

NILAI KEKUATAN TARIK KOMPOSIT SERAT *E-GLASS* $\pm 45^\circ$ DENGAN Matriks POLYESTER UNTUK STRUKTUR LSU (LAPAN SURVEILLANCE UAV)

TENSILE PROPERTIES E-GLASS $\pm 45^\circ$ FIBER WITH Matriks POLYESTER COMPOSITE AS STRUCTURE OF LSU

Lathifa Rusita Isna, Nur Mufidatul Ula, Kosim Abdurohman, Yusuf Giri Wijaya
Pusat Teknologi Penerbangan - LAPAN
lathifa.rusita@lapan.go.id

Abstrak

Beberapa metode bisa diterapkan dalam manufaktur komposit, salah satunya adalah dengan metode *Vacuum Infusion*. *Vacuum infusion* memanfaatkan kekuatan tekanan dari alat *Vacuum* yang dimanfaatkan untuk pendistribusian resin ke dalam lapisan serat dalam pembuatan komposit. Metode ini merupakan salah satu metode yang dapat menghasilkan sifat mekanik komposit yang lebih baik daripada metode manual. Untuk menerapkan metode ini dalam pembuatan struktur UAV, perlu diketahui terlebih dahulu secara eksperimental terkait sifat mekanik dari komposit hasil *Vacuum infusion* ini. Eksperimen yang dilakukan diantaranya yaitu pengujian tarik untuk mendapatkan *tensile stress*, *tensile strain*, dan modulus elastisitas yang dilakukan dengan menggunakan alat UTM (*Universal Testing Machine*) dan dikolaborasi dengan alat NI (*National Instrument*) untuk mendapatkan data *poisson ratio*. Selain itu dapat ditentukan pula nilai densitas, ketebalan komposit, fraksi massa dan *fraksi volume* material penyusun komposit serta dilakukan foto SEM (*Scanning Electron Microscope*) untuk melihat kerapatan ikatan antar serat dan resin. Pembuatan komposit ini menggunakan material komposit *E-glass* $\pm 45^\circ$ yang di campur dengan matriks resin polyester dengan metode *vacuum infusion*. Pembuatan spesimen mengacu pada standar pengujian tarik untuk komposit dengan matriks polimer yaitu ASTM D3039. Hasil pengujian menunjukkan nilai *ultimate tensile strength* yaitu 104.72 ± 12.28 MPa, rata-rata modulus elastisitas 9587.3 ± 1714.79 MPa, dan nilai *Poisson Ratio* 0.80 ± 0.16 .

Kata Kunci: *E-glass* $\pm 45^\circ$, Komposit, *Vacuum Infusion*, Uji Tarik, *Poisson Ratio*

Abstract

Several methods can be applied in composite manufacture, one of them is by Vacuum Infusion method. Vacuum infusions utilize the pressure strength of the Vacuum apparatus which is utilized for the distribution of resins into fiber layers in composite manufacture. This method is one of some method that can produce better composite mechanical properties than manual method. To apply this method in the manufacture of UAV structure, it is necessary to know in advance experimentally related to the mechanical properties of the composite of this Vacuum infusion result. Experiments carried out include tensile testing to obtain tensile stress, tensile strain, and elastic modulus performed using UTM (Universal Testing Machine) tools and collaborated with NI (National Instrument) tools to obtain poisson ratio data. In addition, density, composite thickness, mass fraction and fraction of composite material volume and SEM (Scanning Electron Microscope) photographs can be determined to see the bond density between fibers and resins. Making this composite using E-glass composite material $\pm 45^\circ$ mixed with polyester resin matrix by method of vacuum infusion. Specimen preparation refers to ASTM D3039 which is the standard tensile test for composites with a polymeric matrix. The test results show the value ultimate tensile strength is 104.72 ± 12.28 MPa, average modulus elasticity is 9587.3 ± 1714.79 MPa, and Poisson Ratio 0.80 ± 0.16 .

Keyword: E-glass $\pm 45^\circ$, Composite, *Vacuum Infusion*, *Tensile Properties*, *Poisson Ratio*

1. PENDAHULUAN

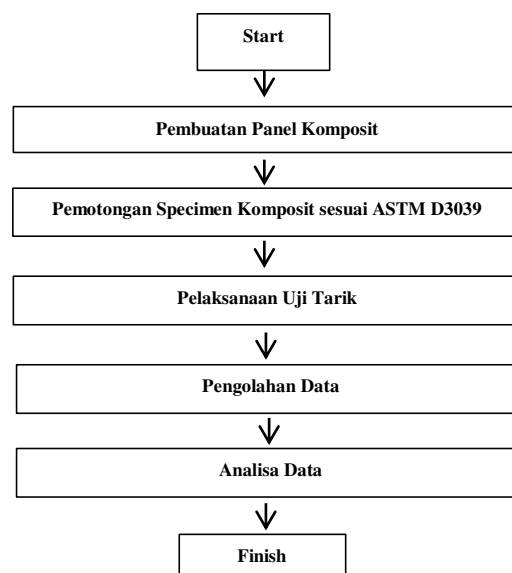
Material komposit adalah sebuah material yang terdiri dari dua bahan atau lebih yang masih tetap terpisah, masih bisa dibedakan pada level makroskopisnya dan membentuk sebuah materi yang tunggal. Pemanfaatan material jenis ini sangat luas salah satunya adalah di bidang penerbangan. Material ini sangat sering dimanfaatkan karena memiliki beberapa keunggulan diantaranya lebih ringan, memiliki kekuatan yang tinggi, tidak korosif, dan bisa menekan biaya perakitan karena bisa mengurangi penggunaan komponen dan baut-baut penyambung. *Fiber Reinforced Polymers* (FRP) banyak dikembangkan dalam dunia industri, konstruksi, dan struktur pesawat terbang. Manfaat dari komposit ini yaitu resistan dalam peningkatan pertumbuhan retak [1]. Laminasi komposit yang menawarkan properti isotropik penting untuk diterapkan setidaknya untuk pesawat, hal ini memungkinkan perancang untuk memiliki kontrol yang lebih baik atas delaminasi dan masalah perambatan retak [2].

Salah satu jenis komposit yang termasuk paling lama dan paling banyak dimanfaatkan adalah komposit yang diperkuat oleh serat [3]. Pertimbangan ini didasarkan pada *strength-to-weight ratio* yang tinggi, sifat mekanik yang dapat disesuaikan, dan tahan terhadap *fatigue* [4]. Salah satu yang termasuk pada komposit berpenguat serat adalah komposit *E-glass* ± 45 + Polyester. Digunakannya resin jenis ini (Polyester) karena memiliki fluiditas yang tinggi, harga yang relatif murah, *curing* yang cepat, warna yang jernih, kestabilan dimensional dan mudah pengerjaannya. Polimer sangat menarik sebagai bahan matriks karena mudah diproses dan kepadatannya relatif rendah jika dibandingkan dengan bahan lain [5]. Pembuatan komposit ini menggunakan metode *Vacuum Infusion*. Metode *Vacuum infusion* pada suhu tinggi memiliki banyak keuntungan diantaranya yaitu: peningkatan tingkat pengendalian proses, peningkatan dimensi maksimum dari produk yang dicetak, meninggikan tingkat impregnasi dan polimerisasi, meningkatkan karakteristik mekanis dari material [6].

Metode *Vacuum Infusion* ini dipandang sebagai metode yang lebih murah dibandingkan dengan menggunakan autoclave [7]. Pembuatan komposit ± 45 yang dipandang lebih murah ini perlu ditunjang pembuktian mengenai sifat mekanis yang baik agar bisa dimanfaatkan lebih luas khususnya sebagai bahan pembuatan pesawat. Perlu dilakukan karakterisasi sifat-sifat mekanis khususnya sifat tariknya. Pengujian tarik dari spesimen bisa dilakukan menggunakan *Universal Testing Machine* (UTM). Pengujian tarik bertujuan untuk mendapatkan nilai-nilai mekanik terutama kekuatan dan ketahanan material komposit terhadap beban tarik diantaranya *tensile strength* (kekuatan tarik), modulus elastisitas, *poisson ratio*, dan *failure mode* (mode kerusakan) yang terjadi pada material komposit

2. METODOLOGI PENELITIAN

Prosedur yang di lakukan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1.

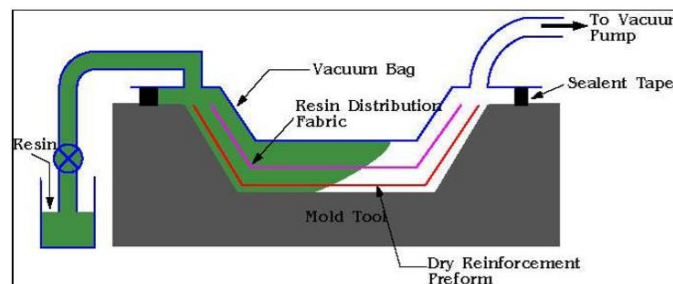


Gambar 1. Prosedur Pengujian

2.1. Pembuatan Panel Komposit dan Spesimen Komposit

Pada penelitian ini komposit dibuat dengan menggunakan fiber *E-glass* $\pm 45^\circ$ dengan resin Polyester. Metode yang digunakan dalam pembuatan komposit ini adalah *Vacuum Infusion*. Pada metode ini tahap pertama yang dilakukan adalah menyusun serat beberapa lapis (sesuai ketebalan yang dibutuhkan) di dalam cetakan. Kemudian susunan serat tersebut di tutup dengan *peel ply* (yang sudah diolesi *wax*), *flow mesh* (sebagai media alir resin), pipa, dan *Bagging film* (yang direkatkan dengan *sealant tape* di pinggir cetakan). *Laminate* (susunan serat) yang sudah tertutup tersebut kemudian di *vacuum*. Setelah itu tahap terakhir adalah mengalirkan resin kedalam lapisan-lapisan serat melalui pipa yang terpasang dengan cara dihisap menggunakan alat *vacuum* hingga merata.

Pada penelitian ini komposit dibuat menggunakan 4 lapis material serat *e-glass* $\pm 45^\circ$ yang memiliki densitas 2,2 g/cm³ sebagai penguat dengan massa total 255 gram dan resin poliester dengan densitas 1,07 g/cm³ sebagai matriks. Komposit dibuat pada kondisi *vacuum* dengan tekanan -100 kPa. Dari hasil eksperimental diperoleh nilai densitas komposit serat *eglass* $\pm 45^\circ$ poliester hasil *vacuum* infusio 1,86 g/cm³, tebal 2,5 mm, fraksi volume serat 63%, dan fraksi massa serat 74%. Spesimen uji tarik dibuat berdasarkan ASTM D3039 (*Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials*) [8]. Berikut ini spesimen komposit berdasarkan ASTM D3039.



Gambar 2. Proses *Vacuum Infusion* [3]



Gambar 3. Spesimen Komposit *E-glass* $\pm 45^\circ$ + Polyester dengan *Vacuum Infusion*

Dalam pengujian ini properti yang diambil adalah *tensile stress*, *ultimate tensile strength*, modulus elastisitas dan *poisson ratio*. Pada pelaksanaannya, uji UTM dimulai bersamaan dengan DAQ. Dari data UTM didapatkan Load dan Elongation untuk mendapatkan nilai stress dan *strain*, sedangkan dari DAQ didapatkan data *strain* arah lateral dan *strain* arah longitudinal untuk mendapatkan *poisson ratio*. Pengujian tarik dilakukan menggunakan *Universal Testing Machine* (UTM) Tensilon RTF 2410 kapasitas 100 kN.

2.2. Pengamatan Permukaan dengan menggunakan SEM (*Scanning Electron Microscope*)

Pengamatan sampel dengan menggunakan SEM (*Scanning Electron Microscope*) bertujuan untuk melihat permukaan komposit yang telah dibuat. Dengan menggunakan SEM dapat dilihat kerapatan ikatan antara serat dan resin. SEM modern menyediakan resolusi gambar biasanya antara 1 nm sampai

10 nm, tidak sebgus TEM tetapi jauh lebih unggul dari mikroskop cahaya. Selain itu, gambar SEM memiliki kedalaman fokus yang relatif besar. Spesimen fitur yang dipindahkan dari bidang fokus tampak hampir tajam. Seperti yang akan kita lihat, karakteristik ini dihasilkan dari fakta bahwa elektron di SEM (atau TEM) memiliki jarak tempuh yang sangat dekat dengan sumbu optik, hal ini merupakan suatu persyaratan untuk mendapatkan resolusi gambar yang bagus [9].

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berikut ini dokumentasi proses pengujian tarik dan hasil patahan spesimen komposit *E-glass ±45° Vacuum Infusion* hasil uji tarik menggunakan UTM.

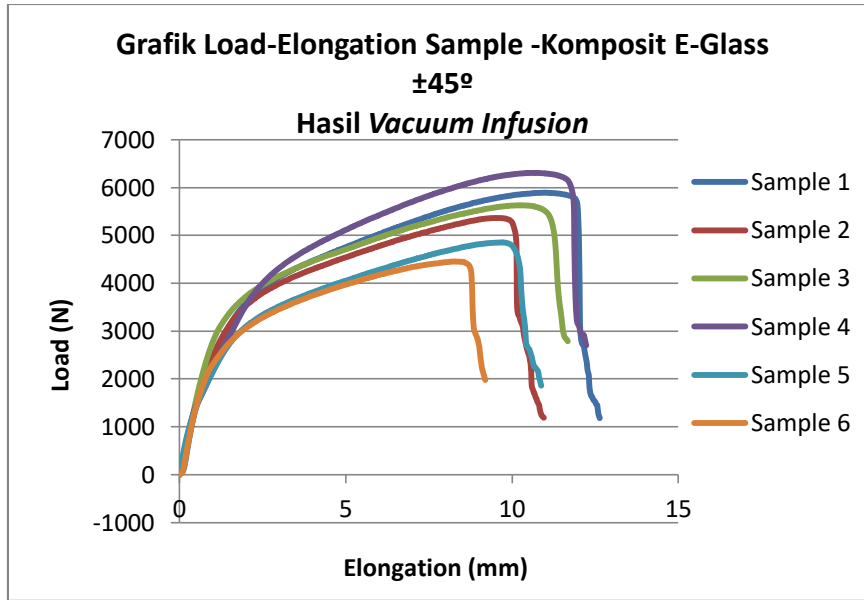


Gambar 4. Spesimen Komposit E- Glass ±45° Polyester Saat Uji Tarik UTM



Gambar 5. Spesimen Komposit E-glass ±45° Vacuum Infusion Setelah Uji

Dari pengujian yang telah dilakukan, didapatkan data *elongation* dan *load* sebanyak 10 data/detik. Dari data tersebut didapatkan grafik sebagai berikut:



Gambar 6. Grafik Load-Elongation Sampel Komposit *E-glass* ±45° Hasil *Vacuum Infusion*

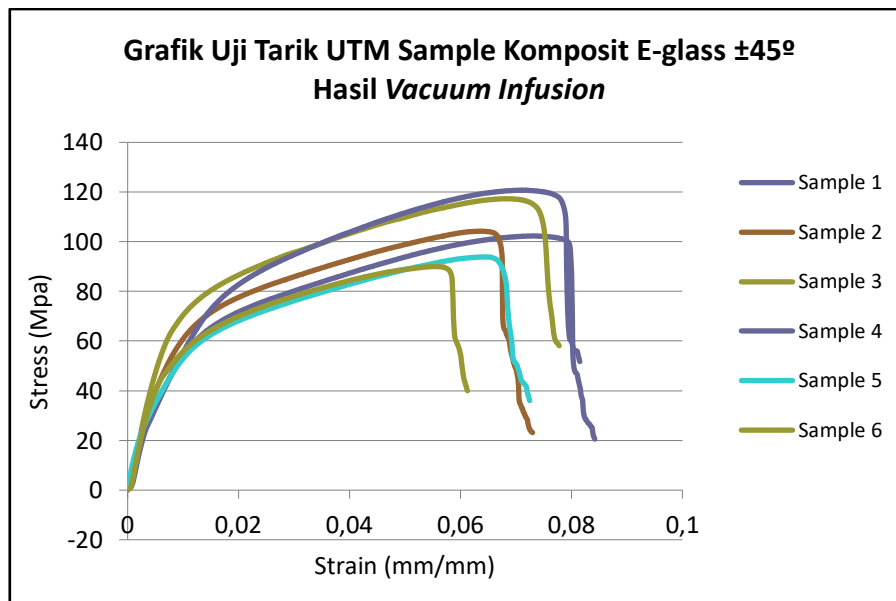
Berdasarkan data yang didapat dari UTM tersebut, dapat di temukan nilai *Stress* dan *strain* dan dapat dibuat grafik hubungan antara keduanya dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\sigma_i = \frac{P_i}{A} \quad (1)$$

Dimana, σ_i = tegangan tarik (*Stress*) pada titik -i (MPa), P_i = beban pada titik -i (N), A = sectional Area

$$\varepsilon = \frac{\delta}{L_g} \quad (2)$$

Dimana, ε = regangan (*Strain*), δ = perpindahan (*Elongation*) (mm), L_g = *gage length* (mm), Pada pengujian ini *gage length* -nya yaitu 150 mm.



Gambar 7. Grafik Hubungan antara *Stress* dan *Strain* hasil Uji Tarik UTM Sampel Komposit *E-glass* ±45° *Vacuum Infusion*

Berdasarkan data yang didapat, nilai *Ultimate Tensile Strength* adalah sebagai berikut:

Tabel 1. Tabel data *Ultimate Tensile Strength* dengan Perhitungan Manual

Sampel	Elongation (mm)	Load Max (N)	Stress (MPa)	Strain
1	11.0399	5891.7	102.2862	0.073599
2	9.5882	5364.393	104.2034	0.063921
3	10.21396	5629.082	117.2725	0.068093
4	10.73288	6307.059	120.7093	0.071553
5	9.684	4852.2	93.85299	0.06456
6	8.2985	4454.256	89.98498	0.055323

Setelah diketahui data tegangan dan regangan, dapat ditentukan modulus elastisitasnya dengan persamaan berikut:

$$Echord = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon} \tag{3}$$

Dimana, Echord = chord modulus elastisitas tarik (MPa), σ = selisih tegangan tarik yang diberikan diantara dua titik regangan, dan ε = selisih diantara dua titik regangan (pada nominal 0.002). Berikut adalah *summary* data dari UTM

Tabel 2. Tabel Data UTM

Test No	Width	Thickness	Sectional area	Maximum point		Elastic Modulus	Break point
	mm	mm		mm2	Load		Stress
	mm	mm	mm2	N	MPa	MPa	%GL
1	24	2.4	57.6	5891.7	102.29	9506.1	7.3728
2	23.4	2.2	51.48	5364.4	104.2	10112	6.4178
3	24	2	48	5629.1	117.27	12002	6.9358
4	23.75	2.2	52.25	6307.1	120.71	8250.9	6.54
5	23.5	2.2	51.7	4852.2	93.853	7146.4	6.4581
6	22.5	2.2	49.5	4454.3	89.985	10507	5.558
Average	23.525	2.2	51.755	5416.4	104.72	9587.3	6.5471
Standard Deviasi	0.5601	0.1265	3.2764	679.87	12.285	1714.8	0.6059

Sifat tarik dari komposit sebagian besar dipengaruhi oleh material, metode, kondisi spesimen, persiapan dan juga persentase material penguat [10]. Pada pengujian ini diujikan 6 sampel komposit *E-glass ±45°* dengan metode Vacuum Infusion. Berdasarkan pengujian, dari keenam sampel tersebut, didapatkan nilai regangan maksimum yaitu 0.0736 pada sampel 1. *Ultimate Tensile Strength* tertinggi yaitu 120.71 MPa dengan Modulus Elastisitas 8250.9 MPa pada sampel ke 4. Rata-rata nilai *ultimate strength* yaitu 104.72 MPa dan rata-rata modulus elastisitas 9587.3 MPa. Jika dibandingkan dengan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Abdurohman K [1] dengan serat *E-glass* WR185+Poliester menggunakan metode yang sama., nilai *Ultimate strength* dan nilai modulus elastisitasnya lebih rendah dimana pada penelitian tersebut nilai *Ultimate Strength* 195,43 MPa dan modulus elastisitasnya 10060 MPa. Hal ini menunjukkan kekuatan Tarik dari penelitian dengan *E-glass ±45°* ini lebih rendah dibandingkan dari penelitian sebelumnya tetapi elastisitasnya lebih tinggi. Kekuatan tarik pada serat *E-glass ±45°* lebih rendah karena arah seratnya tidak searah dengan arah tarik saat uji, sedangkan WR 185 memiliki arah serat searah dengan arah tarik saat uji. Untuk elastisitasnya lebih tinggi karena arah serat $\pm 45^\circ$ menyebabkan pergeseran serat sebelum benar-benar patah sedangkan serat WR185 tidak mengalami pergeseran saat di tarik.

Pada pengujian ini, digunakan sensor *Strain Gauge* yang dihubungkan dengan data akuisisi (DAQ) dari *National Instrumen* (NI). Dari DAQ didapatkan data regangan arah longitudinal (El) dan regangan

arah transversal (ϵ_t). Jumlah data yang diperoleh dari DAQ ini diharapkan sama dengan jumlah data dari UTM. Tetapi pada pelaksanaannya data UTM masih belum sama dengan data DAQ. Hal ini dikarenakan waktu mulai pada kedua sistem ini masih belum sama karena masih *manual start*.

Poisson ratio dihitung berdasarkan persamaan berikut.

$$v = -\frac{\Delta\epsilon_t}{\Delta\epsilon_l} \tag{4}$$

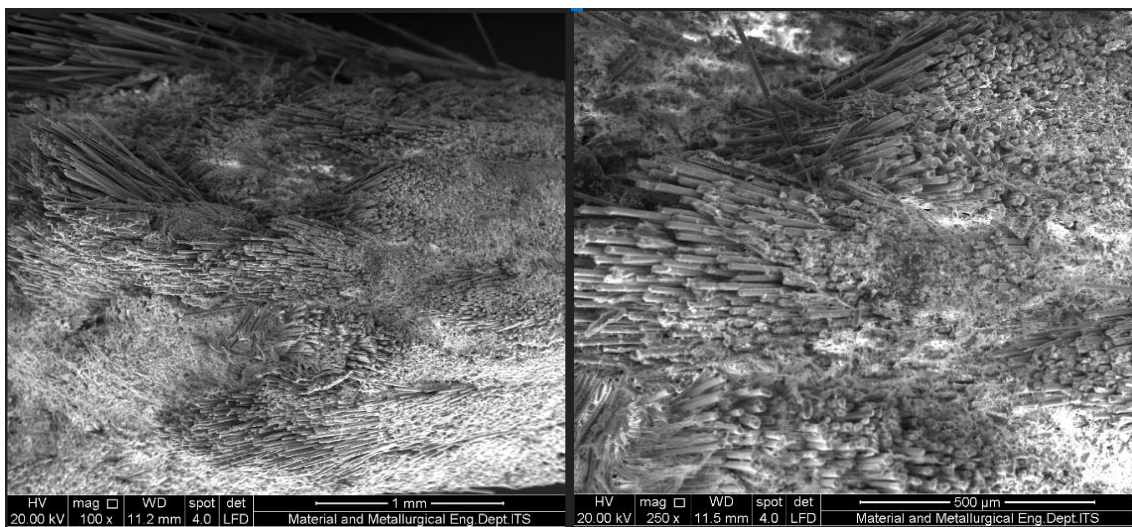
Dimana, $\Delta\epsilon_t$ = selisih *strain* arah lateral diantara dua titik regangan arah longitudinal dan $\Delta\epsilon_l$ = selisih antara dua titik regangan arah longitudinal (secara nominal salah satu dari 0,001; 0,002; atau 0,005).

Dari hasil pengujian diperoleh nilai rata-rata *poisson ratio* yaitu sebagai berikut:

Tabel 3. Tabel Rata-rata *Poisson Ratio*

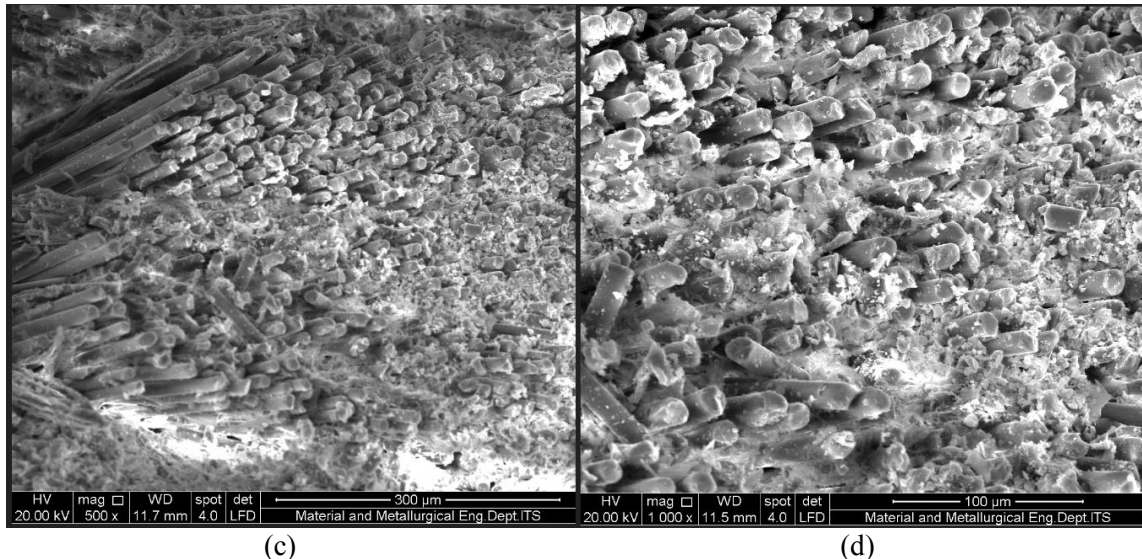
Sampel	<i>Poisson Ratio</i>	Average
1	0.63547831	0.8014
2	0.701599401	
3	0.950599299	
4	0.918028833	

Berdasarkan percobaan, nilai *Poisson ratio* untuk sampel 1 dan 2 lebih rendah dibandingkan dengan sampel 3 dan 4. Hal itu dikarenakan nilai ϵ_{long} dan ϵ_{trans} yang jauh berbeda, pada sampel 1 dan 2 nilai ϵ_{long} dan ϵ_{trans} di atas 10000 sedangkan untuk sampel 3 dan 4 ϵ_{long} dan ϵ_{trans} di bawah 10000. Selain itu, banyak data ϵ_{long} dan ϵ_{trans} yang terbaca menyimpang dari *trend* beberapa data yang lain. Nilai *poisson* rata-rata yaitu 0.8014, hal ini menunjukkan bahwa penyempitan arah transversal hampir sama dengan perpanjangan arah aksial karena angkanya mendekati 1. Tingginya nilai *poisson ratio* bisa terjadi karena saat diberikan gaya tarik, arah serat yang $\pm 45^\circ$ ini mengalami pergeseran mengikuti arah *load* saat uji tarik sebelum benar-benar patah. Nilai *poisson ratio* yang tinggi ini menunjukkan bahwa material cukup kuat, hal ini sesuai dengan yang dinyatakan oleh *Arselina Wood WW*^[11] bahwa semakin tinggi jumlah *poisson*-nya, menyebabkan campuran menjadi lebih fleksibel saat beban diberikan.



(a)

(b)



Gambar 8. Gambar SEM $\pm 45^\circ$ Sampel Komposit *E-glass* $\pm 45^\circ$ + Polyester hasil Vacuum Infusion (a) Perbesaran 100x (b) Perbesaran 250x (c) Perbesaran 500x (d) Perbesaran 1000x.

Berdasarkan foto SEM di atas, dapat dilihat bahwa ikatan antara resin dan serat cukup rapat dan hasil ini bisa menunjukkan bahwa pembuatan komposit menggunakan metode ini memiliki ikatan yang baik. Metode ini cukup efektif diterapkan untuk pembuatan komposit terutama campuran *E-glass* $\pm 45^\circ$ + Polyester.

4. KESIMPULAN

Hasil uji tarik komposit dengan matriks Polyester menunjukkan komposit ini bersifat cukup elastis. Dari kurva tegangan-regangan komposit serat *E-glass* $\pm 45^\circ$ didapat *ultimate tensile strength* 104.72 ± 12.28 MPa, rata-rata modulus elastisitas 9587.3 ± 1714.79 MPa, dan nilai *Poisson Ratio* 0.80 ± 0.16 . Nilai rata-rata *ultimate strength* dan nilai modulus elastisitas pada penelitian ini lebih rendah dibandingkan penelitian sebelumnya dengan serat WR 185 hal ini menunjukkan kekuatan tarik *E-glass* $\pm 45^\circ$ ini lebih rendah tetapi elastisitasnya lebih tinggi dibandingkan WR185.

UCAPAN TERIMAKASIH

Kami mengucapkan terima kasih kepada Bapak Gunawan Prabowo selaku Kepala Pusat Teknologi Penerbangan-LAPAN dan Bapak Agus Aribowo selaku Kepala Bidang Program dan fasilitas atas dukungannya. Terimakasih juga kami ucapkan kepada seluruh tim laboratorium Aerostruktur Pustekbang-LAPAN yang telah membantu proses penelitian ini.

PERNYATAAN PENULIS

Penulis dengan ini menyatakan bahwa seluruh isi makalah ini merupakan tanggung jawab penulis.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Mohammed Farooq, Nemkumar Banthi. 2018, An innovative FRP fibre for concrete reinforcement: Production of fibre, micromechanics, and durability. *Construction and Building Materials* 172 (2018) 406–421.
- [2] M. Gopalakrishnan dkk, 2016, Tensile Properties Study of *E-glass*/Epoxy Laminate and $\pi/4$ Quasiisotropic *E-glass*/Epoxy Laminate. *429 Polymers & Polymer Composites*, Vol. 24, No. 6, 2India.

- [3] Abdurohman,K dan Marta,A.2016, Kajian Eksperimental Tensile Properties Komposit Poliester berpenguat serat karbon searah hasil manufaktur Vacuum Infusion sebagai material struktur LSU, Jurnal Teknologi Dirgantara Vol. 14 No.1 Juni 2016 :61-72.
- [4] [4] K. G. Satish, et al. 2010. “Characterization of In-Plane Mechanical Properties of Laminated Hybrid Composite”. Journal of Minerals & Materials Characterization & Engineering, vol. 9, no. 2, pp. 105-114.
- [5] M. S. EL-Wazerya, 2017. Mechanical Properties of Glass Fiber Reinforced Polyester Composites, International Journal of Applied Science and Engineering 2017. 14, 3: 121-131
- [6] Komarov, Valery A. 2017. 6th Russian-German Conference on Electric Propulsion and Their Application Composite aerospace structures shape distortion during all stages of vacuum infusion production. Procedia Engineering 185 (2017) 139 – 145.
- [7] Bhatnagar, Amit; Kumar Niranjana, I.N, 2015. Vacuum Infusion Process for Composite Vessel Construction, Internatiobal Journal of Innovative research and Development IJIRD Vol:4 Issue 7(Special Issue).
- [8] ASTM Standard D3039 M-00, 2002. Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials, American Society for Testing Materials, West Conshohocken.
- [9] Ray F. Egerton, 2008. Physical Principles of Electron Microscopy An Introduction to TEM, SEM, and AEM, Department of Physics, University of Alberta 412 Avadh Bhatia Physics Laboratory Edmonton, Alberta, Canada.
- [10] Hamead- Alaa A. Abdul. 2014. Mechanical Properties for Polyester resin Reinforce with Fe Weave Wire. International Journal of Application or Innovation in Engineering & Management (IJAIEEM) 3, Issue 7, July 2014 ISSN 2319 – 4847.
- [11] Wiyono, Arselina Wood Ward, 2015. Pengaruh Suhu Terhadap Modulus elastisitas dan angka *poisson* Beton Aspal Lapis AUS (AC-WC) dengan Kapur Sebagai Filler. The 18th FSTPT International Symposium, Unila, Bandar Lampung, Indonesia.