

Pengaruh Perlakuan Permukaan Pengikatan Terhadap Sifat Mekanik Komposit Serat Kaca Dengan Laminasi Aluminium

Muhammad Fakhruddin^{1*}, Maskuri Maskuri¹, Elka Faizal¹, Hangga Wicaksono¹, Hilmi Iman Firmansyah¹, Bayu Pranoto¹

¹ Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Malang, Indonesia

*Email Penulis: ruudean@gmail.com

INFORMASI ARTIKEL

Naskah Diterima 12/10/2021
Naskah Direvisi 28/12/2021
Naskah Disetujui 31/12/2021
Naskah Online 31/12/2021

ABSTRAK

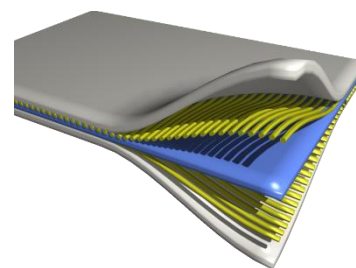
Fiber metal laminates or commonly known as fiber metal laminates (FML) are composite structures made by combining 2 layers of material as the outer layer with the core material. The outer layer of this composite is called the laminate. Generally, laminated composites are produced by joining techniques under solid-state conditions, such as diffusion bonding, extrusion, friction-stir welding, and roller welding. In this study, glass fiber composites with aluminum lamination were made using the vacuum assisted resin infusion (VARI) method, using epoxy resin. The surface treatment of the aluminum laminate was carried out with the direction of roughing at certain angles and variations of the surface roughening of the laminate to test the mechanical bonding between the composite and the laminate. Mechanical bonding testing using three-point bending test method (three-point bending) and buckling test. The expected result is that by surface treatment on aluminum laminate, the best mechanical bonding to composites with glass fiber is obtained. The TKT to be achieved from this research is TKT level 3, which is an analytical study that supports the prediction of the performance of the effect of the bonding surface treatment on the mechanical properties of glass fiber composites with aluminum lamination.

Keywords: FML, VARI, composite laminate, 3-point bending, buckling, surface treatment

1. PENDAHULUAN

Aluminium telah banyak digunakan pada berbagai macam aplikasi untuk mengurangi beban dari komponen-komponen otomotif, instrumen panel, dan perlengkapan *aerospace*. Aluminium memiliki keuntungan seperti sifat tahan karat yang baik, sifat tahan aus, dan mampu bentuk yang tinggi dibandingkan magnesium. Apabila dilaminasikan pada material komposit, keuntungan-keuntungan dari komposit dapat ditambahkan dengan lapisan aluminium dengan keuntungan tersebut[1].

Komposit berasal dari kata “*to compose*”, dimana kata tersebut memiliki arti menyusun maupun menggabungkan. Lebih ringkas, komposit adalah susunan dan gabungan dari dua atau lebih material yang memiliki sifat mekanis yang berbeda. Selain sifat mekanis yang berbeda, material yang berbeda baik secara mikrostruktur, makro, komposisi kimia dan zat asalnya. Matthew, dkk memberikan definisi dari komposit yaitu, suatu material yang terbentuk dari gabungan dua/ lebih material pembentuk melalui campuran yang tidak homogen, dimana sifat mekanik dari dari masing-masing material pembentuk yang berbeda[2].



Gambar 1. Ilustrasi komposit

Pada era 50-an, tujuan utama dari pengembangan material pesawat terbang adalah untuk meningkatkan sifat tahan retak pada struktur material. Material seperti paduan aluminium dan komposit memiliki potensial untuk meningkatkan keefektifan biaya dari struktur dan komponen-komponen bodi. Material ini masih memiliki keuntungan dan kerugiannya, seperti rendahnya kekuatan lelah bahan pada paduan aluminium dan rendahnya kemampuan impact dan sifat mekanik *impact* pada material komposit. Pada akhir era 70-an, ide untuk menggunakan

dua material untuk membentuk material komposit *hybrid* untuk mengatasi sebagian besar kelemahan dari kedua jenis material tersebut[3].

Serat dengan laminasi logam atau yang biasa dikenal dengan *Fibre Metal Laminates (FML)* adalah struktur komposit yang dibuat dengan melakukan kombinasi antara 2 lapis material sebagai lapisan luar dengan material inti. Lapisan terluar dari komposit ini disebut dengan laminasi. Umumnya komposit dengan laminasi dihasilkan dengan teknik penyambungan pada kondisi *solid-state*, seperti pengikatan difusi, ekstrusi, pengelasan gesek (*friction-stir welding*), dan pengelasan rol.

Pada penelitian ini, komposit serat kaca dengan laminasi aluminium dibuat menggunakan metode *Vacuum Assisted Resin Infusion (VARI)*, dengan menggunakan resin *epoxy*. Perlakuan permukaan laminasi aluminium dilakukan dengan arah pengasaran pada sudut-sudut tertentu dan variasi pengasaran permukaan laminasi untuk menguji pengikatan mekanis (*mechanical bonding*) antara komposit dan laminasinya. Pengujian *mechanical bonding* dengan menggunakan metode uji bengkok tiga poin (*three-point bending*) dan pengujian *buckling*. Hasil yang diharapkan adalah dengan perlakuan permukaan pada laminasi aluminium didapatkan pengikatan mekanis terbaik terhadap komposit dengan serat kaca.

Beberapa penelitian mengenai pengaruh perlakuan permukaan pengikatan terhadap sifat mekanik komposit serat kaca dengan laminasi aluminium yang berhubungan dengan penelitian ini antara lain adalah sebagai berikut:

Aniket Salve, dkk (2016) Melakukan review terhadap manufaktur, metode pengujian dan analisa numerik pada komposit dengan laminasi (*FML*). Beberapa *FML* yang diuji olehnya antara lain adalah *ARALL (Aramid Reinforced Aluminium Laminate)*, *GLARE (Glass Reinforced Aluminium Laminate)*, dan *CARALL (Carbon Reinforced Aluminium Laminate)*. Sifat mekanik dari *FML* menunjukkan kelebihan dari masing-masing material baik dari segi seratnya dan aluminiumnya.

Hariharan E, dkk (2016) Melakukan studi eksperimen untuk menganalisa *fibre metal laminate* dengan paduan aluminium untuk struktur pada pesawat. Tujuannya adalah untuk menganalisa dari metode uji pada bahan tersebut untuk mendapatkan estimasi empiris dari variasi kapasitas beban. Tujuan utamanya adalah untuk mengurangi rasio berat dan meningkatkan karakteristik toleransi kerusakannya. Sifat mekanik dari *FML* menunjukkan peningkatan pada masing-masing aluminium dan kompositnya. Penyerapan kelembapan pada komposit *FML* lebih rendah daripada komposit polymer. Uji pembebanan menjadi tajuk utama dikarenakan pengujian menggunakan metode tersebut sangat umum digunakan untuk menunjukkan kesesuaian dari serat yang digunakan pada komponen pesawat. Analisa dititikberatkan pada eksperimen terhadap keandalan dari kapasitas pembebanan setelah terjadi retak/cacat[4].

N K Romli, dkk (2017) melakukan penelitian terhadap perilaku dari aluminium karbon/*epoxy* dari *FML* selama pembebanan *quasi-static*. Tujuan dari penelitian tersebut adalah untuk meminimalisir resiko, dimana dibutuhkan material dan struktur yang tahan terhadap impak/tumbukan pada komponen pesawat. Kandidat yang potensial adalah

menggunakan *FML*. Dimana serat karbon dan aluminium 2024-0 dilaminasi menggunakan *epoxy thermoset*. Teknik pembuatan menggunakan metode cetak tekan. Dimana pelat aluminium di kasarkan menggunakan *sand blast* untuk meningkatkan pengikatan mekanis. Pada penelitiannya, respon kegagalan dari laminasi pada lima variasi dari perpindahan *crosshead* selama pembebanan *quasi-static*. *FML* kemudian di modelkan dan dianalisa menggunakan analisa *explicit*. Berdasarkan data eksperimen selama uji *quasi-static* pada kecepatan 1 mm/min, didapatkan tegangan sebesar 4.11 kN. Dan untuk kecepatan uji *quasi-static* pada variasi 5, 10, 50, dan 100 mm/min didapatkan hasil yang lebih kecil. Hasil dari eksperimen dan simulasi menunjukkan hasil dan pola yang serupa[5].

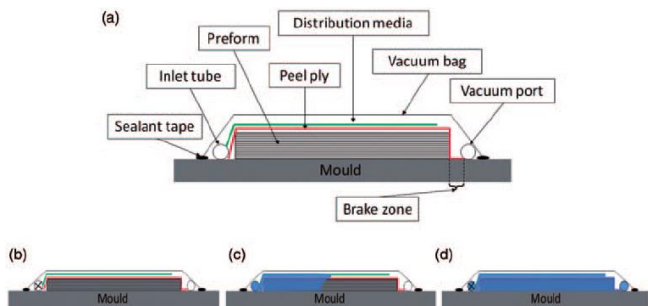
1. METODE PENELITIAN

Vacuum Assisted Resin Infusion (VARI) merupakan metode pembuatan material komposit dengan aplikasi tekanan rendah untuk mengatur jalannya resin menjadi laminar. Material yang menjadi matriks diletakkan di sebuah cetakan kemudian dilakukan vakum untuk menarik resin masuk dan mengalir ke dalam matriks. Setelah matriks teraliri resin maka tabung vakum akan menghisap sisa resin yang tertinggal, sehingga tebalnya sama. Metode *Vacuum Assisted Resin Infusion* ada 2 jenis, metode yaitu *Surface Infusion* dan metode *Interlaminar Infusion*. Pada *Surface Infusion* resin dialirkan melewati permukaan lamina, dengan kerugian terbesar pada biaya pengoprasian mesin dan kompleksitas yang meningkat jika aplikasi ini digunakan pada skala besar. Sedang pada metode *Interlaminar Infusion* resin dialirkan di antara lamina, sehingga ketebalan resin tetap terjaga pada ruang antar lamina dan aliran resin lebih cepat karena melewati ruang yang sama rata. Oleh sebab itu metode ini memiliki keuntungan yang besar jika diaplikasikan pada skala besar.

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 vakum yang konstan. Penggunaan tekanan vakum 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 lebih kuat dan ringan[6].

Alat uji bending adalah alat yang digunakan untuk melakukan pengujian kekuatan lengkung (*bending*) pada suatu bahan atau material. Pada umumnya alat uji bending memiliki beberapa bagian utama, seperti: rangka, alat tekan, point bending dan alat ukur. Rangka berfungsi sebagai penahan gaya balik yang terjadi pada saat melakukan uji bending. Rangka harus memiliki kekuatan lebih besar dari kekuatan alat tekan, agar tidak terjadi kerusakan pada rangka pada saat melakukan pengujian. Alat tekan berfungsi sebagai alat yang memberikan gaya tekan pada benda uji pada saat melakukan pengujian. Alat penekan harus memiliki kekuatan lebih besar dari benda yang di uji (ditekan). Point bending berfungsi sebagai tumpuan benda uji dan juga sebagai penerus gaya tekan yang dikeluarkan oleh alat tekan. Panjang pendek tumpuan

point *bending* berpengaruh terhadap hasil pengujian. Alat ukur adalah suatu alat yang menunjukkan besarnya kekuatan tekan yang terjadi pada benda uji. Uji *bending* adalah suatu proses pengujian material dengan cara di tekan untuk mendapatkan hasil berupa data tentang kekuatan lengkung (*bending*) suatu material yang di uji. Proses pengujian *bending* memiliki 2 macam pengujian, yaitu *3-point bending* dan *4-point bending*[7].



Gambar 2. Ilustrasi model pembuatan komposit metode VARI

Hipotesis dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- arah pengasaran permukaan laminasi mempengaruhi pengikatan mekanis pada komposit serat kaca.
- kekasaran permukaan mempengaruhi pengikatan mekanis pada komposit serat kaca.
- perlakuan pada permukaan laminasi mampu meningkatkan sifat mekanis komposit pada pengujian *three-point bending*.

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut: Variabel bebas Merupakan variabel yang besarnya bebas ditentukan peneliti dan tidak dipengaruhi oleh variabel yang lain. Variabel bebas dalam penelitian ini yaitu

- Arah Pengasaran Laminasi (a): 90° terhadap arah pengerolan.
- Grits Pengasaran (b): 100, dan 150.
- Stack anyaman (a): 5 lapis

Variabel terikat Merupakan variabel yang besarnya tergantung dari nilai variabel bebas dan diketahui setelah penelitian dilakukan. Variabel terikat dalam penelitian ini adalah tegangan maksimum pada pengujian *buckling* dan *3-point bending*.

Variabel terkontrol beberapa parameter yang dijaga konstan selama pengujian adalah

- Kecepatan pembebanan pada pengujian *buckling* dan *bending*
- Pembebanan dilakukan pada garis tengah spesimen
- Dimensi pada spesimen uji adalah seragam.
- Serat kaca menggunakan *woven roving* 200 gsm

2. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian Pengaruh Perlakuan Permukaan Pengikatan Terhadap Sifat Mekanik Komposit Serat Kaca Dengan Laminasi Aluminium memanfaatkan keunggulan dari dua material yang berbeda dengan pengikatan mekanis pada permukaan logam. Logam sebagai pelapis adalah logam

alumina dengan seri 1050 dengan bahan isian (matriks) *polyester* berpenguat serat kaca anyaman (*woven*) 200 gram per meter persegi (gsm). Pada penelitian ini dilakukan fabrikasi komposit *polyester* berpenguat serat kaca dengan laminasi logam alumina. Fabrikasi dengan menggunakan metode *Vacuum Assisted Resin Infusion (VARI)* dengan media cetakan kaca.

Keunggulan komposit ini adalah memadukan kelenturan dan ketangguhan aluminium dengan kekuatan dari komposit *polyester* berpenguat serat kaca. Analisa tingkat kekuatan yang meningkat dari seri aluminium dengan tebal yang sama, yaitu tebal 5 mm, meningkat ditinjau dari sifat kekakuan material fibre metal laminate (FML) yang meningkat dibandingkan dengan pelat aluminium dengan tebal 5 mm. breakdown dari perbandingan specimen dapat dilihat pada gambar dan table berikut.

Tabel 1. Spesifikasi dan berat material

No.	Bahan (20 x 150 mm)	Berat
1	Aluminium 5 mm	35 gram
2	Aluminium 1 mm	7 gram
3	Serat kaca woven 200 gsm (5 lapis)	4 gram
4	Serat kaca woven 200 gsm (10 lapis)	8 gram
5	FML aluminium+komposit+aluminium (5 lapis anyaman serat kaca)	28 gram
6	FML aluminium+komposit+aluminium (10 lapis anyaman serat kaca)	31 gram

Dari perbandingan dari Tabel 1, didapatkan prosentase pengurangan berat pada material FML komposit 11.5 % dari material pelapis (aluminium) dengan komposisi perbandingan komposit dari *polyester*: serat kaca yaitu 9:8. Perbandingan tersebut menandakan penggunaan rasio dari komposit itu sendiri hampir seimbang mendekati perbandingan resin: matrix sebesar 1:1.



Gambar 3. Berat satu lembar aluminium 20x150x1 mm



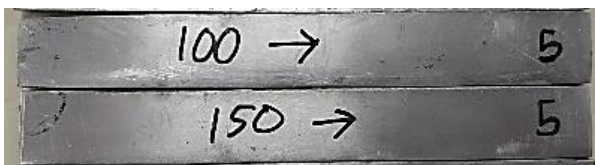
Gambar 4 Berat dua lembar aluminium 20x150x1 mm

Adapaun pada gambar 3 dan gambar 4 dapat diketahui nilai individu dari masing-masing berat komponen untuk pembuatan komposit FML. Sedangkan pada gambar 5 dapat ditunjukkan bahwasannya harga berat yang ditunjukkan dari material anyaman serat kaca 5 lapis yang akan dilakukan fabrikasi FML.

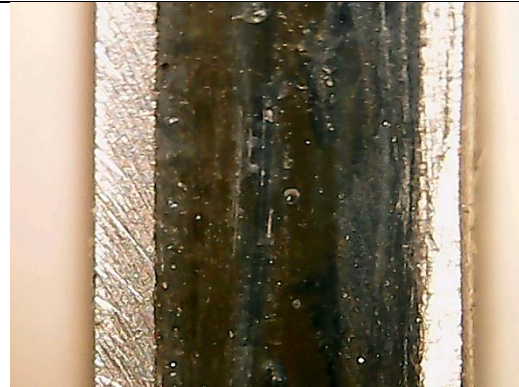


Gambar 5. Berat serat kaca untuk 5 lapis

Pada gambar dibawah, ditunjukkan hasil dari hasil pembuatan komposit *fibre metal laminates* dengan matrik serat kaca dan berpenguat aluminium. Resin yang digunakan adalah *polyester*. Pada proses pembuatannya, *stack* anyaman disusun setelah dilalukan perlakuan. Susunan dari komposit terdiri dari pelat aluminium-serat kaca-pelat aluminium. Resin kemudian disuntikkan ke sela-sela dari lapisan tersebut. Sehingga, hasil dari pembuatan komposit dapat dilihat pada gambar 6 dan gambar 7 berikut.

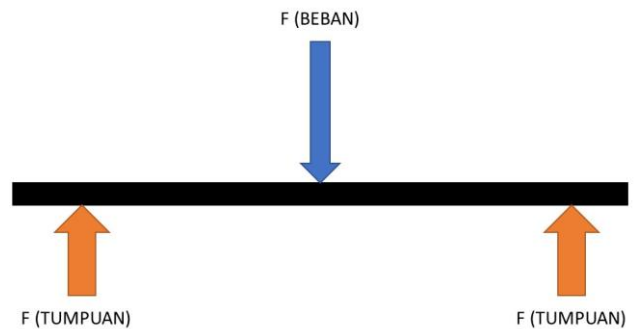


Gambar 6. Penampang hasil komposit FML serat kaca berpenguat aluminium



Gambar 7. Penampang FML pembesaran 40x

Pada percobaan pembebanan dinamis menggunakan prinsip pembebanan 3 titik, dilakukan menggunakan mesin pengujian universal dengan skema pembebanan seperti ditunjukkan pada gambar 8. Skema pengujian pembebanan 3 titik (*3-point bending*) sebagaimana ditunjukkan pada gambar 8, memiliki tumpuan statis dan memiliki pembebanan dinamis dengan kecepatan pembebanan sebesar 4 mm per menit.

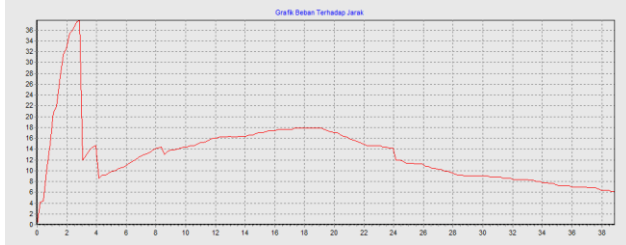


Gambar 8. Skema pengujian pembebanan 3 titik

Pada prinsipnya, pengujian menggunakan metode tiga titik pembebanan digunakan untuk mendapatkan nilai kekuatan dari ikatan mekanis dari laminasi aluminium terhadap komposit serat kaca-*polyester*. Selain itu metode ini digunakan untuk mendapatkan nilai pembebanan maksimum pada komposit FML ini.

Pengujian pembebanan menggunakan bantuan dari special tool yang dikhususkan untuk pengujian bengkok untuk material komposit. Baik untuk material komposit berpenguat serat alam, berpenguat serat sintetis, maupun berlaminasi logam. Pengujian menggunakan ASTM D790-03 *Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials*.

Hasil dari pengujian untuk variasi perlakuan permukaan dengan *abrasive sheet* dengan grit 100, dengan arah pengasaran searah pengerolan, dan jumlah matriks serat kaca sebanyak 5 lapis dapat dilihat pada gambar 9.



Gambar 9. Grafik pembebanan (kg) vs perpindahan (mm) untuk variasi percobaan FML dengan pengasaran 100 grits

Pada gambar 9, dapat dilihat bahwa laminasi mengalami kegagalan pada pembebanan sebesar 36 kg. dimana hal ini menunjukkan bahwasannya kekuatan dari ikatan mekanis antara aluminium dengan resin *polyester* dengan tingkat kekasaran perlakuan permukaan 100grits hanya sebesar 360 N. dengan ini apabila di terjemahkan kedalam rumus tegangan material yaitu laminasi mampu menahan posisinya dengan tegangan maksimal sebesar 108 N/mm² atau sebesar 108 MPa. Rumus tegangan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

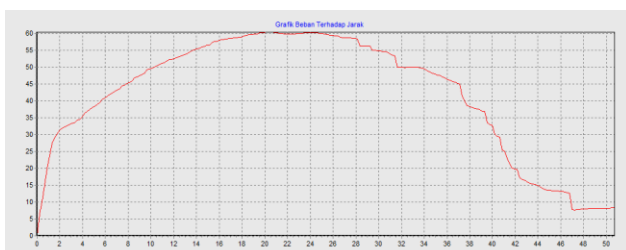
$$\sigma = \frac{3 F.L}{2.b.d^2}$$

dimana:

F: Gaya Tekan (N)
L: Jarak antar tumpuan
b: Lebar spesimen
d: Tebal spesimen

Tegangan dan pembeban maksimum yang dicapai sebelum material mengalami de-laminasi terjadi pada perpindahan jarak sebesar 2.85 mm. Artinya pada perubahan jarak tersebut material aluminium mulai terlepas dari ikatan mekanisnya terhadap komposit atau resin *polyester* pengikatnya.

Pada gambar 10, variasi dari pengasaran permukaan sebesar 150 grit dengan arah pengasaran searah dengan pengerolan. Jumlah matriks anyaman serat kaca sebesar 5 lapis.



Gambar 10. Grafik pembebanan (kg) vs perpindahan (mm) untuk variasi percobaan FML dengan pengasaran 150 grits

Pada gambar 10, terlihat bahwa ikatan mekanis antara aluminium dan komposit pada komposit FML lebih merata. Hal ini dibuktikan dengan grafik pada gambar 10 yang tidak mengalami patahan garis pada pembebanan vs perpindahan. Ikatan mekanis lebih baik didapatkan dengan perlakuan permukaan aluminium dengan kekasaran sebesar 150 grits, dimana batas maksimal kekuatan material FML didapatkan pada pembebanan 60 kg. apabila di analog kan

dengan tegangan maksimal, maka tegangan pada material komposit FML untuk perlakuan permukaan dengan kekasaran sebesar 150 grits adalah sebesar 180 MPa. Tegangan dan pembebanan maksimal terjadi pada perubahan jarak sebesar 21 mm

Pada gambar 10 dapat disimpulkan bahwa ikatan mekanis antara aluminium dengan resin *polyester* terikat sempurna. Dengan terlihatnya bias pada grafik yang menunjukkan tidak adanya patahan yang menunjukkan bahwa material mengalami delaminasi.

Pada penelitian pengaruh perlakuan kekasaran permukaan terhadap ikatan mekanis dari aluminium dengan resin polyester didapatkan bahwa, grits pengasaran berpengaruh terhadap integritas ikatan pada komposit FML dengan laminasi aluminium. Dimana hal yang mendasar dari pengikatan mekanis didapatkan dari kondisi permukaan material yang mengikat dan yang akan diikat.

3. KESIMPULAN

Kesimpulan dari penelitian ini adalah:

1. Pengasaran pada permukaan aluminium pada komposit FML memiliki pengaruh terhadap integritas ikatan mekanisnya dengan resin *polyester* dan atau pada komposit serat kaca itu sendiri
2. Hal mendasar dari perlakuan permukaan untuk menguji ikatan mekanis ada pada *grits* pengasaran
3. Semakin besar grits pengasaran, maka luas permukaan ikatan mekanis semakin besar dan membiasakan dengan material induknya (komposit serat kaca)

4. DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Chandrasekar, M. R. Ishak, M. Jawaid, Z. Leman, and S. M. Sapuan, "An experimental review on the mechanical properties and hygrothermal behaviour of fibre metal laminates," *J. Reinf. Plast. Compos.*, vol. 36, no. 1, pp. 72–82, 2017, doi: 10.1177/0731684416668260.
- [2] H. I. Firmansyah, A. Purnowidodo, S. A. Setyabudi, T. Mesin, and U. Brawijaya, "Pengaruh Mechanical Bonding Pada Aluminium Dengan Serat," vol. 9, no. 2, pp. 127–134, 2018.
- [3] Hariharan E and Santhanakrishnan R, "Experimental Analysis of Fiber Metal Laminate With Aluminium Alloy for Aircraft Structures," © *Int. J. Eng. Sci. Res. Technol.*, no. 5, 2016, doi: 10.5281/zenodo.50999.
- [4] R. Kulkarni, A. Mache, and A. Salve, "A Review : Fiber Metal Laminates (FML 's) - Manufacturing , Test methods and Numerical modeling," *Int. J. Eng. Technol. Sci.*, vol. 6, no. 1, pp. 71–84, 2016.
- [5] N. K. Romli *et al.*, "The behavior of Aluminium Carbon/Epoxy fibre metal laminate under quasi-static loading," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 257, no. 1, 2017, doi: 10.1088/1757-899X/257/1/012046.
- [6] D. G. do. Santos, R. J. C. Carbas, E. A. S. Marques, and L. F. M. da Silva, "Reinforcement of CFRP joints with fibre metal laminates and additional

- adhesive layers,” *Compos. Part B Eng.*, vol. 165, no. November 2018, pp. 386–396, 2019, doi: 10.1016/j.compositesb.2019.01.096.
- [7] X. P. Zhang, T. H. Yang, J. Q. Liu, X. F. Luo, and J. T. Wang, “Mechanical properties of an Al/Mg/Al trilaminated composite fabricated by hot rolling,” *J. Mater. Sci.*, vol. 45, no. 13, pp. 3457–3464, 2010, doi: 10.1007/s10853-010-4373-z.