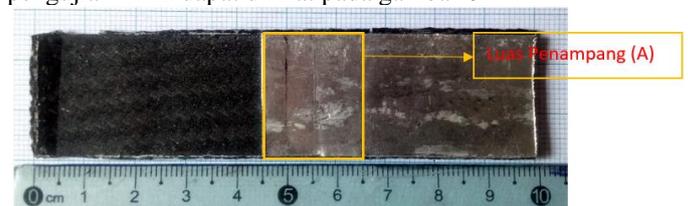


Gambar 6 Skema instalasi *Vacuum Resin Infusion*

Pada penelitian ini variable bebas yang digunakan adalah variasi nilai kekasaran permukaan dan orientasi sudut serat karbon. Untuk nilai R_a nya adalah sebagai berikut, 1,68 μm , 1,78 μm , 1,93 μm dan 2,128 μm . Kemudian variable terkontrolnya adalah jenis anyaman karbon *twill 2x2*, tebal karbon fiber 0,1 mm, Aluminium yang digunakan seri Al 1100, tekanan kompresor pada proses *sand blasting* 50 bar dan waktu yang digunakan saat proses *sand blasting* untuk setiap kali sapuan adalah 10 detik. Kemudian variable terikat penelitian ini adalah kekuatan geser komposit *fiber metal laminate*.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian geser dilakukan untuk mengetahui lebih dalam ikatan *adhesive* antar komposit karbon dengan lapisan aluminium. Pengujian geser dilakukan menggunakan mesin *hydraulic servo pulser*. Spesimen pengujian FML dapat dilihat pada gambar 6

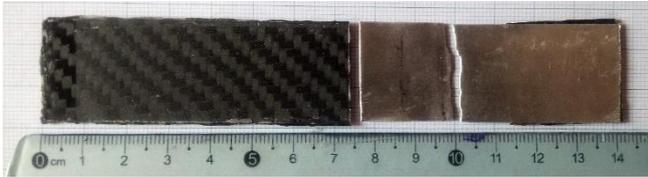


Gambar 6 Spesimen uji geser *fiber metal laminates*

Pada gambar 6 dapat dilihat specimen memiliki Panjang total 100 mm dan lebar 25 mm. Untuk menghitung tegangan gesernya maka perlu menghitung luas penampang pada specimen uji. Luas penampang ditunjukkan oleh tanda panah warna kuning dengan Panjang area 20 mm dan lebar area 25 mm. Luas penampang (A) dapat dihitung menggunakan persamaan (2).

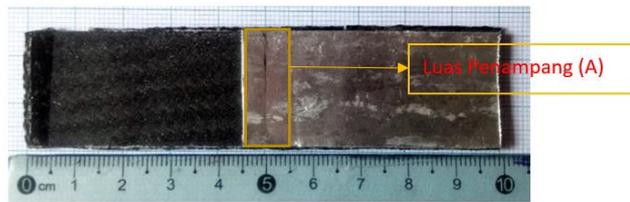
$$\begin{aligned}
 L &= P \times l \\
 &= 20 \text{ mm} \times 25 \text{ mm} \\
 &= 500 \text{ mm}^2
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

Namun terjadi kendala pada specimen uji geser dengan variable kekasaran permukaan 2,128 μm pada masing-masing variable orientasi sudut serat, baik 0/90 $^\circ$ maupun 45/45 $^\circ$. Jika menggunakan luas penampang 500 mm^2 maka yang terjadi adalah aluminium patah pada saat pengujian geser berlangsung. Ini terjadi karena *mechanical interlock* yang terjadi antara aluminium dan komposit karbon pada nilai R_a 2,128 μm terlalu kuat sehingga aluminium patah sebelum mengalami kegagalan geser seperti gambar 7 berikut.



Gambar 7 Specimen uji geser patah pada aluminium

Sehingga pada specimen dengan nilai R_a 2,128 μm pada masing-masing variable sudut serat dilakukan penyempitan luas penampang seperti pada gambar 8 berikut



Gambar 8 specimen uji geser dengan penyempitan luas penampang

Pada spesien FML dengan nilai R_a 2,128 μm didapatkan nilai luas penampang baru akibat penyempitan luas penampang dengan perhitungan menggunakan persamaan (2)

$$\begin{aligned}
 L &= P \times l \\
 &= 10 \text{ mm} \times 25 \text{ mm} \\
 &= 250 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Contoh perhitungan kekuatan geser pada *specimen fiber metal laminates*.

$$\begin{aligned}
 \sigma &= \frac{F}{A} \\
 &= \frac{65 \text{ N}}{500 \text{ mm}^2} \\
 &= 1,3 \text{ N/mm}^2
 \end{aligned}$$

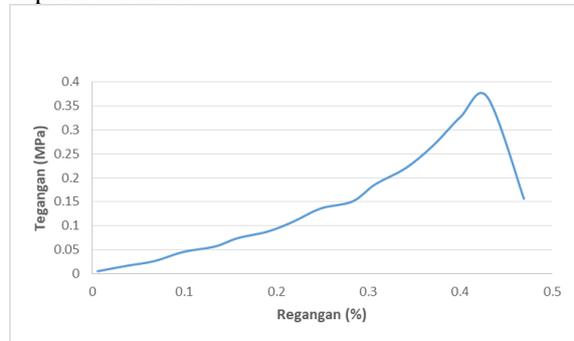
Berikut ini adalah hasil pengujian geser pada specimen FML

Tabel 1. Tegangan geser specimen FML dengan orientasi sudut serat 0/90 $^\circ$

Kekasaran permukaan (R_a) (μm)	Tegangan geser (MPa)
1,68	0,4
1,78	1,3
1,93	1,4
2,128	2,5

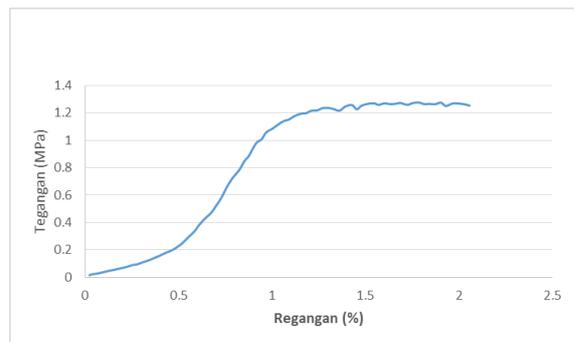
Sumber: analisa laboratorium

Hasil pengujian geser specimen *fiber metal laminates* menghasilkan diagram tegangan regangan seperti berikut .

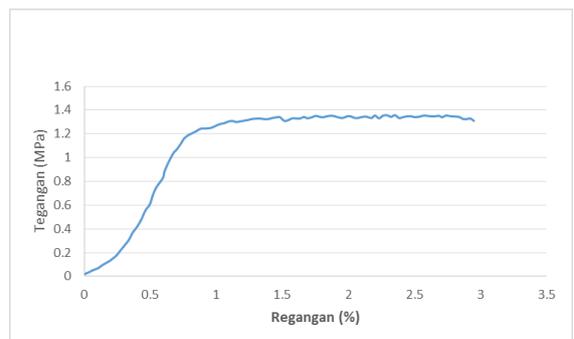


Gambar 9 Diagram tegangan regangan R_a 1,68 μm dengan orientasi sudut 0/90 $^\circ$

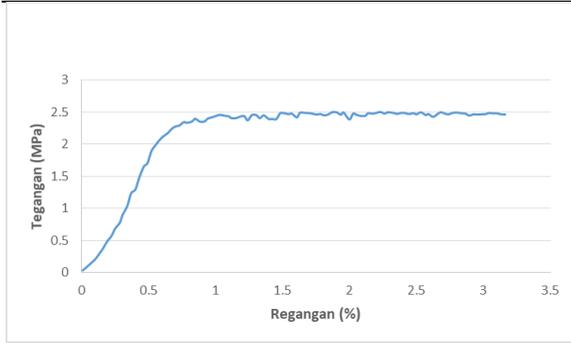
Dari grafik yang ditunjukkan gambar 9 dapat terlihat bahwa tegangan meningkat sampai 0,4 MPa kemudian turun. Ini menunjukkan deformasi sudah terjadi.



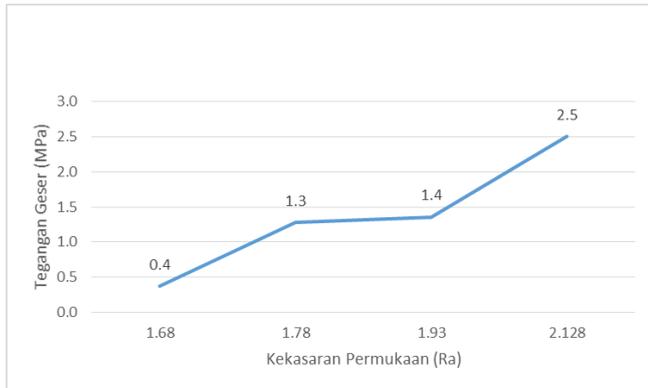
Gambar 10 Diagram tegangan regangan R_a 1,78 μm dengan orientasi sudut 0/90 $^\circ$



Gambar 10 Diagram tegangan regangan R_a 1,93 μm dengan orientasi sudut 0/90 $^\circ$



Gambar 11 Diagram tegangan regangan Ra 2,128 µm dengan orientasi sudut 0/90°



Gambar 12 Grafik hubungan kekasaran permukaan terhadap tegangan geser spesimen fiber metal laminates dengan orientasi sudut serat 0/90°

Dari grafik yang ditunjukkan gambar nomor 10, 11 dan 12 menunjukkan karakteristik yang berbeda dari grafik pada gambar 9. Pada grafik yang ditunjukkan gambar 10,11 dan 12 tidak terjadi penurunan tegangan sebelum specimen terdeformasi seperti pada grafik yang ditunjukkan gambar 9.

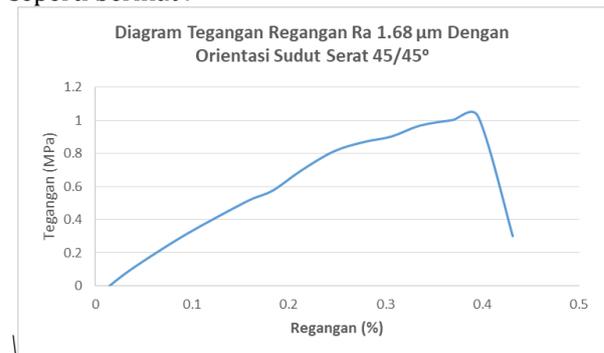
Pada gambar 12 dijelaskan mengenai grafik hubungan kekasaran permukaan terhadap tegangan geser pada spesimen *fiber metal laminates* dengan orientasi sudut serat 0/90°. Tegangan geser terendah ada pada spesimen dengan Ra 1,68 µm dengan nilai tegangan sebesar 0,4 MPa. Kemudian tegangan geser tertinggi ada pada spesimen dengan Ra 2,128 µm dengan nilai tegangan sebesar 2,59 MPa. Pada spesimen dengan Ra 1,68 µm karakteristik diagramnya berbeda dengan spesimen R_a yang lain. Pada Ra 1,68 µm tegangan mengalami kenaikan sampai nilai tegangan sebesar 0,4 MPa kemudian tegangan mengalami penurunan, ini terjadi karena specimen langsung mengalami kegagalan pada teegangan sebesar 0,4 MPa yang disebabkan lemahnya ikatan antar specimen dan komposit karbon. Berbeda dengan spesimen dengan nilai Ra 1,78 µm, Ra 1,93 µm dan Ra 2,128 µm. Semakin tinggi nilai kekasaran permukaan atau Ra maka topografi permukaan aluminium menjadi semakin tidak rata atau semakin tidak teratur. Dengan tidak ratanya permukaan aluminium akibat proses sand blasting maka matrik mampu melakukan penetrasi kedalam lekukan-lekukan pada permukaan aluminium sehingga membuat adanya perilaku *lock and key* antar *laminates* dan menimbulkan mekanisme ikatan *mechanical*

interlock (HI Firmansyah dkk, 2018) [7] yang mengakibatkan ikatan antar lapisan aluminium dan komposit serat karbon semakin kuat sehingga tidak mudah terjadi slip antar lapisan pada spesimen fiber metal laminates yang membuat semakin besar gaya yang diperlukan untuk spesimen mengalami kegagalan geser.

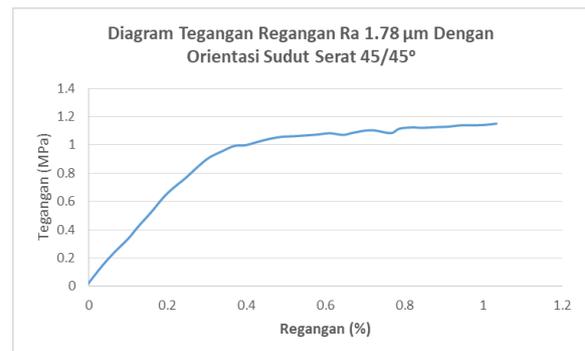
Tabel 2. Tegangan geser specimen FML dengan orientasi sudut serat 45/45°

Kekasaran permukaan (R _a) (µm)	Tegangan geser (MPa)
1,68	1,07
1,78	1,2
1,93	2,4
2,128	2,7

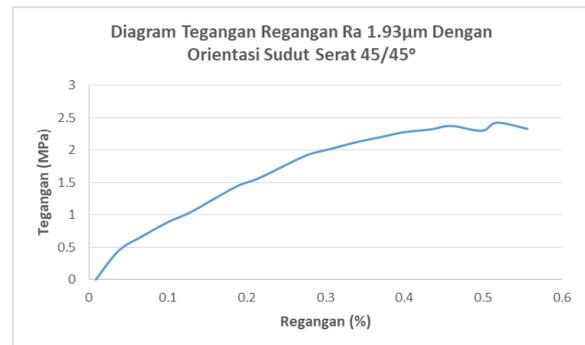
Hasil pengujian geser specimen fiber metal laminates menghasilkan diagram tegangan regangan seperti berikut .



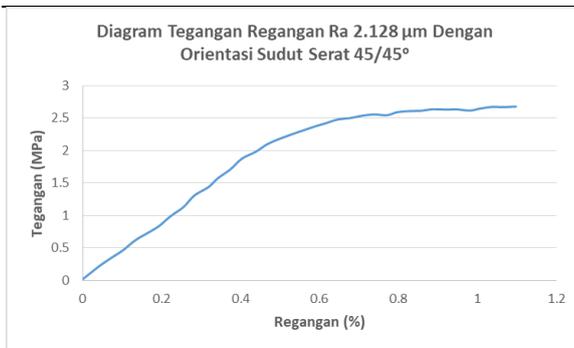
Gambar 13 Diagram tegangan regangan Ra 1,68 µm dengan orientasi sudut 45/45°



Gambar 14 Diagram tegangan regangan R_a 1,78 µm dengan orientasi sudut 45/45°



Gambar 15 Diagram tegangan regangan Ra 1,93 µm dengan orientasi sudut 45/45°



Gambar 16 Diagram tegangan regangan Ra 2,128 µm dengan orientasi sudut 45/45°



Gambar 17 Grafik hubungan kekasaran permukaan terhadap tegangan geser spesimen fiber metal laminates dengan orientasi sudut serat 45/45°

Gambar 17 menjelaskan tentang grafik hubungan kekasaran permukaan terhadap tegangan geser spesimen fiber metal laminates dengan orientasi sudut 45/45°. Pada grafik ditunjukkan bahwa tegangan geser terendah ada pada spesimen dengan Ra 1.68 µm yaitu sebesar 1,07 MPa. Kemudian tegangan geser tertinggi ada pada spesimen dengan Ra 2,128 µm yaitu sebesar 2,77 MPa. Semakin tinggi nilai Ra maka tegangan geser spesimen semakin meningkat.

Adanya *mechanical interlock* antara permukaan aluminium yang tidak rata dengan komposit serat karbon membuat matrik mampu melakukan penetrasi pada lekukan-lekukan permukaan aluminium yang tidak teratur atau tidak rata sehingga menimbulkan perilaku *lock and key* antar lapisan spesimen fiber metal laminates. Semakin tidak rata permukaan maka semakin banyak *mechanical interlock* yang terjadi pada lapisan sehingga ikatan antar lapisan semakin kuat sehingga tidak mudah terjadi slip yang membuat semakin besar gaya yang diperlukan untuk spesimen mengalami kegagalan geser.

4. KESIMPULAN

Kekuatan geser *fiber metal laminates* dipengaruhi oleh kekasaran permukaan (R_a). Semakin kasar permukaan atau semakin tinggi nilai R_a maka kekuatan geser FML juga semakin meningkat baik pada orientasi sudut 0/90° maupun pada orientasi sudut 45/45°. Kekuatan geser tertinggi pada nilai R_a 2,128 µm dengan orientasi sudut serat 45/45° yaitu 2,7 MPa.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Smith, W.F. 1996. *Principles of Materials Science and Engineering*, 2nd ed, Mc Graw-Hil, Singapore.
- [2] Tamer Sinmazcelik. 2011 “*Fiber metal laminates, background, bonding, and applies test methods*”, 2011 International Journal of Hydrogen Energy. 3477-3486
- [3] WJ., Cantwell dan J., Morton, 1991, *The Impact Resistance of Composite Material*, Journal of Composite, Elsevier.
- [4] Bregar, Bill. "Value keeping the carbon fiber from mass selection - Plastics News". Plastics News. Chronicled from the first on 2016-12-09. Recovered 2017-05-2
- [5] Surdia, Tata. 1995. *Pengetahuan Bahan*. Pradnya Paramita
- [6] Schwartz, M.M. 1984. *Composite Materials Handbook*, McGraw-Hill Book Co, NewYork.
- [7] HI. Firmansyah., A. Purnowidodo., SA. Setyabudi. 2018. *Pengaruh Mechanical Bonding Pada Aluminum dengan Serat Karbon Terhadap Kekuatan Tarik Fiber Metal Laminates*, Jurnal Rekayasa Mesin 9 (2), 127-134
- [8] Aneta Krzyzak, Michal Mazur, Mateusz Gajewski, Pawel Pezybylek. 2016. “*Sandwich Structured Composites For Aeronautics: Methods of Manufacturing Affecting Some Mechanical Properties*”, International Journal of Aerospace Engineering Volume 2016.
- [9] Wijoyo, Nurhidayat Achmad . 2015. “Pengaruh Fraksi Volume Serat Cantula Terhadap Ketangguhan Impak Komposit Cantula-Hdpe Daur Ulang Sebagai Bahan Core Lantai Ramah Lingkungan. Jurnal energi dan manufaktur Pros iding SNATIF Ke -(1): 1-8.
- [10] ASTM International. 2006. Standard Test Methods for Determining the Izod Pendulum Impact Resistance of Plastics1. Copyright © ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428- 2959, United States