

Pengaruh Fraksi Volume Terhadap Sifat Mekanis Komposit *Forged Fiberglass* Metode *Compression Mould*

Muhammad Fakhruddin ^{1*}, Imam Mashudi ¹, Moch. Muzaki¹, Hilmi Iman Firmansyah¹,
Bayu Pranoto¹, Hangga Wicaksono¹

¹ Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Malang, Indonesia

*Email Penulis: ruudean@gmail.com

INFORMASI ARTIKEL

Naskah Diterima 28/08/2022
Naskah Direvisi 27/09/2022
Naskah Disetujui 29/10/2022
Naskah Online 31/12/2022

ABSTRACT

Fiber-reinforced composites can be classified into two parts, namely short fiber composites and long fiber composites. Long fibers are stronger than short fibers. Long fiber (continuous fiber) is more efficient in laying than short fiber but short fiber is easier to lay than long fiber. Fiber length affects the processability of the fiber composite. Judging from the theory, long fibers can continue the load and stress from the stress point to the other fiber. In this study, the volume of chopped glass fiber composite with random matrix direction was varied with respect to polyester resin. Making forged fiberglass composites with the press mold method to minimize the occurrence of air bubbles during the composite molding process. Testing the mechanical properties of the forged fiberglass composite using the three-point bending and tensile testing methods. The expected result is the variation of the volume fraction of random chopped glass fiber to polyester resin. The TKT to be achieved from this research is TKT level 3, which is an analytical study that supports the prediction of the performance of the effect of the volume fraction between glass fiber and resin on the mechanical properties of the tensile and bending strength of forged glass fiber composites

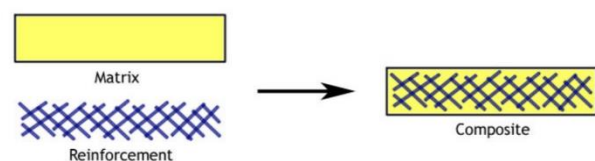
Keywords: *Volume fraction, composite, fiberglass, random, Tensile test, flexural test*

1. PENDAHULUAN

Bahan komposit (juga disebut bahan komposisi atau disingkat komposit, yang merupakan nama umum) adalah bahan yang dihasilkan dari dua atau lebih bahan penyusunnya. Bahan penyusun ini memiliki sifat kimia atau fisik yang sangat berbeda dan digabungkan untuk membuat bahan dengan sifat yang tidak seperti elemen individu. Dalam struktur jadi, elemen individu tetap terpisah dan berbeda, membedakan komposit dari campuran dan larutan padat.[1]

Ada berbagai alasan mengapa bahan baru dapat disukai. Contoh umum termasuk bahan yang lebih murah, lebih ringan, lebih kuat atau lebih tahan lama jika dibandingkan dengan bahan umum. Baru-baru ini peneliti juga mulai aktif memasukkan penginderaan, aktuasi, komputasi dan komunikasi ke dalam komposit, yang dikenal sebagai bahan robot. Bahan komposit umumnya digunakan untuk bangunan, jembatan, dan struktur seperti lambung kapal, panel kolam renang, badan mobil balap, bilik pancuran, bak

mandi, tangki penyimpanan, granit imitasi dan wastafel dan meja marmer berbudaya. Mereka juga semakin banyak digunakan dalam aplikasi otomotif umum. Contoh paling canggih tampil secara rutin di pesawat ruang angkasa dan pesawat di lingkungan yang menuntut adanya bahan khusus.



Gambar 1. Komposit

Beton adalah bahan komposit buatan yang paling umum dan biasanya terdiri dari batu lepas (agregat) yang diikat dengan matriks semen. Beton adalah bahan yang murah, dan tidak akan memampatkan atau pecah bahkan di bawah gaya tekan yang cukup besar. Namun, beton tidak dapat

bertahan dari beban tarik (yaitu, jika diregangkan akan cepat pecah). Oleh karena itu, untuk memberikan beton kemampuan menahan gaya tarik, batang baja, yang dapat menahan gaya tarik (tarik) yang tinggi, sering ditambahkan ke beton untuk membentuk beton bertulang. Polimer yang diperkuat serat termasuk polimer yang diperkuat serat karbon dan plastik yang diperkuat kaca. Jika diklasifikasikan berdasarkan matriks maka ada komposit termoplastik, termoplastik serat pendek, termoplastik serat panjang atau termoplastik yang diperkuat serat panjang.

Ada banyak komposit termoset, termasuk panel komposit kertas. Banyak sistem matriks polimer termoset canggih biasanya menggabungkan serat aramid dan serat karbon dalam matriks resin epoksi. Komposit polimer memori bentuk adalah komposit berkinerja tinggi, diformulasikan menggunakan penguat serat atau kain dan resin polimer memori bentuk sebagai matriks. Karena resin polimer memori bentuk digunakan sebagai matriks, komposit ini memiliki kemampuan untuk dengan mudah dimanipulasi ke dalam berbagai konfigurasi ketika dipanaskan di atas suhu aktivasinya dan akan menunjukkan kekuatan dan kekakuan yang tinggi pada suhu yang lebih rendah. Mereka juga dapat dipanaskan dan dibentuk kembali berulang kali tanpa kehilangan sifat materialnya. Komposit ini ideal untuk aplikasi seperti struktur yang ringan, kaku, dan dapat digunakan; manufaktur cepat; dan penguatan dinamis. [2]

Komposit regangan tinggi adalah jenis lain dari komposit kinerja tinggi yang dirancang untuk bekerja dalam pengaturan deformasi tinggi dan sering digunakan dalam sistem yang dapat diterapkan di mana pelenturan struktural menguntungkan. Meskipun komposit regangan tinggi menunjukkan banyak kesamaan untuk membentuk polimer memori, kinerjanya umumnya tergantung pada tata letak serat yang bertentangan dengan kandungan resin matriks. Komposit juga dapat menggunakan serat logam yang memperkuat logam lain, seperti pada komposit matriks logam atau komposit matriks keramik, yang meliputi tulang (hidroksiapatit yang diperkuat dengan serat kolagen), cermet (keramik dan logam) dan beton. Komposit matriks keramik dibuat terutama untuk ketangguhan patah, bukan untuk kekuatan. Kelas lain dari bahan komposit melibatkan komposit kain tenun yang terdiri dari benang bertali memanjang dan melintang. Komposit kain tenun bersifat fleksibel karena berbentuk kain.

Beberapa penelitian mengenai pengaruh perlakuan permukaan pengikatan terhadap sifat mekanik komposit serat kaca dengan laminasi almunium yang berhubungan dengan penelitian ini antara lain adalah sebagai berikut.

Mohammad Alfian Ilmy, dkk (2018) Melakukan penelitian terhadap Pengaruh Fraksi Volume Fiber Glass Terhadap Sifat Mekanik Komposit Fiber Glass/Epoxy Dengan Metode Vari. Hasil yang didapatkan Dari penelitian yang telah dilakukan, semakin besar tekanan vakum yang digunakan akan meningkatkan sifat mekanik komposit fiber glass mat 300/epoxy AB777. Kekuatan tarik tertinggi komposit berpenguat fiber glass mat 300 dengan matrik epoxy AB777 dimiliki oleh fraksi volume fiber 50% dengan tekanan 0,5 bar yaitu sebesar 138,18 Mpa, sedangkan yang paling rendah dimiliki oleh fraksi volume

30% dengan tekanan 0,2 bar sebesar 96,60 Mpa. Kekuatan tarik mengalami peningkatan seiring bertambahnya jumlah volume fraksi fiber yang digunakan. Ketahanan impak tertinggi dari komposit fiberglass mat 300/epoxy AB777 berada pada fraksi volume optimum 45% dengan tekanan 0,5 bar yaitu sebesar 0,1913 J/mm² sedangkan yang terendah dimiliki oleh fraksi volume 30% dengan tekanan 0,2 bar sebesar 0,0979 J/mm². Ketahanan impak mulai mengalami penurunan pada fraksi volume fiber 50%.

Heryanto B. Soemardi, dkk (2018) Melakukan studi eksperimen Pengaruh Penambahan *Stophole* Pada Bahan Komposit Epoxy Serat Kaca. Adanya variasi *stophole* mempengaruhi tegangan Tarik maksimum komposit epoksi serat gelas, karena pada ujungretak dan sisi lubang terdapat pemusatan tegangan. Adanya lubang di sekitar ujung retak akan mengakibatkan interaksi tegangan yang melibatkan tegangan di ujung retak dan sisilubang tersebut. Tegangan maksimum dipengaruhi oleh factor geometri dari spesimen. Penambahan lubang *stophole* yang berbeda diameter akan menyebabkan geometri spesimen berubah, sehingga mempengaruhi pemusatan tegangan pada spesimen. Pada spesimen tanpa *stophole*, rambatan retak yang terjadi adalah jenis bukaan (KI) kemudian diikuti dengan jenis robekan (KIII). Sedangkan mekanisme utama dari perambatanretak spesimen dengan *stophole* adalah terjadi retakan jenis bukaan (KI). Penambahan *stophole* dapat mempengaruhi alur perambatan retak.



Gambar 2. Pengujian Tarik

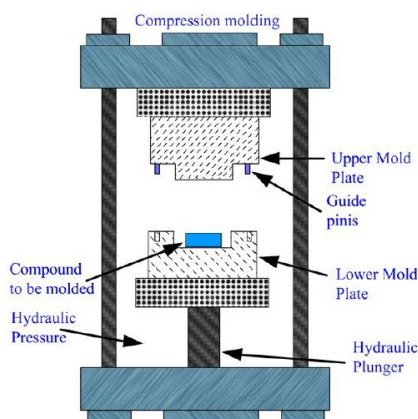
Alamsyah, dkk (2020) melakukan penelitian terhadap Pengaruh Perbandingan Resin Dan Katalis Terhadap Kekuatan Tarik Komposit Fiberglass-Polyester Untuk Bahan Pembuatan Kapal. Hasil penelitian tersebut adalah bahwa komposit fiberglass-polyester dengan jumlah katalis 0,5% memiliki nilai kekuatan tarik 4,85 kgf/mm², elongasi 2,43% dan modulus elastisitas 2,26 kgf/mm². Komposit dengan jumlah katalis 1% memiliki nilai kekuatan tarik 5,02 kgf/mm², elongasi 1,71% dan modulus elastisitas 2,96 kgf/mm². Komposit dengan jumlah katalis 1,5% memiliki nilai kekuatan tarik 5,49 kgf/mm², elongasi 1,97% dan modulus elastisitas 3,07 kgf/mm². Komposit dengan jumlah katalis 2% memiliki nilai kekuatan tarik 4,97

kgf/mm², elongasi 1,62% dan modulus elastisitas 3,11 kgf/mm². Kekuatan tarik komposit fiberglass-polyester mengalami peningkatan di jumlah katalis 0,5 hingga 1,5% dan mengalami penurunan di jumlah katalis 2%. Untuk komposit fiberglass-polyester diperoleh nilai kekuatan tarik tertinggi pada komposisi resin 100% dan katalis 1,5%, dengan nilai kekuatan tarik 5,49 kgf/mm², elongasi 1,97% dan modulus elastisitas 3,07 kgf/mm². [3]

Pada penelitian ini, komposit forged serat kaca dengan resin polyester dibuat menggunakan metode *compression mould*. Metode *compression mould* digunakan untuk mendapatkan komposit yang padat dan bebas dari gelembung. Perlakuan pada variasi fraksi volume antara serat kaca cacah random dengan resin. Pengujian sifat mekanis dengan menggunakan metode uji bengkok tiga poin (*three-point bending*) dan pengujian *tensile* (tarik). Hasil yang diharapkan adalah dengan adanya variasi dari fraksi volume antara serat kaca dan resin didapatkan komposisi komposit dengan metode *compression mould* yang optimum.

2. METODE PENELITIAN

Compression molding (thermoforming) atau yang lebih dikenal sebagai teknik untuk membuat produk komposit yang bervariasi, (Shamsuri dan Daik, 2012) teknik tersebut merupakan metode dengan *molding* yang tertutup. Sedangkan proses kerjanya dengan menerapkan tekanan tinggi ke bagian cetakan. Metode *molding* kompresi dapat dilihat pada gambar 3, perpaduan antara dua buah cetakan yang terbuat dari metal digunakan untuk fabrikasi berupa produk komposit. Mesin *compression molding* secara umum memiliki plat dasar dibagian bawah yang dipasang statis atau tetap sementara bagian plat yang berada diatas difungsikan agar dapat bergerak naik dan turun untuk menyesuaikan tekanan yang dibutuhkan. Material penyusun komposit reinforcement dan matrik diletakan di cetakan metalik sebelum proses kompresi. Selain produk komposit, *compression molding* dapat digunakan untuk mencetak material plastik (*compound plastic*). Pengerjaan kompresi *molding* pada material plastik tidak jauh berbeda dengan produk komposit, pada proses kompresi dengan produk berbahan plastik pengerjaannya lebih mudah yaitu dengan meletakan material plastik tersebut kedalam mold yang akan dipanaskan. [4]



Gambar 3. Ilustrasi Metode *Compression Mould*

Material plastik yang dipanaskan di dalam mold akan melunak sehingga ketika diberi tekanan dan panas yang berlanjut pada mold tersebut, maka menghasilkan reaksi kimia yang bisa mengeraskan material *thermosetting* tersebut pada periode waktu tertentu. Kemudian material tersebut akan menyesuaikan diri di dalam rongga cetakan atau yang disebut *cavity* yang didesain dengan bentuk sebuah produk dengan akurasi dan presisi yang tinggi. Setelah serangkaian proses kompresi *molding* produk dari mold dapat dipindahkan.[5]

Alat uji bengkok adalah alat yang digunakan untuk melakukan pengujian kekuatan lengkung (*bending*) pada suatu bahan atau material. Pada umumnya alat uji bengkok memiliki beberapa bagian utama, seperti: rangka, alat tekan, *point bending* dan alat ukur. Rangka berfungsi sebagai penahan gaya balik yang terjadi pada saat melakukan uji *bending*. Rangka harus memiliki kekuatan lebih besar dari kekuatan alat tekan, agar tidak terjadi kerusakan pada rangka pada saat melakukan pengujian. Alat tekan berfungsi sebagai alat yang memberikan gaya tekan pada benda uji pada saat melakukan pengujian. Alat penekan harus memiliki kekuatan lebih besar dari benda yang di uji (ditekan). *Point bending* berfungsi sebagai tumpuan benda uji dan juga sebagai penerus gaya tekan yang dikeluarkan oleh alat tekan. Panjang pendek tumpuan *point bending* berpengaruh terhadap hasil pengujian. Alat ukur adalah suatu alat yang menunjukkan besarnya kekuatan tekan yang terjadi pada benda uji. Uji *bending* adalah suatu proses pengujian material dengan cara di tekan untuk mendapatkan hasil berupa data tentang kekuatan lengkung (*bending*) suatu material yang di uji. Proses pengujian *bending* memiliki 2 macam pengujian, yaitu *3-point bending* dan *4-point bending*. [6]



Gambar 4. Pengujian Tekan (*flexural/bending*)

Hipotesis dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- variabel fraksi volume mempengaruhi sifat mekanis pada komposit serat kaca.
- semakin tinggi fraksi volume fiberglass terhadap resin meningkatkan sifat mekanis komposit pada pengujian *three-point bending*.
- semakin tinggi fraksi volume fiberglass terhadap resin meningkatkan sifat mekanis komposit pada pengujian tarik.

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut: Variabel bebas Merupakan variabel yang besarnya bebas ditentukan peneliti dan tidak dipengaruhi oleh variabel yang lain. Variabel bebas dalam penelitian ini yaitu fraksi volume, 40%, 50%, 60%, dan 70%. [7]

Variabel terikat Merupakan variabel yang besarnya tergantung dari nilai variabel bebas dan diketahui setelah penelitian dilakukan. Variabel terikat dalam penelitian ini adalah tegangan maksimum pada pengujian tarik dan tekan.

Variabel terkontrol beberapa parameter yang dijaga konstan selama pengujian adalah

1. Kecepatan pembebanan pada pengujian tarik dan tekan
2. Pembebanan dilakukan pada garis tengah spesimen
3. Dimensi pada spesimen uji adalah seragam sesuai standar ASTM D638 dan ASTM D790.
4. Serat kaca menggunakan serat kaca cacah

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian pengaruh fraksi volume terhadap sifat mekanis komposit forged fiberglass metode compression mould dilakukan dengan tahapan perancangan cetakan yang masing-masing dibuat untuk pengujian tarik / *tensile test* (dengan standar ASTM D638) dan pengujian tekan/ *3 point bending test/ flexural test* (dengan standar ASTM D790). Pembuatan cetakan untuk spesimen uji tarik dilakukan di mesin frais dengan menggunakan bahan baja AISI 1041, sedangkan cetakan untuk specimen uji tekan menggunakan bahan kaca. Cetakan untuk masing-masing spesimen uji tarik dan tekan dapat ditunjukkan oleh gambar 5 dan gambar 6.



Gambar 5. Cetakan Spesimen Uji Tarik



Gambar 6. Cetakan Spesimen Uji Tekan

Pembuatan komposit dilakukan dengan metode pengecoran pada masing-masing cetakan, baik untuk spesimen uji tarik maupun spesimen uji tekan. [8] Adapun bahan yang digunakan sebagai komposit adalah cacahan serat kaca sebagai reinforcement terhadap matriks resin polyester 177. Dimana masing-masing sifat mekanis dari bahan tersebut dapat dilihat pada tabel 1 dan tabel 2 ini.

Tabel 1. Spesifikasi E-glass

Sifat Mekanik	Nilai	Satuan
Kekuatan Tarik (Maksimal)	3445	MPa
Kekuatan Tekan	1080	MPa
Modulus Elastisitas	76	GPa
Densitas	2.58	g/cm ³

(Sumber: https://en.wikipedia.org/wiki/Glass_fiber)

Tabel 2. Spesifikasi Resin Polyester 177

Sifat Mekanik	Nilai	Satuan
Kekuatan Tarik (Maksimal)	33	MPa
Kekuatan Tekan	40.6	MPa
Modulus Elastisitas	1	GPa
Densitas	1.5	g/cm ³

(Sumber: <https://www.resinlibrary.com/wp-content/uploads/2020/12/Polyester-resin-for-laminating.pdf>)

Perpaduan dari masing-masing sifat mekanis akan digabungkan guna mencari sifat mekanik baru dari paduan komposit dengan serat kaca cacah yang bermatriks resin polyester 177. Proses melakukan pengecoran serat kaca dan resin pada cetakan spesimen uji tarik dimulai dari persiapan perhitungan perbandingan prosentase antara matriks dan serat kaca yang masing-masing 40%, 50%, 60%, dan 70% serat terhadap volume cetakan.

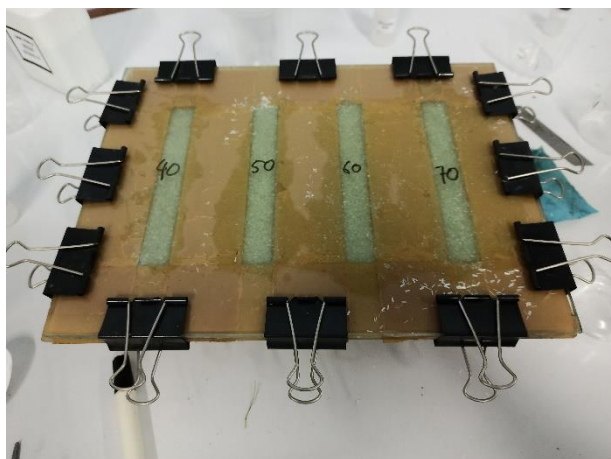


Gambar 7. Resin Polyester 177, Katalis, dan Mirror Glaze

Proses pengecoran dan curing dilakukan dalam kurun waktu satu hari untuk satu spesimen uji tarik dan empat spesimen uji tekan. Pada masing-masing cetakan dibalurkan lapisan tipis *mirror glaze* untuk mencegah cetakan menempel antara *core* dan *cavity*-nya. Setelah satu hari, hasil cetakan siap untuk dilepas dan kemudian dibiarkan 24 jam lagi agar proses *curing* selesai sempurna.

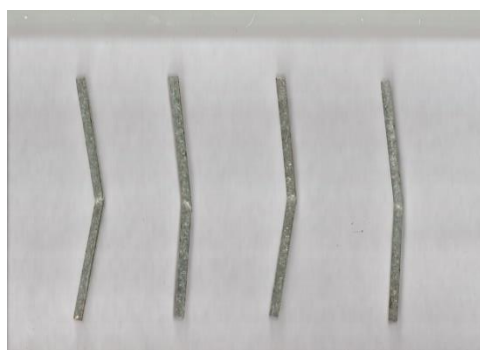


Gambar 8. Proses Curing Spesimen Uji Tarik



Gambar 9. Proses Curing Spesimen Uji Tekan

Pada proses selanjutnya, spesimen siap untuk di ekstraksi dari cetakan, dan dibiarkan selama 24 jam untuk penyempurnaan proses curing. Hasil dari masing-masing spesimen kemudian dirapikan dan siap untuk dilakukan proses selanjutnya yaitu pengujian tarik dan pengujian tekan di mesin *universal testing machine* (UTM).



Gambar 9. Hasil Pengujian Tekan

Pengujian dilakukan pada mesin uji tarik dan tekan menggunakan standar masing-masing yaitu ASTM D638 dan standar ASTM D790. Pada skema uji tarik spesimen diberikan penandaan untuk Panjang pengukuran 50 mm, sesuai standar ASTM D638. Pengujian dilakukan pada kecepatan tarik sebesar 5 mm/min tanpa pemberian beban awal (*pre-load*). Pada skema uji tekan, dilakukan pengujian engan metode tiga titik. Dimana jarak antar tumpuan adalah

100 mm yang dibagi dua masing-masing 50 mm dari pusat tekan. Pengujian menggunakan tumpuan radius kecil yang dikhususkan untuk pengujian komposit metode flexural sesuai standar pengujian ASTM D790.



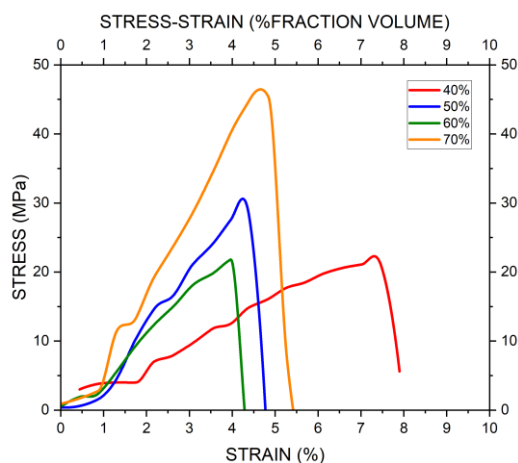
Gambar 10. Hasil Pengujian Tarik

Untuk tabulasi hasil dari masing-masing kombinasi parameter dapat dilihat pada tabel 3 berikut. Pada tabel dapat dilihat adanya ketidak linieran dari hasil, yang merupakan indikasi dari cacat pada spesimen uji (terciptanya gelembung udara saat proses curing, adanya initial crack saat proses ekstraksi dari cetakan, dan adanya cacat saat proses merapikan spesimen setelah diekstraksi)

Tabel 3. Hasil Pengujian

No.	Prosentase Fraksi Volume (%)	Tegangan Tarik Maksimal (MPa)	Tegangan Tekan Maksimal (MPa)
1.	40	21.1	2.8
2.	50	27.8	3.5
3.	60	21.8	4.4
4.	70	45.7	3.7

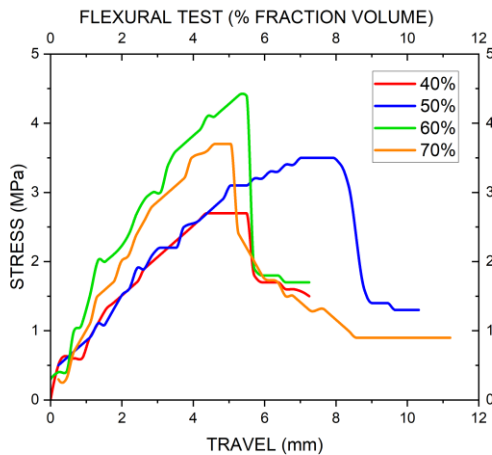
Pada tabel dapat dilihat bahwasannya nilai tarik maksimal didapatkan pada fraksi volume 70% serat dan 30% matriks polyester sebesar 45.7 MPa. Sedangkan untuk nilai tekan maksimla didapatkan pada fraksi volume 60% serat dan 40% maktrik polyester. Apabila diberikan perbandingan pada tabel 3, nilai tarik meningkat daripada nilai tarik pada cured resin polyester, yang dimana hal ini menunjukkan adanya pengaruh reinforcement pada serat kaca cacah terhadap matrik resin polyester tersebut[6].



Gambar 11. Grafik Pengujian Tarik VS Fraksi Volume

Pada gambar 11 grafik gabungan nilai uji tarik dapat dilihat nilai perbandingan uji tarik pada masing-masing

fraksi volume. Dapat dilihat bahwasannya prosentase fraksi volume 70% serat memiliki tegangan tarik paling tinggi. Dimana titik yield masih terlihat pada kisaran 13 MPa hingga titik tarik maksimal pada 45.7 MPa. Pada kemiringan grafik dapat dilihat bahwasannya material masih tergolong material yang brittle. Sedangkan untuk luas area pada prosentase tersebut, memiliki luar area yang paling besar, hal ini menunjukkan serapan energi yang lebih baik pula. Sedangkan nilai regangan paling besar didapatkan pada prosentase fraksi volume sebesar 40%.



Gambar 12. Grafik Uji Tekan VS Fraksi Volume

Pada gambar 4.13 grafik dari pengujian tekan gabungan antar masing-masing fraksi volume, didapatkan hasil paling baik pada prosentase 60% serat dan 40% resin, dimana nilai tertinggi didapatkan pada angka 4.4 MPa. Pada rata-rata pengujian didapatkan hasil tertinggi dari perpindahan pahat penekan pada titik 5-6 mm.

4. KESIMPULAN

Kesimpulan dari penelitian ini adalah:

1. Fraksi volume memiliki pengaruh terhadap kekuatan tarik dan kekuatan tekan.
2. Pada penelitian ini terdapat cacat yang tidak dapat dihindari selama proses pembuatan spesiemen.
3. Nilai terbesar dalam pengujian tarik didapatkan pada fraksi volume serat 70% dengan nilai tarik sebesar 45.7 MPa
4. Nilai terbesar dalam pengujian tekan didapatkan pada fraksi volume serat 60% dengan nilai tekan sebesar 4.4 MPa

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Chandrasekar, M. R. Ishak, M. Jawaid, Z. Leman, and S. M. Sapuan, "An experimental review on the mechanical properties and hygrothermal behaviour of fibre metal laminates," *J. Reinf. Plast. Compos.*, vol. 36, no. 1, pp. 72–82, 2017, doi: 10.1177/0731684416668260.
- [2] N. K. Romli *et al.*, "The behavior of Aluminium Carbon/Epoxy fibre metal laminate under quasi-static loading," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 257, no. 1, 2017, doi: 10.1088/1757-899X/257/1/012046.
- [3] R. Kulkarni, A. Mache, and A. Salve, "A Review : Fiber Metal Laminates (FML ' s) - Manufacturing , Test methods and Numerical modeling," *Int. J. Eng. Technol. Sci.*, vol. 6, no. 1, pp. 71–84, 2016.
- [4] X. P. Zhang, T. H. Yang, J. Q. Liu, X. F. Luo, and J. T. Wang, "Mechanical properties of an Al/Mg/Al trilaminated composite fabricated by hot rolling," *J. Mater. Sci.*, vol. 45, no. 13, pp. 3457–3464, 2010, doi: 10.1007/s10853-010-4373-z.
- [5] D. G. do Santos, R. J. C. Carbas, E. A. S. Marques, and L. F. M. da Silva, "Reinforcement of CFRP joints with fibre metal laminates and additional adhesive layers," *Compos. Part B Eng.*, vol. 165, no. November 2018, pp. 386–396, 2019, doi: 10.1016/j.compositesb.2019.01.096.
- [6] M. Fakhruddin, M. Maskuri, E. Faizal, B. Pranoto, H. Wicaksono, and H. I. Firmansyah, "Pengaruh Perlakuan Permukaan Pengikatan Terhadap Sifat Mekanik Komposit Serat Kaca Dengan Laminasi Aluminium," *J. Energi dan Teknol. Manufaktur*, vol. 4, no. 02, pp. 27–32, 2021, doi: 10.33795/jetm.v4i02.79.
- [7] H. I. Firmansyah, A. Purnowidodo, S. A. Setyabudi, T. Mesin, and U. Brawijaya, "Pengaruh Mechanical Bonding Pada Aluminium Dengan Serat," vol. 9, no. 2, pp. 127–134, 2018.
- [8] Hariharan E and Santhanakrishnan R, "Experimental Analysis of Fiber Metal Laminate With Aluminium Alloy for Aircraft Structures," *Int. J. Eng. Sci. Res. Technol.*, no. 5, 2016, doi: 10.5281/zenodo.50999.