

PERANCANGAN FILTER AIR BERBASIS MATERIAL KOMPOSIT GFRP DENGAN FRAKSI VOLUME SERAT 40%

Nur Sepliana Harfika ^{a,1}, Muhammad Fathur Rozi ^{a,2}, Ade Wahyu Yusariarta Putra Parmita ^{a,3*}, Gusti Umindya Nur Tajalla ^{a,4}

^a Teknik Material dan Metalurgi, Institut Teknologi Kalimantan, Jl. Soekarno Hatta KM 15 Karang Joang, Balikpapan 76125, Indonesia

¹06221043@student.itk.ac.id, ²06221024@student.itk.ac.id, ³adewahyu27@lecturer.itk.ac.id,

⁴gusti.unt@lecturer.itk.ac.id

*Ade Wahyu Yusariarta Putra Parmita

ARTICLE INFO

Article history

Received: 2025-05-22

Revised: 2025-06-17

Accepted: 2025-06-27

Keywords

Komposit GFRP

sifat mekanik

safety factor

filter tank

Finite Element Analysis

serat kaca

ABSTRACT

Komposit yang terbuat dari serat, khususnya *Glass Fiber Reinforced Polymer* (GFRP), sudah banyak digunakan dalam berbagai aplikasi teknik dan manufaktur karena sifat mekaniknya baik, bobotnya yang ringan, dan tahan terhadap korosi. GFRP terdiri dari serat kaca yang digunakan sebagai penguat dan resin polimer sebagai matriks, menawarkan kekuatan tarik yang tinggi dengan biaya yang relatif lebih murah dibandingkan jenis *Fiber Reinforced Polymer* (FRP) yang lain. Salah satu pengaplikasiannya adalah pada pembuatan *filter tank* FRP 1054, yang digunakan dalam sistem penyaringan air dengan kapasitas maksimal 1,5 m³/jam. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis sifat mekanik komposit GFRP pada fraksi volume serat 40% dan orientasi serat 0°/90° (biaxial), serta untuk mengetahui *safety factor* pada material komposit ini melalui simulasi *Finite Element Analysis* (FEA). Hasil simulasi ini akan memberikan informasi tentang kekuatan tarik maksimum dan potensi kegagalan material GFRP saat digunakan sebagai komponen *filter tank*. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan pengetahuan mengenai penggunaan GFRP dengan e-glass dan *polyester* sebagai matriks dalam aplikasi *structural filter tank*, serta memastikan keamanan dan efisiensi desain komponen produk.

This is an open-access article under the [CC BY-NC 4.0](#) license.



1. INTRODUCTION

Komposit berbasis serat telah menjadi inovasi penting dalam industri teknik dan manufaktur (Musliman & Damayanti, 2023), termasuk *Fiber Reinforced Polymer* (FRP). Salah satu jenis FRP yang banyak digunakan adalah *Glass Fiber Reinforced Polymer*. GFRP merupakan komposit yang menggabungkan serat kaca sebagai penguat dan resin polimer sebagai matriks (Widodo, 2022). Kombinasi ini memberikan sifat unggul seperti ketahanan

korosi, fleksibilitas, dan kemampuan membentuk komponen kompleks serta harga yang relatif lebih murah (Pratama, 2024). Selain itu, FRP mempunyai bobot yang ringan memudahkan instalasi dan perawatan, sementara fleksibilitas memungkinkan pembuatan komponen dengan bentuk kompleks seperti *filter tank* FRP.

Filter tank FRP 1054 merupakan salah satu produk yang memanfaatkan keunggulan material GFRP. *Filter Tank* FRP 1054 terbuat dari polietilena pada bagian dalam dan komposit epoksi berpenguat serat gelas pada bagian luarnya. Filter ini digunakan dalam sistem pengolahan air. Tangki ini mendukung kapasitas laju air hingga 1,5 m³/jam dan dilengkapi dengan kran 3-way valve untuk pengaturan filter, backwash, dan fast rinse. Mempunyai *code* 1054 yang berarti diameter 10 inci, dan tinggi 54 inci ideal untuk berbagai kebutuhan filtrasi (PT. Deltapuro Indonesia, 2017). *Filter tank* FRP 1054 belum banyak diteliti pembuatannya terutama menggunakan bahan polimer polyester sehingga pada penelitian ini mencoba untuk membuat material komposit untuk pembuatan *filter tank* dengan polimer *polyester* dengan beberapa parameter yang harus disesuaikan yaitu fraksi volume serat dan arah seratnya.

Berdasarkan penelitian dalam membuat produk komposit memerlukan beberapa parameter yang harus diperhatikan yaitu, fraksi volume serat, dan orientasi seratnya. Dimana, menurut penelitian ikhsan (2023), pembuatan komposit dengan menggunakan fraksi volume serat 40% dapat menghasilkan kekuatan tarik sebesar 198.99 Mpa dan paling bagus di antara fraksi volume serat 35% dan 30%, sedangkan menurut penelitian Widodo (2023), orientasi sudut paling bagus untuk digunakan yaitu 0 dan 0,90,0 dengan hasil kekuatan tarik sebesar 67,47 Mpa dan kekuatan bending sebesar 609,17 MPa.

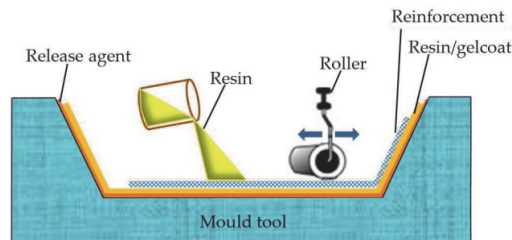
Berdasarkan penelitian terdahulu, maka dalam penelitian ini akan dilakukan pembuatan material komposit sebagai bahan dasar dalam pembuatan *filter tank* FRP 1054 yang menggunakan fraksi volume fiber 40% dengan orientasi serat 0,90 (biaxial) dengan rasio perbandingan resin dan katalis adalah 1:1 dengan bahan utama yaitu resin polyester dan *fiberglass*. Proses pembuatan komposit GFRP dilakukan menggunakan metode *hand lay-up* dengan pengujian meliputi *tensile test* untuk mengukur kekuatan tarik komposit, serta penggunaan metode *Finite Element Analysis* (FEA) untuk menentukan *factor of safety* material, perancangan desain produk *filter tank* FRP 1054, dan membandingkan *factor of safety filter tank* FRP 1054 dengan hasil simulasi. Perbandingan ini bertujuan untuk mengetahui tingkat keamanan material pada masing-masing desain.

2. METHODS

Penelitian ini dilakukan dengan beberapa metode, diantaranya: pembuatan material komposit *Glass Fiber Reinforced Polymer* (GFRP) menggunakan *glass fiber type woven roving* dengan polimer *polyester* sebagai matriksnya dan dilakukan pengujian tarik, simulasi uji tarik menggunakan dengan metode *Finite Element Analysis* (FEA) dan simulasi *filter tank* FRP 1054. Pembuatan komposit ini menggunakan metode *hand lay up*. Metode *hand lay up* merupakan teknik cetak kontak terbuka untuk membuat bahan komposit. Resin diresapkan secara manual ke dalam serat (Ngo, 2020). Selanjutnya dilakukan *tensile test* untuk mengetahui kekuatan tarik maksimum komposit GFRP, kemudian dilakukan simulasi *tensile test* dan perancangan material FRP 1054 untuk menentukan *factor of safety* material komposit.

2.1 Metode *Wet Hand Lay-Up*

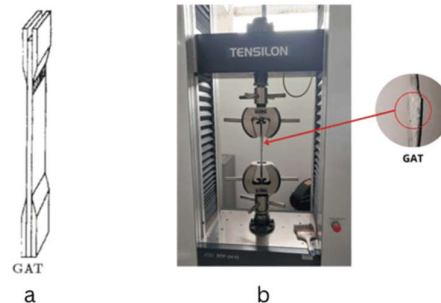
Hand lay-up adalah teknik cetak kontak terbuka untuk membuat bahan komposit. Resin diresapkan secara manual ke dalam serat. Dalam teknik ini, terlebih dahulu membuat cetakan sesuai dengan ukuran dan bentuk yang diinginkan, kemudian serat kering diletakkan pada cetakan, dan resin cair dituangkan serta disebar pada lapisan serat (Ngo, 2020). Metode ini merupakan metode laminasi secara manual, paling murah dan mudah, dengan cara ditekan, menggunakan roll untuk menghindari material dari void (Ardy et al., 2019).



Gambar 1. Metode *Wet Hand Lay-up*
Source: (Ngo, 2020)

2.2 Tensile Test

Uji tarik merupakan salah satu pengujian *destructive test* (merusak) yang memberikan informasi tentang *tensile strength*, *yield strength* dan *maksimum load* (Saba et al., 2019) pada material komposit. Uji tarik digunakan untuk mengetahui besar pembebanan material komposit yang diterima sebelum mengalami deformasi, hasil uji tarik biasanya disajikan dalam bentuk kurva *stress-strain* untuk mengetahui sifat mekanik pada komposit (Hosford, 2012).

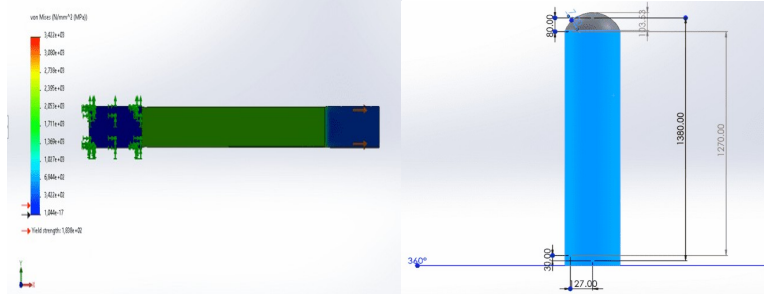


Gambar 2. (a) Jenis patahan, (b) Pengujian Tarik Komposit GFRP
Source: (Dokumentasi Hasil Praktikum, 2024)

2.3 Simulasi *Finite Element Analysis (FEA)*

Simulasi pemodelan merupakan sebuah metode pengujian menggunakan perangkat lunak untuk melihat pengujian secara teoritis dengan ilustrasi terkomputasi. Simulasi pemodelan seperti ini umumnya digunakan seorang material desainer untuk meninjau hasil desain permodelan materialnya apakah telah sesuai dengan standar performa yang

diinginkan, khususnya mengenai *safety factor* (Rasyid, 2019). berbagai macam variabel seperti tegangan tarik, tegangan tekan, pembebanan, dan parameter lainnya dapat disimulasikan menggunakan *software* untuk mengetahui respon material (Sandi et al., 2019).



Gambar 3. Simulasi metode *Finite Element Analysis* (FEA) (a) Simulasi Uji tarik, (b) Simulasi pembuatan *filter tank* FRP 1054
Source: (Dokumentasi Hasil Simulasi, 2024)

$$V_{f \text{ critical}} = \frac{\sigma_m - \sigma_m}{\sigma_f - \sigma_m} \quad (1)$$

$$\sigma_c = \sigma_f V_f \eta_0 + \sigma_m (1 - V_f) \quad (2)$$

$$E = \eta_0 E_f V_f + E_m V_m \quad (3)$$

3. RESULTS AND DISCUSSION

Pada proses penelitian terlebih dahulu menghitung mikromekanik komposit seperti pada tabel 1 dan perhitungannya menggunakan menggunakan persamaan 1, 2 dan 3 :

Tabel 1. Perhitungan mikromekanik GFRP

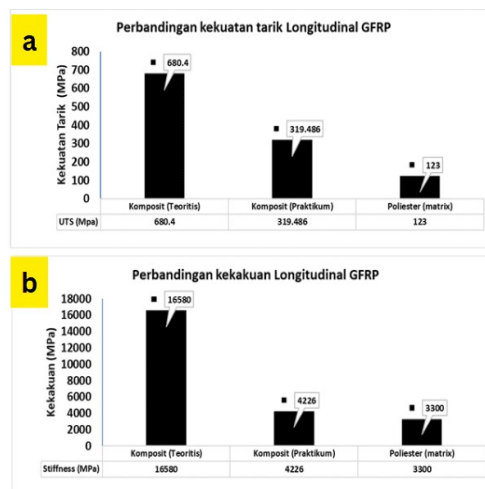
Mikromekanik	Nilai (Mpa)
<i>Stiffness</i>	16580
Kekuatan Tarik	680.4

Source: Hasil Perhitungan, 2024

3.1 Hasil Uji Tarik (*Tensile Test*)

Hasil simulasi uji tarik ditunjukkan pada grafik gambar 4, Pada grafik tersebut diperoleh kekuatan tarik maksimum (UTS) adalah 319.486 Mpa, regangan 9.20%, modulus elastis 3535.4 Mpa, pembebanan maksimum 49839.7803 N dan yield strength 183.8 Mpa. Kemudian dilakukan perbandingan nilai kekuatan tarik dan kekakuan pada gambar 5. Didapatkan hasil

perbandingan kekuatan tarik dan *stiffness* secara teoritis, praktikum dan *polyester* pada gambar 5. Terdapat perbedaan yang cukup signifikan antara hasil praktikum dengan perhitungan mikromekanik. Hal ini disebabkan beberapa faktor seperti hilangnya serat dan juga cacat antar muka dan mikromekanik pada komposit pada saat proses manufaktur, serat gelas yang digunakan memiliki beberapa bagian yang terurai, selain itu dikarenakan pada perhitungan secara teoritis material komposit dianggap sempurna sehingga didapatkan hasilnya yang sangat berbeda dengan hasil praktikum. Dibuktikan dengan perhitungan void dengan menggunakan persamaan 4 didapatkan void pada hasil praktikum sekitar 7.06 %. Void yang terbentuk di komposit umumnya disebabkan oleh beberapa faktor, seperti penggunaan resin yang memiliki viskositas tinggi (kental), tidak meratanya distribusi resin, adanya zat volatil, penekanan saat manufaktur yang tidak merata, dan lain-lain (Guo et al., 2009).

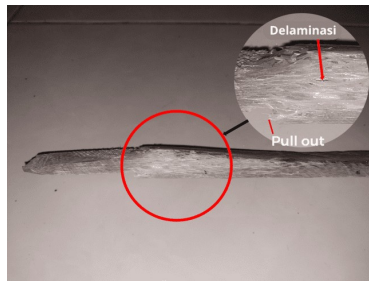


Gambar 5. Perbandingan sifat mekanik
(a) Kekuatan Tarik, (b) Kekakuan
Source: (Dokumentasi Hasil Simulasi, 2024)

Perhitungan persentase void:

$$\%void = 100 \left(\frac{pc\ Teori - pc\ praktikum}{pc\ teori} \right) \quad (4)$$

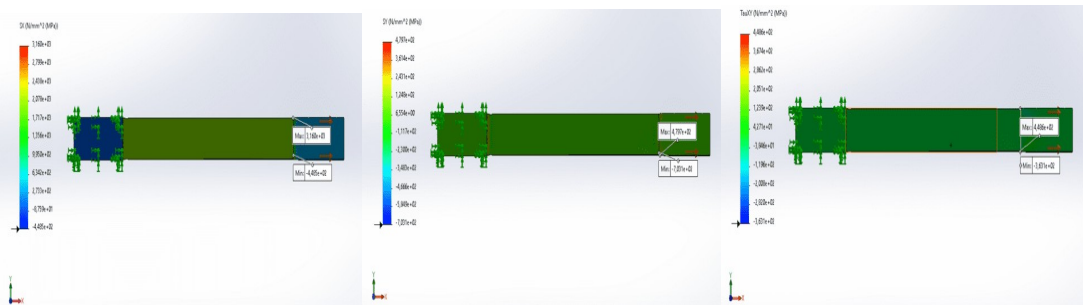
Setelah dilakukan uji tarik pada spesimen komposit, didapatkan hasil seperti yang ditunjukkan pada gambar 6.



Gambar 6. Bentuk patahan setelah uji tarik
Source: (Dokumentasi Hasil Praktikum, 2024)

Pada gambar 6 dapat dilihat bahwa terjadi pemisahan lapisan, hal ini biasa disebut dengan delaminasi. Delaminasi merupakan pemisahan dua lapisan yang berdekatan pada komposit laminat (Bagaskoro et al., 2020). Delaminasi terjadi karena beberapa faktor, diantaranya beban siklik yang berulang, benturan (impact) dan ikatan yang lemah antara serat dan matriksnya (Firmansyah et al., 2021). Selain itu material tersebut juga mengalami *pull out* dikarenakan matriks kurang kuat dalam mengikat seratnya sehingga serat dapat terlepas dari matriksnya (Rahmatulloh & Irfai, 2020). Fiber *pull out* terjadi ketika serat dalam komposit terlepas dari matriksnya selama proses kegagalan material. Ini biasanya disebabkan oleh ikatan yang tidak cukup kuat antara serat dan matriks saat material menghadapi beban tarik atau geser yang tinggi (Rachmanto, 2019).

3.2 Simulasi Uji Tarik



Gambar 7. (a) Stress normal di sumbu x, (b) Stress normal di sumbu y,
(c) Gambar 4.12 torsi xy (τ_{xy})

Source: (Dokumentasi Hasil Simulasi, 2024)

Berdasarkan simulasi yang telah dilakukan, didapatkan stress normal di sumbu x yaitu 3160 Mpa, stress normal di sumbu y = 479,7 Mpa dan torsi xy (τ_{xy}) = 448,6 Mpa. Untuk membandingkan nilai *factor of safety* pada spesimen uji tarik dengan *factor of safety* perhitungan dapat dilihat dilakukan perhitungan *factor of safety* pada kondisi *tresca* dan pada kondisi *von mises* sebagai berikut dan hasil perbandingan dapat dilihat pada tabel 2.

Perhitungan σ_{avg}

$$\sigma_{avg} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} = \frac{3160 + 479.7}{2} = 1819,85 \text{ MPa}$$

Perhitungan tegangan geser maksimum (τ_m)

$$\tau_m = R = \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2}$$

$$\tau_m = \sqrt{\left(\frac{3169 - 479.7}{2}\right)^2 + 448.6^2}$$

$$\tau_m = 1417,5 \text{ MPa}$$

Principal Stress Maximum (σ_a) dan minimum (σ_b)

$$\sigma_a = \sigma_{avg} + R = 1819,85 \text{ MPa} + 1417,5 \text{ MPa} = 3237,3 \text{ MPa}$$

$$\sigma_b = \sigma_{avg} - R = 1819,85 \text{ MPa} - 1417,5 \text{ MPa} = 402,3 \text{ MPa}$$

Maximum Shear Stress Criterion (Tresca)

$$\tau_y = \frac{\sigma_y}{2} = \frac{183,8 \text{ MPa}}{2} = 91,9 \text{ MPa}$$

$$FS = \frac{\tau_y}{\tau_m} = \frac{91,9 \text{ MPa}}{1417,5 \text{ MPa}} = 0,064 \text{ (tidak aman)}$$

Maximum Distortion Energy Criterion (Von Mises)

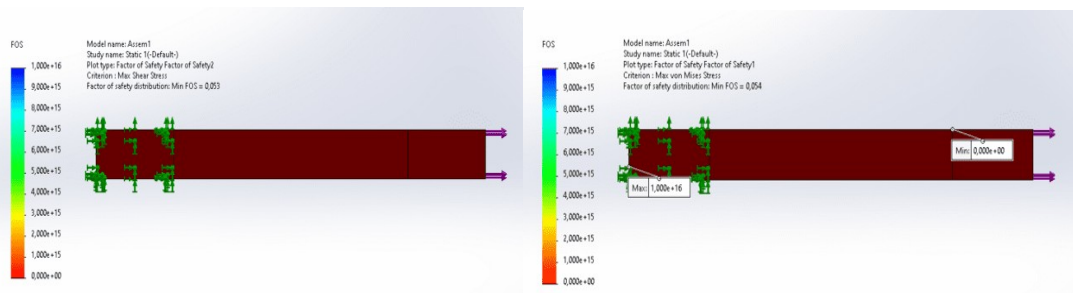
$$\sigma_a^2 + \sigma_b^2 - (\sigma_a)(\sigma_b) = \left(\frac{\sigma_y}{FS}\right)^2$$

$$(3237,3)^2 + (402,3)^2 - (3237,3)(402,3) = \left(\frac{183,8}{FS}\right)^2$$

$$9337648 = \frac{33782,4}{FS^2}$$

$$FS^2 = 0,003617$$

$$FS = 0,060 \text{ (tidak aman)}$$



Gambar 7. (a) FoS Tresca , (b) FoS von mises

Source: (Dokumentasi Hasil Simulasi, 2024)

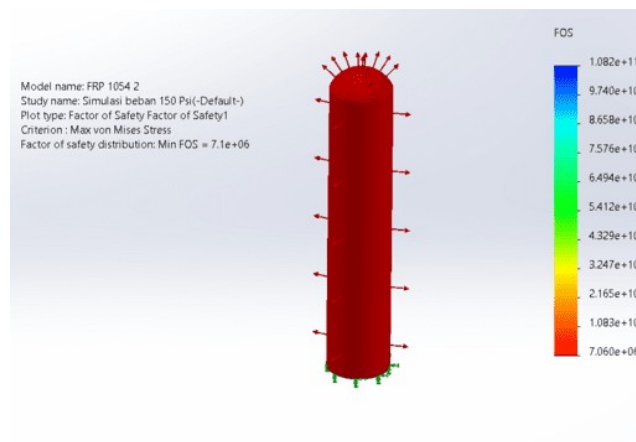
Tabel 2. Perbandingan FoS hasil perhitungan dengan hasil simulasi

FoS	Hasil perhitungan	Hasil simulasi
Von Mises	0,060	0.054
Tresca	0.064	0.053

Source: Hasil Perhitungan, 2024

Berdasarkan tabel diatas dapat disimpulkan bahwa spesimen uji tarik dianggap tidak aman berdasarkan kriteria *factor of safety* material, dimana semakin tinggi angka FoS, semakin aman produk atau struktur tersebut. FoS sebesar 1 menunjukkan bahwa struktur atau komponen akan segera gagal saat beban desain tercapai dan tidak akan mampu menahan beban tambahan apa pun. Struktur atau komponen dengan FoS kurang dari satu tidak dapat diterima. Sederhananya, struktur atau perangkat harus mampu menahan beban lebih berat daripada yang seharusnya saat digunakan dalam keadaan normal agar lebih aman. FoS menunjukkan faktor desain tersebut aman atau tidak untuk digunakan (Safety Culture, 2024). Berdasarkan hasil simulasi, *factor of safety*nya sangat kecil yaitu 0.054 sedangkan *factor of safety* yang dibutuhkan untuk material *filter tank* FRP 1054 yaitu 4 yang berarti bahwa kapasitas maksimum desain suatu material atau produk adalah empat kali lebih besar daripada beban maksimum yang diharapkan dalam aplikasi normalnya, sedangkan pada hasil simulasi didapatkan *factor of safety*nya 0.054 yang menandakan material tersebut tidak tergolong aman untuk digunakan dikarenakan FoS sebesar < 1 menunjukkan bahwa struktur atau komponen material yang gagal (Safety Culture, 2024).

3.3 Simulasi Pemodelan Filter Air



Gambar 8. Pemodelan dan simulasi tabung filter air

Source: (Dokumentasi Hasil Simulasi, 2024)

Berdasarkan hasil simulasi pada model filter air yang telah dilakukan, dapat diketahui bahwa fraksi serat 40%b masih mampu menahan beban maximum *pressure operation* yakni 1.034 MPa (150 Psi) yang berikan, namun model tersebut mengalami deformasi secara plastis. Hal ini terjadi karena nilai *pressure* yang diberikan merupakan nilai maksimum operasi.

Jika material ini digunakan dalam fase atau kondisi seperti ini, maka secara keamanan materialnya sangat direkomendasikan, hal ini karena nilai tekanan yang dipakai adalah 1.034 MPa, nilai tersebut sangat jauh dari nilai yield material tersebut. Nilai ini juga berbeda dari simulasi uji tarik spesimen komposit yang menggunakan nilai pembebanan terbesar sebelum UTS dalam pengujian tarik yang dilakukan, sehingga dalam uji simulasi spesimen komposit nilai FoS nya menjadi <1 . Sehingga dapat dibandingkan nilai FoS pada simulasi spesimen uji tarik dengan nilai FoS pada simulasi *filter tank* 1054

Tabel 3. Perbandingan Nilai FOS Spesimen Dan Tabung Filter Air

Objek simulasi	Parameter <i>external load</i>	Nilai <i>external load</i>	FoS
GFRP 40% Vf	<i>Load</i>	49850 N	0.054
Filter Tank FRP 1054	<i>Pressure</i>	1.034 MPa (150 Psi)	7.1×10^6

Source: Hasil Perhitungan, 2024

Berdasarkan tabel diatas, nilai Fos GFRP 40% serat dengan nilai FoS *filter tank* 1054 sangat jauh berbeda hal tersebut dikarenakan aplikasinya nyata yaitu seringkali dimanfaatkan untuk *filter tank* dan teknik pembuatannya menggunakan teknologi maju sehingga distribusi resin dan seratnya yang lebih seragam jika dibandingkan dengan metode yang digunakan pada saat praktikum yang menggunakan metode *wet hand lay-up*, selain itu FRP 1054 juga terbuat dari polimer *epoxy* (PT. Deltapuro Indonesia, 2017) yang menyebabkan nilai FoSnya berbeda dengan GFRP 40% Vf.

4. CONCLUSION

Setelah dilakukan simulasi didapatkan factor of safety pada komposit GFRP untuk pendekatan tresca sekitar 0,054 dan pendekatan von mises sekitar 0,053 sehingga material yang dibuat masuk kedalam kategori tidak aman untuk digunakan, karena toleransi factor of safety yaitu 1, jika material mempunyai factor of safety < 1 maka material tersebut tergolong tidak aman, dan jika suatu material mempunyai factor of safety $>$ atau $= 1$ maka material tersebut masih tergolong aman. Didapatkan factor of safety komposit untuk pembuatan filter tank FRP adalah 4, sedangkan factor of safety yang didapatkan pada hasil simulasi sekitar 0,054 maka dapat dikatakan komposit GFRP yang telah dibuat tidak dapat digunakan dalam material pembuatan filter tank FRP.

5. REFERENCES

- Ardy, S., Putra, M. E., & Islahuddin. (2019). Pembuatan Kapal Nelayan Fiberglass Kota Padang Dengan Metode Hand Lay Up. Teknik Mesin, Universitas Dharma Andalas, Padang, 2.
- Bagaskoro, I., Hidayat, M.I.P., & Ardynata, H. (2020). Simulasi Delaminasi Laminat Komposit Serat Karbon Terhadap Variasi Arah Serat Menggunakan Teknik Cohesive Zone Model (Czm) Dan Virtual Crack Closure (Vcc) Dengan Metode Elemen Hingga. Departemen Teknik Material Dan Metalurgi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (Its), 9.
- Firmansyah, H.I., Pranoto, W. B., & Fakhruddin, M. (2021). Surface Roughness And Fiber Angular Orientation Analysis Toward Laminated Composite Crack Propagation. Department Of Mechanical Engineering Polytechnic Of Malang, Malang, Indonesia, 20.
- Guo, Z.S., Zhang, L., & Du, S. (2009). Critical Void Content For Thermoset Composite Laminates. Sage Publications.
- Hosford, W. F. (2012). *Mechanical Behavior Of Materials*. Cambridge University Press.
- Ikhsan, M. K., Erizon, N., Nurdin, H., & Refdinal. (2023). Analisis Kekuatan Tarik Bahan Komposit Serat Fiber Glass Menggunakan Metode Hand Lay Up Dengan Berbagai Variasi Fraksi. Universitas Negeri Padang, 5.
- Musliman, A., & Damayanti, F. (2023). Analisis Mekanik Dan Termal Material Komposit Berbasis Serat Eceng Gondok Sebagai Bahan Kemasan Ramah Lingkungan. Program Studi Pendidikan Mipa, Fakultas Pascasarjana, Universitas Indraprasta Pgri, Jakarta Selatan, 9.
- Ngo, T. D. (2020). Introduction To Composite Materials. Scientists, For Scientists.
- Pratama, H. (2024). Klasifikasi Material Komposit. Scribd.
- Rahmatulloh, A.G., & Irfai, M.A. (2020). Pengaruh Fraksi Volume Komposit Hybrid Dengan Penguat Serat Rami Dan Serat Karbon Bermatrik Polyester Terhadap Kekuatan Bending Dan Kekuatan Tarik. S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya, 8.
- Rasyid, H. A. (2019, 4). Simulasi Kekuatan Material Komposit Banana Fiber. Jurnal Austenit, 11(1), 1-5.
- Saba, N., Jawaaid, M., & Sultan, M.T.H. (2019). An overview of mechanical and physical testing of composite materials. *Laboratory of Biocomposite Technology (BIOCOMPOSITE), Institute of Tropical Forestry and Forest Products (INTROP)*.
- Sandi, S. N., Isranuri, I., Sabri, M., Ariani, F., & Abda, S. (2019, 12). Analisa Simulasi Performansi Kampas Rem Komposit Dengan Variasi Beban Pemodelan Metode Elemen Hingga. Jurnal Dinamis, 7(4), 21-27.
- Tabung Filter 1054 ~ PT DELTA PURO INDONESIA*. (2017, November 12). pt delta puro indonesia.
- Widodo, E. (2022). Mekanika Komposit Dan Bio-Komposit. Umsida Press.
- Widodo, R. D., Pujiyanto, M. T., Rusiyanto, Yudiono, H., Darsono, F. B., & Fitriyana, D. F. (2023). Pengaruh Orientasi Serat Penguat Fiberglass Dan Eceng Gondok Terhadap Kekuatan Impact Dan Bending Material Komposit Bermatrik Polyester. Departemen Teknik Mesin, Universitas Negeri Semarang, Semarang, 21.