

Karakteristik Kekuatan Tarik Komposit Datar Akibat Variasi *Biaxial Pre-Loading* pada *reinforcement fiber*

Tjuk Oerbondono^{1,*}, Dewangga Irwan Siregar²

¹Mechanical Engineering Department of Brawijaya University-Malang

²Prodi Magister, Departemen Teknik Mesin, Universitas Brawijaya – Malang

*Corresponding author: toerbandono@ub.ac.id

Abstrak. Rekayasa dan penggunaan material komposit berkembang dengan pesat. Komposit merupakan material yang terdiri dari kombinasi dua atau lebih unsur material yang digabungkan pada tingkat makroskopik dan memiliki sifat mekanik bahan penyusunnya. Tujuan Penelitian ini untuk mengetahui karakteristik kekuatan tarik komposit datar akibat variasi pembebanan mula dua sumbu (*biaxial pre-loading*) pada serat penguat (*reinforcement fiber*). Spesimen komposit disusun oleh serat E-Glass jenis *woven roving* dan resin polyester yukalac 157 BQTN. Pembuatan komposit menggunakan metode *hand lay up*. Variasi *biaxial pre-loading* yang diterapkan pada serat penguat adalah 0N, 10N, 20N, 30N, 40N. Pengujian tarik komposit berdasarkan ASTM D3039. Dari hasil penelitian diketahui bahwa pemberian *biaxial pre-loading* pada *reinforcement fiber* berpengaruh terhadap kekuatan tarik komposit. Kekuatan tarik komposit cenderung meningkat seiring meningkatnya *biaxial pre-loading* pada *reinforcement fiber* mulai 10N hingga 40N. Kekuatan tarik terendah terjadi pada komposit tanpa *biaxial pre-loading* (0N). Peningkatan kekuatan tarik karena terjadinya tegangan sisa tekan pada komposit akibat *biaxial pre-loading* pada *reinforcement fiber*. Kekuatan tarik komposit tanpa *pre-loading* 104,44 N/mm². Kekuatan tarik komposit tertinggi terjadi pada *pre-loading* 40N sebesar 304,4 N/mm².

Kata kunci: *biaxial pre-loading*, *reinforcement fiber*, *resin polyester*, *komposit*, *kekuatan tarik*.

Pendahuluan

Dalam perkembangannya teknologi material telah melahirkan suatu material jenis baru yang dibangun secara bertumpuk dari beberapa lapisan. Material baru ini disebut sebagai komposit^[4]. Penggunaan komposit telah meluas, tidak hanya terbatas pada industri pesawat terbang dan industri kapal laut saja. Inovasi material baru dan perkembangan proses manufaktur menyebabkan keberadaan material komposit dalam hampir setiap sektor industri meningkat. Dari banyak alasan pertumbuhan aplikasi komposit, yang utama adalah produk komposit lebih ringan tetapi kuat. Penggunaan komposit dalam jumlah besar berkaitan dengan penurunan biaya serat, pengembangan otomasi teknik dan metode produksi. Penggunaan terbesar material komposit saat ini adalah industri transportasi^[2].

Jorge (1990) meneliti efek serat pratarik pada sifat mekanik komposit yang masih belum banyak diteliti secara luas. Dalam penelitiannya tersebut digunakan serat *E-glass* dan resin *polyester* untuk membuat *unidirectional composites* (komposit dengan serat penguat satu arah). Dalam penelitian tersebut beban tarikan mula pada serat penguat menggunakan katrol. Hasil uji tarik sampel material komposit menunjukkan peningkatan kekuatan tarik dan modulus tarik yang disebabkan oleh pembebanan mula (*pre-loading*). Hal ini

mengakibatkan meningkatnya sifat mekanik material komposit^[5].

Moallemzadeh, et.al. (2017) dalam penelitiannya menjelaskan pengaruh tegangan, kompresi dan *preload* hibrida pada pelat komposit E-glass polyester yang mendapat impact dengan kecepatan tinggi pada rentang kecepatan 185 m/s sampai 235 m/s. Enam lapis, E-glass *plain weave woven roving* panel komposit dibuat dengan metode *hand lay up*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa resistensi balistik dari sampel dengan kondisi *preloading* yang berbeda mengalami penurunan dibandingkan dengan sample yang tidak mendapat *preloading*^[6].

Tujuan Penelitian ini untuk mengetahui karakteristik kekuatan tarik panel komposit datar akibat variasi pembebanan mula dua arah (*biaxial pre-loading*) pada reinforcement fiber. Penerapan variasi *biaxial pre-loading* untuk meningkatkan kekuatan tarik material komposit. Penelitian ini menggunakan neraca pegas sebagai alat bantu pemberi beban tarik terhadap serat. Serat yang digunakan adalah *E-Glass* bentuk *woven roving* dan *resin polyester* sebagai matriksnya. Penyusunan komposit menggunakan cetakan akrilik dengan ukuran spesimen menurut standar ASTM D3039.

Fungsi serat adalah sebagai penguat komposit sehingga lebih kaku, tangguh dan lebih kokoh daripada tanpa serat penguat. Serat juga menghemat penggunaan resin. Serat gelas (*glass fiber*) adalah bahan yang tidak mudah terbakar. *Glass fiber*

umumnya digunakan sebagai penguat matrik jenis polimer. Komposisi kimia serat gelas sebagian besar adalah SiO dan sisanya adalah oksida-oksida alumunium (Al), kalsium (Ca), magnesium (Mg), natrium (Na), dan unsur-unsur lainnya.

Menurut jenisnya serat gelas dibedakan menjadi *E-Glass*, *C-Glass*, *S-Glass*. Tiap jenis memiliki sifat-sifat tersendiri seperti pada tabel 1^[4]. Serat *E-Glass* adalah yang paling sering digunakan.

Tabel 1. Sifat-sifat serat gelas.

No	Jenis Serat		
	<i>E-Glass</i>	<i>C-Glass</i>	<i>S-Glass</i>
1	Isolator listrik yang baik	Tahan korosi	Modulus lebih tinggi
2	kekakuan yang tinggi	kekuanan lebih rendah dari <i>E-Glass</i>	lebih tahan pada suhu tinggi
3	kekuanan yang tinggi	Harga lebih murah dari <i>E-Glass</i>	Harga lebih mahal dari <i>E-Glass</i>

Metode Penelitian

Metode penelitian ini adalah eksperimental nyata (*True Experimental Research*), dengan maksud untuk mengetahui kekuatan tarik komposit akibat pembebanan mula dua arah (*biaxial pre-loading*) pada *reinforcement fiber*.

Bahan-bahan Penelitian.

Penelitian ini menggunakan Serat E-glass jenis anyaman (*woven roving*) seperti pada gambar 1. *E-glass* yang digunakan mempunyai bentuk seperti anyaman tikar. Pada *woven roving*, serat gelas disusun saling tindih dan berselingan ke arah vertikal dan horizontal (0° dan 90°). Anyaman ini menghasilkan penguatan ke arah vertikal dan horizontal. Pada struktur, *woven roving glass fiber* umumnya digunakan pada bagian *frame*. *Woven roving* sedikit kaku, sehingga agak sulit dibentuk terutama bila digunakan untuk bagian dengan tekukan tajam.



Gambar 1. Serat gelas anyaman

Matrik merupakan bahan pengikat serat penguat. Bahan yang umum dipakai sebagai matrik adalah *metal*, keramik dan polimer. Polimer sering digunakan sebagai matrik karena lebih ringan dan tahan korosi^[7]. Matrik yang digunakan dalam

penelitian ini adalah resin *Polyester* yukalac 157 BQTN.

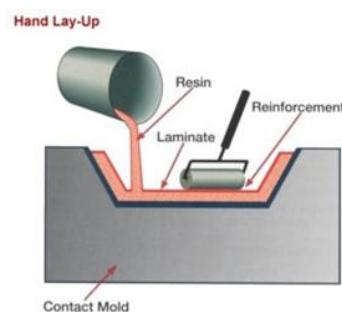
Polyester adalah jenis resin yang paling banyak digunakan sebagai matrik untuk *glass fiber* dan dipakai pada badan kapal, mobil, tandon air dan sebagainya^[7].

Pembuatan Spesimen Komposit

Pada pembuatan komposit diperlukan cetakan yang harus bersih dari kotoran dan memiliki permukaan halus. Cetakan terbuat dari logam, kayu, gips, plastik, dan kaca. Metode pembuatan komposit yang sering digunakan:

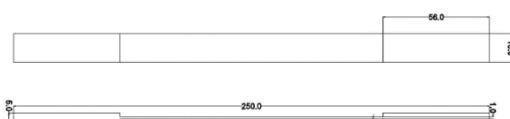
1. Metode *Hand Lay Up*
2. Metode *Spray Up*
3. Metode *Injection Molding*

Pada penelitian ini digunakan metode *Hand Lay Up* seperti gambar 2. Hal ini adalah cara yang paling sederhana karena dapat dilakukan menggunakan peralatan sederhana. Pada metode ini serat diletakkan pada cetakan yang telah dilapisi *release film* untuk mencegah melekatnya komposit pada cetakan, terutama pada sudut-sudut cetakan. *Release film* juga membantu membentuk permukaan komposit menjadi lebih baik. Kemudian matrik dituang ke dalam cetakan dan meratakan permukaan komposit dengan bantuan *roller*.



Gambar 2. Metode *Hand Lay Up*

Gambar 3 menunjukkan dimensi spesimen uji tarik dibuat dalam bentuk plat datar berdasarkan ASTM D 3039^[1].



Gambar 3. Spesimen Uji Tarik

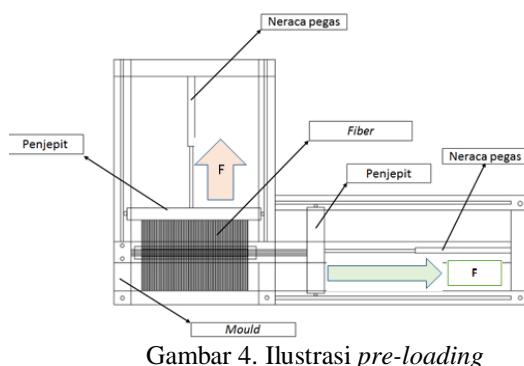
Pengujian tarik spesimen komposit digunakan untuk mengetahui tegangan, regangan, modulus elastisitas material komposit. Hal ini dilakukan dengan cara menarik spesimen sampai putus. Pengujian tarik menggunakan mesin uji tarik

(universal testing machine) menurut standar ASTM D 3039.

Variabel-variabel penelitian

Variabel bebas dalam penelitian ini adalah nilai variasi *pre-loading* 10N, 20N, 30N, 40N dan tanpa *pre-loading* 0N. Variabel terikat penelitian ini adalah kekuatan tarik komposit. Variabel kendali yang digunakan yaitu jumlah *reinforcement fiber* arah *longitudinal* = 4 dan jumlah *reinforcement fiber* arah *transversal* = 62. Presentase katalis yang digunakan 1% dari berat matrik dan *curing* menggunakan suhu ruang. Panjang spesimen 250 mm, panjang *tab length* 56 mm, tebal daerah uji 2 mm dan lebar spesimen 15 mm.

Gambar 4 merupakan instalasi cetakan komposit dan pemberian beban mula dua arah.



Gambar 4. Ilustrasi *pre-loading*

Hasil dan Pembahasan

Pengolahan Data

Dari hasil perhitungan tegangan total (σ_t) didapatkan hasil *theoretical stress* seperti pada tabel 2 dan 3:

$$\sigma_t = \frac{P}{A_f \cdot n_{1,2}} \quad (1)$$

Keterangan :

σ_t = Tegangan teoritis (*theoretical stress*) (N/mm²)

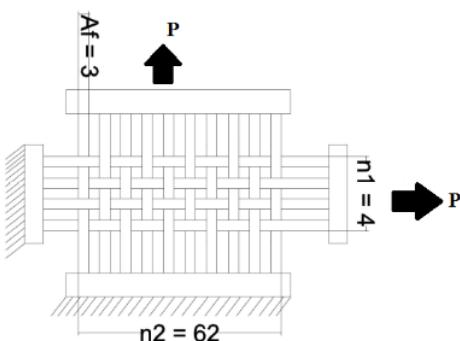
P = *Pre-loading* (N)

A_f = Luas penampang serat (mm²)

n_1 = Jumlah serat penguat arah *longitudinal* = 4

n_2 = Jumlah serat penguat arah *tranversal* = 62

Gambar 5 merupakan penunjuk luas penampang serat.



Gambar 5. Penunjuk luas penampang serat (A_f)

Tabel 2. *Theoretical stress* arah *longitudinal*

No	Tension (N)	Luas penampang serat <i>fiber</i> (mm ²)	Tensile Stress (N/mm ²)
1	0	3 (4) = 12	0
2	10	2,75 (4) = 11	0,90
3	20	2,5 (4) = 10	2
4	30	2,25 (4) = 9	3,3
5	40	2 (4) = 8	5

Tabel 3. *Theoretical stress* arah *transversal*

No	Tension (N)	Luas penampang serat <i>fiber</i> (mm ²)	Tensile Stress (N/mm ²)
1	0	3 (62) = 186	0
2	10	2,90 (62) = 179,8	0,005
3	20	2,80 (62) = 173,6	0,115
4	30	2,70 (62) = 167,4	0,179
5	40	2,60 (62) = 161,2	0,248

Dari hasil pengujian kekuatan tarik didapatkan nilai kekuatan tarik komposit pada tabel 4. Perhitungan mencari kekuatan tarik *ultimate* komposit :

$$\sigma_u = \frac{P_{max}}{A_u} \quad (2)$$

Keterangan:

σ_u = Kekuatan tarik *ultimate* komposit (N/mm²)

P_{max} = Beban tarik maksimum (N)

A_u = Luas penampang saat patah (mm²)

Tabel 4. Data kekuatan tarik komposit

Pengulangan	Tension (N)				
	$F_0 = 0$	$F_1 = 10$	$F_2 = 20$	$F_3 = 30$	$F_4 = 40$
Kekuatan Tarik (N/mm ²)					
1	106,66	153,33	206,66	233,33	346,66
2	106,66	166,66	193,33	213,33	306,66
3	100	160	200	220	260
Jumlah	313,32	479,99	599,99	666,66	913,32
Rata-rata	104,44	159,99	199,99	222,22	304,4

Gambar 6 berikut ini merupakan komposit setelah mengalami uji tarik.



Gambar 6. Komposit hasil uji tarik

Analisis Data

Analisis data dilakukan menggunakan metode analisis varian satu arah untuk mengetahui apakah terdapat pengaruh variasi *biaxial pre-loading* terhadap kekuatan tarik komposit. Berdasarkan perhitungan pada tabel 5 maka didapat tabel data analisis varian sebagai berikut :

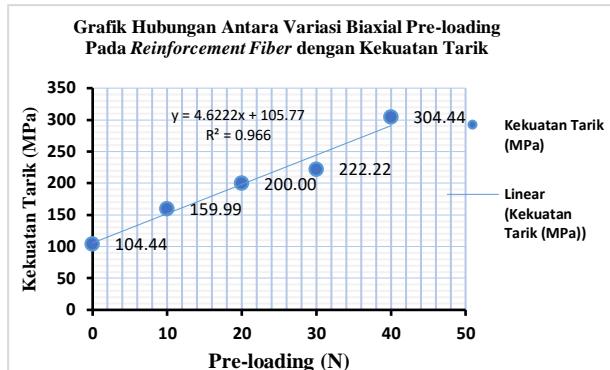
Tabel 5. Analisis varian satu arah pada kekuatan tarik

Sumber Varian	Jumlah kuadrat	Derajat Bebas	Kuadrat tengah	F_{hitung}	F_{tabel}
Perlakuan	2357438,39	4	589359,59	8,99	3,63
Galat	5893595,97	9	65484,44		
Total	8251034,36	13			

Dari proses analisis varian satu arah didapatkan derajat bebas (db) perlakuan dengan nilai 4 dan derajat bebas (db) galat dengan nilai 9. Kemudian didapatkan harga F teoritik dalam tabel nilai-nilai F sebesar 3,63 pada taraf $\alpha = 5\%$. Dari perhitungan didapatkan harga untuk F_{hitung} sebesar 8,99. Diketahui ($F_{hitung} > F_{tabel}$), berarti H_0 ditolak, sehingga dapat disimpulkan bahwa hipotesis diterima yang berarti pembebahan mula dua sumbu (*biaxial pre-loading*) terhadap *reinforcement fiber* berpengaruh terhadap kekuatan tarik panel komposit datar.

Pembahasan grafik uji tarik

Berdasarkan data hasil pengujian tarik yang diperoleh dapat dibuat grafik hubungan antara kekuatan tarik spesimen komposit untuk tiap-tiap pembebahan mula dua sumbu yang diterapkan pada serat penguat. Gambar 7 menunjukkan grafik hubungan antara variasi *biaxial pre-loading* pada *reinforcement fiber* dan kekuatan tarik komposit.



Gambar 7. Grafik hubungan antara variasi *pre-loading* pada *reinforcement fiber* dengan kekuatan tarik komposit.

Grafik pada gambar 7 adalah hubungan antara variasi *biaxial pre-loading* pada *reinforcement fiber* dengan kekuatan tarik komposit. Diketahui bahwa peningkatan *biaxial pre-loading* yang diberikan pada *reinforcement fiber* menghasilkan kenaikan kekuatan tarik komposit. Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa pada *pre-loading* 0N atau tanpa pembebahan mula, memiliki nilai kekuatan tarik komposit terendah 104.44 N/mm² sedangkan nilai kekuatan tarik komposit tertinggi yaitu 304.44 N/mm² terjadi pada *biaxial pre-loading* 40N.

Berdasarkan hasil pengujian kekuatan tarik pada setiap pengulangan sampel komposit, setiap variasi terjadi tidak *similar* diantara 3 sampel pengulangan pada *pre-loading* 30N dan 40N. Hal ini disebabkan ketika pembuatan komposit pada penarikan arah *transversal* dari total 62 *reinforcement fiber* terdapat anyaman yang mengendur. Hal ini menyebabkan saat resin dituang ke cetakan kemudian mengering, salah satu bagian komposit ada yang melemah.

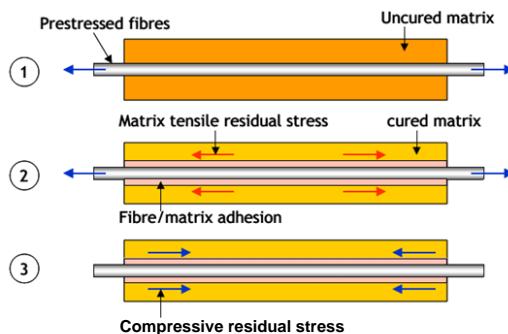
Udara yang terjebak dalam matriks dapat menimbulkan cacat pada material. Hal ini menyebabkan beban atau tegangan yang diberikan pada material tidak akan terdistribusi secara merata. Hal inilah yang menyebabkan turunnya kekuatan tarik pada komposit pada variasi pengulangan spesimen uji tarik.

Pada pengaturan jarak antara *reinforcement fiber* terdapat rongga, sehingga hal ini memungkinkan terjadinya pelemanan diantara permukaan material komposit tersebut. Hal ini juga akan mempengaruhi kekuatan tarik komposit.

Residual stress pada komposit

Pembebahan mula (gaya tarik) yang diberikan pada serat penguat *E-glass* masih dalam batas elastis material serat penguat. Gaya tarik tersebut akan dilepaskan ketika komposit sudah melewati *curing* (mengeras). Tegangan sisa tekan

(*Compressive residual stress*) yang terjadi pada komposit dapat dijelaskan dengan gambar 8 berikut.



Gambar 8. Ilustrasi *compressive residual stress*

- 1) Reinforcement fiber ditarik sebelum *curing*.
- 2) Matriks merekat pada *reinforcement fiber* dan menghasilkan tegangan tarik.
- 3) Gaya dilepaskan dari *reinforcement fiber* setelah matriks mengering.

Sebelum matriks dituang *reinforcement fiber* ditarik dengan gaya tertentu dalam batas elastis material serat penguat. Gaya tertentu tersebut dalam hal ini adalah *biaxial pre-loading*. Kemudian matriks dituang hingga mengering dan melekat pada fiber. Setelah matriks mengering gaya tarik dilepaskan. Reinforcement fiber akan menghasilkan gaya reaksi yang berlawanan dengan arah tarikan sehingga terjadi *compressive residual stress* pada komposit.

Kesimpulan

Dari hasil pengujian tarik dan analisis data yang telah dilakukan dapat dibuat kesimpulan bahwa penambahan nilai pembebangan mula dua sumbu (*biaxial pre-loading*) pada *reinforcement fiber* menyebabkan peningkatan kekuatan tarik komposit datar. Pada variasi *biaxial pre-loading* 0N, 10N, 20N, 30N, 40N cenderung mengalami peningkatan.

Berdasarkan analisis varian satu arah diketahui bahwa harga ($F_{hitung} > F_{tabels}$). Hal ini berarti bahwa variasi pembebangan mula dua arah berpengaruh terhadap kekuatan tarik pada *reinforcement fiber* panel komposit datar.

Peningkatan kekuatan tarik komposit tersebut dapat pula dijabarkan dengan mekanika bahwa telah terjadi tegangan sisa tekan (*compressive residual stress*) pada komposit. *Compressive residual stress* ini akan melawan tegangan tarik yang terjadi ketika spesimen mengalami uji tarik. Semakin besar *compressive residual stress* maka akan semakin besar tegangan tarik yang dibutuhkan untuk membuat spesimen putus. Hal ini menyebabkan kekuatan tarik komposit meningkat.

Penghargaan

Terima kasih kami ucapan kepada Fakultas Teknik Universitas Brawijaya dan Jurusan Teknik Mesin yang telah memberikan support untuk dapat mengikuti kegiatan SNTTM ke XVII pada tahun 2018 ini. Tak lupa kami ucapan terima kasih kepada seluruh rekan-rekan yang telah membantu suksesnya penyusunan makalah ini.

Referensi

- [1] ASTM D3039, 2010. *Standard Test Method for Tensile Properties of Fiber Glass Composite*. West Conshohocken : ASTM International
- [2] Autar, 2006. *Mechanics of Composite Materials*. New York: Taylor and Francis Inc.
- [3] Barthelot. 1999. *Composite Materials*. New York: Maple-Vail Book Manufacturing Group
- [4] Mazumdar, 2002. *Composites Manufacturing*. New York : CRC Press LLC.
- [5] Jorge, 1990. *The Influence of Prestressing on the Mechanical Behavior of Udirectional Composite*. ECCM 4<pp. 897-902
- [6] Moallemzadeh Alireza, Ali Sabet Ali, Sabet H. Abedini, *Preloaded Composite Panels under High Velocity Impact*, December 2017, International Journal of Impact Engineering 114.
- [7] Schwartz, 1984. *Composite Materials Handbook*. New York : Mc Graw-Hill Book Company.