



Pengaruh Fraksi Volume Polyurethane terhadap Uji Tarik dan Lentur Komposit Pegas Daun

Evan Maulana¹, Asrori Asrori^{2*}

¹⁻²Program Studi Teknik Mesin dan Perawatan, Politeknik Negeri Malang, Indonesia

*Penulis korespondensi: asrori@polinema.ac.id

Abstract. Leaf springs serve as vehicle weight supports and vibration dampers from uneven roads. Reducing vehicle weight can support fuel consumption reduction. The use of composite materials allows for a reduction in leaf spring weight without reducing load capacity and stiffness. The purpose of this study was to find the composition of composite leaf springs with a polyurethane matrix that were resistant to tensile and flexural tests using e-glass, epoxy, and polyurethane materials. This study used an experimental method, in which specimens were tested using a tensile and flexural testing machine. The variations included polyurethane matrices of 10%, 20%, and 30%. The data was statistically analyzed using Excel to determine the significant effect of the variables. The results showed the effect of polyurethane variation on the composite. The tensile test showed that the greatest tensile stress was on the 30% polyurethane specimen at 1.574 N/mm² and the smallest was on the 10% specimen at 7.007 N/mm². In the flexural test, the greatest effect on flexural strength was observed in the 30% specimen at 14.36 MPa and the smallest in the 10% specimen at 25.82 MPa. Without the addition of polyurethane, the tensile stress was 39.678 N/mm² and the flexural strength was 157.09 MPa. Conclusion: The addition of polyurethane reduces the mechanical strength of composite leaf spring material without polyurethane addition.

Keywords: Composites; Flexural Strength; Leaf Springs; Polyurethane; Tensile Stress

Abstrak. Pegas daun berfungsi sebagai penopang berat kendaraan dan peredam getaran dari jalan tidak rata. Pengurangan bobot pada kendaraan dapat menunjang pengurangan penggunaan bahan bakar. Penggunaan bahan komposit memungkinkan pengurangan berat pegas daun tanpa mengurangi kapasitas beban dan kekakuan. Tujuan penelitian adalah menemukan komposisi pegas daun komposit dengan matriks polyurethane yang tahan terhadap uji tarik dan uji lentur dengan menggunakan material e-glass, epoxy, dan polyurethane. Metode penelitian ini bersifat eksperimen, di mana spesimen diuji menggunakan mesin uji tarik dan lentur. Variasi meliputi matriks polyurethane sebesar 10%, 20%, 30%. Data dianalisa statistik menggunakan Excel untuk mengetahui pengaruh signifikan variabel. Hasil penelitian menunjukkan pengaruh variasi polyurethane pada komposit. Pada pengujian tarik menunjukkan pengaruh terbesar tegangan tarik pada spesimen 30% polyurethane sebesar 1,574 N/mm² dan terkecil pada 10% sebesar 7,007 N/mm². Pada pengujian lentur menunjukkan pengaruh terbesar kekuatan lentur pada 30% sebesar 14,36 MPa dan terkecil pada 10% sebesar 25,82 MPa. Sedangkan tanpa menambahkan polyurethane, tegangan tarik 39,678 N/mm² dan kekuatan lentur 157,09 MPa. Kesimpulan penambahan polyurethane berdampak menurunkan kekuatan mekanik pada material pegas daun komposit tanpa penambahan polyurethane.

Kata kunci: Kekuatan Lentur; Komposit; Pegas Daun; Polyurethane; Tegangan Tarik

1. LATAR BELAKANG

Pengurangan berat kendaraan merupakan strategi kunci untuk meningkatkan efisiensi bahan bakar sebesar 6%-8% untuk setiap penurunan berat 10%. Prinsip konstruksi ringan ini sangat vital, khususnya pada kendaraan hybrid dan kendaraan listrik, karena membantu mengimbangi bobot berat dari baterai dan motor listrik, sehingga meningkatkan efisiensi energi dan jangkauan tempuh kendaraan. Pengurangan berat struktur dapat dicapai melalui tiga cara utama: optimasi desain komputasional, peningkatan sifat mekanis material yang sudah ada (misalnya baja melalui heat treatment), atau pemanfaatan material baru yang ringan namun

kuat, termasuk logam konvensional seperti Aluminium dan Magnesium, serta material komposit.

Sistem suspensi pegas daun tradisional, yang umum digunakan pada kendaraan otomotif untuk menghubungkan poros kendaraan, merupakan target ideal untuk pengurangan berat karena menyumbang sekitar 10% dari berat unsprung weight kendaraan. Penelitian sebelumnya telah menunjukkan potensi besar material komposit di area ini; sebuah studi menyimpulkan bahwa penggantian pegas daun baja dengan material komposit dapat mengurangi berat hingga 85%. Pengurangan berat pada komponen ini tidak hanya menghemat bahan bakar tetapi juga berpotensi meningkatkan kualitas berkendara.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini memfokuskan pada pengembangan pegas daun komposit yang ringan namun tetap kuat. Fokus utamanya adalah mengkaji pengaruh variasi komposisi polyurethane (PU) sebesar 10%, 20%, dan 30% terhadap sifat mekanik material komposit yang digunakan. Selain itu, penelitian ini juga akan menganalisis pengaruh beban matrik PU terhadap sifat mekanik. Penelitian sebelumnya juga mendukung bahwa kekuatan material komposit dapat ditingkatkan, misalnya busa komposit yang diperkuat serat kaca mengalami peningkatan signifikan seiring peningkatan kandungan SiO₂.

2. KAJIAN TEORITIS

Desain dan analisis kelelahan eksperimental dari pegas multi daun komposit yang menggunakan penguat serat gelas polimer dilakukan menggunakan analisis data umur. Dibandingkan dengan pegas baja, pegas daun komposit memiliki tegangan 67,35% lebih rendah, kekakuan 64,95% lebih tinggi, dan frekuensi alami 126,98% lebih tinggi. Pegas multi daun konvensional memiliki berat sekitar 13,5 kg, sedangkan pegas multi daun E-glass/Epoxy hanya berbobot 4,3 kg, sehingga tercapai pengurangan berat 68,15%. Selain pengurangan berat, umur kelelahan pegas daun komposit diprediksi dan ditemukan lebih tinggi dibandingkan dengan pegas daun baja, yang divalidasi menggunakan analisis data umur. Model FEM 3D pegas daun disimulasikan menggunakan CAE. (Kumar & Vijayarangan, 2007)

Penelitian yang dilakukan Jadhao membahas sistem pembuatan pegas daun komposit. Prototipe dibuat sesuai dimensi menggunakan kayu lapis sebagai cetakan. Desain penampang melintang yang konstan, yang memastikan serat lewat terus menerus sepanjang arah panjang (menguntungkan untuk struktur yang diperkuat serat), digunakan. Proses pembuatannya meliputi pemotongan serat kaca sesuai panjang, penyiapan larutan resin, dan penempatan lapisan tikar cincang serat kaca pada cetakan yang telah diberi lilin/gel, diikuti oleh larutan resin epoksi. Prosedur ini diulangi hingga ketebalan yang diinginkan tercapai, dengan total

durasi proses memakan waktu hingga 25-30 menit, sebelum pegas daun dilepaskan dari cetakan.(Jadhao, 2011)

Penelitian Piotr Lacki membahas pengaruh busa poliuretan (PU) yang ditambahkan serat kaca terhadap ketahanan lentur balok I. Balok komposit AA-PU disempurnakan dengan penguat web menggunakan busa poliuretan berserat kaca, mengisi bagian I-section sehingga diperoleh penampang persegi panjang. Hasil uji eksperimental digunakan dalam analisis numerik dengan program ADINA System berdasarkan Metode Elemen Hingga. Busa PU dengan penguatan serat kaca pada bagian web balok I menghasilkan peningkatan resistansi buckling hampir dua kali lipat dibandingkan dengan balok aluminium. Peningkatan kekuatan dinding balok I dengan busa PU yang diperkuat serat kaca dan peningkatan kekuatan sayap balok I dengan pelat serat karbon CFRP menyebabkan peningkatan resistansi terhadap kegagalan lebih dari empat kali lipat dibandingkan balok aluminium. Busa PU dengan serat kaca mengurangi deformasi lateral-torsional pada bagian web balok aluminium dan menyebabkan peningkatan kekakuan keseluruhan balok. (Lacki dkk., 2019)

3. METODE PENELITIAN

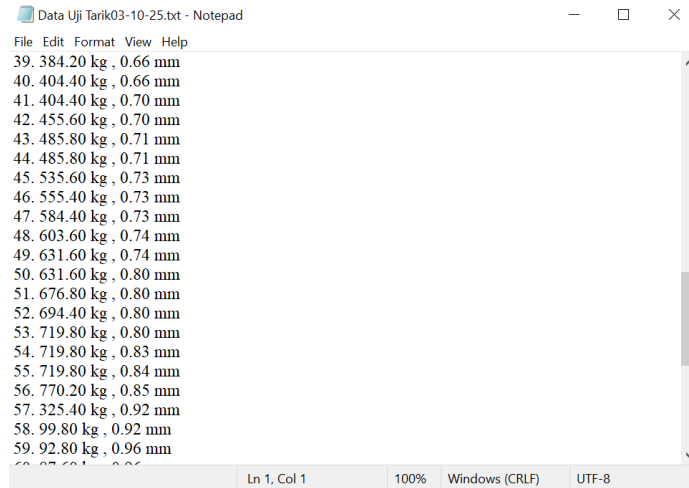
Penelitian pengujian lentur ini dilaksanakan di Laboratorium Teknik Material sesuai dengan standar D790, sedangkan pengujian tarik dilaksanakan di Laboratorium Uji Material sesuai dengan standar ASTM D638. Metode penelitian ini yang digunakan adalah metode eksperimen hand lay up, yaitu metode pembuatan material komposit pegas daun dilakukan secara manual. Teknik pengumpulan data yaitu dengan mengkaji literatur seperti buku, jurnal, internet terkait dengan komposit pegas daun terhadap analisis kekuatan lentur dan tariknya dengan menggunakan alat uji lentur dan tarik. Teknik analisis data yang digunakan untuk menganalisa data pada penelitian ini adalah deskriptif kuantitatif.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini pembuatan komposit dibuat dengan serat kaca sebagai penguat dan resin epoxy dan polyurethane sebagai pengikat. Spesimen dibentuk berdasarkan standard ASTM D638 untuk uji tarik dan standard ASTM D790 untuk uji lentur. Variasi fraksi volume pada yang digunakan yaitu 35% serat+ 35%epoxy+30%polyurethane, 40% serat+ 40% epoxy+20%polyurethane, 45% serat+ 45% epoxy+10%polyurethane, 50% serat+ 50% epoxy. Serat yang digunakan yaitu serat acak.

Hasil Pengujian Tarik

Pengujian tarik bertujuan untuk mengukur ketahanan suatu material terhadap gaya statis dan tegangan maksimal yang dapat diterima suatu material hingga patah. Hasil patahan dari pengujian tarik menunjukkan berapa besar kekakuan dan panjang maksimal yang dapat diterima material. Pengujian tarik dilakukan di Laboratorium.



Gambar 1. Data Uji Tarik.

Pada perhitungan kekuatan tarik ini, digunakan persamaan yang ada pada standar ASTM D638, dilihat pada contoh hasil perhitungan pada gambar 1 diatas, yaitu:

Dalam menentukan tegangan tarik maka perlu diketahui luas penampang spesimen, yang dirumuskan pada persamaan 4.1 sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 A &= p \times l \dots\dots\dots 4.1 \\
 &= 19 \times 10 \\
 &= 190 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Dimana, p: length (mm), l: lebar (mm), A: Luas Penampang (mm)

Setelah didapatkan luas penampang sebesar 190 mm², kemudian menghitung tegangan tarik yang terjadi. Dirumuskan pada persamaan 4.2 sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \sigma &= F/A \dots\dots\dots 4.2 \\
 &= 7553,12/190 \\
 &= 39,753 \text{ N/mm}^2
 \end{aligned}$$

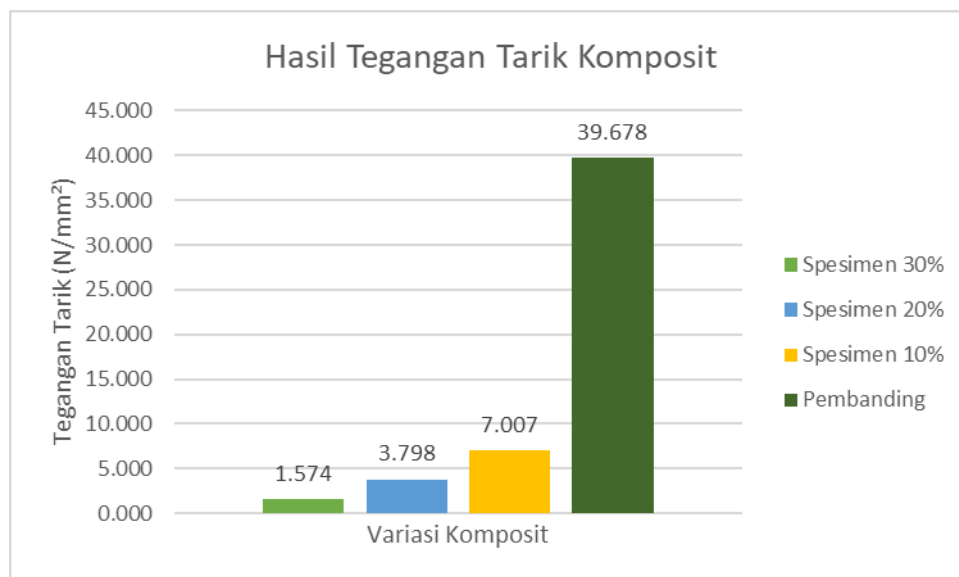
Dimana, σ : Tegangan Tarik (N/mm²) F: Gaya (N), A: Luas Penampang (mm)

Setelah didapatkan hasil dari perhitungan tarik yang sudah dimasukkan ke dalam rumus, berikut ini tabel hasil perhitungan tegangan tarik, regangan, modulus elastis. Tabel 1 menjelaskan hasil perhitungan sebagai berikut.

Tabel 1. Hasil Tegangan Tarik.

Variasi Polyurethane	Tegangan Tarik (N/mm ²)	Rata-rata
Spesimen 30%	1,513	1,574
	1,466	
	1,745	
Spesimen 20%	3,840	3,798
	3,797	
	3,757	
Spesimen 10%	7,030	7,007
	6,727	
	7,265	
Pembanding	39,753	39,678
	39,449	
	39,833	

Pengujian kekuatan tarik pegas daun komposit menunjukkan korelasi terbalik yang jelas dengan kandungan polyurethane (PU). Spesimen tanpa penambahan PU mencatat nilai kekuatan tarik rata-rata tertinggi sebesar 39, 678 N/mm². Penambahan PU secara bertahap menurunkan performa ini: variasi 10% PU memiliki kekuatan tarik rata-rata 7,007 N/mm². Sementara itu, variasi 20% PU menghasilkan kekuatan tarik rata-rata 3, 798 N/mm². Terakhir, spesimen dengan kandungan 30% PU mencatat performa terendah dengan kekuatan tarik rata-rata hanya 1,574 N/mm².

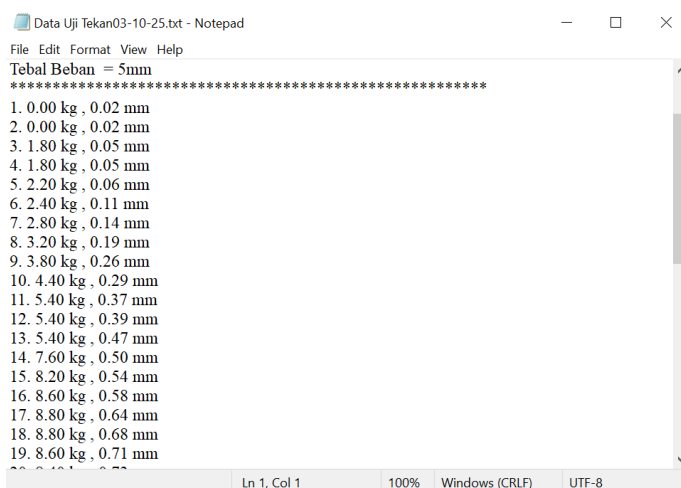
**Gambar 2.** Grafik Tegangan Tarik.

Berdasarkan hasil tegangan tarik gambar 2 grafik tegangan tarik, penambahan polyurethane (PU) pada komposit epoxy-E-glass terbukti menyebabkan penurunan nyata pada kekuatan tarik. Kekuatan tarik tertinggi dicapai oleh sampel tanpa PU sebesar 39, 678 N/mm².

Namun, dengan penambahan PU, kekuatan tarik menurun secara bertahap, dengan nilai rata-rata 7,007 N/mm² (10% PU), 3,798 N/mm² (20% PU), dan 1,574 N/mm² (30% PU). Penurunan ini disebabkan oleh sifat PU yang lebih elastis (menurunkan modulus matriks), berkurangnya ikatan matriks-serat, dan potensi terbentuknya void yang mempercepat keretakan. Oleh karena itu, penggunaan PU dalam komposit ini tidak direkomendasikan untuk aplikasi yang membutuhkan kekuatan tarik tinggi seperti pegas daun.

Hasil Pengujian Lentur

Pengujian lentur bertujuan untuk mengukur ketahanan suatu material terhadap gaya statis dan kekuatan lentur maksimal yang dapat diterima suatu material hingga patah. Hasil patahan dari pengujian lentur menunjukkan berapa besar kekuatan lentur maksimal yang dapat diterima material. Pengujian lentur dilakukan di Laboratorium.



Gambar 3. Data Uji Lentur.

Pada hasil kekuatan lentur pada gambar 3 ini, digunakan persamaan yang ada pada standar ASTM D790, dilihat pada contoh hasil perhitungan pada gambar 3 dapat dirumuskan untuk tegangan lengkung. Pada rumus 4.3 menjelaskan perhitungan tegangan lengkung yang diperoleh dari pengujian lentur variasi komposit

$$\begin{aligned} \sigma_f &= \frac{3PL}{2bd^2} \dots\dots\dots 4.3 \\ &= \frac{3 \times 8.8 \times 40}{2 \times 13 \times 5^2} \\ &= \frac{1.056}{650} \\ &= 1,624 \text{ kgf/mm}^2 \end{aligned}$$

Dimana, σ_f : Tegangan lengkung (kgf/mm²), P :Beban atau gaya yang terjadi (kgf), L : Jarak point (mm), b : Lebar benda uji(mm), d : Ketebalan benda uji (mm)

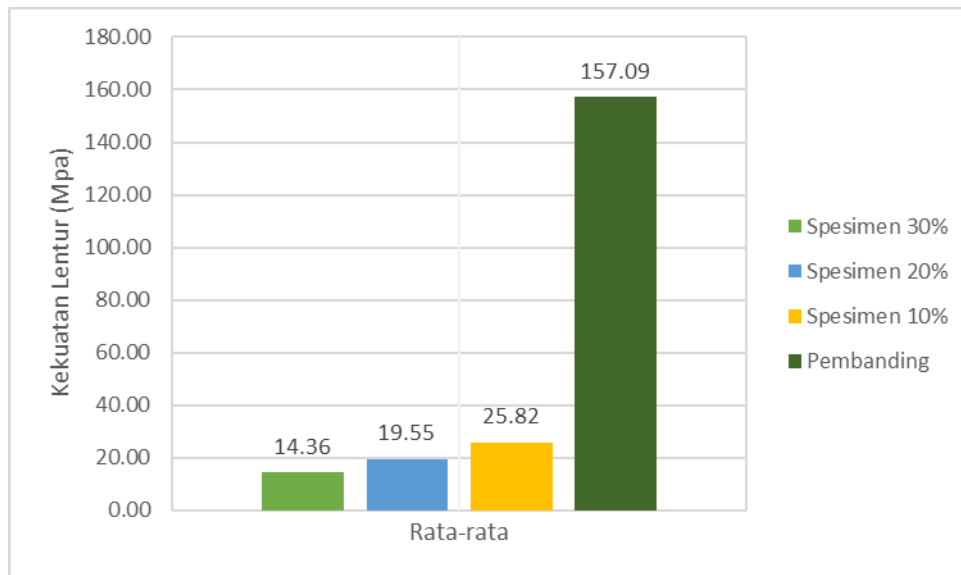
Pada hasil dari kekuatan lentur memiliki satu MPa, maka hasil tegangan lentur $1,624 \text{ kgf/mm}^2$ dijadikan ke Mpa dikalikan 9,80665. Jadi tegangan lengkung yang terjadi yaitu 15.92 Mpa

Setelah didapatkan hasil dari perhitungan yang sudah dimasukkan ke dalam rumus, berikut ini tabel 2 hasil perhitungan kekuatan lentur. Tabel 2 menjelaskan hasil perhitungan sebagai berikut.

Tabel 2. Hasil Kekuatan Lentur.

Variasi Polyurethane	Kekuatan Lentur (Mpa)	Rata-rata
Spesimen 30%	15,92	14.36
	14,83	
	12,30	
	19,54	
Spesimen 20%	18,82	19.55
	20,27	
	31,49	
Spesimen 10%	24,61	25.82
	21,35	
	156,85	
Pembanding (tanpa polyurethane)	154,71	157.09
	159,68	

Berdasarkan hasil pengujian kekuatan lentur pegas daun komposit, spesimen tanpa penambahan polyurethane (Pembanding) menunjukkan performa tertinggi dengan rata-rata kekuatan lentur sebesar 157, 09 MPa (berkisar antara 154, 71 MPa hingga 159, 68 MPa). Penambahan polyurethane (PU) secara signifikan dan bertahap menurunkan kekuatan lentur material tersebut. Spesimen 10% PU memiliki rata-rata kekuatan lentur sebesar 25, 82 MPa (dengan rentang 21, 35 MPa hingga 31, 49 MPa). Pada variasi 20% PU, rata-rata kekuatan lentur turun menjadi 19, 55 MPa (berkisar antara 18, 82 MPa hingga 20, 27 MPa). Nilai terendah dicatat oleh spesimen dengan kandungan 30% PU, yang memiliki rata-rata kekuatan lentur sebesar 14, 36 MPa (dengan rentang 12, 30 MPa hingga 15, 92 MPa).



Gambar 4. Grafik Kekuatan Lentur.

Gambar 4 grafik kekuatan lentur secara jelas menunjukkan penurunan signifikan kekuatan lentur komposit E-glass epoxy seiring dengan peningkatan kadar polyurethane (PU). Pengaruh PU ini bersifat nyata dan negatif, menciptakan hubungan berbanding terbalik di mana konsentrasi PU yang lebih tinggi menghasilkan kekuatan lentur yang lebih rendah. Penurunan drastis dari 157,09 MPa (tanpa PU) menjadi hanya 14,36 MPa (dengan 30% PU) menegaskan bahwa PU melemahkan struktur komposit secara signifikan. Hal ini disebabkan oleh sifat PU yang memiliki kekuatan lentur lebih rendah dibandingkan matriks epoxy murni, serta pelemahan ikatan antara serat E-glass dan matriks. Oleh karena itu, penggunaan polyurethane tidak direkomendasikan untuk aplikasi struktural yang menuntut kekuatan lentur tinggi seperti pegas daun.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil pengujian tarik dan pengujian lentur pada komposit pegas daun berbasis serat kaca, epoxy dengan polyurethane, dapat disimpulkan bahwa penambahan polyurethane secara signifikan menurunkan sifat mekanik material. Spesimen tanpa penambahan polyurethane menunjukkan kekuatan tarik dan lentur tertinggi, sedangkan peningkatan fraksi volume polyurethane hingga 30% menyebabkan penurunan drastis pada kedua sifat tersebut akibat sifat elastis polyurethane yang lebih rendah kekuatannya dibandingkan epoxy serta melemahnya ikatan serat dan matriks. Oleh karena itu, penggunaan polyurethane sebagai campuran matriks tidak direkomendasikan untuk aplikasi struktural seperti pegas daun yang membutuhkan kekuatan tarik dan lentur tinggi, dan penelitian

selanjutnya disarankan untuk memfokuskan pada optimasi matriks epoxy atau penggunaan penguat tambahan serta metode fabrikasi yang lebih baik guna meningkatkan performa mekanik komposit.

DAFTAR REFERENSI

- Alfian, M., & Nurhadi, N. (2022). Konsumsi daya baterai electric scooter berbasis solar cell. *Jurnal Aplikasi dan Inovasi Ipteks "Soliditas" (J-SOLID)*, 5(2), 243–249. <https://doi.org/10.31328/js.v5i2.3836>
- Beliu, H. N., Pell, Y. M., Jasron, J. U., & AdiSucipto, J. (2016). Analisa kekuatan tarik dan bending pada komposit widuri–polyester. *Jurnal Teknik Mesin*, 3(2).
- Budi Rochardjo, H. S. (2023). *Perkembangan mutakhir material komposit: Peluang dan tantangannya dalam aplikasi di bidang otomotif* [Pidato penguatan profesor]. Universitas Gadjah Mada. <https://dgb.ugm.ac.id/wp-content/uploads/sites/280/2023/10/Naskah-Pidato-Prof.-Heru-Santoso.pdf>
- De Souza, F. M., Kahol, P. K., & Gupta, R. K. (2021). Introduction to polyurethane chemistry. In R. K. Gupta & P. K. Kahol (Eds.), *ACS symposium series* (Vol. 1380, pp. 1–24). American Chemical Society. <https://doi.org/10.1021/bk-2021-1380.ch001>
- Faisal Wihardias, A. (2024). *Pengaruh fraksi volume dan matrik komposit forged fiberglass terhadap laju keausan dan suhu untuk aplikasi kampas rem* [Skripsi/Diploma, Politeknik Negeri Malang]. Perpustakaan Polinema.
- Gunawan, F. B. (n.d.). *Analisis kerusakan sistem suspensi depan pada kendaraan niaga Chevrolet Lova (studi kasus di armada taksi Koperasi Sopir Transportasi Solo tahun 2011)*.
- Jadhao, K. K. (2011). Experimental investigation and numerical analysis of composite leaf spring. *International Journal of Engineering Science and Technology*, 3(6).
- Khamid, A. (2011). *Rancang bangun alat uji bending dan hasil pengujian untuk bahan besi cor*.
- Kumar, M. S., & Vijayarangan, S. (2007). Analytical and experimental studies on fatigue life prediction of steel and composite multi-leaf spring for light passenger vehicles using life data analysis.
- Lacki, P., Derlatka, A., & Winowiecka, J. (2019). Analysis of the composite I-beam reinforced with PU foam with the addition of chopped glass fiber. *Composite Structures*, 218, 60–70. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2019.03.036>
- Lukman, L., Anggono, A. D., & Sarjito, S. (2018). Desain dan optimisasi sistem suspensi pegas daun pada kendaraan roda tiga menggunakan CATIA V5. *Turbo: Jurnal Program Studi Teknik Mesin*, 7(1). <https://doi.org/10.24127/trb.v7i1.665>
- Nararya, R. I., Witono, K., Yudiyanto, E., Hadi, S., & Asrori, A. (2025). Analisis kekuatan lentur pegas daun truk dan mobil hasil tempering. *VENUS*, 3(1). <https://doi.org/10.61132/venus.v3i1.717>
- Nutalapati, S. (2015). Design and analysis of leaf spring using composite material for light vehicles. *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*, 6(12). <http://iaeme.com/Home/issue/IJMET?Volume=6&Issue=12>

- Rajak, D. K., Pagar, D. D., Menezes, P. L., & Linul, E. (2019). Fiber-reinforced polymer composites: Manufacturing, properties, and applications. *Polymers*, 11(10), Article 1667. <https://doi.org/10.3390/polym11101667>
- Ramayati, N. D., & Kartini, W. (2023). Pengaruh penambahan serat fiberglass pada campuran beton terhadap kinerja beton. *Jurnal Teknik Sipil*, 8(2).
- Saputra, R., & Tyastomo, E. (2017). Perbandingan kekerasan dan struktur mikro pegas daun yang mengalami proses heat treatment. *Bina Teknika*, 12(2), 185–192. <https://doi.org/10.54378/bt.v12i2.72>
- Sasmito, A. (2018). Disain kekuatan sambungan hoop pillar dan floor bearer pada struktur rangka bus menggunakan SolidWorks. *Simetris: Jurnal Teknik Mesin, Elektro dan Ilmu Komputer*, 9(1), 657–670. <https://doi.org/10.24176/simet.v9i1.2023>
- Smith, W. C., & Dean, R. W. (2013). Structural characteristics of fused deposition modeling polycarbonate material. *Polymer Testing*, 32(8), 1306–1312. <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2013.07.014>
- Sofyan, A., Glusevic, J., Zulfikar, A. J., & Umroh, B. (2019). Analisis kekuatan struktur rangka mesin pengering bawang menggunakan perangkat lunak ANSYS APDL 15.0. *Journal of Mechanical Engineering Manufactures Materials and Energy*, 3(1), 20–27. <https://doi.org/10.31289/jmemme.v3i1.2417>
- Yang, Z., Zhao, B., Qin, S., Hu, Z., Jin, Z., & Wang, J. (2004). Study on the mechanical properties of hybrid reinforced rigid polyurethane composite foam. *Journal of Applied Polymer Science*, 92(3), 1493–1500. <https://doi.org/10.1002/app.20071>