

SIFAT MEKANIK KOMPOSIT *FIBERGLASS* MELALUI UJI LENTUR

¹Noviana Utami dan ²Ervanda Cahyo

^{1,2}Aeronautika, Sekolah Tinggi Teknologi Kedirgantaraan

Abstrak

Penerapan komposit pada berbagai bidang telah berkembang dengan pesat, hal ini ditunjukkan dengan industri dirgantara dan pesawat, juga mengaplikasikan komposit canggih yang diperkuat serat, seperti fiberglass. Contoh penerapan komposit pada industri pesawat, antara lain pada bagian fairings, komponen interior, dan lain-lain. Komposit yang diperkuat serat akan mampu meningkatkan keuletan komposit. Distribusi normal pada data beban terhadap defleksi, data tegangan lentur terhadap regangan lentur, dan data slope atau modulus elastis pada komposit fiberglass memenuhi 99,7% populasi berada dalam 3 standar deviasi rata-rata. Komposit fiberglass dalam penelitian ini mempunyai kekuatan material atau sifat mekanik berupa sifat lentur yang baik. Hal ini disebabkan dengan adanya fiberglass di dalam komposit mampu meningkatkan keuletan komposit, di mana beban yang diterima komposit kemudian ditransmisikan dan didistribusikan diantara serat-serat melalui fase matriks. Selain itu, adanya fiberglass dapat meningkatkan kekuatan, kekakuan, dan ketahanan tanpa menambah berat komposit.

Kata kunci: komposit, fiberglass, pesawat, sifat lentur.

Abstract

The application of composites in various fields has developed rapidly this is demonstrated by the aerospace and aircraft industries, also applying advanced fiber-reinforced composites, such as fiberglass. Examples of the application of composites in the aircraft industry include fairings, interior components, and others. Fiber-reinforced composites will be able to increase the ductility of the composite. The normal distribution of load to deflection data, flexural stress to flexural strain data and slope or modulus elasticity data on fiberglass composites meets 99.7% of the population within 3 standard deviations of the mean. Fiberglass composites in this study have material strength or mechanical properties in the form of good bending properties. This is due to the presence of fiberglass in the composite, which can increase the ductility of the composite, where the load received by the composite is then transmitted and distributed between the fibers through the matrix phase. In addition, the presence of fiberglass can increase strength, stiffness, and durability without increasing the weight of the composite.

Keywords: composite, fiberglass, aircraft, bending or flexural properties.


Pendahuluan

Penerapan komposit pada berbagai bidang telah berkembang dengan pesat, industri dirgantara, pesawat terbang, otomotif, sipil, dan lain-lain juga menggunakan bahan komposit canggih (*advanced composite*) yang diperkuat (*reinforced layer*), hal ini disebabkan karena sifat khusus yang dimiliki komposit berpenguat, seperti sifat jahitan elastis (P. Fang, *et al.*, 2022). Penggunaan komposit pada pesawat terbang, meliputi: *fairings*, permukaan kontrol pesawat, pintu roda pendaratan, panel *leading* dan *trailing edge* pada sayap dan *stabilizer*, komponen interior, balok lantai dan papan lantai, struktur utama *stabilizer vertical* dan horizontal pada pesawat besar, struktur sayap dan badan pesawat utama pada pesawat besar generasi baru, bilah kipas mesin turbin, baling-baling (AMT - Airframe, 2012). Penelitian ini fokus untuk mempelajari sifat mekanik komposit *fiberglass* melalui uji lentur (*bending*) yang mengacu pada *American Standard Testing and Material International* (ASTM) D790-17.

Penelitian yang mempelajari *fiberglass* pada berbagai bidang telah dilakukan, beberapa diantaranya adalah M. Murillo A., *et al.*, (2022) yang mempelajari hasil analisis komparatif eksperimental dari perilaku resistansi ulang pada 2 panel *sandwich* dengan fungsi struktural berupa Polyisocyanurate (PIR) dan kain yang diperkuat *fiberglass* dengan ukuran 3,150 mm x 2,800 mm x 150 mm. Panel

¹Email Address: noviana.utami@sttkd.ac.id

Received 13 Desember 2022, Available Online 30 Desember 2022

 <https://doi.org/10.56521/teknika.v8i2.798>

sandwich merupakan sistem yang fungsi strukturnya digunakan dalam bidang konstruksi sipil dan bangunan, serta sebagai selongsong dinding, langit-langit, dan lain-lain. Sistem panel pertama pada bagian permukaan yang terkena api dilapisi dengan pelat plester dan sistem kedua dilapisi pelat keramik. Hasil penelitian ini menjelaskan bahwa panel pertama menunjukkan kinerja yang lebih baik terhadap parameter yang dievaluasi berupa stabilitas, struktural, kekencangan, dan insulasi termal serta waktu ketahanan yang lebih lama dibandingkan dengan panel kedua. P. Fang, *et al.*, (2022) yang mempelajari sifat mekanik struktur komposit berpenguat *fiberglass* sebagai pelat laminasi anistropik homogen. C. P. Lueck *et al.*, (2020) yang mempelajari komposit *airfoil* dengan bahan penguat berupa gulungan kain yang diperkuat *fiberglass*. Hasil penelitian ini diharapkan dapat berperan dalam pengembangan ilmu komposit berpenguat yang tepat guna.

Tinjauan Pustaka dan Pengembangan Hipotesis

Komposit *Fiberglass*

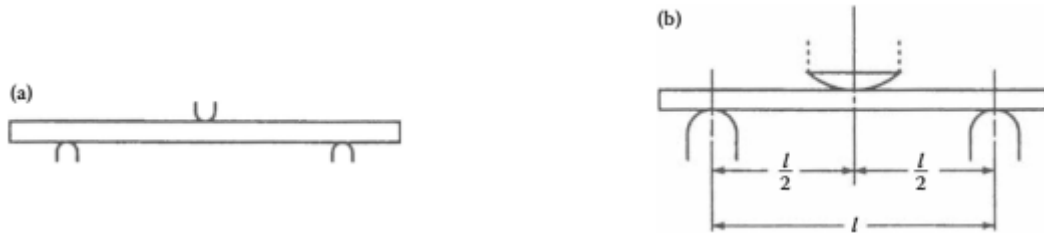
Komposit merupakan bahan multifase yang diproduksi secara artifisial dengan kombinasi sifat terbaik yang diinginkan dari fase penyusunnya, biasanya komposit tersusun dari 1 fase kontinu (matrik) dan fase lain yang mengelilingi (fase terdispersi). Potensi efisiensi kekuatan yang paling besar pada beberapa jenis komposit adalah komposit yang diperkuat serat. Komposit yang diperkuat serat akan mengakibatkan beban yang diterapkan kemudian ditransmisikan dan didistribusikan diantara serat-serat melalui fase matriks atau serat mampu meningkatkan keuletan komposit. Penguatan komposit akan signifikan hanya dimungkinkan jika ikatan serat-matriks kuat, hal ini disebabkan karena kekuatan penguat berhenti pada ujung serat, dan efisiensi penguat bergantung pada panjang serat (W. D. Callister JR. and D. G. Rethwisch, 2018).

Fiberglass, karbon, dan serat aramid merupakan bahan-bahan serat yang paling sering digunakan pada komposit pipa fleksibel (P. Fang, *et al.*, 2022). *Fiberglass* sebagai salah satu jenis serat material komposit yang banyak digunakan untuk struktur sekunder pesawat terbang seperti: *fairings*, *radome*, dan ujung sayap, serta baling-baling helikopter. *Fiberglass* mempunyai beberapa kelebihan antara lain: 1). biaya lebih rendah daripada material komposit yang lain, 2). ketahanan terhadap korosi kimia atau *galvanic* yang baik, dan 3). Sifat listrik (*fiberglass* tidak menghantarkan listrik) (AMT - Airframe, 2012).

Komposit *airfoil* yang pada bagian ujungnya diperkuat dengan serat kaca yang digulung berfungsi untuk memperkuat tepi depan, memberikan peningkatan kekakuan, dan daya tahan tanpa menambah beban terlalu banyak (C. P. Leuck *et al.*, 2020). Kismarton *et al.*, (2018) mempelajari komponen atau struktur balok karbon/*fiberglass* hibrida pada lantai pesawat terbang yang dibangun dengan lapisan *fiberglass* diselingi dengan serat karbon searah, di mana serat karbon karbon berorientasi sejajar atau sepanjang arah longitudinal dari panjang balok sehingga menambah kekuatan dan kekakuan pada balok sekaligus mengurangi bobot dan biaya produksi.

Kekuatan Material (Sifat Lentur)

Kekuatan material atau sifat mekanik berupa sifat lentur pada komposit *fiberglass* di dalam penelitian ini mengacu pada ASTM *International* D790-17. Pada saat bahan elastis dengan bentuk balok diuji lentur dan didukung oleh dua titik serta beban berada di titik tengah, maka tegangan maksimum diluar permukaan benda uji terjadi di titik tengah (ASTM *International* D790-17). Posisi tiga titik tekuk spesimen pada uji lentur untuk resin atau komposit tersaji pada **Gambar 1a – 1b** (R. F. Gibson, 2016).



Gambar 1a – 1b. Posisi Tiga Titik Tekuk Spesimen Uji Lentur Pada Resin Atau Komposit. 1a). Posisi Titik Jari-Jari Tumpuan dan 1b). Posisi Titik Radius Tumpuan (R. F. Gibson, 2016)

Sifat lentur dalam metode uji berfungsi sebagai pengendalian mutu atau fungsi spesifikasi, diantaranya adalah tegangan lentur (*Flexural Stress*) (σ_f) yang mengikuti **Persamaan (1)** berikut:

$$\sigma_f = \frac{3PL}{2bd^2} \dots \dots \dots (1)$$

Di mana:

- σ_f : Tegangan serat luar pada bagian tengah (N/mm²)
- P : Beban titik tertentu pada kurva beban – lentur (N)
- L : Rentang (mm)
- b : Lebar spesimen yang diuji (mm)
- d : Kedalaman spesimen yang diuji (mm)

Sedang sifat lentur berupa regangan lentur (*Flexural Strain*) (ϵ_f) mengikuti **Persamaan (2)** berikut:

$$\epsilon_f = \frac{6Dd}{L^2} \dots \dots \dots (2)$$

Di mana:

- ϵ_f : Regangan dipermukaan luar (mm/mm)
- D : Defleksi maksimum (mm)
- L : Rentang (mm)
- d : Kedalaman spesimen yang diuji (mm)

Untuk sifat lentur berupa modulus elastis (*Modulus Elasticity*) E_B mengikuti **Persamaan (3)** berikut:

$$E_B = \frac{L^3m}{4bd^3} \dots \dots \dots (3)$$

Di mana:

- E_B : Modulus elastis lentur (MPa)
- L : Rentang (mm)
- b : Lebar spesimen yang diuji (mm)
- d : Kedalaman spesimen yang diuji (mm)
- m : Kemiringan garis singgung ke bagian garis lurus awal dari kurva beban-defleksi (N/mm)

Untuk standar deviasi (*Standard Deviation*) s mengikuti **Persamaan (4)** berikut:

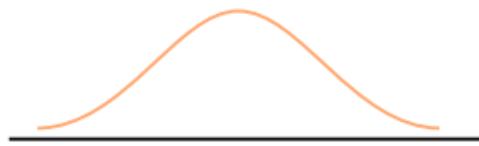
$$s = \sqrt{\frac{(\sum X^2 - n\bar{X}^2)}{(n-1)}} \dots \dots \dots (4)$$

Di mana:

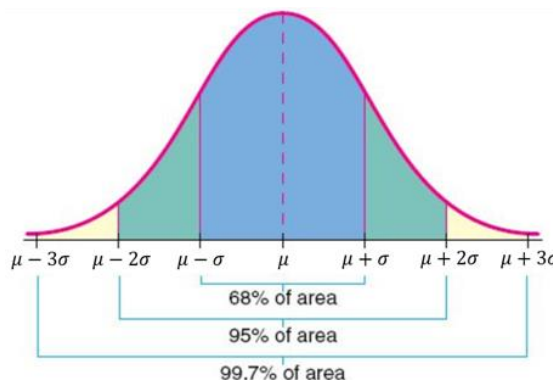
- s : Perkiraan standar deviasi
 X : Nilai pengamatan tunggal
 n : Jumlah observasi
 \bar{X} : Rata-rata aritmatika dari himpunan pengamatan

Distribusi Normal

Distribusi normal standar merupakan distribusi normal dengan nilai rata-rata nol ($\mu = 0$) dan standar deviasi 1 ($\sigma = 1$). Kurva normal atau kurva z yang digunakan untuk menggambarkan distribusi normal standar tersaji pada **Gambar 2**, di mana distribusi normal merupakan distribusi probabilitas kontinu yang berbentuk lonceng dan simetris (R. Peck *et al.*, 2008).



Gambar 2. Kurva Normal atau Kurva z
(R. Peck *et al.*, 2008)



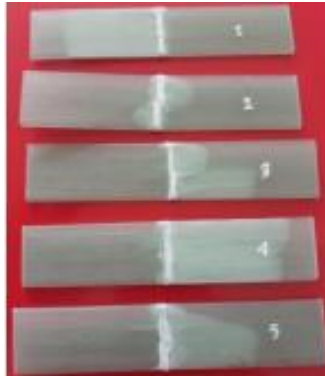
Gambar 3. Kurva Normal Dengan Tiga Karakteristik Distribusi Normal
(<https://www.studypug.com/statistics/introduction-to-normal-distribution>)

Karakteristik utama pada distribusi probabilitas normal adalah: 1). mempunyai kurva yang berbentuk lonceng, 2). kurva lonceng simetri dengan distribusi rata-rata sebagai sumbu simetris dan nilai rata-rata mempunyai nilai yang sama dengan distribusi median dan modus, 3). ekor kiri dan kanan distribusi normal yang tidak pernah menyentuh sumbu horizontal, memanjang tanpa batas karena distribusi simtonik, dan 4). bentuk distribusi normal dan posisi berada pada sumbu horizontal yang ditentukan oleh nilai standar deviasi dan rata-rata, semakin besar nilai standar deviasi, maka semakin lebar kurva lonceng. Sedang karakteristik distribusi normal yang tersaji pada **Gambar 3**, yaitu: 1). sekitar 68% populasi berada dalam 1 standar deviasi rata-rata, 2). sekitar 95% populasi berada dalam 2 standar deviasi rata-rata, dan 3). sekitar 99,7% populasi berada dalam 3 standar deviasi rata-rata (R. Peck *et al.*, 2008 dan <https://www.studypug.com/statistics/introduction-to-normal-distribution>).

Metode Penelitian

Metode penelitian untuk mempelajari sifat mekanik komposit *fiberglass* melalui uji lentur mengacu pada ASTM *International D790-17*. Jumlah spesimen dalam penelitian ini sebanyak 5 buah dengan

dimensi spesimen, yaitu panjang 138 mm, lebar 30 mm dan ketebalan atau kedalaman 4,5 mm (**Gambar 4**). Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi: gergaji, caliper, penggaris, dan *Universal Testing Machine*, sedang bahan penelitian berupa komposit *fiberglass* yang berbentuk plat. Analisis data dalam penelitian ini menggunakan distribusi normal dan standar deviasi.



Gambar 4. Spesimen Komposit *Fiberglass*

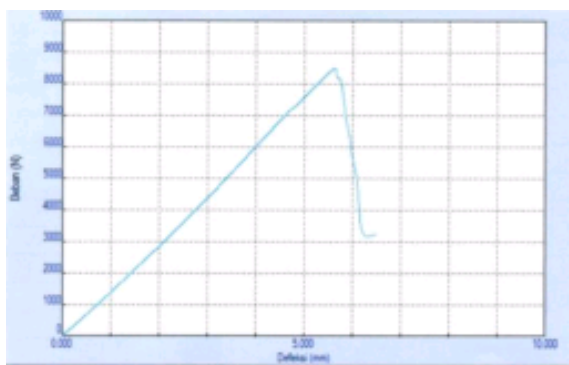
Hasil dan Pembahasan

Data beban (N), defleksi (mm), dan standar deviasi komposit *fiberglass* tersaji pada **Tabel 1**.

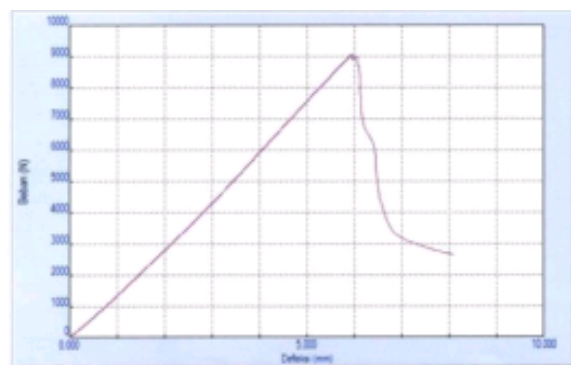
Tabel 1. Data Beban (N), Defleksi (mm), dan Standar Deviasi Komposit *Fiberglass*

Spesimen	Beban (N)	Defleksi (mm)	Standar Deviasi	
			Beban (N)	Defleksi (mm)
1	8484,10	5,65	8484,10	5,74
2	9045,60	5,95	9045,60	6,03
3	8538,50	5,70	8538,50	5,79
4	8248,70	5,37	8248,70	5,46
5	8874,60	5,86	8874,60	5,94
<i>Mean</i>	8638,30	5,71	8638,30	5,79
<i>Median</i>	8538,50	5,70	8538,50	5,79
<i>Mode</i>	8000,00	5,70	8000,00	5,70

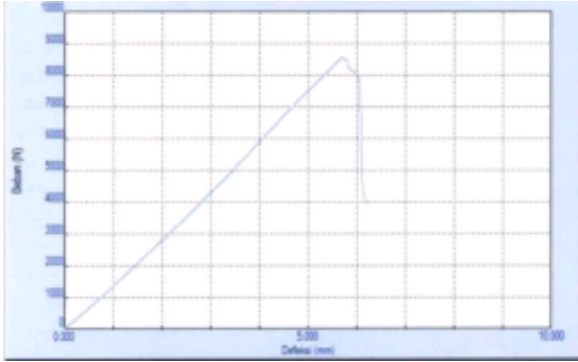
Tabel 1 terlihat bahwa beban (N) dan defleksi (mm) pada 5 spesimen komposit *fiberglass* menunjukkan nilai rata-rata untuk beban 8638,30 N dan defleksi 5,71 mm. Data pada **Tabel 1** menjelaskan bahwa distribusi normal memenuhi 99,7% populasi berada dalam 3 standar deviasi rata-rata (R. Peck *et al.*, 2008). **Tabel 1**, kemudian disajikan dalam kurva hubungan antara beban (N) terhadap defleksi (mm) pada masing-masing spesimen komposit *fiberglass* (**Gambar 5a – 5e**).



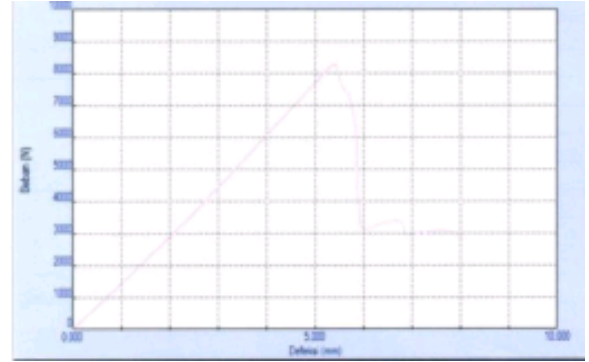
a). Spesimen 1



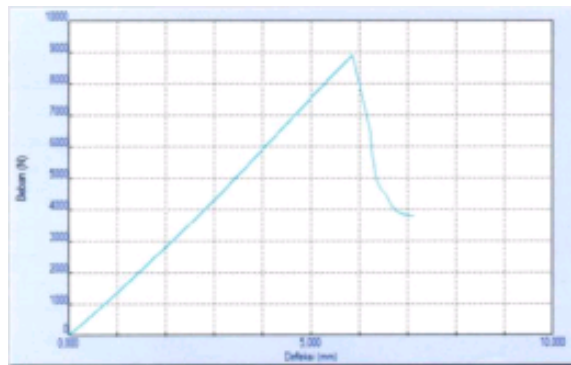
b). Spesimen 2



c). Spesimen 3



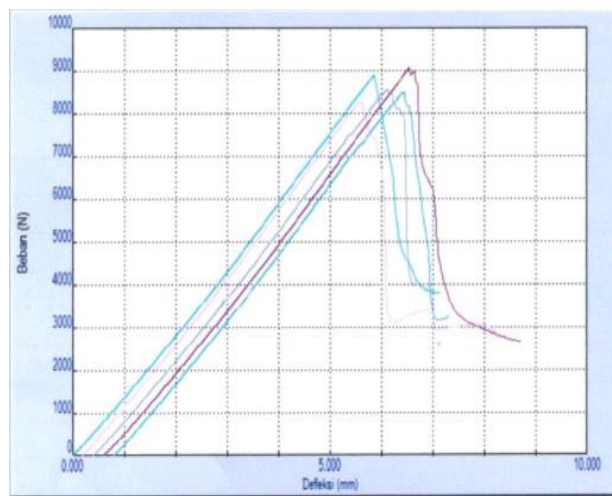
d). Spesimen 4



e). Spesimen 5

Gambar 5a – 5e. Kurva Hubungan Antara Beban (N) Terhadap Defleksi (mm) Pada Masing-Masing Spesimen Komposit *Fiberglass*

Gambar 5a – 5e kemudian disajikan dalam kurva hubungan antara beban (N) terhadap defleksi (mm) pada komposit *fiberglass* secara keseluruhan (**Gambar 6**) untuk mempelajari kekuatan material atau sifat mekanik berupa sifat lentur komposit *fiberglass*.



Gambar 6. Kurva Hubungan Antara Beban (N) Terhadap Defleksi (mm) Pada Komposit *Fiberglass* Secara Keseluruhan

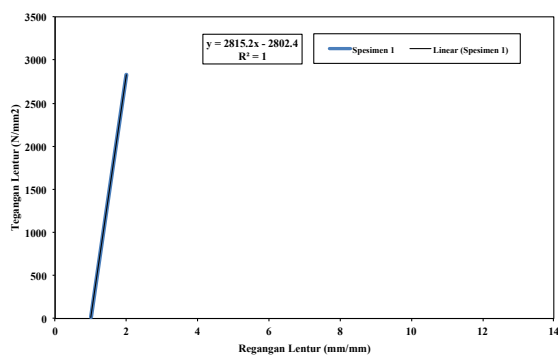
Gambar 6 menunjukkan kekuatan material atau sifat mekanik berupa sifat lentur pada komposit *fiberglass*, di mana kelima spesimen tersebut mengalami defleksi atau perubahan bentuk pada balok komposit *fiberglass* sebagai akibat adanya pembebanan yang diberikan pada balok. Defleksi tersebut terjadi setelah balok komposit *fiberglass* melewati titik elastis dan titik elastis plastis dengan nilai yang hampir seragam, yaitu sebesar 5,71 mm dan beban rata-rata 8638,30 N kemudian mengalami titik putus.

Data tegangan lentur (N/mm^2), regangan lentur (mm/mm), dan standar deviasi komposit *fiberglass* tersaji pada **Tabel 2**.

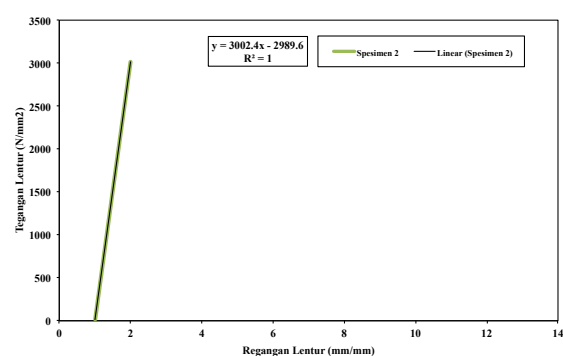
Tabel 2. Data Tegangan Lentur (Flexural Stress) (N/mm^2), Regangan Lentur (Flexural Strain) (mm/mm), dan Standar Deviasi Komposit *Fiberglass*

Spesimen	Tegangan Lentur (Flexural Stress) (N/mm^2)	Regangan Lentur (Flexural Strain) (mm/mm)	Standar Deviasi	
			Tegangan Lentur (N/mm^2)	Regangan Lentur (mm/mm)
1	2828,03	12,80	2828,03	12,84
2	3015,20	12,80	3015,20	12,84
3	2846,17	12,80	2846,17	12,84
4	2749,57	12,22	2749,57	12,26
5	2958,20	12,80	2958,20	12,84
<i>Mean</i>	2879,43	12,72	2879,43	12,72
<i>Median</i>	2846,17	12,80	2846,17	12,84
<i>Mode</i>	2800,00	12,80	2800,00	12,84

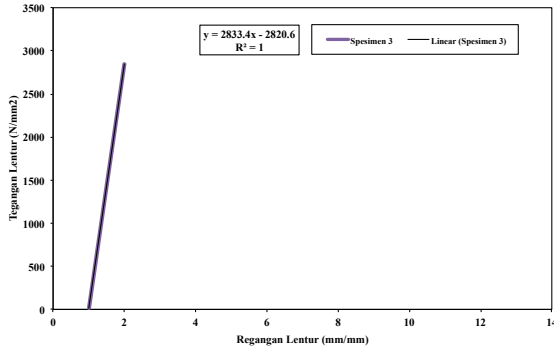
Tabel 2 menunjukkan tegangan lentur (N/mm^2) dan regangan lentur (mm/mm) pada 5 spesimen komposit *fiberglass* diperoleh nilai rata-rata untuk tegangan lentur $2879,43 \text{ N/mm}^2$ dan regangan lentur $12,72 \text{ mm/mm}$. Data pada **Tabel 2** tersebut menyajikan distribusi normal yang memenuhi 99,7% populasi berada dalam 3 standar deviasi rata-rata (R. Peck *et al.*, 2008). **Tabel 2**, kemudian disajikan dalam kurva hubungan antara tegangan lentur (N/mm^2) terhadap regangan lentur (mm/mm) pada masing-masing spesimen komposit *fiberglass* untuk mempelajari kekuatan material atau sifat mekanik berupa sifat lentur komposit *fiberglass* (**Gambar 7a – 7e**).



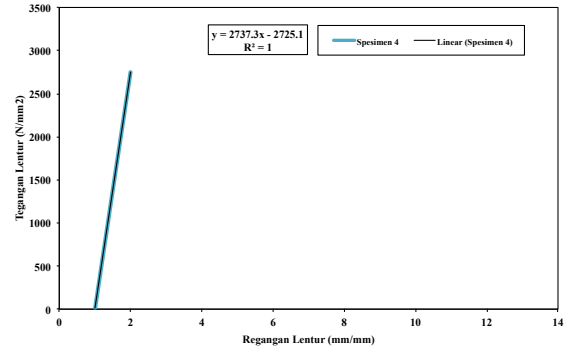
a). Spesimen 1



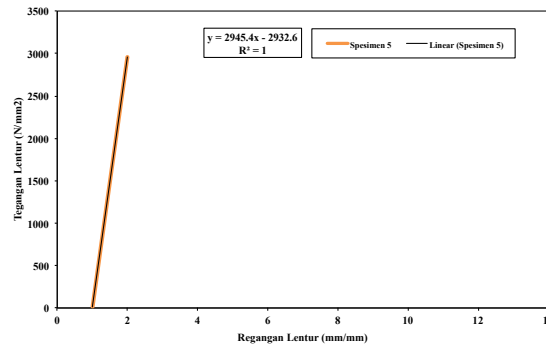
b). Spesimen 2



c). Spesimen 3



d). Spesimen 4



d). Spesimen 5

Gambar 7a – 7e. Kurva Hubungan Antara Tegangan Lentur (N/mm²) Terhadap Regangan Lentur (mm/mm) Pada Masing-Masing Spesimen Komposit *Fiberglass*

Data *slope* atau *modulus elastis* komposit *fiberglass* yang dihasilkan dari kurva hubungan antara tegangan lentur (N/mm²) terhadap regangan lentur (mm/mm) pada masing-masing spesimen komposit *fiberglass* (Gambar 7a – 7e) kemudian disajikan dalam Tabel 3.

Tabel 3. Data *Slope (Modulus of Elasticity)* (MPa) dan Standar Deviasi Komposit *Fiberglass*

Spesimen	<i>Slope (Modulus of Elasticity)</i> (MPa)	Standar Deviasi
1	2815,20	2815,20
2	3002,40	3002,40
3	2833,40	2833,40
4	2737,30	2737,30
5	2945,40	2945,40
<i>Mean</i>	2866,74	2866,74
<i>Median</i>	2833,40	2833,40
<i>Mode</i>	2800,00	2800,00

Tabel 3 terlihat bahwa *slope* atau modulus elastis pada kelima spesimen komposit *fiberglass* diperoleh nilai modulus elastis rata-rata 2866,74 MPa. Data pada Tabel 3 menyajikan distribusi normal memenuhi 99,7% populasi berada dalam 3 standar deviasi rata-rata (R. Peck *et al.*, 2008). Gambar 7a – 7e menunjukkan kekuatan material atau sifat mekanik berupa sifat lentur pada masing-masing spesimen komposit *fiberglass*, di mana kelima spesimen tersebut mempunyai kekakuan dan ketahanan yang baik terhadap deformasi elastis, yang ditunjukkan dengan nilai *slope* atau modulus elastis yang cukup besar dan hampir seragam. Hal ini sesuai dengan W. D. Callister JR. and D. G. Rethwisch, (2018) yang menjelaskan bahwa semakin besar nilai modulus, maka material akan

semakin kaku atau semakin kecil regangan elastis yang dihasilkan.

Kekuatan material atau sifat mekanik berupa sifat lentur pada komposit *fiberglass*, melalui data beban terhadap defleksi, tegangan lentur terhadap regangan lentur dan *slope* atau modulus elastis menunjukkan bahwa komposit yang diperkuat *advance material* berupa *fiberglass* dapat meningkatkan keuletan komposit. Hal ini sejalan dengan W. D. Callister JR. and D. G. Rethwisch, (2018), yang menjelaskan bahwa komposit yang diperkuat serat akan menyebabkan beban yang diterima oleh komposit kemudian ditransmisikan dan didistribusikan diantara serat-serat melalui fase matriks atau serat mampu meningkatkan keuletan komposit. Selain itu, adanya *fiberglass* dalam komposit dapat meningkatkan kekuatan, kekakuan, dan ketahanan tanpa menambah berat komposit. Hal ini sejalan dengan Kismarton *et al.*, (2018), yang menjelaskan bahwa struktur balok karbon/*fiberglass* hibrida menambah kekuatan dan kekakuan pada balok sekaligus mengurangi bobot dan biaya produksi dan Leuck *et al.*, 2020, yang menjelaskan bahwa komposit *airfoil* pada bagian ujungnya diperkuat dengan serat kaca yang digulung berfungsi untuk memperkuat tepi depan, memberikan peningkatan kekakuan, dan daya tahan tanpa menambah beban terlalu banyak.

Kesimpulan

Distribusi normal pada data beban terhadap defleksi, data tegangan lentur terhadap regangan lentur dan *slope* atau modulus elastis pada komposit *fiberglass* memenuhi 99,7% populasi berada dalam 3 standar deviasi rata-rata. Komposit *fiberglass* mempunyai kekuatan material atau sifat mekanik berupa sifat lentur yang baik. Hal ini disebabkan karena adanya *fiberglass* yang mampu meningkatkan keuletan dari komposit, di mana komposit yang diperkuat serat akan menyebabkan beban yang diterima komposit kemudian ditransmisikan dan didistribusikan diantara serat-serat melalui fase matriks. Selain itu, adanya *fiberglass* dapat meningkatkan kekuatan, kekakuan, dan ketahanan tanpa menambah berat komposit.

Daftar Pustaka

- American Society for Testing and Materials International (ASTM) D790-17, Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials, United States.
- Aviation Maintenance Technician Handbook (AMT) – Airframe, Volume 1, 2012, **Chapter 7** Advanced Composite Materials, U.S. Department of Transportation. Federal Aviation Administration, Flight Standards Service.
- C. P. Lueck and B. F. Ahyow, 2020, Composite Airfoil With Rolled Fiberglass Reinforced Leading Edge, United States Patent, US **10,640,197** B1, May 5, 2020.
- M. Murillo A., A. Acosta P., C. Quesada Q., V. Abisambra G., B. Tutikian F., and R. Christ, 2022, Comparative Experimental Analysis of The Fire Resistance of Sandwich Panels with Polyisocyanurate Core Reinforced with Fiberglass Fabric, *Case Studies in Thermal Engineering* **40** (2022) 102550.
- M. U. Kismarton, D. E. Knowles, and F. E. Andrews, Hybrid Carbon/Fiberglass Structural Component For An Aircraft, US **10,131,417** B2, Nov. 20, 2018.
- P. Fang., Y. Xu., Y. Gao., L. Ali., and Y. Bai., 2022, Mechanical Responses of a Fiberglass Flexible Pipe Subject to Tension and Internal Pressure, *Thin-Walled Structures* **181** (2022) 110107.
- R. F. Gibson, 2016, Principles of Composite Materials Mechanics, 4th Edition, CRC Press Taylor & Francis Group, New York.
- R. Peck, C. Oslen, and J. Devore, 2008, Introduction to Statistic and Data Analysis, 3rd Edition, Thomson, United States.
- W. D. Callister JR. and D. G. Rethwisch, 2018, Materials Science and Engineering An Introduction, 10th Edition, Wiley, United States of America.
- <https://www.studypug.com/statistics/introduction-to-normal-distribution>