

PENGARUH KOMPOSISI KATALIS DAN JUMLAH LAPISAN DENGAN PENGUAT SERAT KARBON FIBER DAN MATRIKS EPOXY TERHADAP KEKUATAN TARIK

Ajeng Wulansari¹, Muhammad Faiz Nazarrudin², Wasito Utomo³

^{1,2,3}Politeknik Penerbangan Surabaya Jl. Jemur Andayani 1 No 73 Surabaya 60236

Email: ajeng.wulansari@poltekbangsby.ac.id

Abstrak

Material komposit dibuat dengan mencampurkan dua atau lebih komponen yang memiliki sifat kimia dan fisik yang berbeda untuk menghasilkan material baru dengan kualitas yang unik. Salah satu pengisi yang paling sering digunakan untuk komposit dalam industri adalah serat karbon karena secara substansial lebih ringan dari logam dan sudah tersedia di pasaran.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui bagaimana komposisi katalis dan orientasi serat karbon mempengaruhi kekuatan tarik komposit. Epoxy berfungsi sebagai katalis dan serat karbon sebagai substansi. menggunakan teknik hand layup komposit. Resin epoksi berfungsi sebagai matriks untuk variabel terikat dalam item uji (sampel), dan 2 lapisan, 3 lapisan, dan 4 lapisan serat karbon berfungsi sebagai variabel bebas. Rasio resin epoksi terhadap katalis adalah 2:1 dan 3:1. Untuk mencapai hasil uji tarik, penelitian ini bertujuan untuk membandingkan komposisi campuran katalis dan resin epoksi. Standar ASTM D638-03 digunakan untuk melakukan uji tarik. Pengujian mesin tarik digunakan dalam pengujian ini.

Hasil uji tarik komposit serat karbon dengan komposisi katalis 2:1 menunjukkan bahwa nilai tegangan tarik minimum untuk serat dengan 2 lapisan adalah 58,45 N/mm² dan nilai tegangan tarik maksimum dihasilkan oleh jumlah lapisan yang banyak . Lapisan 4, yaitu 84,55 N/mm². Untuk komposit serat karbon dengan komposisi katalis 3:1, nilai tegangan tarik terendah dihasilkan pada serat nomor 2 (55,69 N/mm²) dan nilai tertinggi pada serat nomor 2 dihasilkan oleh serat karbon. Lapisan 4, yaitu 80 , 81 N/mm². Regangan tarik tertinggi terdapat pada varian katalis komposit 3:1 yang mengandung 4 lapis serat karbon yaitu sebesar 12,3%. Modulus elastisitas komposit terbesar terdapat pada variasi katalis 2:1 yaitu pada komposit dengan 4 lapis serat karbon fiber sebesar 7,46 (MPa). Untuk modulus elatisitas komposit terkecil terdapat pada variasi 3:1 yaitu pada komposit dengan 2 lapis serat karbon fiber sebesar 5,77 (MPa).

Kata Kunci: Komposit, Karbon fiber, Katalis, Epoxy, Uji tarik.

Abstract

Composite materials are made by mixing two or more components that have different chemical and physical properties to produce new materials with unique qualities. One of the most frequently used fillers for composites in industry is carbon fiber which is substantially lighter than and is readily available in the market.

The purpose of this study was to determine how the composition of the catalyst and the orientation of the carbon fiber affect the strength of the composite composite. Epoxy works as a catalyst and carbon fiber as a substance. using a composite hand layup technique. Epoxy resin worked as a matrix for the dependent variable on the test item (sample), and 2 layers, 3 layers, and 4 layers of carbon fiber worked as

independent variables. The ratio of the epoxy resin to the catalyst is 2:1 and 3:1. To achieve the tensile test results, this study aims to compare the ratio of the mixture of catalyst and epoxy resin. The ASTM D638-03 standard is used to perform the tensile test. Tensile testing machine used in this test.

The results of the tensile test for carbon fiber composites with a catalyst composition of 2:1 showed that the minimum tensile stress value for fiber with 2 layers was 58.45 N/mm² and the maximum tensile stress value produced by a large number of layers. Layer 4, which is 84.55 N/mm². For carbon fiber composites with a catalyst composition of 3:1, the lowest tensile stress value was produced at fiber number 2 (55.69 N/mm²) and the highest value was at fiber number 2 produced by carbon fiber. Layer 4, which is 80 , 81 N/mm². The highest tensile strain is found in the 3:1 composite catalyst variant which contains 4 layers of carbon fiber, which is 12.3%. The largest modulus of elasticity of the composite was found in the variation of the catalyst 2:1, namely in the 4-layer carbon fiber composite of 7.46 (MPa). For the smallest composite modulus of elasticity there is a variation of 3:1, namely the composite with 2 layers of carbon fiber of 5.77 (MPa).

Keywords: *Composite, Carbon fiber, Catalyst, Epoxy, Tensile test.*

PENDAHULUAN

Teknologi dan industri telah berkembang cukup pesat di dunia modern, tidak terkecuali disiplin ilmu material. seiring dengan meningkatnya permintaan bahan dalam dunia industri yang memiliki sifat mirip dengan logam. Beberapa orang terinspirasi untuk mengembangkan ilmu material, seperti komposit, untuk memanfaatkan material secara optimal. Komposit adalah perpaduan makroskopik dari dua atau lebih bahan dengan kualitas unik dari masing-masing komponennya.

Sektor industri selama ini didominasi oleh penggunaan material. Namun bahan-bahan ini gagal dalam aplikasi industri dalam hal beberapa fitur spesifik. Bahan non-logam sering memiliki penguat serat alami karena sifat logam, yang lebih berat dan lebih mahal. Namun, serat alami memiliki berbagai kekurangan, termasuk ukuran serat yang tidak merata dan ketergantungan usia yang kuat. Karena kekosongan dalam serat kecil dan gaya antarmolekul tinggi, kekuatan

tarik serat meningkat dengan menurunnya diameter serat.

Komposit memiliki keunggulan dari logam yaitu dari segi kekuatan, mudah di atur memiliki kekuatan lelah yang lebih baik, memiliki kekuatan yang tinggi dan lebih ringan serta tahan korosi (Pramono dan Sutisna, 2017). Salah satu material komposit yang saat ini banyak di gunakan adalah serat karbon (karbon fiber).

Berdasarkan permasalahan diatas dan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, sehingga analisis tugas akhir ini penulis mengangkat judul “ Pengaruh Komposisi Katalis dan Jumlah Lapsan Dengan Penguat Serat Karbon Fiber dan Matriks Epoxy Terhadap Kekuatan Tarik”.

Sehingga diharapkan nantinya bermanfaat sebagai pengetahuan mengenai pengaruh komposisi katalis dan jumlah lapisan serat terhadap sifat matrik komposit serat karbon fiber dan untuk mengetahui komposisi tepat yang memiliki kekuatan material terbaik.

METODE

Gambar 1. Desain Penelitian

Benda uji (spesimen) dibuat dengan variabel terikat yang digunakan adalah resin *epoxy* sebagai matriks, dan variabel bebas menggunakan 2 *layer*, 3 *layer*, dan 4 *layer* serat karbon fiber yang kemudian dijadikan bahan campuran terhadap resin *epoxy* dengan variasi komposisi katalis 2:1, dan 3:1.

Penelitian eksperimental, Prosedur yang digunakan dalam penelitian adalah mengumpulkan data awal sebagai bagian dari penyelidikan eksperimental. Investigasi eksperimental berusaha untuk menunjukkan dengan tepat masalah yang dihadapi serta membuat jadwal kerja yang akan diikuti.

Proses pembuatan komposit serat karbon menggunakan teknik hand lay-up adalah sebagai berikut:

1. Kumpulkan peralatan dan perlengkapan yang dibutuhkan untuk membuat komposit, termasuk kaca, gunting, serat karbon, katalis, resin epoksi, dan barang-barang lainnya.
2. Bersihkan beton kaca dan bersihkan.
3. Untuk mencegah sampel menempel pada beton, oleskan Release Agent (Lilin) secara merata di seluruh permukaan beton.
4. Katalis dan katalis ditambahkan ke dalam gelas ukur sesuai dengan komposisi komposit. Setelah itu, kocok selama 2-3 menit lagi untuk memastikan semuanya terdistribusi secara merata.
5. Campuran resin dan katalis berukuran setengah gelas yang telah dicampur. Letakkan serat karbon fiber diatas lapisan pertama dari resin, lalu tekan seratnya supaya tidak ruang kosong (*void*) yang tersimpan.
6. Buat serat karbon di atas lapisan pertama resin, lalu tekan serat agar tidak ada ruang kosong (*void*) yang tersimpan.
7. Tuangkan sisa campuran resin dan katalis di atas serat sambil dihaluskan.
8. Tunggu hingga komposit mengering.
9. Setelah komposit benar-benar kering, komposit komposit beton selesai dibuat.

10. Komposit yang telah dikeluarkan dari beton kemudian dibentuk sesuai dengan ukuran standar ASTM D638-03.

11. Komposit siap untuk uji tarik

Apabila proses selesai dilakukan pencetakan spesimen 6 sampel uji tarik, dalam tugas akhir ini massa dari matriks komposit dibuat tetap pada 100 ml dan variabel berubah yaitu perbandingan resin *epoxy* dan katalis 2:1, dan 3:1 dari jumlah resin, dan divariasikan dengan jumlah lapisan serat 2, 3, dan 4.

Waktu pembuatan sampel adalah 3x24 jam dan waktu pengeringan untuk setiap spesimen adalah 1x24 jam karena untuk memastikan sampel tersebut telah kering dan mengeras. Sehingga bisa melakukan pengujian.

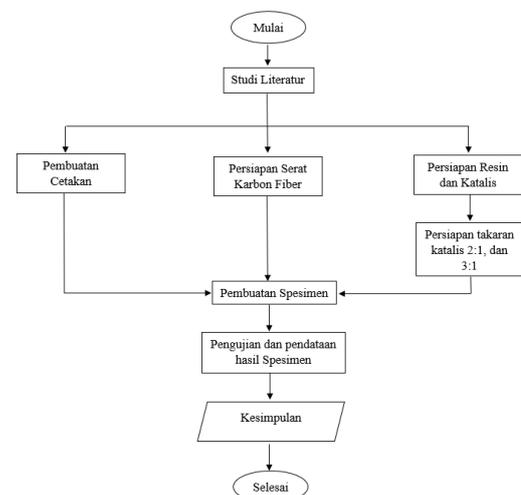
Maka dari itu dapat dihitung besaran katalis:

$$\text{a. } 2:1 = 66,6 \text{ ml (resin)} + 33,3 \text{ ml (katalis)} \\ = 100 \text{ ml}$$

$$\text{b. } 3:1 = 75 \text{ ml (resin)} + 25 \text{ ml (katalis)} \\ = 100 \text{ ml}$$

Dari hasil ujian yang telah dilakukan kepada spesimen, dari setiap komposit di ambil nilai *average* dari kuat dan regangan tarik dengan cara perhitungan yang dapat dilihat di bawah:

$$A = \text{Luas spesimen pada matrik (mm}^2\text{)} \\ = L \times T \text{ Kekuatan tarik}$$



$$= \frac{\text{beban tarik (N/mm}^2\text{)}}{A \text{ (mm}^2\text{)}}$$

Dari pertambahan pada panjang yang didapat, maka regangan didapat dengan cara sebagai berikut:

ΔL = Perubahan panjang (mm)

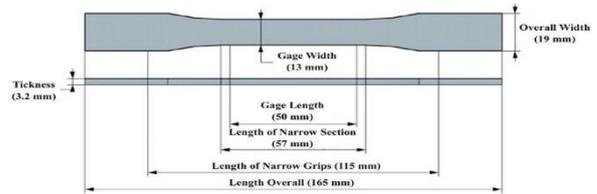
L_0 = panjang awal (mm)



Gambar 3. Spesimen Uji Tarik

$$\text{Regangan} = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100$$

Untuk cetakan spesimen terbuat dari kaca yang di cetak dengan standar ASTM D 638-03 untuk uji tarik komposit.



Gambar 2. Bentuk Uji Tarik Standar ASTM D638-03

HASIL DAN PEMBAHASAN

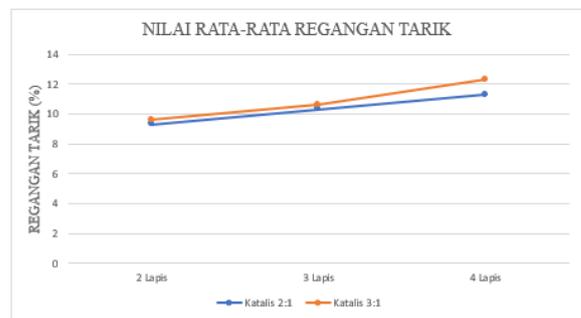
Metode Chand lay-upc digunakan dalam penelitian ini untuk pembuatan material komposit, dengan modifikasi jenis serat karbon dan jumlah lapisan. Menurut ASTM D 638-03 untuk pengujian tarik, komposit dicetak. Perhatikan gambar 3.

Pengujian Tarik ini menggunakan standart ASTM D638-03 untuk melihat nilai kuat tarik pada tiap spesimen. Pengujian ini dilaksanakan dengan mengambil 3 sampel

Variasi Katalis 2:1 dan 2 Lapis									
Sampel	Lo (mm)	Lebar (mm)	Tebal (mm)	Luas (mm ²)	ΔL (mm)	Beban Normal (N)	Tegangan Tarik (N/mm ²)	Regangan Tarik (%)	Modulus Elastisitas (MPa)
A	50	16,34	5,11	83,49	5	4900	58,68	10	5,86
B	50	16,23	5,17	83,90	5	4870	58,31	10	5,83
C	50	16,30	5,15	83,94	4	4900	58,37	8	7,29

Variasi Katalis 2:1 dan 3 Lapis									
Sampel	Lo (mm)	Lebar (mm)	Tebal (mm)	Luas (mm ²)	ΔL (mm)	Beban Normal (N)	Tegangan Tarik (N/mm ²)	Regangan Tarik (%)	Modulus Elastisitas (MPa)
A	50	16,26	5,14	83,37	5	5500	65,81	10	6,58
B	50	16,22	5,15	83,33	5,5	5500	65,84	11	5,98
C	50	16,24	5,14	83,47	5	5500	65,89	10	6,58

Variasi Katalis 2:1 dan 4 Lapis									
Sampel	Lo (mm)	Lebar (mm)	Tebal (mm)	Luas (mm ²)	ΔL (mm)	Beban Normal (N)	Tegangan Tarik (N/mm ²)	Regangan Tarik (%)	Modulus Elastisitas (MPa)
A	50	16,32	5,15	84,04	5,5	7100	84,97	11	7,72
B	50	16,30	5,19	84,59	6	7200	85,61	12	7,13
C	50	16,28	5,25	83,47	5,5	7100	83,07	11	7,55



pada setiap variabel, dan hasil pengujian diambil rata-rata spesimen. Nilai pengujian spesimen benda uji komposit dengan variasi komposisi katalis dan jumlah lapisan serat karbon fiber dengan matriks resin epoxy.

Tabel 1. Hasil Uji Tarik Komposit (2:1 dan 2 Lapis)

Tabel 2. Hasil Uji Tarik Komposit (2:1 dan 3 Lapis)

Tabel 3. Hasil Uji Tarik Komposit (2:1 dan 4 Lapis)

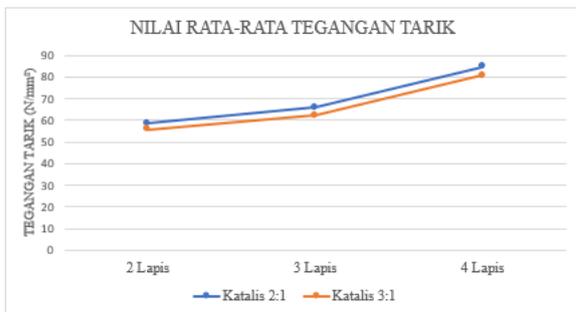
Tabel 4. Hasil Uji Tarik Komposit (3:1 dan 2 Lapis)

Tabel 5. Hasil Uji Tarik Komposit (3:1 dan 3 Lapis)

Tabel 6. Hasil Uji Tarik Komposit (3:1 dan 4 Lapis)
Setelah dilakukan proses *hand lay-up*, sampel yang didapat dibuat sesuai dengan ukuran standard ASTM D638-03 uji tarik, diperoleh hasil tegangan tarik sebagaimana terdapat di gambar 4.

Gambar 4. Nilai Rata-rata Tegangan Tarik

Berdasarkan gambar 4. diatas didapatkan hasil bahwa tegangan tarik komposit serat karbon dengan komposisi katalis 2:1 mengalami kenaikan pada setiap lapisan. Ditinjau dari hasil grafik diatas nilai dari kekuatan serat karbon pada variasi 2 lapis sampai 4 lapis itu mengalami kenaikan



tegangan tarik, dari yang 2 lapis mendapatkan nilai tegangan tarik 58,45 (N/mm²) sampai dengan 4 lapis mendapatkan nilai tegangan tarik 84,55 (N/mm²). Begitupun dengan komposit serat karbon dengan komposisi katalis 3:1 mengalami kenaikan dari setiap lapisan. Ditinjau dari hasil grafik diatas nilai dari kekuatan serat karbon pada variasi 2 lapis sampai 4 lapis itu mengalami kenaikan tegangan tarik, dari yang 2 lapis mendapatkan nilai tegangan tarik 55,69 (N/mm²) sampai dengan 4 lapis mendapatkan nilai tegangan tarik 80,81 (N/mm²). Kekuatan tarik komposit bertambah seiring dengan banyaknya variasi lapisan. Hal ini dimaksudkan agar kekuatan matriks dapat bertambah seiring dengan bertambahnya jumlah lapisan dan semakin banyak serat yang melekat padanya.



Variasi Katalis 3:1 dan 3 Lapis									
Sampel	Lo (mm)	Lebar (mm)	Tebal (mm)	Luas (mm ²)	ΔL (mm)	Beban Normal (N)	Tegangan Tarik (N/mm ²)	Regangan Tarik (%)	Modulus Elastisitas (MPa)
A	50	16,31	5,13	83,67	5,5	5200	62,14	11	5,64
B	50	16,24	5,16	83,79	5,5	5210	62,26	11	5,66
C	50	16,30	5,17	83,78	5	5210	62,18	10	6,21

Variasi Katalis 3:1 dan 4 Lapis									
Sampel	Lo (mm)	Lebar (mm)	Tebal (mm)	Luas (mm ²)	ΔL (mm)	Beban Normal (N)	Tegangan Tarik (N/mm ²)	Regangan Tarik (%)	Modulus Elastisitas (MPa)
A	50	16,30	5,23	85,24	6	6900	80,94	12	6,74
B	50	16,34	5,25	85,78	6	6900	80,43	12	6,70
C	50	16,36	5,21	85,23	5,5	6910	81,07	13	6,23

Setelah dilakukan proses *hand lay-up*, sampel yang didapat dibuat sesuai dengan ukuran standart ASTM uji tarik, diperoleh hasil regangan tarik sebagaimana dapat dilihat pada gambar 5.

Gambar 5. Nilai Rata-rata Regangan Tarik

Berdasarkan gambar 5 diatas, didapatkan hasil bahwa dengan variasi persentase komposit serat karbon fiber dengan komposisi katalis 2:1, regangan tarik yang tertinggi ada pada variasi persentase serat karbon fiber 4 lapis yaitu 11.3% dan regangan yang terendah ada pada variasi persentase serat karbon fiber 2 lapis sebesar 9.3%. pada komposit serat karbon fiber dengan komposisi katalis 3:1, didapatkan hasil regangan tarik yang tertinggi ada pada variasi persentase serat karbon fiber 4 lapis yaitu 12.3% dan regangan yang terendah ada pada variasi persentase serat karbon fiber 2 lapis sebesar 9.6%.

Gambar 6. Komposit Karbon Fiber Setelah Uji Tarik,
(A) 2:1, (B) 3:1

Dari gambar diatas dapat dilihat bahwa setelah komposit diuji tarik, ada yang mengalami terjadinya putus dan ada yang tidak sampai mengalami putus atau seratnya masih terikat. Pada saat mengalami putus tidak semuanya tepat terjadi ditengah, ada yang putus dibagian atas dan ada yang putus dibagian bawah.

PENUTUP

Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari pengujian data hasil uji tarik terhadap pengaruh komposisi katalis dan jumlah lapisan serat karbon terhadap kekuatan tarik komposit dengan proses hand lay-up:

1. Nilai kekuatan tarik meningkat dengan jumlah lapisan. Variasi katalis 2:1 dengan empat lapisan serat karbon memiliki temuan kekuatan tarik tertinggi, berukuran 84,55 (N/mm²). Varian katalis komposit 3:1 dengan empat lapisan serat karbon menunjukkan regangan tarik tertinggi, yaitu 12,3%.
2. Modulus elastisitas komposit terbesar terdapat pada variasi katalis 2:1 yaitu pada komposit dengan 4 lapis serat karbon fiber sebesar 7,46 (MPa). Untuk modulus elatisitas komposit terkecil terdapat pada variasi 3:1 yaitu pada komposit dengan 2 lapis serat karbon fiber sebesar 5,77 (MPa).
3. Dalam metode *hand lay-up* pendistribusian matrik (resin) tidak merata dengan sempurna karena pada proses pembuatannya dilakukan secara manual. Selain itu, masih terdapat gelembung-gelembung udara yang terperangkap di antara resin dan serat, yang menyebabkan distribusi tulangan (resin) dan rongga pada lapisan serat tidak merata.

Saran

1. Perlu dilakukan eksperimen lain dengan serat yang berbeda. Dan perlu dilakukan metode yang berbeda untuk mengetahui

tingkat kekuatan material komposit. Untuk memastikan bahwa benda uji material komposit memiliki tingkat ketangguhan tertinggi, pembuatan komposit harus dipikirkan dengan matang dan dilakukan sesuai dengan prosedur.

2. Perlu juga dilakukan dengan hati-hati saat proses pembuatan spesimen komposit, dan hindari terjadinya kebocoran saat proses pembuatan spesimen supaya tidak ada rongga udara yang mengakibatkan terjadinya *void*, karena dapat mempengaruhi kekuatan spesimen komposit. Pembuatan komposit sebaiknya memperhatikan jumlah resin yang digunakan, agar resin bisa merata dengan baik, dan resin tidak mengalami kekurangan atau terbuang begitu banyak. Dalam melakukan pembuatan spesimen komposit hendaknya memakai alat maupun pakaian *safety*, karena bahan komposit dapat menimbulkan iritasi pada kulit saat terjadinya kontak langsung dengan komposit.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Alamsyah, A., Hidayat, T., & Iskandar, A. N. (2020). Kekuatan tarik komposit fiberglass-poliester dipengaruhi oleh perbandingan resin dan katalis untuk: Bahanc Pembuatan Kapal. Zona Laut: *Jurnal Inovasi Sains dan Teknologi Kelautan*, 26-32.
- [2] ASTM D638, Standar Test Metod for Tensil Properties of Plastics. PA : American Society for Testing and Materials.
- [3] Azissyukhron, M., & Hidayat, S. (2018, October). Hasil kekuatan material komposit sandwich dari metode hand lay-up dan metode kantong vakum. In *Prosiding Industrial Research Workshop and National Seminar* (Vol. 9, pp. 216-220).
- [4] Husman*, Z. K. (2020). PENGARUH KOMPOSIT SERAT KARBON TERHADAP SIFAT MEKANIK. *NCIET Vol.1 (2020), 1*, A.64-A.76.

- [5] Pedoman Tugas Akhir. (2018). Surabaya, Jawa Timur. Politeknik Penerbangan Surabaya.
- [6] Pramono, G. E., & Sutisna, S. P. (2017). Perbandingan Karakter Serat Karbon Antara Metode Manual Lay-Up dan Vacuum Infusion Dengan Penggunaan Fraksi Berat Serat 60%. *AME (Aplikasi Mekanik dan Energi): Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 3(1), 1-6.
- [7] Rifki, F. F. (2018). *Analisis Sifat Mekanik dan Fisik Komposit Partikulat untuk Aplikasi Bahan Bangunan Setelah Penambahan Bahan Pengikat Termoplastik PP dan LDPE* (Doctoral dissertation, Institut Teknologi Sepuluh Nopember).
- [8] Rosyidin, A. (2021). *PENGARUH JUMLAH LAPISAN DENGAN PENGUAT SERAT KARBON FIBER DAN RESIN 1011 DENGAN PROSES VACUUM INFUSION TERHADAP KEKUATAN TARIK DAN IMPACT* (Doctoral dissertation, Universitas Muhammadiyah Malang).
- [9] Sari, E. D. R., Respati, S. B., & Nugroho, A. (2020). ANALISIS KEKUATAN TARIK DAN BENDING KOMPOSIT SERAT KARBON-RESIN DENGAN VARIASI WAKTU CURING DAN SUHU PENAHANAN 80°C. *Momentum*, 16(2).
- [10] Siregar, I. C. R., Yudo, H., & Kiryanto, K. (2017). Analisa Kekuatan Tarik dan Tekuk pada Sambungan Pipa Baja dengan Menggunakan Kanpe Clear NF sebagai Pengganti Las. *Jurnal Teknik Perkapalan*, 5(4).
- [11] Thahir, F. A. (2021). *Analisa Kekuatan Atap Terhadap Pengujian Mekanik Komposit Diperkuat Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit* (Doctoral dissertation).
- [12] Umam, A. F., & IRFAI, M. A. (2019). Studi Fraksi Volume Serat terhadap Kekuatan Tarik Komposit Polyester berpenguat Serat Karbon. *Jurnal Teknik Mesin*, 7(1).
- [13] Rahbini, R., Soemardi, H. B., Setiawan, A., & Hariyanto, M. N. (2018, October). PENGARUH PROSENTASE CAMPURAN RESIN DAN KATALIS DENGAN SERAT PELEPAH PISANG KEPOK TERHADAP KEKUATAN TARIK.
- [14] Widiyono, E., Mahdum, M. Y., Rahman, H., & Noor, D. Z. (2021). KOMPOSIT CARBON FIBER SANDWICH SEBAGAI BAHAN ALTERNATIF PENGGANTI ALUMINIUM ALLOY 6063 PADA KNUCKLE PLATE MOBIL NOGOGENI 5 EVO. *Jurnal Nasional Aplikasi Mekatronika, Otomasi dan Robot Industri (AMORI)*, 2(1).
- [15] B. A. Abdi, B. D. Cahyo and L. S. Moonlight, "PENGARUH SUDUT TEKUK (CANT) WINGLET MENGGUNAKAN AIRFOIL NACA 2215 PADA AERODINAMIKA PESAWAT TERBANG," in Prosiding SNITP (Seminar Nasional Inovasi Teknologi Penerbangan), Surabaya, 2021.
- [16] A. M. Iswanto, Suseno and L. S. Moonlight, "PEMBUATAN SIMULATOR FUEL SYSTEM BOEING 737-200 DENGAN VISUALISASI ALIRAN FUEL DI HANGGAR POLITEKNIK PENERBANGAN SURABAYA," in Prosiding SNITP, Surabaya, 2021.