

TOPIK III :
MATERIAL & SISTEM PROPULSI

TENSILE PROPERTIES KOMPOSIT SERAT E-GLASS HASIL VACUUM INFUSION SEBAGAI MATERIAL STRUKTUR LSU (LAPAN SURVEILLANCE UAV)

TENSILE PROPERTIES OF VACUUM INFUSION E-GLASS COMPOSITE AS STRUCTURAL MATERIAL OF LSU

Kosim Abdurohman, Aryandi Marta
Pusat Teknologi Penerbangan
Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN)
kosim.abdurohman@lapan.go.id

Abstrak

Vacuum infusion merupakan salah satu metode manufaktur untuk menghasilkan sifat mekanik komposit yang lebih baik daripada metode tradisional. Untuk aplikasi metode ini dalam pembuatan struktur UAV, perlu diketahui terlebih dahulu sifat mekanik dari komposit hasil metode ini secara eksperimen. Eksperimen yang dilakukan yaitu pengujian tarik untuk mendapatkan *tensile stress*, *tensile strength*, *poisson ratio*, modulus elastisitas, dan *failure mode* yang terjadi pada komposit. Eksperimen ini menggunakan material komposit GFRP dengan serat e-glass WR185 dan matriks poliester dibuat dengan metode *vacuum infusion*. Dari hasil manufaktur didapat nilai densitas dan ketebalan komposit serta fraksi massa dan fraksi volume material penyusun komposit. Spesimen dan proses pengujian mengikuti standar ASTM D3039 yang merupakan standar pengujian tarik untuk komposit dengan matriks polimer. Hasil pengujian menunjukkan nilai *ultimate tensile strength* $195,43 \pm 42,47$ MPa, modulus elastisitas $10,9 \pm 0,8$ GPa, *poisson ratio* $0,094 \pm 0,007$, dan *failure mode* LAT (*Lateral At grip Top*), LIT (*Lateral Inside grip Top*), dan GAT (*Grip At grip Top*).

Kata kunci : *vacuum infusion*, pengujian tarik, komposit.

Abstract

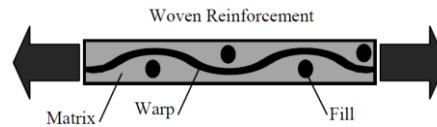
Vacuum infusion is a manufacturing method to improve mechanical properties better than traditional method. To applied this in UAV structure, it should be known mechanical properties of the composite by experiment. Tensile test is an experimental to know tensile stress, tensile strength, poisson ratio, modulus of elasticity, and failure modes of composite. Experimental process of GFRP composite using e-glass WR185 and polyester matrix was done using vacuum infusion technology. Manufacturing results gave the values of composite density and thickness; mass and volume fraction of fiber and matrix materials. Specimens and testing process are refer to ASTM D3039 tensile test standard for composite matrix polymers. The testing results showed $195,43 \pm 42,47$ MPa ultimate tensile strength, $10,9 \pm 0,8$ GPa modulus of elasticity, $0,094 \pm 0,007$ poisson ratio and LAT-LIT-GAT failure mode.

Keywords : vacuum infusion, tensile test, composite.

1. PENDAHULUAN

Komposit yang diperkuat oleh serat merupakan salah satu material komposit yang paling lama dan paling banyak digunakan. Komposit polimer serat telah banyak diaplikasikan dalam bidang yang luas mulai dari penerbangan, perpipaan sampai peralatan olahraga. Pertimbangan ini didasarkan pada *strength-to-weight ratio* yang tinggi, sifat mekanik yang dapat disesuaikan, dan tahan terhadap *fatigue* [1]. Komposit digunakan sebagai alternatif pengganti struktur material logam di mana berat merupakan salah satu pertimbangan utama seperti struktur pesawat, *high speed boat*, dan kereta api [2]. Serat *woven fabric* (anyaman) merupakan serat yang biasanya digunakan pada aplikasi struktur [3]. Keuntungan seperti ketangguhan yang unggul, mudah dibentuk, dan sifat yang stabil pada arah anyaman membuat komposit *woven fabric* lebih populer dalam aplikasi struktur pesawat, *automobile*, kapal laut, dan bangunan [4]. *Woven fabric* terbuat dari serat-serat yang diorientasikan sepanjang dua arah yang saling tegak lurus yaitu, yang pertama disebut arah *warp* dan kedua disebut arah *fill (weft)* seperti dapat dilihat pada Gambar 1 [5]. Jenis serat yang paling sering dan banyak digunakan pada struktur LSU

(LAPAN *Surveillance UAV*) adalah serat *e-glass woven fabric* jenis *cloth* (seperti kain) tipe WR185. Komposit berpenguat serat glass ini sering disebut dengan GFRP (*Glass Fiber Reinforced Polymer*) [3].



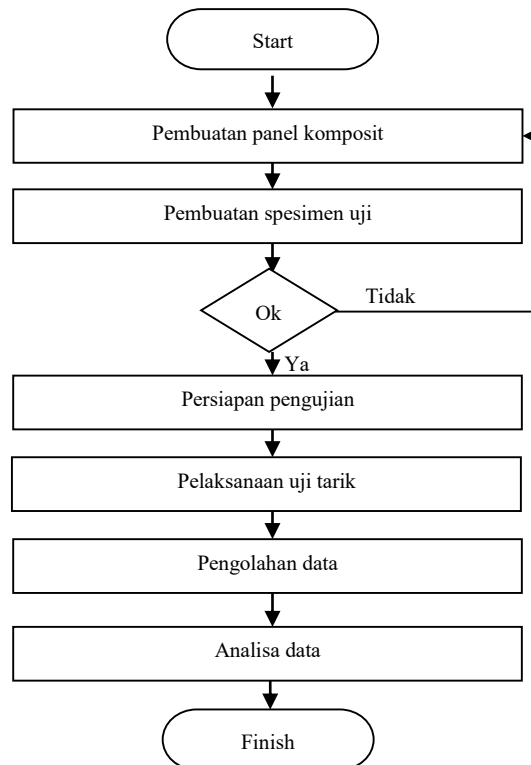
Gambar 1. Penampang komposit dengan serat *woven fabric*[5]

Ada beberapa metode yang digunakan dalam pembuatan komposit seperti manual *hand lay up*, *vacuum bagging*, *vacuum infusion*, *resin transfer moulding*, *prepreg autoclave* dan sebagainya. Beberapa dekade terakhir, proses *resin infusion* telah menjadi populer untuk manufaktur struktur komposit dengan matriks polimer. Proses *resin infusion* merupakan alternatif teknik dengan biaya lebih rendah dibanding teknik manufaktur *autoclave*. Sebagai contoh, dengan proses *resin infusion* memungkinkan untuk memproduksi *part* yang kompleks dan tebal dengan sifat mekanik yang sangat bagus dan sampah lebih sedikit dibanding metode tradisional [6].

Pusat Teknologi Penerbangan - LAPAN telah menerapkan aplikasi material GFRP pada struktur LSU menggunakan metode *hand lay up* manual laminasi basah. Metode ini memiliki kekurangan seperti *void* yang tinggi dan kelebihan berat sehingga perlu untuk meningkatkan metode manufaktur komposit menggunakan *vacuum infusion*. Sebelum mengaplikasikan metode ini terhadap struktur LSU, perlu dilakukan karakterisasi sifat-sifat mekanik, khususnya sifat tarik dari komposit hasil metode ini. Sehingga perlu dilakukan pengujian tarik terhadap spesimen GFRP untuk mendapatkan sifat-sifat yang dicari. Pengujian tarik ini bertujuan untuk mendapatkan nilai *tensile strength* (kekuatan tarik), modulus elastisitas, *poisson ratio*, dan *failure mode* (mode kerusakan) yang terjadi pada komposit [7].

2. METODOLOGI

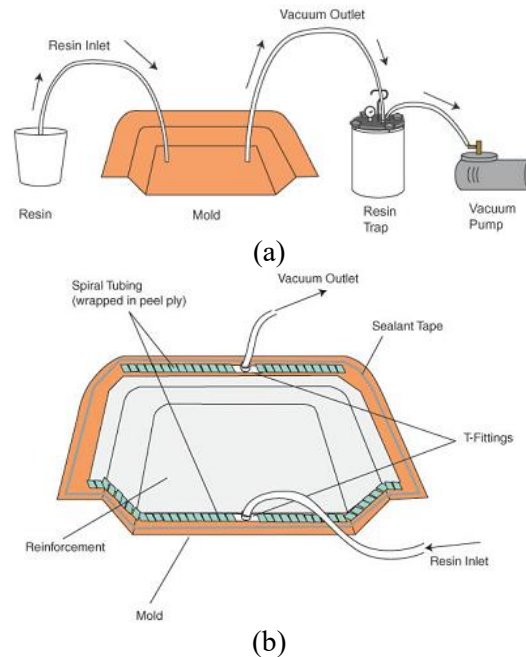
Prosedur yang dilakukan dalam penelitian ini dapat dilihat pada diagram alir di bawah.



Gambar 2. Prosedur penelitian [7]

Panel komposit dibuat dengan metode *vacuum resin infusion*. Proses *vacuum infusion* merupakan teknik manufaktur menggunakan tekanan *vacuum* untuk mengalirkan resin ke dalam lapisan-lapisan

serat. Material serat diletakkan ke dalam cetakan dan dilakukan pemvakuman sebelum resin dialirkan. Ketika kondisi *vacuum* telah tercapai, resin dihisap ke dalam lapisan serat lewat pipa yang terpasang pada area *vacuum*. Skema manufaktur komposit dengan metode ini dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Diagram proses *vacuum infusion*

Pada penelitian ini komposit dibuat menggunakan material 16 lapis serat e-glass WR185 yang memiliki densitas $2,1 \text{ g/cm}^3$ sebagai penguat dengan massa total 246,34 gram dan resin poliester dengan densitas $1,07 \text{ g/cm}^3$, viskositas 155,92 cPs sebagai matriks. Komposit dibuat pada kondisi *vacuum* dengan tekanan -100 kPa. Dari hasil eksperimental diperoleh nilai densitas komposit serat e-glass WR185/poliester hasil *vacuum infusion* $1,7 \text{ g/cm}^3$, tebal 2,7 mm, fraksi volume serat 58%, dan fraksi massa serat 73%.

Spesimen uji tarik dibuat berdasarkan ASTM D3039 (*Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials*) [9] seperti terlihat pada gambar di bawah.



Gambar 4. Spesimen uji tarik

Dalam pengujian ini properti yang diambil adalah *tensile stress* (tegangan tarik), *ultimate tensile strength*, *poisson ratio*, dan modulus elastisitas. Dari hasil pengujian juga dapat diketahui mode kerusakan yang terjadi setelah mengalami kegagalan. Tegangan tarik dapat dihitung menggunakan persamaan (1).

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

di mana, σ_i = tegangan tarik pada titik -i (MPa), P_i = beban pada titik -i (N). Sedangkan *ultimate tensile strength* dihitung pada saat beban maksimum.

$$\sigma_{tu} = \frac{P_{max}}{A} \quad (2)$$

di mana, σ_{tu} = *ultimate tensile strength* (MPa), P_{max} = beban maksimum sebelum gagal (N). Modulus elastisitas dapat ditentukan berdasarkan data *tegangan-regangan*.

$$\varepsilon = \delta/L_g \quad (3)$$

$$E_{chord} = \Delta\sigma/\Delta\varepsilon \quad (4)$$

di mana, ε = regangan, δ = perpindahan (mm), L_g = *gage length* (mm), E_{chord} = *chord modulus* elastisitas tarik (MPa), $\Delta\sigma$ = selisih tegangan tarik yang diberikan diantara dua titik regangan, dan $\Delta\varepsilon$ = selisih diantara dua titik regangan (pada nominal 0.002).

Poisson ratio dihitung berdasarkan rumus berikut.

$$\nu = -\Delta\varepsilon_t/\Delta\varepsilon_l \quad (5)$$

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

Pengujian tarik dilakukan menggunakan *universal testing machine* (UTM) Tensilon RTF 2410 kapasitas 100 kN menggunakan grip hidrolik dengan kecepatan *crosshead* konstan 2 mm/menit pada temperatur ruang. Untuk mendapatkan nilai *poisson ratio* spesimen dipasang *strain gauge* arah longitudinal (axial) dan transversal (lateral) tipe *rosette* seperti terlihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Pemasangan spesimen pada UTM

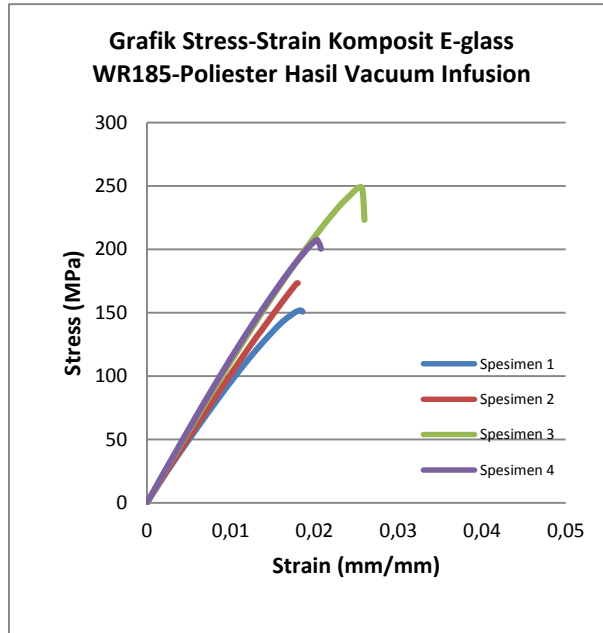
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Spesimen diuji sampai mengalami kegagalan untuk mendapatkan nilai *ultimate strength*. Gambar 6 menunjukkan spesimen telah mengalami kegagalan saat dilakukan uji tarik.



Gambar 6. Spesimen uji tarik telah mengalami kegagalan

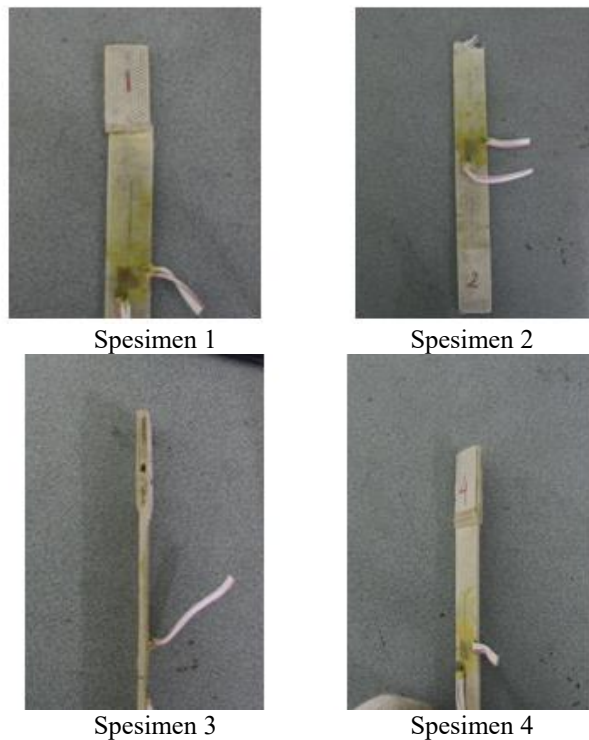
Gambar 7 menunjukkan kurva tegangan-regangan hasil uji tarik komposit e-glass WR185/poliester hasil *vacuum infusion*.



Gambar 7. Kurva tegangan-regangan komposit hasil pengujian

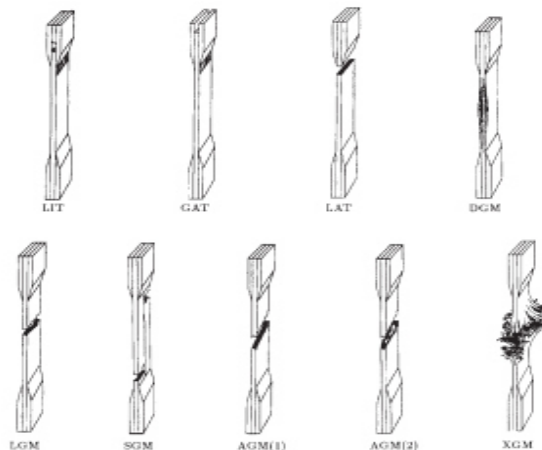
Dari kurva ini dapat diketahui nilai tegangan pada tiap titik regangan. Kurva tegangan-regangan menunjukkan bahwa material komposit sangat getas yang ditunjukkan oleh regangan maksimum dari keempat spesimen yaitu pada kisaran 0,025 *strain*, *ultimate strength* tertinggi 249 MPa dengan nilai modulus elastisitas 11510 MPa pada spesimen 3. Sedangkan untuk *ultimate strength* terendah yaitu 152 MPa dengan modulus elastisitas 10060 MPa pada spesimen 1. Rata-rata nilai *ultimate strength* yaitu 195,43 MPa dengan standar deviasi 42,47 MPa dan rata-rata modulus elastisitas 10909 MPa dengan standar deviasi 825 MPa.

Poisson ratio hasil pengujian didapat dari perbandingan regangan arah transversal dan regangan arah longitudinal yang dibaca oleh *strain gauge* yang dipasang pada sample uji. Dari hasil pengujian diperoleh nilai rata-rata poisson ratio yaitu 0,094 dengan standar deviasi 0,007 atau bisa ditulis dengan $0,094 \pm 0,007$.



Gambar 8. Spesimen setelah pengujian

Untuk menentukan jenis kerusakan yang terjadi secara visual dapat menggunakan acuan tabel dari ASTM D3039.



Gambar 9. Beberapa tipe mode kegagalan pada uji tarik komposit [9]

Tabel 1. Kode untuk karakteristik pertama dari mode kegagalan

<i>Failure Type</i>	<i>Code</i>
<i>Angled</i>	A
<i>Edge Delamination</i>	D
<i>Grip/tab</i>	G
<i>Lateral</i>	L
<i>Multi-mode</i>	M (xyz)
<i>Long Splitting</i>	S
<i>Explosive</i>	X
<i>Other</i>	O

Tabel 1 merupakan kode untuk jenis kerusakan yang terjadi pada spesimen setelah mengalami kegagalan. Jenis kerusakan dikategorikan dalam beberapa kode seperti A (*Angled*) untuk patahan melintang pada spesimen membentuk sudut terhadap sumbu horizontal, D (*Edge Delamination*) untuk jenis kerusakan delaminasi, G (*Grip/tab*) untuk kerusakan hanya terjadi pada tab, L (*Lateral*) untuk patahan melintang sejajar sumbu horizontal, M (*Multi mode*) untuk jenis kerusakan campuran dari beberapa kode sebelumnya, S (*Long Splitting*) untuk jenis patahan secara vertikal pada spesimen, X (*Explosive*) untuk jenis kerusakan tak beraturan, O (*Other*) untuk jenis kerusakan lainnya.

Tabel 2. Kode untuk karakteristik kedua dari mode kegagalan

<i>Failure Type</i>	<i>Code</i>
<i>Inside grip/tab</i>	I
<i>At grip/tab</i>	A
<i><IW from grip/tab</i>	W
<i>Gage</i>	G
<i>Multiple Areas</i>	M
<i>Various</i>	V
<i>Unknown</i>	U

Tabel 2 merupakan kode untuk lokasi kerusakan yang terjadi pada spesimen setelah mengalami kegagalan. Lokasi kerusakan dikategorikan dalam beberapa kode seperti I (*Inside grip/tab*) untuk lokasi kerusakan spesimen di dalam grip/tab, A (*At grip*) untuk lokasi kerusakan spesimen di area grip, W (*<IW from grip/tab*) untuk lokasi kerusakan hanya terjadi pada bagian tab dan spesimen tidak rusak, G (*Gage*) untuk lokasi kerusakan spesimen pada daerah *gage* (daerah antara grip atas dan bawah) spesimen, M (*Multiple Areas*) untuk lokasi kerusakan spesimen di beberapa area, V (*Various*) untuk lokasi kerusakan spesimen dan grip di beberapa area, U (*Unknown*) untuk lokasi kerusakan tidak diketahui.

Tabel 3. Kode untuk karakteristik ketiga dari mode kegagalan

<i>Failure Type</i>	<i>Code</i>
<i>Bottom</i>	B
<i>Top</i>	T
<i>Left</i>	L
<i>Right</i>	R
<i>Middle</i>	M
<i>Various</i>	V
<i>Unknown</i>	U

Tabel 3 merupakan kode untuk posisi umum kerusakan yang terjadi setelah mengalami kegagalan. Posisi kerusakan dikategorikan dalam beberapa kode seperti B (*Bottom*) untuk posisi kerusakan di bagian bawah spesimen, T (*Top*) untuk posisi kerusakan di bagian atas spesimen, L (*Left*) untuk posisi kerusakan sebelah kiri spesimen, R (*Right*) untuk posisi kerusakan sebelah kanan spesimen, M (*Middle*) untuk posisi kerusakan di bagian tengah spesimen, V (*Various*) untuk posisi kerusakan gabungan dari beberapa kode sebelumnya, dan U (*Unknown*) untuk posisi kerusakan tidak diketahui.

Dari penampakan visual kegagalan spesimen setelah diuji tarik diketahui ada tiga jenis kegagalan yaitu spesimen 1 dan 2 LAT (*Lateral, At tab, Top*), spesimen 3 LIT (*Lateral, Inside tab, Top*), dan spesimen 4 GAT (*Grip/tab, At tab, Top*). LAT berarti kegagalan berupa spesimen putus arah lateral pada batas tab bagian atas. LIT berarti kegagalan spesimen berupa spesimen putus arah lateral di dalam tab bagian atas. GAT berarti kegagalan spesimen berupa tab bagian atas lepas. Semua kegagalan berada pada bagian tab, hal ini dimungkinkan karena grip hidrolik akan menekan spesimen pada bagian grip/tab sampai benar-benar kencang sehingga memungkinkan terjadinya stress konsentrasi pada bagian grip atau tab sedangkan bagian tengah spesimen tidak ada konsentrasi tegangan sama sekali. Sehingga ketika diberikan pembebanan tarik maka bagian yang pertama kali mengalami kerusakan yaitu pada bagian tab. Rangkuman hasil pengujian ini dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Rangkuman hasil pengujian

<i>Tensile properties</i>	Nilai	Std. Deviasi
<i>Average maximum tensile strength (σ_{tu})</i>	195,43 MPa	$\pm 42,47$ MPa
Modulus elastisitas (E)	10909 MPa	± 825 MPa
<i>Poisson ratio (ν)</i>	0,094	$\pm 0,007$
<i>Failure mode</i>	LAT, LIT, GAT	

4. KESIMPULAN

Hasil uji tarik komposit GFRP serat WR185 menunjukkan komposit ini bersifat getas. Dari kurva tegangan-regangan didapat sifat tarik komposit yaitu *ultimate tensile strength* $195,43 \pm 42,47$ MPa dan modulus elastisitas $10,9 \pm 0,8$ GPa. Nilai *poisson ratio* $0,094 \pm 0,007$. Ada tiga jenis mode kegagalan yang terjadi pada spesimen yaitu LAT, LIT, dan GAT di mana semua kegagalan terjadi pada *grip/tab* bagian atas.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami mengucapkan terima kasih kepada Bapak Agus Aribowo selaku Kepala Bidang Progfas dan Bapak Gunawan Prabowo selaku Kepala Pusat Teknologi Penerbangan-LAPAN yang telah mendukung kegiatan ini. Terima kasih juga kami ucapkan kepada seluruh tim Laboratorium Aerostruktur Pustekbang-LAPAN.

PERNYATAAN PENULIS

Penulis dengan ini menyatakan bahwa seluruh isi menjadi tanggung jawab penulis.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] K. G. Satish, *et al.* "Characterization of In-Plane Mechanical Properties of Laminated Hybrid Composite" *Journal of Minerals & Materials Characterization & Engineering*, vol. 9, no. 2, pp. 105-114, 2010.
- [2] B. Bakir dan H. Hasim, "Effect of Fiber Orientation for Fiber Glass Reinforced Composite Material on Mechanical Properties", *International Journal of Mining, Metallurgy & Mechanical Engineering (IJMMME)* Volume 1, Issue 5 (2013) ISSN 2320-4052, 2013.
- [3] Faizal, MA; Beng, YK; Dalimin, MN, "Tensile Property of Hand Lay-Up Plain-Weave Woven E-Glass/Polyester Composite: Curing Pressure and Ply Arrangement Effect", *Borneo Science, The Journal of Science & Technology*, ISSN : 2231-9085, 2011.
- [4] Murugan, R; Ramesh, R; Padmanabhan, K, "Investigation on Static and Dynamic Mechanical Properties of Epoxy Based Woven Fabric Glass/Carbon Hybrid Composite Laminates", *Procedia Engineering* 97 (2014) 459 – 468, Elsevier Ltd, 2014.
- [5] Jweeg, MJ; Hammood, AS; AlWaily, M, "Experimental and Theoretical Studies of Mechanical Properties for Reinforcement Fiber Types of Composite Materials", *International Journal of Mechanical & Mechatronics Engineering IJMME-IJENS* Vol:12, 2012.
- [6] Wang, P; Drapier, S; Molimard1, J; Vautrin, A; Minni, JC, "Numerical and experimental analyses of resin infusion manufacturing processes of composite materials", *Journal of Composite Materials* 46(13) 1617-1631, 2011.
- [7] Abdurrohman K. dan Marta A., "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, hal. 61-72, 2016.
- [8] ASTM D3039 M-00, "Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials", American Society for Testing Materials, West Conshohocken, PA, 2002.
- [9] Torabizadeh, MA, "Tensile, Compressive and Shear Properties of Unidirectional Glass/Epoxy Composites Subjected to Mechanical Loading and Low Temperature Services", *Indian Journal of Engineering & Materials Sciences*, Vol. 20, pp. 299-309, 2013.
- [10] Yeung, KKH dan Rao, KP "Mechanical Properties of Boron and Kevlar-49 Reinforced Thermosetting Composites and Economic Implications", *Journal of Engineering Science*, Vol. 10, 19–29, 2014.

DAFTAR RIWAYAT HIDUP PENULIS 1

DATA UMUM

Nama Lengkap : Kosim Abdurohman
Tempat & Tgl. Lahir : Brebes, 27 Januari 1986
Jenis Kelamin : Laki-laki
Instansi Pekerjaan : Pustekbang-LAPAN
NIP. / NIM. : 198601272014021003



DATA PENDIDIKAN

SLTA : SMAN 1 Brebes Tahun: 2002 - 2005
STRATA 1 (S.1) : Universitas Diponegoro Tahun: 2005

ALAMAT

Alamat Kantor / Instansi : Jl. Raya LAPAN, Sukamulya, Rumpin, Bogor
Email : qosimabdurrohman@gmail.com, kosim.abdurohman@lapan.go.id

DAFTAR RIWAYAT HIDUP PENULIS 2

DATA UMUM

Nama Lengkap : Aryandi Marta
Tempat & Tgl. Lahir : Air Molek, 30 Maret 1988
Jenis Kelamin : Laki - Laki
Instansi Pekerjaan : LAPAN
NIP. / NIM. : 19880330 201402 1 001



DATA PENDIDIKAN

SLTA : SMA N 2 Padang Tahun: 2003 - 2006
STRATA 1 (S.1) : Teknik Fisika ITB Tahun: 2006 - 2012

ALAMAT

Alamat Kantor / Instansi : Jl. Raya LAPAN, Sukamulya, Rumpin, Bogor
Email : aryandi.marta@lapan.go.id