

ANALISIS KEKUATAN MATERIAL FIBER METAL LAMINATE (FML) BERPENGUAT EPOXY ADHESIVE – AL POWDER – CNT PADA UJI BENDING.

¹Faturrahman Chalik, ²Ferry Setyawan, ³Dhimas Wicaksono

¹⁾Jurusan Teknik Dirgantara
Sekolah Tinggi Teknologi Kedirgantaraan
20020774@students.sttkd.ac.id

²⁾Jurusan Teknik Dirgantara
Sekolah Tinggi Teknologi Kedirgantaraan
ferry.setiawan@sttkd.ac.id

³⁾Jurusan Teknik Dirgantara
Sekolah Tinggi Teknologi Kedirgantaraan
dhimas.wicaksono@sttkd.ac.id

Article history:

Received 1th of June, 2024

Revised 20th of June, 2024

Accepted 30th of June, 2024

Abstract

In the current era of globalization and the development of aerospace technology, especially in aircraft, it is necessary to pay attention to the weight of the aircraft itself and its fuel consumption, in this case demanding aerospace manufacturers to be able to make new innovations to be able to improve these shortcomings. pure composites have several weaknesses in their resistance to low shock loads. Due to durability and production costs that are not cheaper than metals, therefore composites need a combination with other materials such as aluminum using the Fiber metal laminate (FML) method to improve existing weaknesses, to get a good combination of reinforcement for the mixture and find out the type of failure of each combination, it is necessary to conduct research. This research uses the type of experimental research by making FML hybrid composite materials with Epoxy adhesive reinforcement, Aluminum powder. Based on the results of the study it can be concluded that the specimen with the best results is the specimen with nano aluminum powder reinforcement (Specimen 2) with the highest maximum strength of 337.21 N, and also the highest flexural strength of 212.8368 Mpa. In the photomacro results after bending testing which after observing the 4 specimens that have been tested can be concluded to have the same type of failure, namely Mixed-mode failure, only the area is different.

Keywords: Fiber metal laminate (FML), Composite, Bending Test.

Pendahuluan

Di era globalisasi dan perkembangan teknologi kedirgantaraan saat ini, khususnya pada pesawat terbang perlunya memperhatikan berat dari pesawat itu sendiri dan konsumsi bahan bakarnya, dalam hal ini menuntut produsen dirgantara agar dapat membuat inovasi baru untuk dapat memperbaiki kekurangan tersebut. Salah satu inovasi yang sudah ditempuh hingga saat ini adalah penggunaan struktur *frame* pesawat yang ringan. Di era sekarang kompositlah yang diharapkan menjadi material yang dapat menggantikan peran logam sebagai material utama pada struktur *frame* pesawat. Tetapi di sisi lain komposit murni terdapat beberapa kelemahan pada ketahanannya terhadap beban kejut (*shock load*) yang rendah. Walaupun ada beberapa pesawat yang menggunakan komposit murni sebagai struktur framenya contohnya pesawat tanpa awak (*drone*), hal tersebut saat ini belum bisa di aplikasikan pada pesawat berawak dikarenakan ketahanan dan biaya produksi yang tidak lebih murah dari logam, Oleh sebab itu komposit perlu adanya kombinasi dengan bahan lain seperti aluminium dengan menggunakan metode *Fiber metal laminate* (FML) untuk memperbaiki kelemahan yang sudah ada [1].

Fiber metal laminate (FML) adalah struktur komposit hybrid dengan komponen penyusunnya yang merupakan lembaran logam paduan dan lapisan serat polimer sebagai penguatnya[2][3]. Fiber metal laminate (FML) merupakan struktur komposit lapis dengan menggabungkan dari dua kelebihan material, yaitu logam dan matrik yang diperkuat serat. Material logam adalah material isotropic yang memiliki sifat mekanik kekuatan dan juga ketahanan impact yang cukup tinggi tetapi material logam sendiri bersifat korosif, sedangkan material komposit memiliki karakteristik kelelahan (*fatigue*) yang baik, yaitu kekuatan dan kekakuan yang tinggi. Kedua material ini memiliki keunggulan mekanis masing-masing yang dapat dikembangkan dan di kombinasikan menjadi satu material yang disebut dengan Fiber metal laminate (FML) yang bertujuan untuk memperbaiki atau mengurangi kekurangan pada masing-masing material, dan menghasilkan material yang memiliki keunggulan lebih[3]. Berdasarkan tipenya fiber yang dijadikan penguat, FML dibagi menjadi 3 yaitu glass laminate aluminium-reinforced epoxy (GLARE), carbon-reinforced aluminium laminate [4]. (CARALL), dan aramid-reinforced aluminium laminates (ARALLs) [5].

Plat Aluminium adalah salah satu bagian struktural yang paling banyak di pergunakan pada sebagian besar struktur ber dinding tipis, yang digunakan banyak bidang contohnya seperti arsitektur Angkatan laut, sipil, mekanik, dan teknik dirgantara.[6]. Tipe ini Aluminium memiliki hampir 99% sifat aluminium ini juga tidak dapat diberi perlakuan panas dan juga disebut sebagai aluminium murni komersial Pentingnya paduan aluminium tipe AA1100 adalah ketahanannya terhadap korosi yang tinggi AA100 juga memiliki sifat pembentukan, pengelasan dan finishing yang sangat baik banyak digunakan untuk pengemasan peralatan kimia, badan mobil tangki atau truk, dan pesawat industri[7].

Fiberglass yaitu kaca cair yang ditarik menjadi serat tipis dengan garis Tengah yaitu sekitar 0,005 mm - 0,01 mm. Serat ini juga dapat dipintal menjadi benang atau dapat ditenun menjadi kain, yang kemudian diresapi dengan resin sehingga menjadi bahan yang kuat dan tahan akan korosi[8]. Woven roving merupakan serat penguat yang menerus berupa serat-serat yang ditenun dengan arah tegak lurus satu sama lain. Berbeda dengan material steaple mate, roving berbentuk memanjang, dibentuk dan dianyam dalam satuan yang bergerak dua arah.[9].

Adhesive adalah zat yang berfungsi mengikat permukaan 2 material solid (*adherend*). Mempunyai 2 macam mekanisme ikatan yaitu secara mekanik dan kimia. Ikatan mekanik terjadi ketika merembesnya *adhesive* pada pori-pori dan celah pada permukaan material. Sedangkan ikatan kimia meliputi gaya *intermolekul* pada *adhesive* dengan permukaan material yang terdiri dari gaya *ko laen* dan atau gaya *van Dee waals*. Kekuatan ikatan gaya *van Dee waals* dapat ditingkatkan apabila material *adhesive* mempunyai grup polar [10].

Al powder (bubuk aluminium) adalah jenis pelengkap khusus yang digunakan dalam produksi komersial komposit yaitu untuk memberikan sifat khusus pada komposit, seperti konduktivitas (daya hantar) termal dan listrik, respons terhadap medan magnet, dan kapasitas (daya muat) panas, serta meningkatkan karakteristik cetakan[11]. *Aluminium powder* digunakan karena memiliki beberapa kelebihan, antara lain sifatnya yang ringan, tahan terhadap korosi. Penambahan filler *Aluminium powder* ini guna meningkatkan daya rekat matrik pengikat[12].

CNT adalah komposit karbon yang didefinisikan sebagai lembaran grafit monoatomik yang disusun dalam bentuk silinder dengan diameter dalam urutan nanometer. Struktur unik CNT membuatnya fleksibel, dapat diregangkan, dan stabil dibandingkan bahan karbon lainnya. Manfaat ini dapat digunakan untuk membangun struktur yang kuat, kendaraan keselamatan, dll. Faktanya, CNT memiliki rantai sp^3 yang mirip dengan struktur grafit. Ikatan ini lebih kuat dibandingkan dengan sistem ikatan sp^2 yang dimiliki intan. Oleh karena itu, *karbon nanotube* akan membuat ikatan yang kuat[13].

Bonding/Joining adalah salah satu teknologi penyambungan yang paling sesuai dalam hal bobot dan kinerja mekanis untuk struktur badan pesawat. Namun, metode sambungan sederhana seperti sambungan tumpang tindih tunggal memiliki kekurangan yaitu tegangan pengelupasan yang tinggi, mengakibatkan kegagalan mendadak dan kekuatan sambungan yang rendah jika dibandingkan dengan spesimen dengan design struktur pengikat[4]. Pada struktur *sandwich* atau *laminates* permasalahan yang sering terjadi adalah delaminasi. Delaminasi adalah salah satu model kegagalan pada komposit yang berstruktur lapisan (*layer*). Penyebab delaminasi antara lain karena lemahnya ikatan antar matrik dan *layer* pada komposit berstruktur laminate. *Layer* yang mudah terpisah maka dapat mempengaruhi kekuatan komposit itu sendiri. Guna meningkatkan ikatan antar *layer* dapat menggunakan perlakuan *mechanical bonding*. Dengan memberikan kekasaran permukaan pada lapisan aluminium diharapkan mampu meningkatkan ikatan antar layer[14][3].

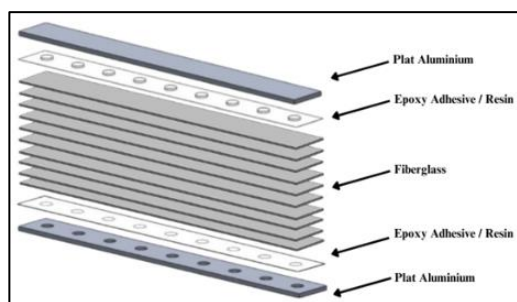
Uji Bending (uji lengkung) adalah suatu proses pengujian suatu material dengan cara memberikan tekanan untuk mendapatkan hasil berupa data meliputi kekuatan lengkung (bending) suatu material yang di uji. Proses pengujian ini memiliki 2 macam pengujian, yaitu three point bending dan four point bending Kedua cara pengujian ini memiliki beberapa kekurangan dan kelebihan masing-masing

karena setiap cara pengujian memiliki cara perhitungan yang berbeda juga [15]. Bending yaitu salah satu bentuk pengujian guna menentukan mutu dari suatu material secara visual. Selain itu uji bending juga digunakan untuk mengukur kekuatan dari suatu material akibat pembebanan dan kekenyalan dari spesimen [16].

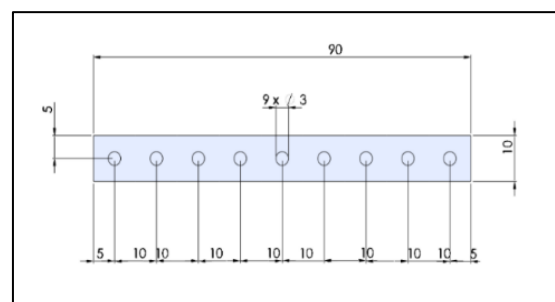
Pengujian foto makro adalah suatu pengujian material yang bertujuan guna menampilkan kegagalan atau kecacatan pada hasil patahan dari pengujian bending. Hasil dari foto makro yaitu foto visual menggunakan kamera digital dengan lensa makro. Hasil foto makro berguna memberikan informasi tentang kegagalan-kegagalan yang terjadi setelah dilakukannya pengujian pada benda uji, yang selanjutnya akan dilakukannya analisa agar mengetahui jenis kegagalan atau kecacatan dan penyebab terjadinya[17]. Analisa kegagalan (failure analysis) merupakan metode yang sering digunakan untuk mengungkap kegagalan dari suatu struktur. Tujuan dari analisa ini yaitu untuk mengetahui penyebab dari failure yang ditimbulkan pada proses desain, proses pemilihan bahan serta prosedur perawatan sehingga kejadian kegagalan yang serupa tidak terulang lagi [18].

Metode Penelitian

Adapun rancangan penelitian yang akan dilakukan yaitu dengan membuat material komposit Fiber metal laminate dengan variasi komposisi yang sudah ditentukan dan ukuran sesuai dengan standar pengujian bending ASTM D790 (Hybrid composite) yaitu dengan dimensi $10 \times 3.76 \times 90$ ($W \times T \times L$) in mm. Peneliti akan membuat 3 spesimen dengan sampel plat aluminium seri 1100 dengan tebal 1,2mm dan serat fiberglass Woven roving 100, Dengan variasi penguat masing-masing yaitu dengan Epoxy Adhesive (Variasi 1), Epoxy Adhesive + Al powder (Variasi 2), dan Epoxy Adhesive + Al powder + CNT (Variasi 3), lalu masing-masing menggunakan metode mechanical bonding pengasaran permukaan 120 *grit* dan hole joining. Dan adanya tambahan variasi pembanding dengan penguat Epoxy Adhesive dan tanpa menggunakan hole joining (Variasi Polos). Setelah komposit di buat tahapan selanjutnya yaitu dengan cara pengujian bending, hal ini bertujuan untuk membandingkan dan mengetahui, kekuatan terhadap uji bending pada masing-masing material tersebut.



Gambar 1. FML dengan hole joining



Gambar 2. Ukuran Plat aluminium dan jarak antar hole

Hasil dan Pembahasan

Perhitungan Densitas

Perhitungan densitas dilakukan sebelum spesimen di uji, rumus yang digunakan dalam menghitung densitas adalah rumus sebagai berikut :

$$\rho = \frac{m}{v} \dots (1)$$

Keterangan :

ρ = densitas (kg/cm^3),

m = massa spesimen (kg)

v = volume spesimen (cm^3)

Didapatkan hasil perhitungan densitas yang ditunjukkan pada **Tabel 1** berikut.

Tabel 1. Densitas Spesimen			
Variasi	m (kg)	v (cm³)	ρ (kg/cm³)
P	0,00761	3,42	0,0022
	0,00763	3,42	0,0022
	0,00767	3,51	0,0021
avg	0.00763	3,45	0,0022
1	0,00767	3,6	0,0021
	0,00778	3,51	0,0022
	0,00768	3,51	0,0021
avg	0,00771	3,54	0,0021
2	0,00757	3,51	0,0021
	0,00753	3,51	0,0021
	0,00758	3,51	0,0021
avg	0,00756	3,51	0,0021
3	0,00768	3,6	0,0021
	0,00767	3,78	0,0020
	0,00777	3,78	0,0020
avg	0,00770	3,72	0,0020

Pada perhitungan diatas di dapatkan nilai densitas dan nilai rata-rata dari keempat nilai variasi, di dapatkan hasil rata-rata densitas terbaik yaitu ada pada variasi 3 dengan nilai $\rho = 0,0020 \text{ kg/cm}^3$, dan juga rata-rata densitas terburuk ada pada variasi polos dengan nilai $\rho = 0,0022 \text{ kg/cm}^3$

Pengujian bending

Pengujian bending yaitu proses uji yang bertujuan untuk mengetahui sebuah data kekuatan lentur suatu material yang sudah dibuat, dengan metode pengujian 3 point bending, pengujian ini dilakukan di Laboratorium DTMI Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta. Dalam pengujian penentuan jarak antar span / penampang yaitu 64mm, pada pengujian bending 3 titik ini perhitungan yang di gunakan adalah

$$\sigma_f = \frac{3 PL}{2 bd^2} \dots (2)$$

Keterangan rumus:

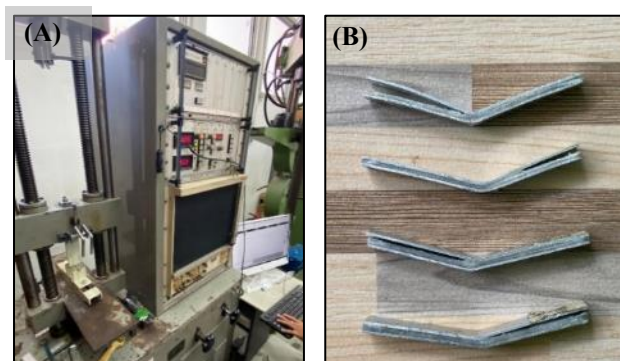
σ_f = Tegangan lengkung (kgf/mm²)

P = beban atau Gaya yang terjadi (kgf atau N)

L = Jarak antar span (mm)

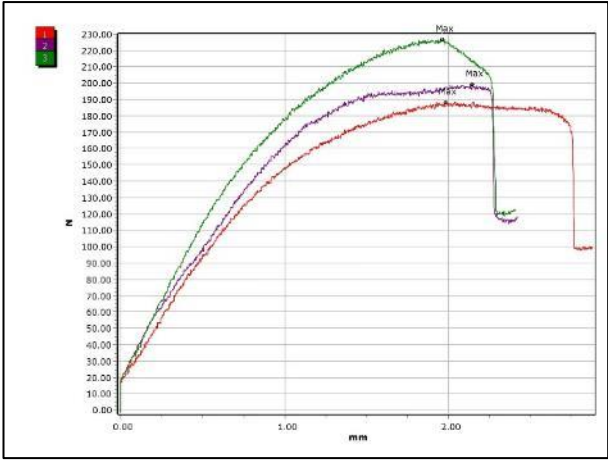
b = lebar benda uji (mm)

d = Ketebalan benda uji (mm)

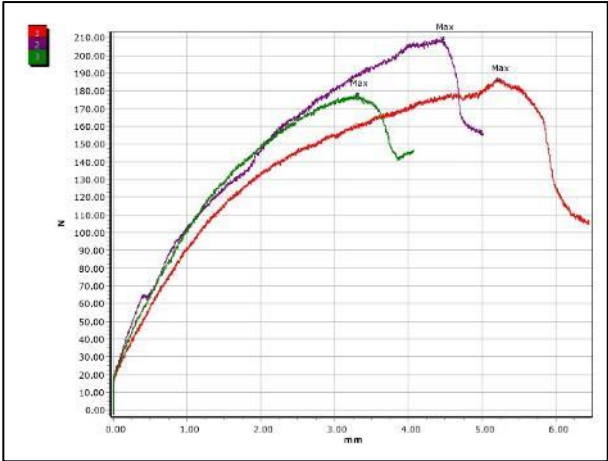


Gambar 3 (A) Proses Pengujian *Bending* dan (B) spesimen setelah di uji

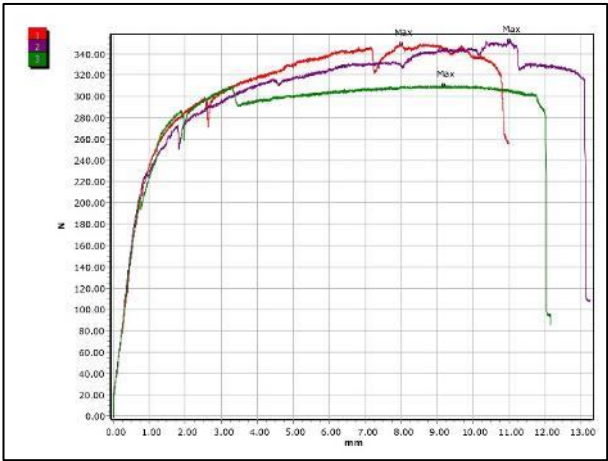
Pada pengujian bending di dapatkan hasil grafik dan juga data yang di tujukan pada gambar 5, 6, 7, 8 dan Tabel 2.



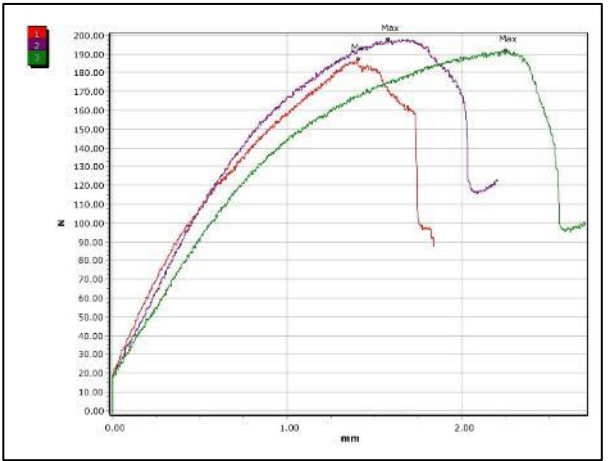
Gambar 4 Hasil grafik pengujian bending VP



Gambar 5 Hasil grafik pengujian bending V1



Gambar 6 Hasil grafik pengujian bending V2

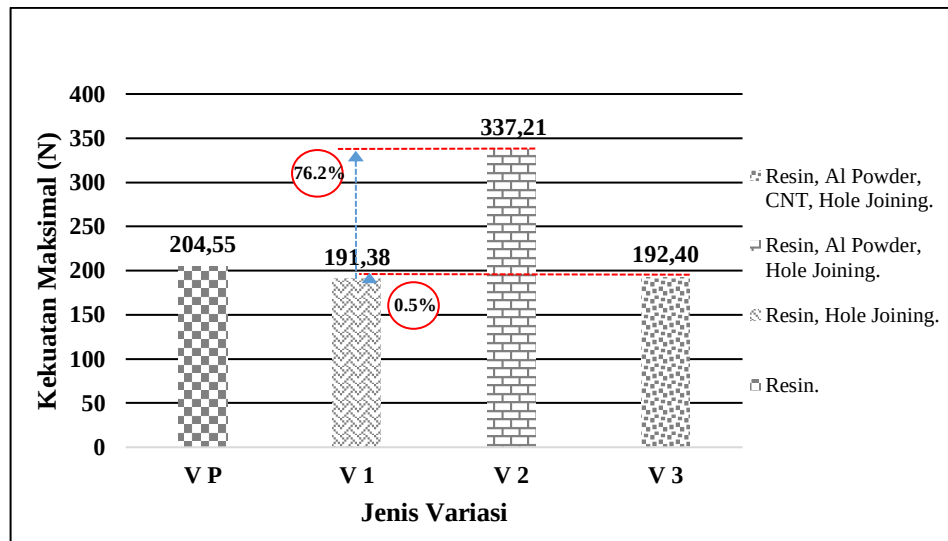


Gambar 7 Hasil grafik pengujian bending V3

Tabel 2. Hasil nilai pengujian bending

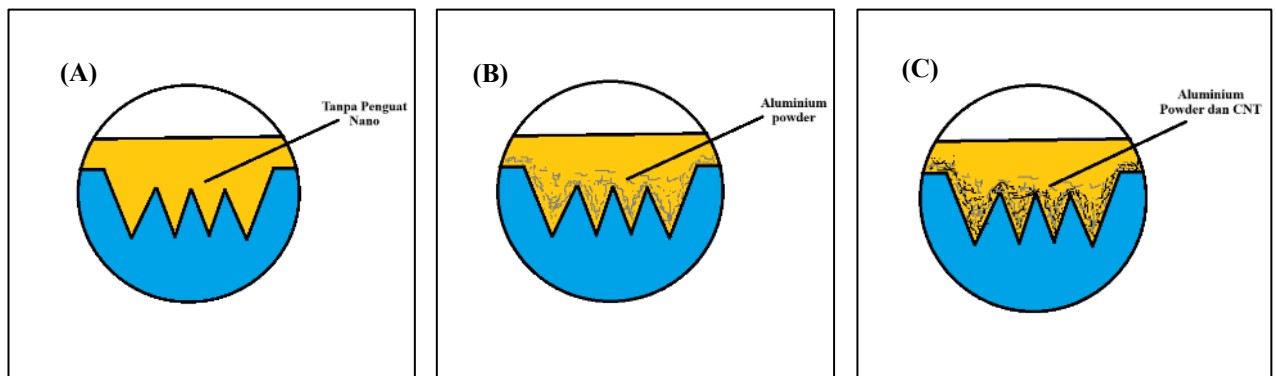
No	Material	W (mm)	T (mm)	D (mm)	Max Force (N)	Bending Stress (Mpa)
1	V P S 1	10.00	3.80	1.98	188.17	125.10
2	V P S 2	10.00	3.80	2.14	198.92	132.25
3	V P S 3	10.00	3.90	1.96	226.55	142.99
Avg		10.00	3.83	2.03	204.55	133.4446
4	V 1 S 1	10.00	4.00	5.22	186.47	111.88
5	V 1 S 3	10.00	3.90	4.46	209.75	132.39
6	V 1 S 4	10.00	3.90	3.30	177.93	112.30
Avg		10.00	3.93	4.33	191.38	118.8569
7	V 2 S 1	10.00	3.90	8.01	349.30	220.30
8	V 2 S 2	10.00	3.90	11.00	352.35	222.39
9	V 2 S 3	10.00	3.90	9.18	310.26	195.82
Avg		10.00	3.90	9.40	337.21	212.8368
10	V 3 S 1	10.00	4.00	1.41	187.42	112.45
11	V 3 S 2	10.00	4.20	1.58	197.81	107.65
12	V 3 S 3	10.00	4.20	2.26	191.96	104.47
Avg		10.00	4.13	1.75	192.40	108.1914

Pada hasil uji bending spesimen dengan menggunakan mesin di Laboratorium DTMI Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, menunjukkan bahwa hasil rata-rata kekuatan maksimal terendah ada pada variasi 1 yaitu 191.38 N dan tertinggi ada pada variasi 2 yaitu 337.21 N, Hal tersebut terjadi dan membuktikan aluminium powder dapat meningkatkan kekuatan maksimal material sebesar 76,2%, dan penambahan aluminium powder ditambahkan dengan carbon nanotube secara bersamaan dapat meningkatkan kekuatan maksimal material sebesar 0,5%.



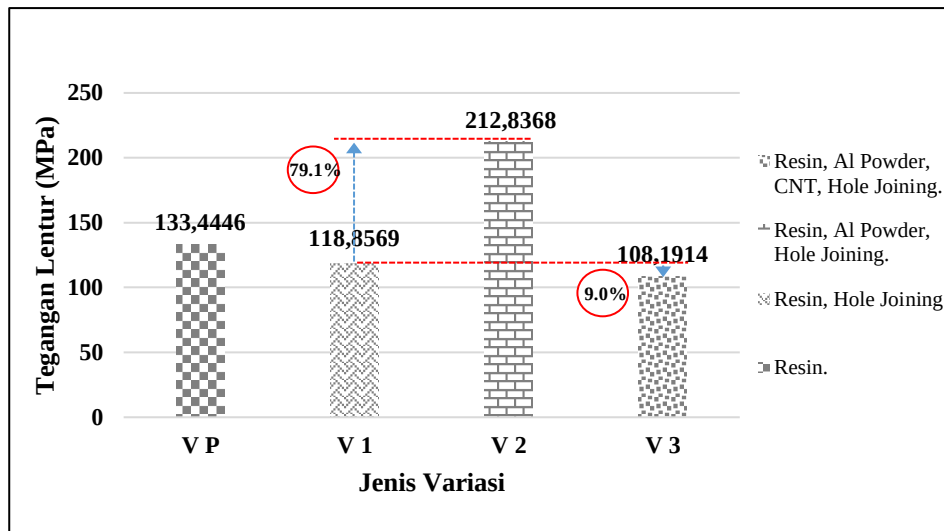
Gambar 8 Grafik kenaikan dan penurunan kekuatan maksimum

Nano adhesive jika di aplikasikan akan masuk kedalam sela - sela permukaan yang telah di kasari, dalam hal ini nano adhesive akan dapat membantu meningkatkan kekuatan material, sehingga pada saat dilakukannya pengujian dapat menunda terjadinya delaminasi, dan spesimen bisa mendapatkan hasil kekuatan maksimal yang cukup bagus, fenomena tersebut dapat dilihat pada Gambar 7



Gambar 9 Ilustrasi penetrasi resin, (A) Tanpa penguat nano, (B) Dengan Al Powder, (C) Dengan Al powder dan CNT

Dalam hal ini mengapa spesimen 1 paling rendah, terjadi dikarenakan spesimen 1 tidak menggunakan penguat nano (A), sedangkan spesimen 2 paling tinggi dikarenakan menggunakan penguat nano secara individual (B), dan spesimen 3 tidak setinggi spesimen 2 karena menggunakan penguat nano secara bersamaan (C).



Gambar 10 Grafik kenaikan dan penurunan kelenturan

Sedangkan hasil rata-rata tegangan lentur terendah ada pada variasi 3 yaitu 108.2 Mpa dan tertinggi ada pada variasi 2 yaitu 212.83 Mpa. Hal tersebut terjadi dan membuktikan aluminium powder dapat meningkatkan kelenturan material sebesar 79,1%, namun ketika aluminium powder ditambahkan dengan carbon nanotube secara bersamaan, menunjukkan hasil uji FML menurun sebesar 9.0%, jika dibandingkan dengan menggunakan penguat nano secara individual.

Hal tersebut dapat diperkuat juga dengan adanya penelitian sebelumnya yang memiliki hasil yang sama yaitu, “Dari penelitian ini terlihat bahwa penggabungan penguat nano meningkatkan kekuatan tarik pelat CFRP. Dibandingkan dengan pelat CFRP murni, penambahan 0,4% berat nano-SiO₂ meningkatkan kekuatan tarik sebesar 41,5%, dan 0,4% berat MWCNT meningkatkan kekuatan tarik sebesar 31,5%. Jika penguat nano-SiO₂ dan MWCNT ditambahkan bersamaan, maka hasil uji tarik pelat CFRP akan menurun dibandingkan dengan penambahan penguat nano satu per satu.” [19]

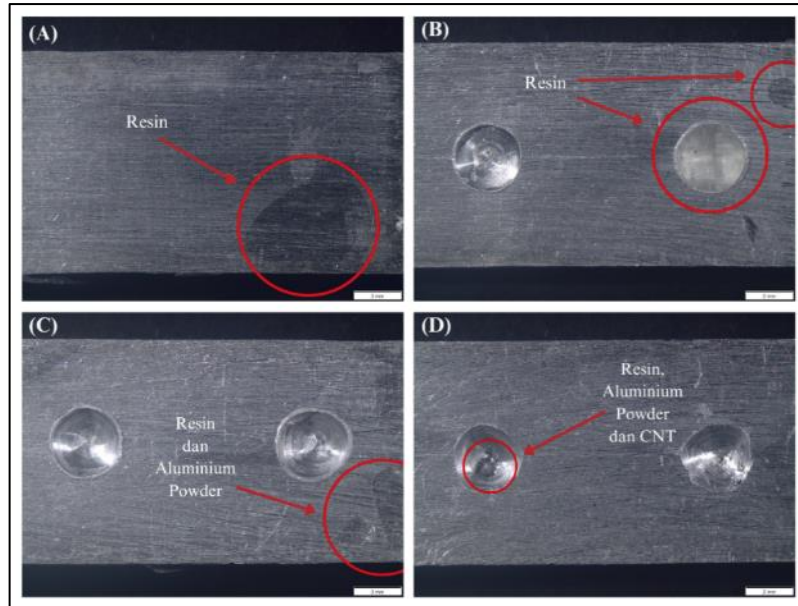
Fotomakro

Fotomakro dilakukan bertujuan bertujuan untuk pengamatan lebih lanjut guna mengetahui type failure yang terjadi tiap spesimen yang telah di lakukan pengujian bending. Fotomakro dilakukan dengan pendekatan 8x dan tiap spesimen nya di amati 2 sisi, dari samping dan bagian dalam setelah di bongkar.



Gambar 11 Proses Pengamatan fotomakro

Pada pengujian bending di dapatkan hasil grafik dan juga data yang di tujukan pada gambar 7 dan 8.



Gambar 12 Hasil pengamatan type failure Variasi (A) Polos, (B) 1, (C) 2, (D) 3.

Dalam lingkaran merah pada gambar di atas menunjukkan bahwasannya terdapat beberapa lapisan resin serta campurannya yang masih tersisa dan menempel pada lapisan aluminium (Cohesive failure) dan sisa resin lainnya tidak menempel sama sama sekali (Adhesive failure), hal tersebut dapat diidentifikasi sebagai gabungan 2 failure atau bisa disebut mixed-mode failure yang terjadi pada ke 4 variasi yang telah di uji. Namun pada ke 4 variasi tersebut memiliki jumlah luas area failure yang berbeda – beda, Pada variasi yang tanpa menggunakan penguat nano (Variasi Polos dan Variasi 1) jumlah luas area ikatan interface pada alumunium terlihat lebih banyak / luas, sedangkan variasi yang menggunakan penguat nano (Variasi 2 dan Variasi 3) jumlah luas area ikatan interface pada alumunium terlihat lebih sedikit / kecil, hal ini dapat disimpulkan bahwa penguat nano dapat meningkatkan ikatan resin sehingga resin tidak tertinggal, dampaknya ikatan interface cenderung sedikit pada FML.

Kesimpulan

Pada hasil data tabel dan juga grafik pengujian bending di dapatkan di simpulkan spesimen dengan hasil terbaik yaitu spesimen dengan penguat nano aluminium powder (Spesimen 2) dengan kekuatan maksimal tertinggi yaitu 337.21 N, dan juga kekuatan lentur tertinggi yaitu 212.8368 Mpa. Hal ini dikarenakan penguat nano terbukti dapat meningkatkan ikatan resin dan juga ikatan interface serta meningkatkan kekuatan material dan kelenturan ketika di terapkan secara individual, nano adhesive memiliki sifat mengikat dan akan masuk kedalam sela – sela permukaan kasar dan juga hole. Sedangkan Pada hasil fotomakro setelah pengujian bending yang setelah di amati ke 4 spesimen yang telah di uji dapat di simpulkan memiliki type failure yang sama yaitu Mixed-mode failure, hanya luas area nya saja yang berbeda, Mixed-mode failure adalah gabungan dari 2 failure yaitu Cohesive failure dan Adhesive failure, spesimen polos dan 1 cenderung lebih dominan Cohesive failure, dikarenakan kedua spesimen tersebut tidak menggunakan penguat nano, sedangkan spesimen 2 dan 3 cenderung lebih dominan Adhesive failure, dikarenakan kedua spesimen tersebut menggunakan penguat nano yang menghasilkan ikatan resin jauh lebih kuat.

Daftar Puastaka

- [1] S. Wahyu, E. Utomo, and J. T. Mesin, “Pengaruh Fraksi Volume Dan Arah Orientasi Serat Rami Komposit Hibrid Sandwich Fibre Metal Laminate (Fml) Berpenguat Serat Carbon Terhadap Kekuatan Impak Mochammad Arif Irfai.”

- [2] T. Sinmazçelik, E. Avcu, M. Ö. Bora, and O. Çoban, “A review: Fibre metal laminates, background, bonding types and applied test methods,” *Mater Des*, vol. 32, no. 7, pp. 3671–3685, Aug. 2011, doi: 10.1016/J.MATDES.2011.03.011.
- [3] H. Iman Firmansyah, A. Purnowidodo, and S. Arief Setyabudi, “Pengaruh Mechanical Bonding Pada Aluminium Dengan Serat Karbon Terhadap Kekuatan Tarik Fiber Metal Laminates,” *Jurnal Rekayasa Mesin*, vol. 9, no. 2, pp. 127–134, 2018.
- [4] J. Kupski and S. Teixeira de Freitas, “Design of adhesively bonded lap joints with laminated CFRP adherends: Review, challenges and new opportunities for aerospace structures,” *Compos Struct*, vol. 268, Jul. 2021, doi: 10.1016/j.compstruct.2021.113923.
- [5] K. Anam, A. Purnowidodo, T. F. Utama, D. B. Darmadi, A. Wahjudi, and A. S. Widodo, “Pengaruh Mode Getar Dan Aspek Rasio Terhadap Distribusi Tegangan Pada Fiber Metal Laminates,” *Jurnal Rekayasa Mesin*, vol. 13, no. 2, pp. 319–329, Aug. 2022, doi: 10.21776/jrm.v13i2.817.
- [6] J. H. Mohmmmed, N. Y. Mahmood, M. Ali, and A. A. Zainulabdeen, “Buckling and bending properties of aluminium plate with multiple cracks,” *Archives of Materials Science and Engineering*, vol. 106, no. 2, pp. 49–58, Dec. 2020, doi: 10.5604/01.3001.0014.6972.
- [7] M. Firdaus Bin and A. B. Moin, “Effect Of Corrosion On Aluminium Tailor Welded Blanks (Similar Material Welding),” 2013.
- [8] Y. E. A., “Pengaruh Penambahan Serat Fiberglass Sebagai Bahan Campuran Untuk Memperkuat Timbunan Tanah Lempung.”
- [9] Widi et al, “Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi III Komang Astana Widi Wayan Sujana Gerald Pohan Luh Dina Ekasari,” 2019.
- [10] N. L. Muzayadah and T. Satrio Nurtiasto, “Study of the Mechanical Strength of Epoxy as an E-glass Composite Adhesive for Unmanned Aircraft,” *SPECTA Journal of Technology*, vol. 7, no. 2, pp. 541–548, Aug. 2023, doi: 10.35718/specta.v7i2.267.
- [11] A. G. Adeniyi, S. A. Abdulkareem, K. P. Odimayomi, E. C. Emenike, and K. O. Iwuozor, “Production of thermally cured polystyrene composite reinforced with aluminium powder and clay,” *Environmental Challenges*, vol. 9, Dec. 2022, doi: 10.1016/j.envc.2022.100608.
- [12] H. Widya Prasetya *et al.*, “Material Komposit Laminasi Serat Karbon-Nylon Dengan Additive Aluminum Powder Untuk Body Lori.”
- [13] Arman, “Pengaruh Kekasaran Permukaan Substrate Terhadap Lapisan Aluminium-1,5%Cnt Dengan Proses Friction Surfacing Menggunakan Mesin Drilling-Milling Tipe Lc 40 A,” 2022.
- [14] W. J. Cantwell and A. Morton, “The impact resistance of composite materials-a review,” 1991.
- [15] Utomo et al, “Pengaruh Variasi Anyaman Material Komposit Epoxy Berpenguat Bilahan Bambu Terhadap Kekuatan Bending,” 2019.
- [16] H. N. Beliu, Y. M. Pell, J. U. Jasron,) Jurusan, and T. Mesin, “Analisa Kekuatan Tarik dan Bending pada Komposit Widuri-Polyester,” 2016, [Online]. Available: <http://ejournal-fst-unc.com/index.php/LJTMU>
- [17] Sutrisno et al, “Analisa Kekuatan Tarik dan Foto Makro Patahan Komposit Serat Eceng Gondok Berpenguat ZnO,” *JURNAL FLYWHEEL*, vol. 13, 2022.
- [18] A. Purnowidodo, A. Wahjudi, and R. Prawira, “Analisa Kegagalan Pada Spindle Mesin Batch Centrifugal,” 2011.
- [19] Y. Gao, C. Li, Y. Yan, Y. Li, and X. Wang, “Enhancing tensile performance and CFRP/steel interface properties of CFRP plates with nano-SiO₂ and MWCNTs,” *Constr Build Mater*, vol. 411, Jan. 2024, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2023.134689.