



Metode Manufaktur *Vacuum Assisted Resin Infusion* Untuk Optimasi Sifat Mekanik Komposit Penyusun *Propeller Dome*

Iqbal Priambodo¹, Adi Purwoko Chriswadyanto²

Akademi Angkatan Udara, Sleman, Indonesia¹

Departemen Aeronautika Akademi Angkatan Udara, Sleman, Indonesia²

e-mail : chriswadyanto@gmail.com

Abstrak— Komposit berpenguat serat *glass* telah digunakan sebagai penyusun komponen pesawat udara, khususnya *propeller dome*. Pembuatan komponen bermaterial komposit di beberapa fasilitas pemeliharaan masih yang menggunakan metode *wet hand lay up*, yang mudah dan sederhana namun menghasilkan komposit yang memiliki sifat mekanik rendah akibat banyaknya *void*, serta ikatan antar muka serat yang lemah. *Vacuum assisted resin infusion (VARI)* merupakan metode manufaktur komposit yang memiliki konsistensi proses lebih tinggi dibandingkan *wet hand lay up* sehingga menghasilkan komposit dengan sifat mekanik lebih tinggi. Penggunaan metode *VARI* untuk meningkatkan kekuatan dan modulus tarik komposit telah dikaji. Serat *glass* dan serat aramid digunakan sebagai penguat, sedangkan matriks penyusun komposit berupa resin poliester. Beberapa jenis pengujian dan perhitungan telah dilakukan untuk mendapatkan komposisi fraksi penyusun komposit, diantaranya pengujian densitas sesuai ASTM D792-07 dan *matrix ignition lost* sesuai ASTM D2584-14, dilanjutkan pengujian tarik sesuai ASTM D638-14 dan pengujian *bending* ASTM D790-13. Sifat-sifat komposit hasil manufaktur *VARI* kemudian dibandingkan dengan sifat-sifat komposit pada penyusun *propeller dome* sebenarnya. Observasi patahan komposit dengan *Scanning Electron Microscope* dilakukan untuk mendeskripsikan ikatan antar muka serat dan resin. Pada komposit *glass/polyester* hasil manufaktur *VARI* rata-rata kekuatan tarik sebesar 255,7 Mpa atau lebih tinggi 51,7%, kemudian rata-rata kekuatan *bending* sebesar 712,19 MPa atau lebih tinggi 21,9%, serta fraksi volum *void* lebih rendah 6% daripada komposit penyusun *propeller dome*.

Kata Kunci— komposit, *propeller dome*, *vacuum assisted resin infusion*, kekuatan tarik, kekuatan *bending*.

I. PENDAHULUAN

Penggunaan komposit polimer berpenguat serat telah dilakukan pada dunia penerbangan sebagai material penyusun berbagai komponen pesawat baik struktural maupun non struktural. Salah satu komponen pada pesawat terbang berbahan komposit polimer adalah *Propeller Dome* yang terletak di tengah *engine propeller* pada pesawat *turboprop engine*. *Propeller dome* berfungsi melindungi komponen *propeller system* dari kontak langsung dengan lingkungan di luar pesawat, sekaligus membentuk struktur aerodinamis untuk mengurangi dampak *induced drag*[1]. Manufaktur komposit sebagai penyusun *propeller dome* yang masih dilakukan di fasilitas pemeliharaan TNI AU menggunakan metode *wet hand lay up*, suatu metode yang praktis, sederhana dan memiliki aplikasi luas[2], [3].

Penelitian sebelumnya menyatakan bahwa komposit hasil manufaktur *Vacuum Assisted Resin Infusion* memiliki kekuatan dan modulus tarik tertinggi daripada komposit yang diproduksi menggunakan metode *wet hand lay up* dan *vacuum bagging*[4]. Impregnasi resin menggunakan *Vacuum Assisted Resin Infusion* mampu meminimalisir cacat komposit baik eksternal maupun internal. Secara mikro, dari hasil pencitraan SEM pada metode *vacuum assisted resin infusion* untuk manufaktur komposit impregnasi resin sangat baik pada *inter ply*

interface (interlamina) dan pada *inter fibre interface* (intralamina), namun pada beberapa lokasi intralamina masih banyak terdapat *void*[5]. Penelitian ini bertujuan membandingkan sifat fisik dan sifat tarik komposit hasil manufaktur *wet hand lay up* dengan komposit hasil *vacuum assisted resin infusion*.

II. LANDASAN TEORI

Komposit merupakan gabungan dari dua material atau lebih menjadi satu material baru, dengan tujuan untuk menggabungkan keunggulan serta mengurangi keterbatasan sifat-sifat material penyusunnya[6]. Serat penguat sintetik dalam komposit polimer yang digunakan dalam aplikasi penerbangan pada umumnya adalah serat karbon dan serat *glass* [7], [8]. Serat *glass* memiliki keunggulan kompatibilitas tinggi dengan berbagai jenis resin dalam manufaktur komposit disamping memiliki sifat mekanik tinggi[9], [10]. Serat aramid (Kevlar) merupakan serat penguat komposit yang memiliki ketahanan impak tinggi. Aplikasi serat kevlar sebagai penguat komposit untuk komponen pesawat udara telah dilakukan, karena memiliki kekuatan tarik tinggi, ringan, kaku, memiliki ketahanan dalam berbagai kondisi serta keuletan tinggi[11], [12]. Resin poliester merupakan polimer termoset yang memiliki keunggulan dalam kemudahan proses dan dapat ditingkatkan sifat mekaniknya dengan penambahan *filler* atau penguat[13].

Prinsip impregnasi dalam metode VARI dalam manufaktur komposit adalah mengalirkan resin ke dalam bundel serat dengan bantuan hisapan vakum, dengan tujuan meminimalisir adanya *void* dalam komposit. Dengan prosentase volum *void* rendah maka sifat mekanik komposit semakin meningkat[2], [14]. Faktor selain fraksi *void* yang berpengaruh terhadap sifat mekanik adalah ikatan antar muka serat dan matriks komposit. Karakterisasi komposit menggunakan *scanning electron microscope (SEM)* dilakukan untuk mengamati ikatan antar muka serat dan matriks secara mikro. SEM merupakan alat karakterisasi yang mampu mengakomodasi perbesaran spesimen hingga ratusan ribu kali dengan prinsip pemfokusan pancaran elektron[15].

Fraksi penyusun komposit sangat berpengaruh pada sifat komposit sesuai dengan hukum pencampuran (*Rule of Mixture*). Sifat mekanik komposit dipengaruhi oleh sifat mekanik dan fraksi dalam penyusunnya. Untuk mengetahui fraksi penyusun komposit ada beberapa metode yang dapat dilakukan, diantaranya pengujian densitas dan pengujian *matrix ignition lost*. Pengujian densitas material menggunakan prinsip Archimedes. Parameter-parameter yang berpengaruh pada pengujian densitas material antara lain berat kering material, berat basah material, dan *specific gravity* fluida[16]. Fraksi berat penyusun komposit diketahui dengan pengujian *matrix ignition lost*, dengan cara menghilangkan matriks komposit pada temperatur $565^{\circ}\text{C} \pm 20^{\circ}\text{C}$ [17].

Pengujian tarik material sering digunakan dalam pengembangan material baru dan pemrosesannya, sehingga dapat dibandingkan. Dengan pengujian tarik maka perilaku material dalam menerima beban selain uniaksial dapat diprediksi. Pengujian tarik material menggunakan mesin uji tarik dimana spesimen diposisikan pada dudukan (*mounting*) dan dikenai beban tarik aksial. Data pengujian tarik merupakan fungsi pertambahan panjang *gage length*. Tegangan nominal (σ dalam MPa) didapatkan dengan persamaan :

$$\sigma = F / A_0 \dots\dots\dots (1)$$

pDimana F dan A_0 berturut-turut adalah gaya penarikan (N) dan luas penampang awal pada bagian *gage* (mm) [18].

Pengujian *bending* merupakan salah satu pengujian sifat mekanik bahan yang dilakukan terhadap spesimen dari bahan baik bahan yang akan digunakan sebagai konstruksi maupun komponen yang akan menerima pembebanan *bending* maupun proses pelengkungan dalam pembentukan [19]. Kekuatan *bending* (σ_b) dihitung menggunakan persamaan yang menunjukkan hubungan antara gaya yang diterima beban (p); panjang span (l); tebal spesimen (h) dan lebar spesimen (b) sebagai berikut:

$$\sigma_b = \frac{12 \times p \times l \times h}{8 \times b \times h^3} \dots\dots\dots(2)$$

III. MATERIAL DAN METODE

Penyusun komposit yang digunakan antara lain serat penguat berupa *glass* & aramid sedangkan matriks berupa resin poliester. Serat *glass* dengan jenis *reinforcing mat 300*, *areal density* 300 g/m², ketebalan preform 0,05 cm (gambar 1a). Serat aramid berjenis kevlar *grade 29* dengan densitas 1,44 g/cm³ (gambar 1b). Poliester untuk matriks komposit yang digunakan adalah Resin Fiber 157 dengan komposisi volume resin dan *hardener* 20:1.



Gambar 1 Serat penguat komposit (a) *reinforcing mat 300 glass fiber*; dan (b) Serat aramid *woven* jenis kevlar 29

Metode manufaktur komposit *Vacuum Assisted Resin Infusion* dilaksanakan di Laboratorium Material Teknik Departemen Aeronautika AAU, dengan prosedur sebagai berikut: (1) Persiapan cetakan yang terbuat dari *gypsum*. Serat *glass* diletakkan ke dalam rongga cetak, selanjutnya cetakan digabungkan menggunakan selotip dan lilin; (2) Pemasangan instalasi peralatan VARI yaitu memasang selang saluran yang menghubungkan *resin bucket* dengan *inlet*, dan *outlet* sampai pada *vacuum pump* (gambar 2);



Gambar 2. Persiapan manufaktur komposit metode VARI

(3) Setelah instalasi terpasang, pompa *vacuum* dihidupkan; (4) Tekanan *vacuum* disetel dengan menutup saluran *inlet* dan mengatur katup kontrol. Pada saat pompa *vacuum* dalam keadaan hidup, saluran *inlet* ditutup, bukaan katup kontrol diatur untuk menyesuaikan tekanan; (5) Untuk mengetahui adanya kebocoran pada saluran *vacuum*, katup *outlet* ditutup, apabila jarum penunjuk tidak bergerak, maka kondisi saluran dinyatakan *vacuum* (tidak bocor); (6) *resin bucket* diisi dengan campuran resin dan *hardener*, pompa *vacuum* dihidupkan, saluran *inlet* dan katup *outlet* dibuka, maka resin mengalir memasuki cetakan; (6) Jika semua resin hampir masuk kedalam cetakan dan memenuhi rongga cetak sampai tiba di *outlet*, kemudian saluran *inlet* dan

katup *outlet* ditutup supaya tidak ada udara luar yang masuk kedalam cetakan; (7) Setelah proses VARI selesai dan resin *fully cured* selanjutnya cetakan dibongkar dan resin dikeluarkan dari cetakan. Variasi spesimen pada jenis serat dan manufaktur komposit, dapat dilihat pada tabel 1. Spesimen REF merupakan material komposit riil yang digunakan sebagai penyusun komponen *propeller dome* pesawat C130H, sedangkan GP dan KP berturut-turut merupakan komposit berpenguat serat *glass* dan serat aramid bermatriks poliester yang dimanufaktur menggunakan metode VARI.

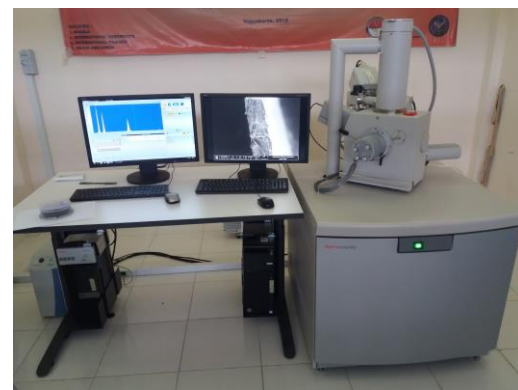
TABEL I.
VARIASI SPESIMEN KOMPOSIT

No	Kode Spesimen	Serat penguat	Matriks Resin	Metode
1	REF	<i>Glass</i>	Poliester	Lay Up
2	GP	<i>Glass</i>	Poliester	VARI
3	KP	Aramid (Kevlar)	Poliester	VARI

Dalam pelaksanaan pengujian sifat fisik dan sifat mekanik komposit dilakukan beberapa pengujian. Untuk menentukan fraksi volum serat dan fraksi volum *void*, diperlukan pengujian densitas komposit (ASTM D792-14) dan *matrix ignition loss* (ASTM D2584-13). Volum komposit merupakan penjumlahan dari volum serat penguat, volum matriks dan volum *void*. Pengujian tarik komposit standar ASTM D638-13 menggunakan *Universal Testing Machine* Qualitest dengan *load cell* 50.000 N (gambar 2a). Pengujian *bending* standar ASTM D790 menggunakan *Universal Testing Machine* Tarno Grocki dengan *load cell* 20.000 N. Hukum Pencampuran (*Law of Mixture*) berlaku pada pengolahan data sifat mekanik komposit, dimana sifat mekanik komposit dipengaruhi oleh sifat mekanik material-material penyusunnya, terutama fraksi volum serat. Oleh karena itu, data sifat mekanik yang ditampilkan merupakan hasil normalisasi sifat mekanik dengan fraksi volum serat 0,4. Pengamatan patahan komposit untuk mengidentifikasi ikatan antar muka serat penguat dan matriks menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM) dengan metode *Low Vacuum* (gambar 2b) yang dilakukan di Laboratorium Material Teknik Departemen Aeronautika AAU.



(a)



(b)

Gambar 2 Media pengujian dan pengamatan komposit :

(a) *Universal Testing Machine Qualitest 50kN*; dan (b) *Scanning Electron Microscope (SEM)*

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian tarik dan pengujian *bending* dilakukan pada spesimen pipih berturut-turut sesuai dengan standar ASTM D638 dan ASTM D790. Pada pengujian tarik, pembebanan aksial diaplikasikan pada kedua ujung spesimen, kemudian pada pengujian *bending* dilakukan *three point bending* dengan pembebanan di tengah spesimen. Tampilan spesimen setelah dilakukan pengujian mekanik terdapat pada gambar 3. Seluruh spesimen pengujian tarik (gambar 3a) dan

pengujian *bending* (gambar 3b) patah pada bagian gage length sehingga pengujian mekanik dapat dinyatakan valid.



Gambar 3 Spesimen komposit setelah pengujian mekanik :
 (a) Pengujian Tarik ASTM D638; dan (b) Pengujian *Bending* ASTM D790

Setelah dilaksanakan pengujian mekanik, selanjutnya dilakukan pengujian fisik komposit, matrix ignition loss (ASTM D2584) seperti pada gambar 4, untuk mendapatkan data perhitungan fraksi volume penyusun komposit. Data pengujian mekanik dan fisik komposit didapatkan pada tabel II :



Gambar 4 Spesimen komposit *glass*/poliester setelah pengujian *ignition lost*.

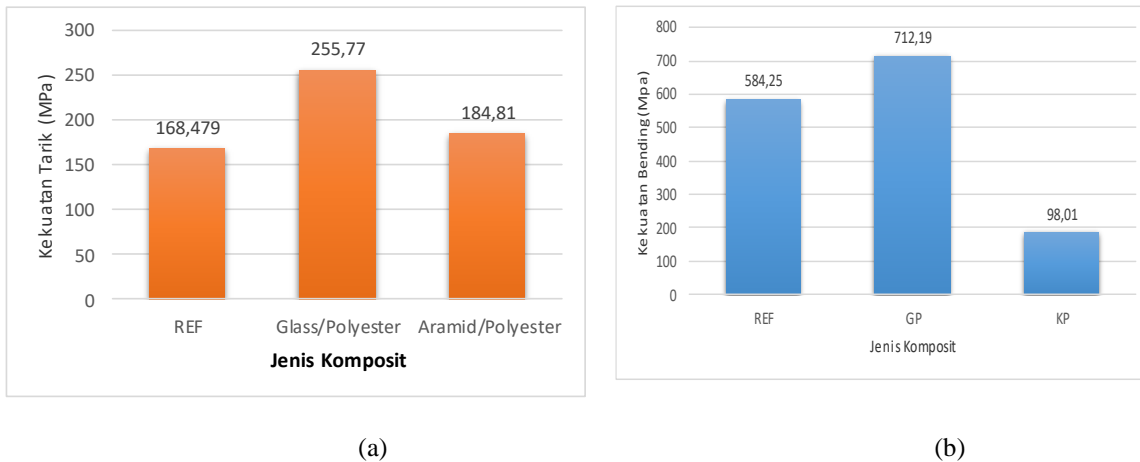
Dari data pada Tabel II, didapatkan grafik kekuatan tarik dan kekuatan *bending* komposit seperti pada gambar 5. Dari gambar 5a dapat diketahui bahwa kekuatan komposit tertinggi adalah komposit *Glass*/Poliester dengan manufaktur VARI sebesar 255,77 MPa .

TABEL II.
 DATA PENGUJIAN MEKANIK DAN FISIK KOMPOSIT

Spesimen	Rata-Rata Kekuatan Tarik (MPa)	Rata-Rata Kekuatan <i>Bending</i> (MPa)	Fraksi Volume Serat	Fraksi Volume Matriks	Fraksi Volume <i>Void</i>
REF	168,479	584,25	22,49%	19,85%	58,65%
GP	255,77	712,19	13,23%	34,46%	52,29%
KP	184,81	98,01	53,36%	6,68%	40,05%

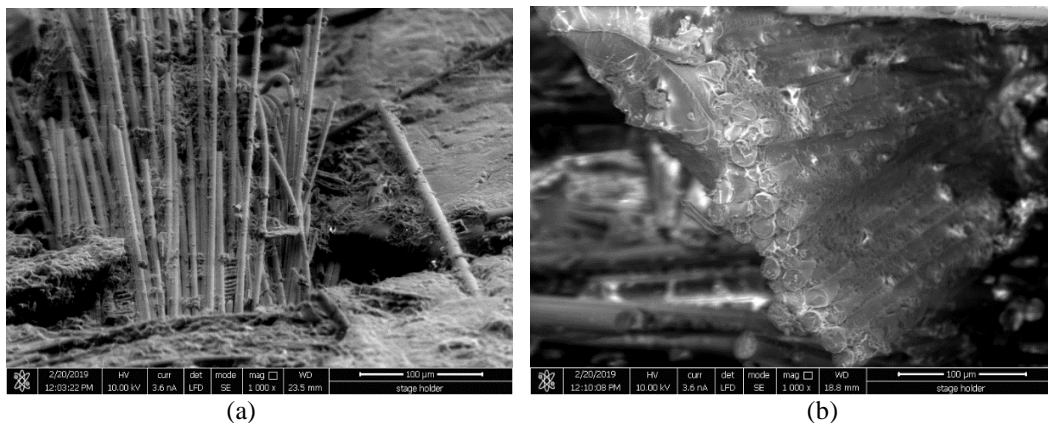
Kekuatan tarik dipengaruhi oleh fraksi volume *void* komposit *glass*/poliester yang lebih sedikit 6,36% daripada komposit REF. Kekuatan tarik komposit aramid poliester lebih tinggi 9,7% daripada komposit REF dipengaruhi oleh fraksi volume serat lebih banyak 30,87%. Selain itu hasil pengamatan SEM pada gambar 6, banyaknya sisa matriks komposit yang melekat pada serat menunjukkan ikatan antar muka serat dan matriks komposit *glass*/poliester (gambar 6a) hasil manufaktur VARI memiliki kekuatan tarik lebih tinggi daripada komposit REF (gambar 6b). Komposit berpenguat serat aramid (KP) memiliki fraksi volum serat tertinggi dibandingkan dua jenis komposit lainnya, namun memiliki fraksi volume matriks yang sangat rendah (6,7%).

Hal ini menunjukkan bahwa matriks tidak melingkupi keseluruhan serat aramid, dapat dilihat dari fraksi volum void yang besar (40%).



Gambar 5 Grafik data pengujian mekanik komposit.
(a) Pengujian Tarik; dan (b) Pengujian *Bending*

Peningkatan kekuatan mekanik komposit dengan manufaktur VARI ditunjukkan pula pada data kekuatan *bending* komposit. Pada grafik data pengujian *bending* (gambar 5b), kekuatan komposit *glass/poliester* hasil manufaktur VARI memiliki kekuatan *bending* tertinggi sebesar 712,19 MPa, diikuti komposit REF dan komposit aramid/poliester berturut-turut sebesar 584,25 MPa dan 98,01 MPa. Hal ini menunjukkan semakin sedikit *void* dan semakin kuat ikatan antar muka serat dan matriks akan semakin meningkatkan sifat mekanik komposit. Dari grafik pengujian *bending* dapat diketahui pula bahwa komposit serat aramid/poliester tidak tepat digunakan sebagai penyusun komponen propeller *dome C130 H* karena keuletan serat penguat tinggi serta ikatan antar muka serat dan matriks rendah.



Gambar 6 Hasil pengamatan SEM pada patahan :
(a) Komposit REF; dan (b) Komposit *glass/poliester*

V. KESIMPULAN

Pengaruh metode manufaktur komposit untuk meningkatkan sifat mekanik komposit berpenguat serat telah dikaji. Secara umum dari data pengujian mekanik dan pengujian fisik komposit diketahui bahwa komposit *glass/poliester* dengan manufaktur VARI memiliki

keunggulan kekuatan tarik dan kekuatan *bending* daripada komposit yang sama dengan manufaktur hand lay up. Adapun komposit berpenguat serat aramid meskipun dimanufaktur menggunakan metode VARI, terbukti memiliki kekuatan tarik sedikit lebih tinggi namun kekuatan *bending* yang jauh lebih rendah daripada komposit *glass*/poliester dengan manufaktur hand lay up. Dengan demikian manufaktur komposit *glass*/poliester dapat dijadikan alternatif sebagai penyusun komponen *propeller dome* pesawat C130H.

VI. DAFTAR PUSTAKA

- [1] ICRP, "Chapter 8," *Ann. ICRP*, vol. 37, no. 5, pp. 99–106, 2007.
- [2] S. Y. Kim, C. S. Shim, C. Sturtevant, D. D. W. Kim, and H. C. Song, "Mechanical properties and production quality of hand-layup and vacuum infusion processed hybrid composite materials for GFRP marine structures," *Int. J. Nav. Archit. Ocean Eng.*, vol. 6, no. 3, pp. 723–736, 2014.
- [3] A. H. Rajpar, A. L. Maganhar, and S. A. L. I. Shah, "Mechanical Characterization of Cotton Fiber/Poliester Composite Material," vol. 33, no. 2, pp. 227–236, 2014.
- [4] K. Abdurrohman, T. Satrio, and N. L. Muzayadah, "A comparison process between hand lay-up, vacuum infusion and vacuum bagging method toward e-glass EW 185/lycal composites," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1130, p. 12018, Nov. 2018.
- [5] M. Bourchak and W. Harasani, "Assessment of liquid resin infusion impregnation quality using scanning electron microscopy," *Adv. Compos. Lett.*, vol. 24, no. 1, pp. 6–11, 2015.
- [6] F. C. Campbell, "Structural Composite," pp. 1–30, 2010.
- [7] S. K. Sardiwal, B. V. Sai Anoop, G. Susmita, L. Vooturi, and S. A. Uddin, "Advanced Composite Materials in Typical Aerospace Applications," *Glob. J. Res. Eng. D Chem. Eng.*, vol. 14, no. 1, pp. 5–10, 2014.
- [8] A. G. Koniuszewska and J. W. Kaczmar, "Application of polymer based composite materials in transportation," *Prog. Rubber, Plast. Recycl. Technol.*, vol. 32, no. 1, pp. 1–23, 2016.
- [9] V. H. B., "Processing and Characterization of Glass Fiber and Carbon Fiber Reinforced Vinyl Ester Based Composites," *Int. J. Res. Eng. Technol.*, vol. 04, no. 05, pp. 401–406, 2015.
- [10] M. Kinsella, D. Murray, D. Crane, J. Mancinelli, and M. Kranjc, "Mechanical Properties of Polymeric Composites," 1993.
- [11] F. J. Khusiafan, "Use of KEVLAR ® 49 in Aircraft Components," *Eng. Manag. Res.*, vol. 7, no. 2, p. 14, 2018.
- [12] P. Sathish, "Hemp Fiber Reinforced Composites: A Review," *Int. J. Res. Appl. Sci. Eng. Technol.*, vol. V, no. III, pp. 594–595, 2017.
- [13] J. A. V. Gonçalves, D. A. T. Campos, G. D. J. Oliveira, M. D. L. Da Silva Rosa, and M. A. Macêdo, "Mechanical properties of epoxy resin based on granite stone powder from the sergipe fold-and-thrust belt composites," *Mater. Res.*, vol. 17, no. 4, pp. 878–887, 2014.
- [14] J. P. Dhal and S. C. Mishra, "Processing and Properties of Natural Fiber-Reinforced Polymer Composite," *J. Mater.*, vol. 2013, pp. 1–6, 2013.
- [15] O. P. Choudhary and P. Choudhary, "Scanning Electron Microscope: Advantages and Disadvantages in Imaging Components," *Int. J. Curr. Microbiol. Appl. Sci.*, vol. 6, pp. 1877–1882, May 2017.
- [16] ASTM D792, "Standard Test Methods for Density and Specific Gravity (Relative Density) of Plastics by Displacement," in *American Society for Testing and Materials*, vol. 14, 2008, p. 6.
- [17] ASTM, "Designation: D 2584-94 Standard Test Method for Ignition Loss of Cured Reinforced Resins 1," 1994, pp. 1–2.
- [18] ASM, "Introduction to Tensile Testing," *Tensile Test.*, pp. 1–13, 2004.
- [19] M. Kumaresan, S. Sathish, and N. Karthi, "Effect of fiber orientation on mechanical properties of sisal fiber reinforced epoxy composites," *J. Appl. Sci. Eng.*, vol. 18, no. 3, pp. 289–294, 2015.



Letda Tek Iqbal Priambodo, S.Tr.Han adalah lulusan Akademi Angkatan Udara (AAU) tahun 2019. Penulis saat ini sedang melaksanakan pendidikan lanjutan sebagai Perwira Siswa Kursus Intensif Bahasa Inggris AAU Tahun 2019.



Mayor Tek Adi Purwoko Chriswadyanto, S.T., M.T. adalah lulusan Akademi Angkatan Udara (AAU) tahun 2002. Gelar Sarjana Teknik (S.T.) diraih di Fakultas Teknik Universitas Widya Gama, Malang pada tahun 2005 ketika berdinast di Depo Pemeliharaan 30, Lanud Abdulrachman Saleh, Malang. Gelar Magister Teknik (M.T.) diperoleh di Fakultas Teknik Mesin dan Dirgantara, Institut Teknologi Bandung pada tahun 2013. Bidang penelitian yang sedang ditekuni saat ini adalah Material Komposit. Penulis saat ini berdinast sebagai Kepala Seksi Material Teknik Departemen Aeronautika AAU serta Dosen Tetap AAU untuk Prodi Teknologi Rekayasa Aeronautika TNI AU Akademi Angkatan Udara.