

Sifat Kuat Tarik Mekanik Komposit FRP Serat E-Glass-Polyester dengan Metode Manufaktur *Handlay-Up*

Rian Suari Aritonang

rian.suari@lapan.go.id

(29 Desember 2020)

ABSTRAK

Sifat kekuatan mekanik suatu material sangat mempengaruhi performa dalam hal mekanisnya pada saat dioperasikan khususnya pada penggunaan material komposit matriks polimer ber penguat serat buatan khususnya pada penggunaan pesawat tanpa awak atau UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*). penggunaan material komposit berbasis polimer berpenguat serat e-glass adalah yang sudah luas penggunaannya pada dunia manufaktur UAV. Kombinasi Serat Glass- Matriks polyester adalah salah satunya. Pada penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan nilai sifat kekuatan tarik berupa, sifat mekanik kuat tarik (*Ultimate Tensile Strength*), nilai *Modulus Elastisitas (E)*, dan nilai Poisson ratio dari FRP (*Fiber Reinforced Polymer*) serat *E-glass* EW 135 dengan matriks polimer Polyester pada fraksi berat serat : matriks adalah 50:50. Metode standar pengujian yang digunakan adalah ASTM D3039 dengan metode manufaktur yang digunakan adalah metode manufaktur komposit *HandLay Up*. Nilai dari sifat kekuatan tarik pada penelitian ini adalah Nilai σ , sifat kuat tarik komposit rata-rata adalah 250.35 MPa dengan nilai minimum diperoleh pada 237.87 MPa dan tertinggi pada 272.10 MPa. Nilai modulus sifat kuat tarik komposit adalah berkisar 241–246 MPa, lalu nilai E, modulus Elastisitas rata-rata 5211 MPa – 5308 MPa, kemudian nilai rata-rata ν , poisson ratio diperoleh pada 0.120144.

Kata Kunci: serat, glass EW 135, polyester, ASTM D3039, tensile strength, modulus elastisitas

1. Pendahuluan

Material komposit merupakan gabungan dari dua material atau lebih yang digabungkan menjadi suatu material baru. Material komposit terdiri dari material penyusun yang berperan sebagai penguat (*strengthening*) dan matriks sebagai pengikat. Material komposit merupakan jenis material yang pengembangannya masih berlangsung sampai sekarang dan terus dikembangkan dikarenakan zona penelitian di bidang material sains sangatlah luas apalagi di bidang material komposit *fiber reinforced composite (FRP)* atau material komposit berpenguat serat. Penggunaan material komposit berbasis polimer berpenguat serat *E-glass* yang sudah luas pada bidang otomotif dan juga telah berkembang pada bidang penerbangan. Hal ini dikarenakan dan didukung oleh sifat mekanik dari serat *E-glass* yang sangat baik dalam segi kekuatan dan dari bahan *polyester* yang memiliki sifat elastis yang baik dan juga memiliki nilai ekonomis.

1.1. Latar Belakang

Saat ini penggunaan dari material komposit *FRP* untuk pembuatan material pesawat *UAV (Unmanned Aircraft Vehicle)* atau pesawat tanpa awak berkisar pada penggunaan serat *E-glass EW 135 cloth* dengan matriks *lycal* dengan metode *handlay-up* yang menghasilkan nilai kuat tarik masih berada di nilai kurang dari 200 MPa pada saat patah. Pada penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan nilai kekuatan tarik dari *FRP* serat *E-glass* dengan matriks *polyester* fraksi berat 50:50 dengan harapan mendapatkan nilai yang lebih baik dan merupakan usaha untuk mengidentifikasi dan mencari optimasi dalam pembuatan material komposit yang akan digunakan pada penggunaan bahan material penyusun *UAV LSU (LAPAN Surveillance Unamnned Aircraft)* di lingkungan Pustekbang-LAPAN.

1.2. Masalah penelitian

Masalah penelitian dirumuskan sebagai berikut:

1. Berapa nilai sifat mekanik kuat tarik (*Ultimate Tensile Strength*);
2. Berapa nilai Modulus Elastisitas (E);
3. Berapa nilai Poisson ratio dari material komposit FRP *E-glass* EW 135 matriks Polyester dengan fraksi berat serat W_f berbanding dengan fraksi berat matriks W_{fm} , $W_f : W_{fm}$ adalah 50:50.

1.3. Tujuan penelitian

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui dan mendapatkan data nilai sifat mekanik kuat tarik (*Ultimate Tensile Strength*)
2. Mengetahui dan mendapatkan data nilai Modulus Elastisitas (E), dan
3. Mengetahui dan mendapatkan data nilai Poisson ratio dari material komposit FRP *E-glass* EW 135 matriks *Polyester* dengan fraksi berat serat W_f berbanding dengan fraksi berat matriks W_{fm} , $W_f : W_{fm}$ adalah 50:50.

1.4. Manfaat penelitian

Dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan nilai-nilai data seperti yang disebutkan pada bagian tujuan penelitian yakni, sifat kuat tarik, nilai modulus elastisitas, dan nilai poisson ratio dari material komposit FRP *E-glass* EW 135 dengan padanan matriks *Polyester*. Data-data tersebut selanjutnya akan digunakan dalam proses *material selection* dalam suatu rancangan manufaktur baik manufaktur komponen pesawat tanpa awak dan sebagainya.

2. Metodologi

Material komposit adalah penggabungan dua jenis material atau lebih untuk memperoleh sifat yang paling optimum dari setiap material penyusun. Umumnya material komposit terdiri dari dua jenis material yaitu material dasar (matriks) yang secara kontinyu melingkupi dan menyatukan material lain (penguat/ *reinforcement*) yang tersebar merata.

Berdasarkan jenis material penguatnya, komposit dapat dibedakan dalam beberapa jenis yaitu :

1. *Particle-reinforced composite*, dengan bercirikan partikel penguatnya berukuran besar seperti pada beton bertulang.
2. *Fiber Reinforced Composite* (FRP), yaitu komposit yang dihasilkan dari penggunaan serat sebagai penguat dengan bentuk penguat seratnya bisa berupa serat pendek-pendek (*short fiber*) atau serat panjang yang menyambung (*continuous long fiber*).
3. *Structural-reinforced composite*, yaitu komposit yang bercirikan berpenguat dari rekayasa struktur yang tersusun seperti pada struktur sandwich komposit untuk aplikasi pada ketahanan lentur.

Berdasarkan jenis matriks, komposit dapat dibedakan dalam tiga kategori yaitu:

1. *Polymer Matrix Composite* (PMC), merupakan jenis komposit yang bermatriks dari bahan polimer. Jenis komposit ini merupakan jenis komposit yang paling populer dan luas penggunaannya.
2. *Metal Matrix Composite* (MMC)
3. *Ceramic Matrix Composite* (CMC)

Komposit sebagai material yang tersusun dari dua jenis material penyusun yaitu matriks sebagai pengikat dan serat (*fiber*) sebagai penguat, maka berikut karakteristik umum dari material penyusun komposit.

Karakteristik dasar suatu matriks sebagai pengikat:

1. Umumnya memiliki sifat mekanik yang cukup baik
2. Memiliki viskositas yang rendah dan temperatur pengerjaan yang rendah sehingga mudah dalam proses manufakturnya
3. Memiliki ketahanan korosi atau degradasi yang baik
4. Dapat melindungi serat
5. Dapat berperan sebagai media perpindahan gaya pada distribusi pembebanan dari serat ke serat

Adapun untuk material penyusun yang berperan sebagai penguat adalah:

1. Memiliki nilai sifat mekanik kekuatan dan kekakuan yang sangat tinggi
2. Memiliki luas permukaan yang besar (aspek rasio antara panjang dan diameter serat tinggi)
3. Tipe serat yang dapat diatur sesuai dengan arah pembebanan

Serat gelas atau *Fiber Glass* merupakan salah satu material serat sintetis yang banyak digunakan sebagai serat penguat pada berbagai matriks polimer FRP. Hal ini dikarenakan sifat ketersediannya yang dapat diperoleh di pasar bebas dengan harga yang relatif terjangkau oleh pengguna. Terdapat berbagai tipe umum pada serat gelas yaitu:

1. Tipe serat *E-glass*, karakter dominan berupa konduktifitas elektrik yang termasuk rendah
2. Tipe serat *M-glass*, dengan karakter sifat mekanik kekakuan yang tinggi
3. Tipe serat *C-glass*, dengan karakter dominan berupa durabilitas kimia yang tinggi

Tipe serat *E-glass* merupakan tipe serat gelas yang paling umum digunakan dan merupakan material serat penguat yang umum di pasaran.

Pada Tabel 1 dapat dilihat berbagai data sifat fisik dan mekanik dari berbagai serat penguat pada FRP.

Tabel 1. Sifat mekanik dan fisik serat penguat

Trade name	Generic name	Manufacturer	Composition	Ref	Density		Elastic modulus		Tensile strength		Specific modulus ^(a)	Specific strength ^(a)	Break elongation %	Coefficient of thermal expansion		Fiber diameter		
					g/cm ³	lb/in. ³	GPa	10 ⁶ psi	MPa	ksi	Mm	Mm		10 ⁻⁶ /°K	10 ⁻⁶ /°F	µm	10 ⁻⁴ in.	
Natural fibers																		
...	Kenaf	Kafun	63% cellulose	6	1.52	0.0549	90	13.0	1000	145	6.0	0.067	2	
Oxide glass fibers																		
...	E-glass	Owens-Corning, PPG, Vetrotex	Borosilicate	1, 2	2.54	0.0918	76-79	11.0-11.5	3100-3800	450-550	3.1-3.2	0.124-0.153	4.8	5	2.78	5-20	200-800	
...	S-glass	Owens-Corning, Vetrotex, Nitobo	Mg/Al silicate	1, 3	2.48	0.0896	88-91	12.7-13.2	4400	638	3.6-3.7	0.181	5.7	2.9	1.61	5-10	200-900	
Astro-quartz	Quartz	Vetrotex	Silica 90.999%	1, 3	2.15	0.0777	69	10.0	3400	493	3.3	0.161	5	0.5	0.28	9	350	
Aramid fibers																		
Technora T-200	LM	Teijin	Poly-phenylene-terephthalamide	p-	1, 3	1.39	0.0502	70	10.2	3000	435	5.1	0.220	4.4	12	472
Twaron	IM	Alko	Poly-phenylene-terephthalamide	p-	1, 3	1.45	0.0524	121	17.6	3100	450	8.5	0.218	2	-3.5	-1.94	12	472
Kevlar 149	HM	DuPont	Poly-phenylene-terephthalamide	p-	1, 3	1.47	0.0531	179	26.0	3500	508	12.4	0.243	2	-2	-1.11	12	472

LM, low modulus; IM, intermediate modulus; HM, high modulus
(a) Calculated from actual strength and modulus data tabulated in Ref 3
(b) U.S. dollars.

Resin poliester atau lebih dikenal sebagai Unsaturated Polyester Resin (UPE) merupakan resin yang sering digunakan sebagai matriks pada FRP berpenguat serat khususnya pada penggunaan serat gelas serta penggunaan yang telah meluas seperti pada bidang struktur. Komposit berbasis bahan poliester dikenal karena segi ke ekonomisannya dan sifat mudah untuk dimanufaktur yang membuat resin tipe ini menjadi luas penggunaannya. Selain itu, polyester resin memiliki karakteristik untuk *curing* atau tahap proses pengerasannya yang dapat dilakukan dengan berbagai cara tanpa harus merusak sifat fisiknya.

Berbagai sifat mekanik dan fisik dari resin polye스터 ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Sifat Mekanik dan Fisik Resin Matriks Pengikat

Resins	Density ρ (kg/m^3)	Elastic Modulus E (Mpa)	Shear Modulus G (Mpa)	Poisson Ratio ν	Tensile Strength σ_{th} (Mpa)	Elongation $E\%$	Coefficient of Thermal Expansion α ($^{\circ}\text{C}^{-1}$)	Coefficient of Thermal Conductivity λ ($\text{W/m}^{\circ}\text{C}$)	Heat Capacity C ($\text{J/kg}^{\circ}\text{C}$)	Useful Temperature Limit T_{max} ($^{\circ}\text{C}$)	Price 1993 (\$/kg)
<i>Thermosets</i>											
Epoxy	1200	4500	1600	0.4	130	2 (100°C) 6 (200°C)	11×10^{-5}	0.2	1000	90 to 200	6 to 20
Phenolic	1300	3000	1100	0.4	70	2.5	1×10^{-5}	0.3	1000	120 to 200	
Polyester	1200	4000	1400	0.4	80	2.5	8×10^{-5}	0.2	1400	60 to 200	2.4
Polycarbonate	1200	2400		0.35	60		6×10^{-5}		1200	120	
Vinylester	1150	3300			75	4	5×10^{-5}			>100	4
Silicone	1100	2200		0.5	35					100 to 350	
Urethane	1100	700 to 7000			30	100				100	4
Polyimide	1400	4000 to 19,000	1100	0.35	70	1	8×10^{-5}	0.2	1000	250 to 300	
<i>Thermoplastics</i>											
Polypropylene (pp)	900	1200		0.4	30	20 to 400	9×10^{-5}		330	70 to 140	
Polyphenylene sulfone (pps)	1300	4000			65	100	5×10^{-5}			130 to 250	
Polyamide (pa)	1100	2000		0.35	70	200	8×10^{-5}		1200	170	6
Polyether sulfone (pes)	1350	3000			85	60	6×10^{-5}			180	25
Polyetherimide (pei)	1250	3500			105	60	6×10^{-5}	0.2		200	20
Polyether-ether-ketone (peek)	1300	4000			90	50	5×10^{-5}	0.3		140 to 250	96

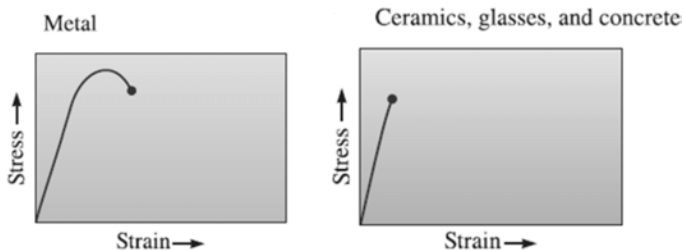
Pengujian tarik merupakan salah satu pengujian mekanik untuk mendapatkan sifat mekanik (*Mechanical Properties*) berupa :

1. Kekuatan Tarik atau *Ultimate Tensile Strength*, UTS sebagai nilai tegangan tarik maksimum yang dapat bekerja pada benda
2. Modulus elastisitas, E sebagai nilai konstanta linier antara hubungan tegangan, stress dengan regangan, strain. Dimana secara linier hubungan tegangan, regangan dan modulus elastisitas dapat dinyatakan secara matematis sebagai berikut :

$\sigma = E \cdot e$, dimana σ , merupakan tegangan dalam besaran MPa

E , merupakan Modulus Elastisitas dalam besaran MPa atau GPa dan e , merupakan regangan yang dinyatakan dalam besaran %

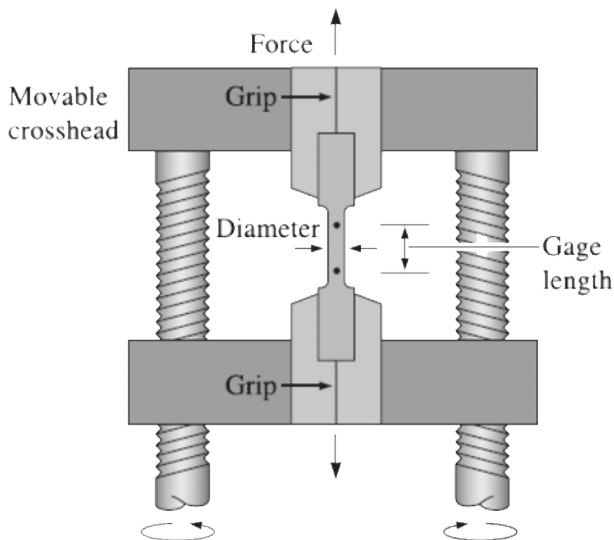
3. Poisson ratio, ν yang dapat didefinisikan sebagai nilai perbandingan antara regangan transversal dan regangan aksial pada suatu spesimen



Gambar 1. Bentuk kurva pengujian tarik material 9,
(a) Paduan logam, (b) Keramik

Bentuk kurva hasil uji tarik pada spesimen material paduan logam, seperti yang ditampilkan pada gambar 1a, terdapat zona linier dan zona non-linier yaitu daerah plastis dan daerah elastis. Untuk kurva hasil uji tarik pada material keramik, kurva hasil pengujian berupa grafik linier, seperti yang ditampilkan pada Gambar 1b. Pada material komposit, kurva hasil pengujian

tariknya lebih mendekati kurva hasil uji tarik pada material komposit. Hal ini dikarenakan terdapat kesamaan dari modulus patahan dan sifat material yang tergolong pada material gelas (*Brittle*).

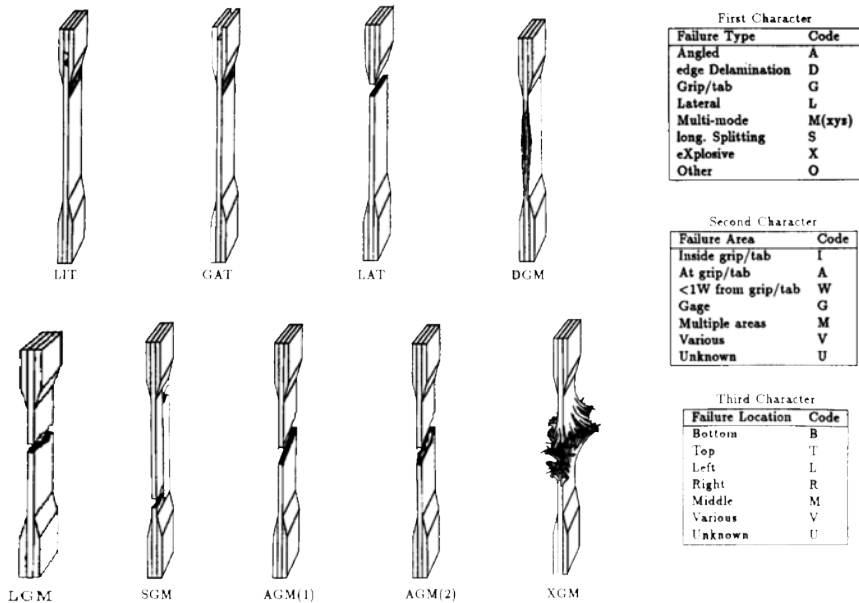


Gambar 2. Skema Alat Uji Tarik

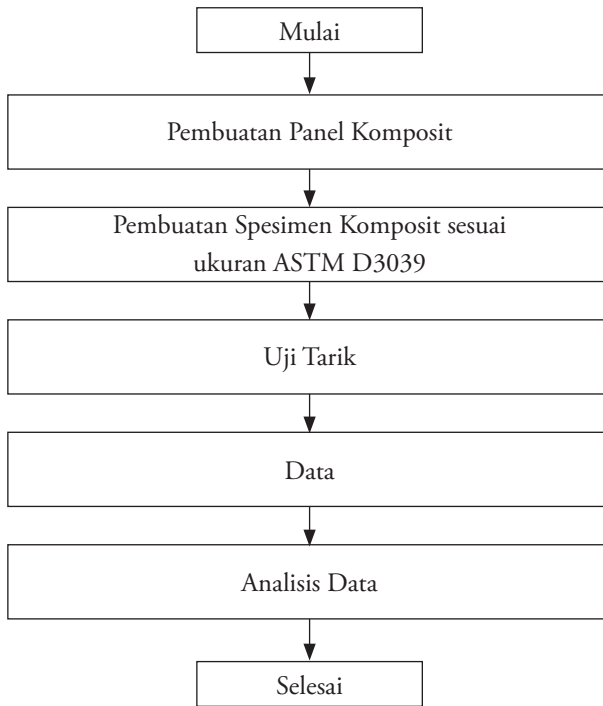
Pada Gambar 2 ditampilkan skema dari alat pengujian tarik. Pada alat pengujian tarik material diposisikan di tengah-tengah *grip* atau genggam tarik. Genggam tarik bawah adalah bersifat tetap dan tidak bergerak. Pada mesin uji tarik, *grip* atau genggam atas yang memiliki pergerakan untuk memberikan gaya tarik pada spesimen uji.

Untuk pengujian tarik pada material komposit, acuan standard, seperti yang digambarkan pada Gambar 3 yang digunakan adalah ASTM D3039 edisi terbaru. Berdasarkan pada ASTM D3039 terdapat beberapa bentuk definisi kegagalan (*failure*) akibat pembebanan tarik. Terdapat tiga karakter notasi pada penamaannya. Penamaan tersebut dapat dijelaskan sebagai berikut :

1. Notasi pertama, merujuk pada tipe kegagalan seperti: delaminasi, eksplosif, *splitting*
2. Notasi kedua, merujuk pada area keagalannya terjadi yaitu : pada zona genggaman, pada daerah *gage* nya, dan sebagainya
3. Notasi ketiga, merujuk pada lokasi terjadinya kegagalan seperti, tengah, ujung dan sebagainya.



Gambar 3. Bentuk variasi kegagalan komponen tarik merujuk pada ASTM D3039



Gambar 4. Diagram Alir Penelitian

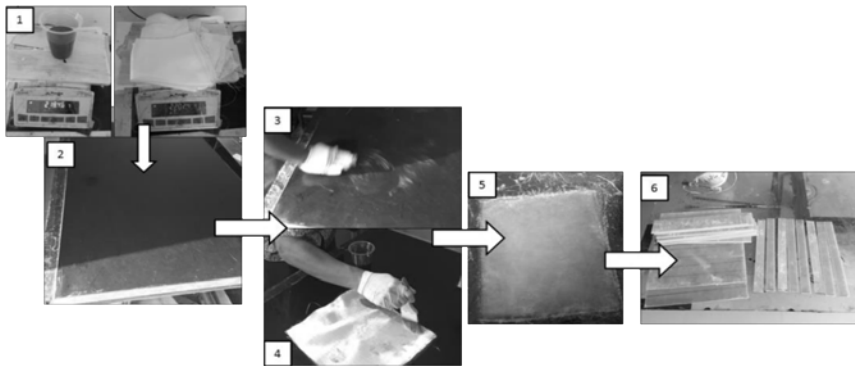
Penelitian ini dimulai dengan menyiapkan alat dan bahan. Peralatan dan bahan yang digunakan pada penelitian kali ini dapat dijabarkan sebagai berikut.

1. Serat *fiber glass E-glass* EW 135 fabrikasi justus
2. Resin UPR (*Unsaturated Polyester Resin*)
3. Hardener *MEPOXE* produk pabrikan justus
4. Perlengkapan alat dan mesin pemotong untuk serat
5. Alat ukur (penggaris dan kaliper)

6. Alat perlengkapan untuk manufaktur *handlay-up*
7. Alat ukur massa (neraca timbang digital)
8. Mesin Uji Tarik UTM RTF 2410 kapasitas 100kN

Pada penelitian ini menggunakan fraksi berat untuk UPR berbanding dengan fraksi berat *E-glass* EW 135 yaitu 50% W_f dan 50% W_{fm} untuk masing-masing fraksi serat penguat dan matriks pengikat.

Pembuatan panel komposit dimulai dengan melakukan proses penyiapan serat *E-glass* dimulai dari proses pemotongan serat berukuran berkisar 30 cm x 30 cm sebanyak 18 lapis. Sejumlah lapisan serat hasil pemotongan dilakukan perhitungannya dengan menimbang menggunakan alat ukur massa elektronik. Kemudian dilanjutkan dengan perhitungan sejumlah cairan resin polyester dengan jumlah yang sama dengan berat serat. Penambahan dan proses pengadukan katalis pada resin polyester untuk mempercepat proses curing dilakukan dengan menggunakan alat aduk elektronik. Kemudian tahapan selanjutnya adalah menyiapkan tempat untuk pencetakan panel komposit yaitu dengan menggunakan media meja yang diberikan atasan alas berupa kaca. Untuk memudahkan proses pengambilan panel komposit apabila sudah mengeras dan mengering, maka terlebih dahulu alas kaca diolesi dengan lapisan tipis glaze gloss[®]. Tahapan selanjutnya adalah pelapisan resin pada alas cetakan kemudian diikuti dengan penumpukan serat dan proses penekanan serat ke resin secara manual menggunakan kuas. Hal ini dilakukan secara berulang-ulang sampai ke seluruh potongan serat telah digunakan pada cetakan panel komposit. Kemudian cetakan yang sudah jadi tadi dibiakan selama 1 x 24 jam untuk proses *curing* dan mengeras dan mengering sempurna. Hal ini terlihat jelas ditampilkan pada Gambar 5 di bawah ini.



Gambar 5. Gambaran tahapan Manufaktur Komposit Panel

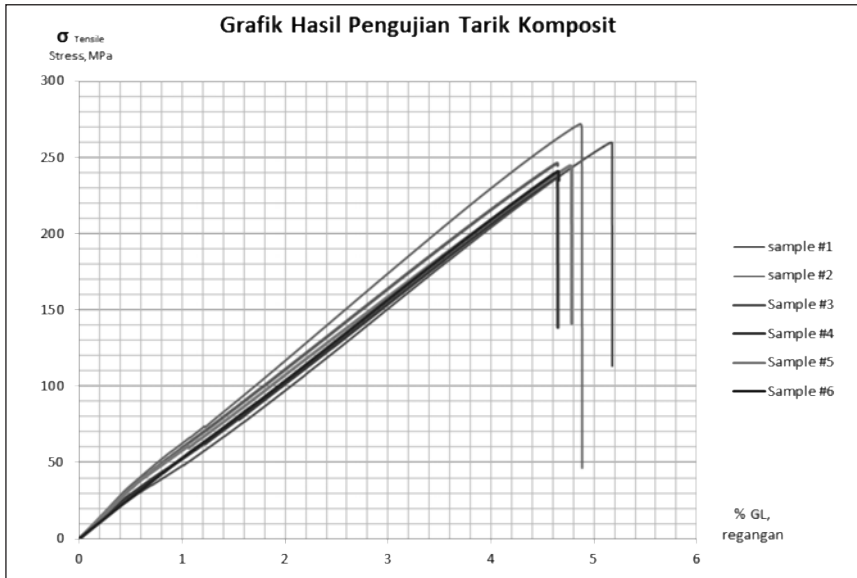
3. Hasil dan Pembahasan

Pada bagian ini terdapat bagian pengolahan data dan pembahasan dari hasil pengujian tarik dari spesimen komposit resin *polyester* berpenguat serat *E-glass*. Pengujian tarik pada penelitian ini menggunakan mesin uji tarik utm tipe TENSILON RTF 2410 dengan kapasitas 100 kN yang berada pada Laboratoium Aerostruktur Pusat Teknologi Penerbangan- LAPAN.

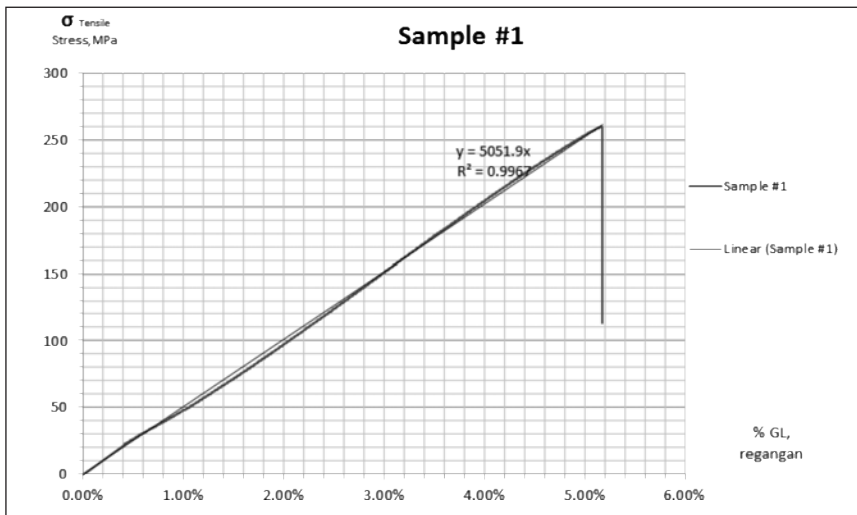
3.1. Hasil penelitian

Pegujian tarik dilakukan pada ke enam spesimen yang merupakan spesimen yang berasal dari satu panel komposit yang sama. Hasil pengujian tarik dari ke enam spesimen ditampilkan secara kolektif pada satu grafik seperti yang ditampilkan pada Gambar 6 di bawah ini.

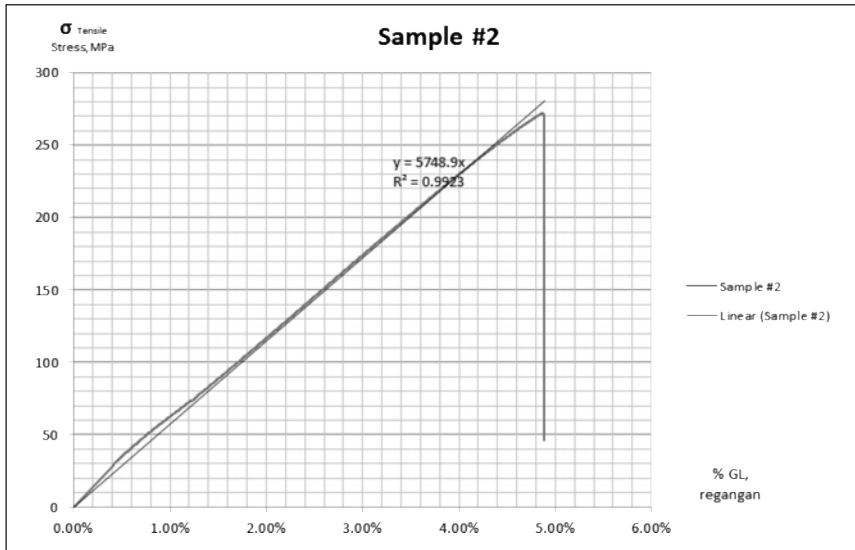
Grafik yang dihasilkan berupa grafik garis linier, dimana pada ujung koordinat (X_{max} , Y_{max}) pada ujung grafik linier adalah nilai dari regangan dan tegangan yang terjadi pada spesimen komposit sesaat akan patah. Grafik untuk setiap spesimen secara individu disajikan pada Gambar 7 sampai dengan Gambar 12 dan tabulasi data pengujian keseluruhan disajikan pada Tabel 3.



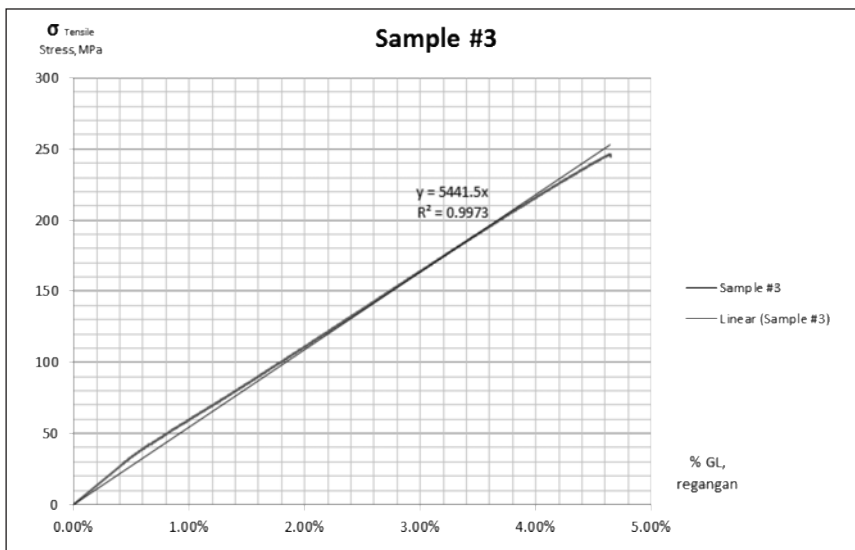
Gambar 6. Grafik hasil uji Tarik Spesimen Komposit



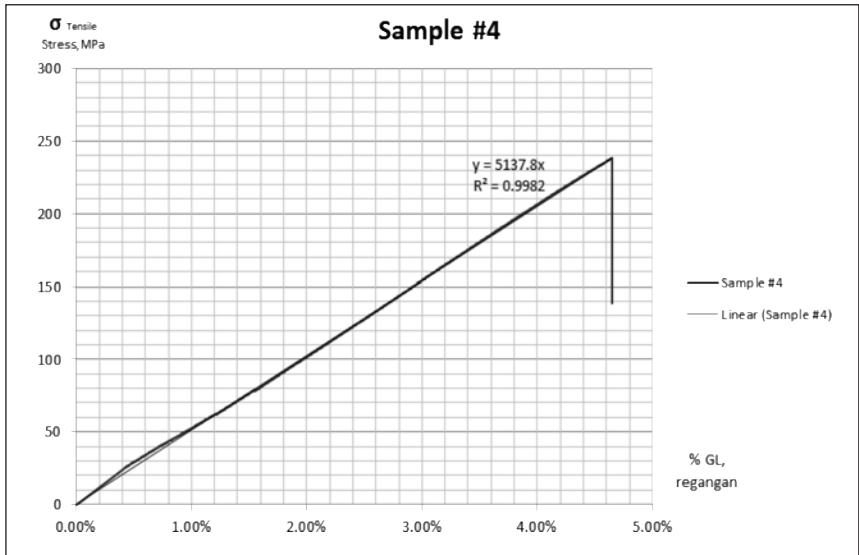
Gambar 7. Grafik hasil uji Tarik Spesimen #1



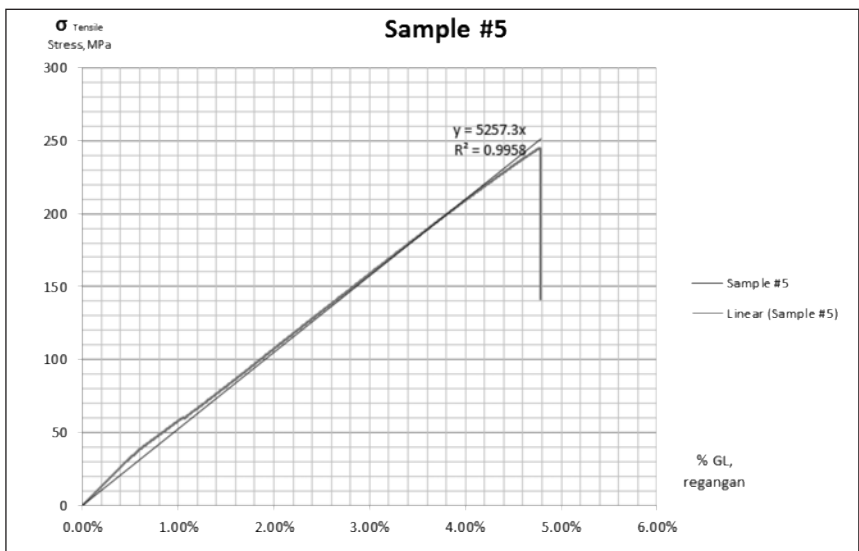
Gambar 8. Grafik hasil uji Tarik Spesimen #2



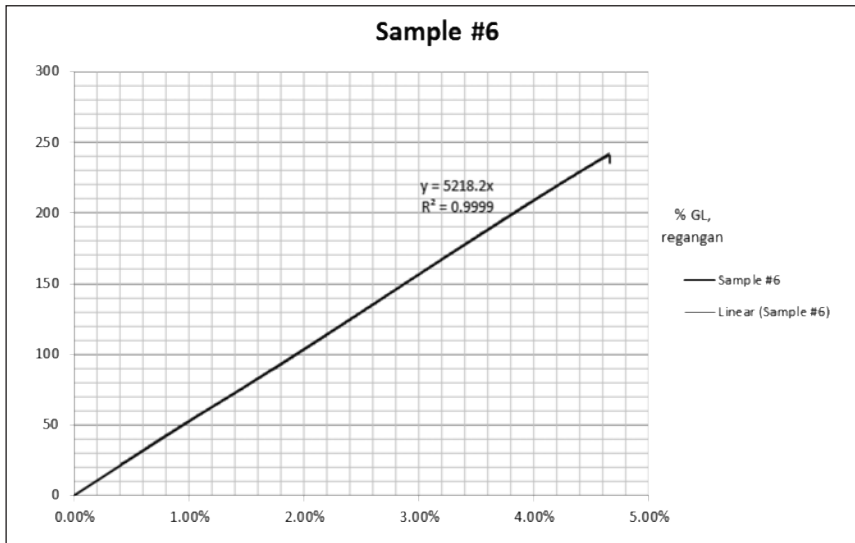
Gambar 9. Grafik hasil uji Tarik Spesimen #3



Gambar 10. Grafik hasil uji Tarik spesimen #4



Gambar 11. Grafik hasil uji Tarik spesimen #5



Gambar 12. Grafik hasil uji Tarik Spesimen #6

Tabel 3. Tabulasi Hasil Pengujian Spesimen

Test No.	Lebar (mm)	Tebal (mm)	Sect. Area (mm ²)	Beban Maks. (N)	Tegangan Maks. (MPa)	Modulus Elastis (MPa) Pendekatan - non grafik -	Modulus Elastisitas (MPa) Pendekatan - grafik -	%GL saat patah
1	25	2.75	68.750	17875	260.00	5300	5051	5.168
2	25	2.75	68.750	18707	272.10	5510	5748	4.866
3	25	2.90	72.50	17867	246.43	5130	5441	4.641
4	25	2.82	70.50	16770	237.87	5136	5137	4.646
5	25	2.90	72.50	17740	244.69	4986	5257	4.765
6	25	2.79	69.750	16813	241.05	5207	5218	4.650
Rata-rata	25	2.8183	70.458	17629	250.35	5211	5308	4.789

Penentuan modulus elastisitas dilakukan dengan menggunakan dua pendekatan dasar, yaitu:

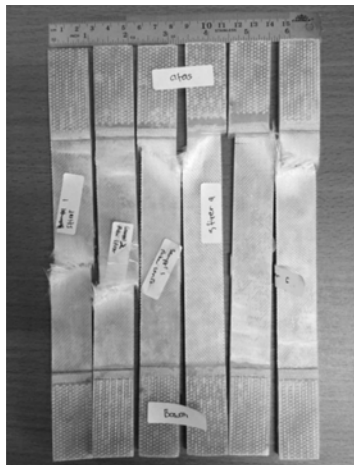
1. Dengan menggunakan data persamaan garis pada hasil grafik, dengan menggunakan pendekatan persamaan linier $f(x) = y = m \cdot x$ dimana persamaan ini identik dengan persamaan $\sigma = E \cdot e$. Pada pendekatan ini, nilai E adalah nilai m (*slope* dari persamaan garis).
2. Pendekatan non grafik dengan menggunakan beda dua data tegangan σ , dan e , regangan pada nilai regangan 4.5 % dan data tegangan σ , dan e , regangan pada nilai regangan 2.5 % pada data akuisis

Dengan menggunakan dasar hubungan persamaan:

$$\sigma = E \cdot e$$

pada persamaan (1) maka didapat nilai E sebagai nilai modulus elastisitas pada masing-masing spesimen uji seperti yang ditampilkan pada tabel 3.

$$E = \Delta\sigma / \Delta e \quad (1)$$

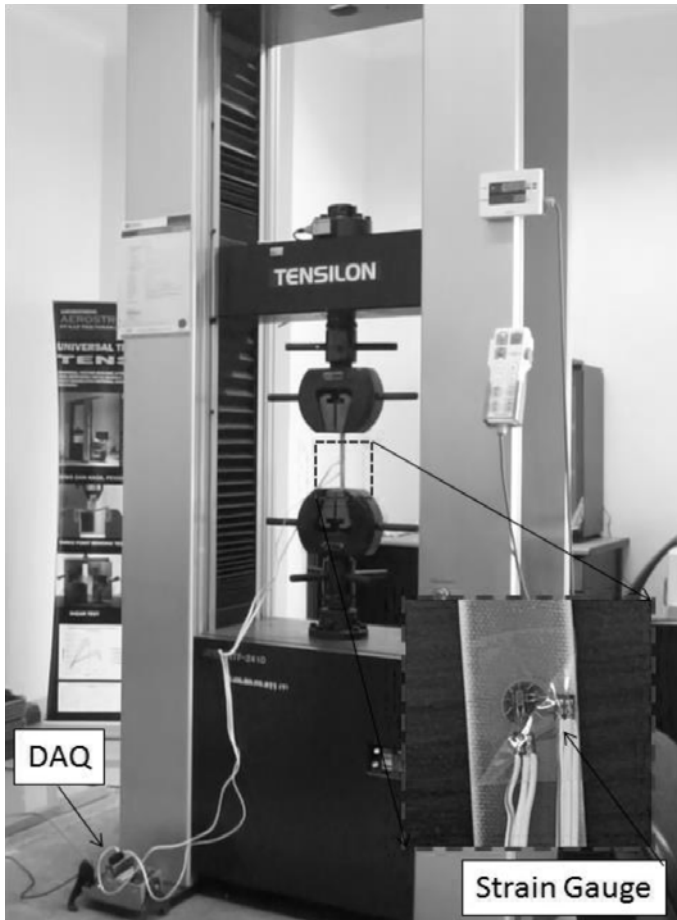


Gambar 13. Spesimen Uji Tarik Kondisi setelah pengujian

Berdasarkan pengamatan visual pada bentuk kerusakan pada tiap-tiap spesimen didapat data pengamatan bahwa:

1. Spesimen #1 mengalami kerusakan pada sisi bagian tengahnya (*gage*) berupa eksplosif atau dapat dinotasikan sebagai *XGM (Explosive Gage Middle)*
2. Spesimen #2 mengalami kerusakan pada sisi bagian tengahnya (*gage*) berupa eksplosif atau dapat dinotasikan sebagai *XGM (Explosive Gage Middle)*
3. Spesimen #3 mengalami kerusakan pada sisi bagian atas dekat grip penjepit dengan bentuk bersudut, *angled*, dan dapat dinotasikan sebagai *AAT (Angled AtGrip Top)*
4. Spesimen #4 mengalami kerusakan pada sisi bagian atas dekat grip penjepit dengan bentuk bersudut, *angled*, dan dapat dinotasikan sebagai *AAT (Angled AtGrip Top)*
5. Spesimen #5 mengalami kerusakan pada sisi bagian atas dekat grip penjepit dengan bentuk lurus, *lateral*, dan dapat dinotasikan sebagai *LAT (Lateral AtGrip Top)*
6. Spesimen #6 mengalami kerusakan pada sisi bagian atas dekat grip penjepit dengan bentuk lurus, *lateral*, dan dapat dinotasikan sebagai *LAT (Lateral AtGrip Top)*

Poisson ratio adalah nilai perbandingan antara rengangan *lateral* dan regangan *longitudinal* pada suatu spesimen sebagai reaksi dari pembebanan luar berupa beban tarik. Penentuan *poisson ratio* pada penelitian ini menggunakan data dari tiga sampel pertama yang telah dipasang alat sensor data berupa *strain gauge* yang telah disinkronisasikan dengan data akuisisi DAQ dari National Instruments[®].



Gambar 14. Mesin Uji Tarik UTM RTF 2410 milik LAPAN

Penentuan *poisson ratio* dilakukan dengan pendekatan yaitu dengan menggunakan data beda dua data regangan lateral dan regangan longitudinal yang tercatat pada 3000 $\mu\epsilon$ (mikro-strain) dan 1000 $\mu\epsilon$ (mikro-strain).

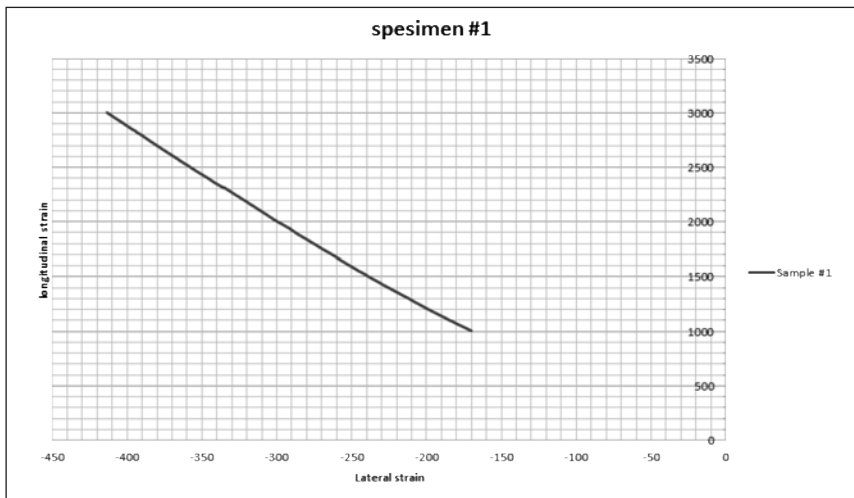
Dengan menggunakan dasar hubungan persamaan poisson ratio sebagai nilai perbandingan antara regangan lateral dan regangan longitudinal, maka:

$$\nu = - (e, \text{lateral}) / (e, \text{longitudinal})$$

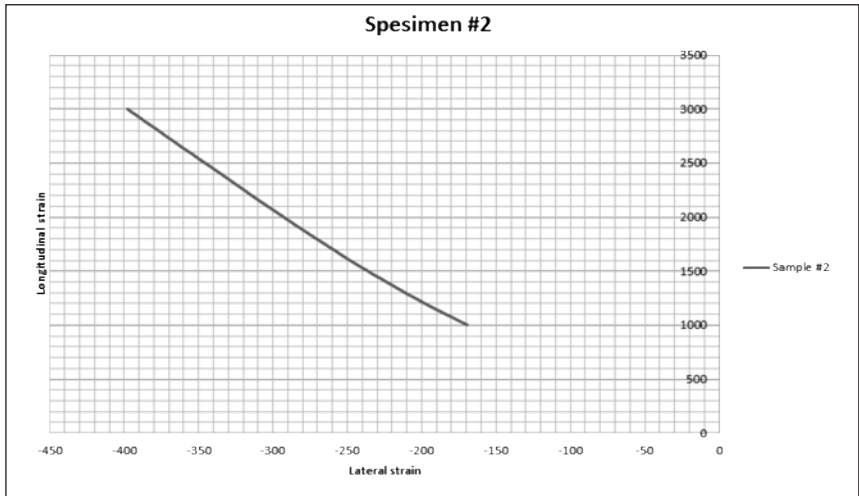
pada persamaan (2) maka didapat nilai ν , *poisson ratio*, pada masing-masing spesimen uji seperti yang ditampilkan pada tabel.

$$\nu = - (\Delta e, \text{lateral}) / (\Delta e, \text{longitudinal}) \quad (2)$$

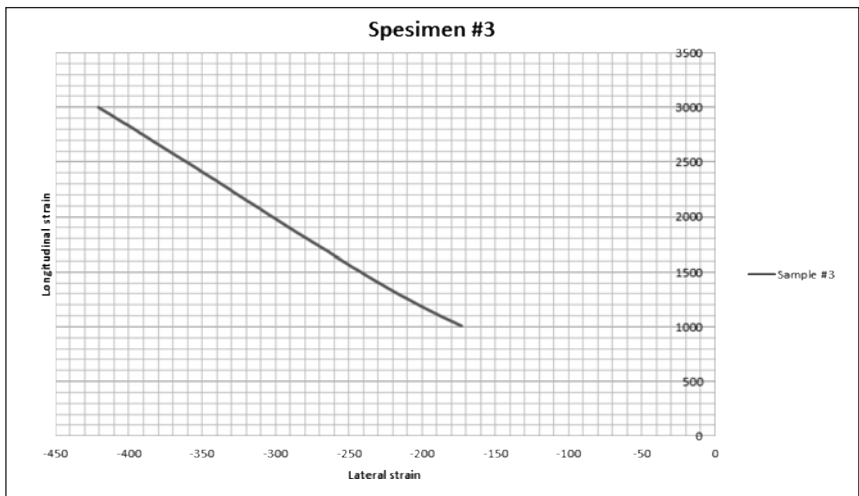
Di bawah ini ditampilkan grafik hasil data akuisisi untuk regangan yang dihasilkan saat uji tarik untuk 3 sampel pertama yang sudah dipasang dengan sensor *strain gauge*.



Gambar 15. Grafik DAQ regangan lateral vs longitudinal Spesimen #1



Gambar 16. Grafik DAQ regangan lateral vs longitudinal Spesimen #2



Gambar 17. Grafik DAQ regangan lateral vs longitudinal Spesimen #3

Tabel 4. Data penentuan nilai Poisson Ratio

Test No.	Regangan Lateral	Regangan Lateral	Regangan Longitudinal	Regangan Longitudinal	$\nu = - (\Delta\epsilon, \text{lateral}) / (\Delta\epsilon, \text{longitudinal})$
	3000 $\mu\epsilon$	1000 $\mu\epsilon$	3000 $\mu\epsilon$	1000 $\mu\epsilon$	
1	-413.413	-170.134	3003.363	1005.777	0.121786
2	-397.842	-169.389	3002.079	1003.284	0.114298
3	-420.753	-173.097	3002.381	1009.370	0.124262
Rata-rata					0.120114

4. Penutup

4.1. Kesimpulan

Mengacu pada tujuan penelitian yang sudah dipaparkan sebelumnya maka dapat dijabarkan beberapa kesimpulan. Dari penelitian ini maka didapat kesimpulan bahwa :

1. Nilai σ , sifat kuat tarik komposit rata-rata adalah 250.35 MPa dengan nilai minimum diperoleh pada 237.87 MPa dan tertinggi pada 272.10 MPa. Nilai modulus sifat kuat tarik komposit adalah berkisar 241-246 MPa
2. Nilai E , modulus Elastisitas rata-rata 5211 MPa (pendekatan 1) dan 5308 MPa (Pendekatan 2)
3. Nilai rata-rata regangan maksimal (% strain) sebelum patah diperoleh pada nilai 4.789%
4. Nilai rata-rata ν , *poisson ratio* sebagai hasil pendekatan diperoleh pada 0.120144

Tabel 5. Nilai rata-rata dan rentang nilai sifat kuat tarik dan modulus elastisitas

No	Komposit Polyester, <i>E-glass</i> ($W_g; W_{fm} = 50:50$)			
	σ	E	% regangan saat patah	Poisson ratio
Nilai rata-rata	250.35 MPa	5.211 GPa / 5.308 GPa	4.789%	0.120144
Rentang Nilai	237.87-272.10 MPa	4.986-5.510 GPa/ 5.051-5.748 GPa	4.641-5.168 %	0.114298-0.1214262

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Bapak Gunawan Setyo Prabowo selaku Kepala Pusat Teknologi Penerbangan LAPAN, Bapak Agus Aribowo selaku Kepala Bidang Program dan Fasilitas Pusat Teknologi Penerbangan, LAPAN dan Bapak Mabe Siahaan selaku penasehat pelaksanaan penelitian ini.

Daftar Pustaka

- [1] E. J. Barbero, "Introduction to Composite Materials Design," CRC Press, 2011.
- [2] D. W. J. Callister and G. D. Rethwisch, *Material Science and Engineering: An Introduction*. 2015.
- [3] A. I. H. Committee, *ASM Handbook: Volume 21: Composites*. 2001.
- [4] F. R. Jones, "Chapter 26 - Unsaturated Polyester Resins," in *Brydson's Plastics Materials (Eighth Edition)*, 2017.
- [5] ASTM International, "ASTM D3039 / D3039M-17, Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials," *Stand. Test Method Tensile Prop. Polym. Matrix Compos. Mater.*, 2017.
- [6] J. R. Davis, *Tensile testing*. 2004.
- [7] D. R. Askeland, "The science and engineering of materials - Seventh edition," Cengage Learn., 2016.