



ANALISIS KEKUATAN TARIK *BOLTED* JOINT STRUKTUR KOMPOSIT SANDWICH HIBRID RAMI-*E-GLASS/EPOXY* DENGAN CORE KAYU BALSA

**(*ANALYSIS TENSILE STRENGTH BOLTED JOINT
SANDWICH COMPOSITE STRUCTURE HYBRID RAMIE-*E-
GLASS/EPOXY* WITH BALSA WOOD CORE*)**

Lies Banowati^{1*}, Yuda Rizki Pratama²

^{1,2} Program Studi Teknik Penerbangan, Universitas Nurtanio Bandung

E-mail: liesbano@gmail.com¹, rizkiyuda4598@gmail.com²

Abstract— *Along with the development of the industrial world, the need for materials for a product is increasing. Scientists are competing to create new materials that are stronger, lighter, resistant to corrosion, and low-cost materials, one of the new materials being developed is composites. Sandwich composite is a type of structural composite that has a relatively light weight but has high stiffness and strength. This research was conducted to find out the tensile strength of the composite structure bolted joint sandwich hybrid ramie E-glass/epoxy with balsa wood core which refers to the ASTM (American Society for Testing Material) D 5961 standard. Composite specimen manufacturing methods used hand lay-up and vacuum banging with variations in fiber orientation 0°, WR 0/90°, and WR ±45°. Results of the analysis of the composite bolted joint sandwich hybrid E-glass/epoxy with balsa wood core showed that the highest tensile strength to the smallest was in the fiber orientation WR ±45° with an average of 13.05 MPa, fiber orientation WR 0/90° the average is 12.41 MPa, and the smallest is in the fiber orientation 0° with an average of 8.09 MPa.*

Keywords— Composite, bolted joint, sandwich, tensile strength, density

Abstrak— *Seiring dengan perkembangan dunia industri, kebutuhan material untuk sebuah produk semakin meningkat. Para ilmuwan berlomba-lomba untuk menciptakan material baru yang lebih kuat, ringan, tahan terhadap korosi, dan biaya material yang murah, salah satu material baru yang banyak dikembangkan adalah komposit. Komposit sandwich merupakan salah satu jenis komposit struktur yang memiliki berat yang relatif ringan namun mempunyai kekakuan dan kekuatan yang tinggi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kekuatan tarik dari struktur komposit bolted joint sandwich hibrid rami E-glass/epoxy dengan core kayu balsa yang mengacu pada standar ASTM (American Society for Testing Material) D 5961. Metode manufaktur spesimen komposit yang digunakan adalah hand lay-up dan vacuum banging dengan variasi arah serat 0°, WR 0/90°, dan WR ±45°. Hasil dari analisis komposit bolted joint sandwich hibrid rami E-glass/epoxy dengan core kayu balsa menunjukkan bahwa kekuatan tarik terbesar hingga yang terkecil yaitu pada arah serat WR ±45° dengan rata-rata sebesar 13,05 MPa, arah serat WR 0/90° rata-rata sebesar 12,41 MPa, dan tekecil yaitu pada arah serat 0° dengan rata-rata sebesar 8,09 MPa.*

Kata Kunci— Komposit, bolted joint, sandwich, kekuatan tarik

*Lies Banowati

E-mail: liesbano@gmail.com

I. PENDAHULUAN

Seiring dengan perkembangan dunia industri sekarang ini, kebutuhan material untuk sebuah produk semakin meningkat. Para ilmuwan berlomba-lomba untuk menciptakan material baru yang kaku, kuat, lebih ringan, dan tahan terhadap korosi. Penggunaan material logam di dunia industri khususnya pesawat terbang sudah mulai tergantikan. Hal ini diakibatkan karena beratnya komponen yang terbuat dari logam, pembentukannya yang relatif susah, dapat mengalami korosi, dan biaya produksi yang cukup mahal. Oleh karena itu banyak para ilmuwan mengembangkan material baru yang diharapkan mempunyai karakteristik yang sesuai dengan karakteristik material logam yang diinginkan, salah satu material baru yang banyak dikembangkan adalah komposit. Komposit adalah suatu material baru yang terbentuk dari kombinasi dua atau lebih material namun berbeda secara makroskopik, dimana kombinasi antara dua jenis material tersebut mempunyai sifat yang berbeda. Material komposit terdiri atas dua bagian yang saling melengkapi yaitu material pengikat (*matriks*) dan material penguat atau pengisi (*reinforcement*), dimana material penguat ini biasanya menggunakan serat [1]. Sehingga dalam latar belakang penelitian kali ini di butuhkan komposit dengan material yang ringan, tahan terhadap korosi, dan harga yang lebih ekonomis.

Serat sintesis merupakan serat yang dibuat dari bahan-bahan anorganik dengan komposisi kimia tertentu, contoh dari serat sintesis yang umum digunakan seperti: serat *glass*, serat karbon, kevlar, nylon, dan serat sintesis lainnya. Pada penelitian ini digunakan serat sintesis yaitu serat *glass (E-glass)* dengan *mechanical properties* densitas 2,54 gr/cm³, *tensile strength* 3500 MPa, dan *modulus young* 73 GPa [2].

Serat alam merupakan serat yang dapat langsung diperoleh dari tumbuh-tumbuhan dan binatang. Contoh dari serat alam yang umum digunakan seperti: serat kelapa, serat nanas, serat sisal, abacca, serat bambu, sutra, wol, katun, dan serat rami. Pada penelitian ini digunakan serat alam yaitu serat rami dengan *mechanical properties* densitas 1,5-1,6 gr/cm³, *tensile strength* 190,270 MPa, dan *modulus young* 45,795 GPa [3].

Kayu balsa (*Ochroma Piramidal*) dipilih karena memiliki karakteristik yang sangat ringan, mudah dibentuk, namun tetap memperhatikan kekuatan kompresi, kekuatan geser (*shear strength*), dan daya lelah (*fatigue performance*) yang tinggi. Kualitas kayu balsa ditentukan oleh tingkat densitas nya, karena semakin kecil nilai densitasnya semakin bagus kualitas kayu balsa tersebut dan semakin mahal pula harganya [4].

Dari pertimbangan tersebut maka penelitian ini dilakukan untuk mendapatkan data tentang kemampuan mekanis berupa kekuatan tarik *boltd joint* komposit *sandwich* berpenguat serat rami *E-glass/epoxy* dengan *core* kayu balsa berdasarkan perbandingan variasi arah serat 0°, 0/90° dan ±45°.

II. LANDASAN TEORI

Material komposit adalah material yang terbuat dari dua bahan atau lebih yang tetap terpisah dan berbeda dalam level makroskopik selagi membentuk komponen tunggal sehingga dihasilkan material komposit yang mempunyai sifat mekanik dan karakteristik yang berbeda dari material pembentuknya. Komposit bersifat heterogen dalam skala makroskopik. Bahan penyusun komposit tersebut masing-masing memiliki sifat yang berbeda dan ketika digabungkan dalam komposisi tertentu terbentuk sifat-sifat baru yang disesuaikan dengan keinginan [5]. Komposit adalah suatu material yang terbentuk dari kombinasi dua atau lebih material, dimana sifat mekanik dari material pembentuknya berbeda-beda. Kelebihan material komposit jika dibandingkan dengan logam adalah memiliki sifat mekanik yang baik, tidak mudah korosi, bahan baku mudah diperoleh dengan harga yang lebih murah dan memiliki massa jenis yang lebih rendah dibanding logam [1].

Serat sintesis yg pling sering digunakan pada pembuatan komposit adalah serat kaca atau (*fiberglass*), keuntungan menggunakan serat kaca yaitu biaya produksi yg sngat murah, kekuatan trik yg tinggi dan than terhadap reaksi kimia [6]. *Fiberglass* yg digiunkan pada

pnelitian kali ini adalah jenis (*E-glass*). Dapat dilihat pada Tabel 1 menunjukkan *mechanical properties* untuk serat kaca.

Tabel 1 *Physical dan Mechanical properties* dari serat kaca [6].

| Properti | Serat Kaca | | |
|--------------------------------------|----------------|----------------|----------------|
| | <i>E-glass</i> | <i>C-glass</i> | <i>S-glass</i> |
| <i>Density</i> (gr/cm ³) | 2,54 | 2,52 | 2,46 |
| <i>Tensile Strength</i> (MPa) | 3445 | 3310 | 4890 |
| <i>Elongation</i> (%) | 4,8 | 4,8 | 5,7 |
| <i>Modulus Young</i> (GPa) | 72,3 | 68,9 | 86,9 |

Serat *e-glass* di pilih sebagai bhan penguat serat sintetis pada penelitian kali ini karena memiliki densitas yang baik, kekuatan tarik yang tinggi, serta harga yang jauh lebih murah dari jenis *fiberglass* yang lain.

Serat rami dikenal dengan nama latinnya (*Boehmeria Nivea*) merupakan serat alam yang berasal dari negara Cina yang telah dikenal oleh manusia sejak 3000 S.M. sebagai bahan baku tali-temali dan kain pembungkus mumi di negara Mesir [7]. Serat rami merupakan salah satu jenis tanaman penghasil serat dari batangnya, panjang batang rami mencapai 2 m sehingga rami tergolong tanaman serat batang [8]. Serat rami banyak dimanfaatkan oleh masyarakat karena serat rami mempunyai karakteristik yang kuat, ringan, elastis, tahan terhadap jamur, serangga, bakteri, mampu menjaga suhu agar tidak terpengaruh oleh suhu lingkungan, dan ramah lingkungan [3]. Pada Tabel 2 menunjukkan *mechanical propertis* untuk serat rami.

Tabel 2 *Mechanical properties* serat rami [3]

| Properti | Nilai |
|--------------------------------------|------------|
| <i>Density</i> (gr/cm ³) | 1,3 – 1,6 |
| <i>Tensile Strength</i> (MPa) | 400 – 1050 |
| <i>Elongation</i> (%) | 3,6 – 3,8 |
| <i>Modulus Young</i> (GPa) | 61,5 |
| <i>Length</i> (mm) | 60 – 260 |

Berdasarkan *mechanical properties* di atas, serat rami di pilih sebagai bahan penguat serat alam pada penelitian kali ini karena memiliki kekuatan tarik yang cukup tinggi dan memiliki densitas yang cukup baik serta salah satu bahan baru yang pada saat ini banyak di kembangkan.

Kayu balsa (*Ochroma Piramidal*) yaitu jenis kayu yang memiliki karakteristik yang sangat ringan, mudah dibentuk, dan kekuatan mekanik yang cukup baik, Kualitas kayu balsa ditentukan oleh tingkat densitasnya, karena semakin kecil nilai densitasnya semakin bagus kualitas kayu balsa tersebut dan semakin mahal pula harganya. Kayu Balsa memiliki densitas sebesar 0,16 gr/cm³ lebih ringan dibandingkan kayu lain seperti kayu sengon yang memiliki densitas sebesar 0,33 gr/cm³. Industri komposit di luar negeri sudah banyak menggunakan kayu balsa sebagai bahan *core* dari komposit *sandwich*. Namun di Indonesia kayu ini lebih terkenal sebagai bahan pembuatan *aeromodelling* dan maket [4].

Komposit *sandwich* merupakan salah satu jenis komposit struktur yang sangat potensial untuk dikembangkan, komposit sandwich dibuat dengan tujuan untuk efisiensi berat yang optimal, namun mempunyai kekakuan dan kekuatan yang tinggi. Komposit *sandwich* tersusun dari tiga material atau lebih yang terdiri dari *flat composite* sebagai *skin* dan *core* di bagian tengahnya. Sehingga untuk mendapatkan struktur *sandwich* yang memiliki sifat mekanis tinggi maka diperlukan jenis *skin* dan *core* yang tepat [9].

Hampir semua komponen, baik logam maupun non logam, mengalami proses penyambungan (*joining*) dengan komponen lain. Komponen logam dapat disambung dengan las, dibaut, dan dikeling. Namun khusus bahan non metal seperti komposit, penyambungannya tidak dapat dilakukan dengan pengelasan. Salah satu jenis sambungan yang cocok untuk bahan komposit adalah sambungan baut (*bolt*) dan keling (*rivet*). Penyambungan ini memerlukan lubang sebagai tempat dudukan baut (*bolt*) atau keling (*rivet*). Daerah sekitar lubang merupakan daerah rawan terjadinya kegagalan. Teknik pembuatan lubang dan variasi diameter lubang sangat menentukan kekuatannya, khususnya di daerah sekitar lubang. Teknik penguatan daerah sekitar lubang dapat dilakukan dengan cara mengatur arah serat sebagai penguat, serat tersebut berfungsi untuk menyalurkan atau mendistribusikan tegangan yang terjadi akibat beban tarik pada saat pengujian sehingga dengan mengatur arah serat yang sesuai akan meminimalkan kemungkinan terjadinya perambatan retak yang akan berpengaruh terhadap kekuatan komposit tersebut [10].

Adapun pada proses pembuatan komposit menggunakan metode *hand lay-up* dan teknik *vacuum bagging*. *Hand lay-up* digunakan karena pembuatannya cukup mudah dan tidak perlu memerlukan peralatan khusus. *Vacuum bagging* digunakan untuk menghilangkan udara yang terperangkap dalam komposit selama proses pembuatan komposit dan untuk mengurangi resin yang berlebih pada material komposit [11].

Berdasarkan penjelasan di atas, penelitian ini diharapkan dapat digunakan sebagai *joiner wing* dengan *fuselage* pada *unmanned aerial vehicle* (UAV) khususnya untuk UAV AerO-73K yang membutuhkan material yang ringan.

Jumlah kandungan serat dalam struktur komposit merupakan hal yang menjadi perhatian khusus pada komposit berpenguat serat. Besarnya kekuatan komposit diperoleh dengan distribusi serat dan matrik yang merata pada proses pencampuran. Proses pencampuran yang dimaksud adalah fraksi volume. Jika fraksi volume material penguat lebih besar dari fraksi volume material pengikat, maka struktur komposit yang dihasilkan akan memiliki kekuatan dan kekakuan yang tinggi. Namun, akibat dari lebih rendahnya fraksi volume material pengikat juga menyebabkan lebih tingginya kemungkinan kegagalan seperti *delamination* dan *debonding* pada struktur komposit tersebut. Sebaliknya, jika fraksi volume material penguat lebih sedikit dari fraksi volume material pengikat, maka kekuatan ikatan struktur komposit yang dihasilkan akan besar, namun sebagai gantinya kekuatan dan kekakuan struktur komposit tersebut akan cenderung lemah [1]. Pengaruh dari fraksi volume juga turut mempengaruhi kekuatan tarik dari material komposit [12]. Sebelum mencari fraksi volume terlebih dahulu mencari volumen serat (V_f), volume *matrix* (V_m), volume void (V_v), dan volume komposit (V_c). Untuk menghitung volume dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$V_c = V_f + V_m + V_v \quad (1)$$

Setelah masing-masing volume didapatkan maka barulah dapat di hitung fraksi volume. Fraksi volume dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$v_f = \frac{V_f}{V_c} \quad (2)$$

$$v_v = \frac{V_v}{V_c} \quad (3)$$

$$v_m = \frac{V_m}{V_c} \quad (4)$$

A. Uji Tarik

Uji tarik merupakan salah satu dari metode untuk mengetahui sifat mekanik suatu bahan. Didapatkan hasil dari pengujian berupa grafik beban dalam skala perpanjangan. Kekuatan tarik material adalah gaya persatuan luas penampang yang mampu menahan tegangan sampai batas kekuatan tarik, sehingga bahan akan mengalami kegagalan. *Ultimate strength* merupakan batas kekuatan tarik hingga material mengalami kegagalan. Pengujian tarik (*tensile test*) adalah pengujian mekanik secara statis dengan cara sampel ditarik dengan pembebanan pada kedua ujungnya dimana gaya tarik yang diberikan sebesar P (Newton). Tujuannya untuk mengetahui sifat- sifat mekanik atau kekuatan tarik dari komposit yang diuji [7]. Kekuatan tarik dapat dihitung dengan persamaan:

$$\sigma = \frac{F}{A_n} \quad (5)$$

Keterangan:

σ = Tegangan/*Stress* (MPa)

F = Beban maksimum (N)

A_n = Luas permukaan spesimen dikurangi luas permukaan lubang (mm²)

B. Uji Densitas

Pengujian densitas, tujuan dari pengujian densitas ini adalah untuk mengetahui nilai massa jenis suatu material atau spesimen. Massa jenis material perlu diketahui guna membandingkan kekuatan suatu material terhadap massa jenis tersebut. Sesuai dengan pembahasan sebelumnya, material komposit yang dibuat diharapkan memiliki kekuatan yang tinggi serta massa jenis yang rendah. Berdasarkan prinsip hukum Archimedes menyatakan bahwa massa sebuah benda sebanding dengan massa air yang dipindahkan. Untuk pengujian densitas mengacu kepada ASTM 792-07 [13]. Pengujian densitas dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\text{Specific gravity} = \frac{a}{(a+c-b)} \quad (6)$$

$$\rho = \rho_{\text{water}} \times \text{specific gravity} \quad (7)$$

Keterangan:

ρ = densitas (gr/cm³)

a = massa spesimen di udara (g)

b = massa spesimen di air (gr)

c = Massa gelas dan air (gr)

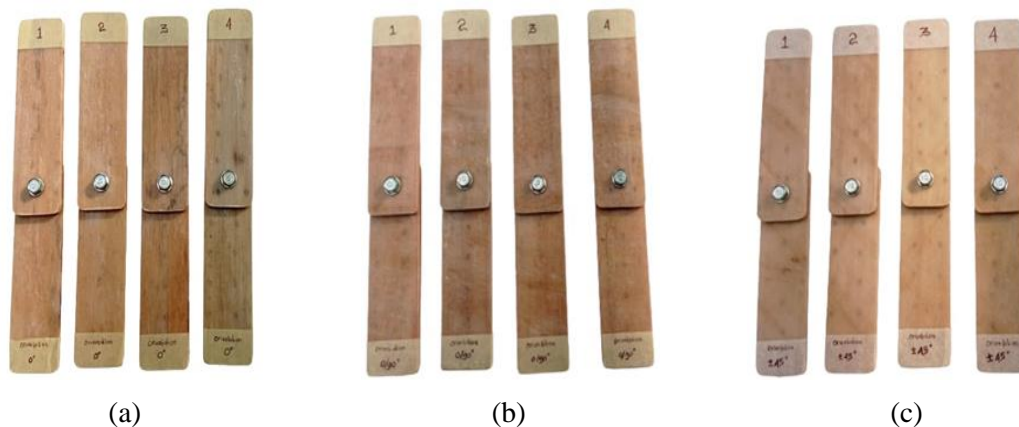
ρ_{water} = densitas *water* (gr/cm³)

III. METODE/MODEL YANG DIUSULKAN

Serat rami yang digunakan dalam penelitian ini dilakukan perlakuan terlebih dahulu dengan direndam dalam larutan alkali 5% (NaOH) selama 2 jam, selanjutnya dikeringkan dengan bantuan sinar matahari. Tujuan dari perlakuan NaOH ini adalah untuk melarutkan lapisan yang menyerupai lilin di permukaan serat, seperti lignin, hemiselulosa, dan kotoran lainnya. Dengan hilangnya lapisan lilin tersebut, maka ikatan antara serat dan matriks menjadi lebih kuat [14].

Matriks dalam susunan komposit bertugas melindungi dan mengikat serat agar bekerja dengan baik. Matriks juga berfungsi sebagai pelapis serat yang memberikan kekuatan untuk merekat yang tertinggi dari bahan polimer yang ada. Matriks *epoxy* dapat digunakan untuk menggabungkan material yang tidak sama [15]. Bahan matriks yang digunakan dalam penelitian ini yaitu *epoxy Bakelite®* EPR 174. *Epoxy* ini berbentuk cairan dengan 2 campuran, satu *epoxy hardener (Polyaminoamide)*, kedua *epoxy resin (Bisphenol A-epichlorohydrin)*. Adapun kelemahan atau kekurangan dari resin epoksi adalah bahan ini sedikit getas, mudah retak, tidak liat, dan harganya mahal apabila dibandingkan dengan resin yang lain.

Metode Manufaktur komposit yang akan dilakukan pada penelitian ini adalah metode *hand lay-up* kemudian dilanjutkan dengan metode *vacuum bagging*. *Hand lay-up* digunakan untuk proses awal laminasi menggunakan tangan dan kuas, setelah proses laminasi selesai lalu menggunakan metode *vacuum bagging*, metode ini dilakukan agar resin pada komposit menyebar rata sehingga mendapatkan ketebalan yang sama, serta mengurangi resin yg berlebih pada material komposit, proses ini membutuhkan waktu *curing epoxy* selama 8 jam [11]. Sedangkan untuk pengujian tarik mengacu kepada ASTM D 5961 [16]. Pada Gambar 1 masing-masing menunjukkan spesimen uji tarik komposit *bolted joint sandwich* hibrid rami *E-glass/epoxy* dengan *core* kayu balsa dengan variasi arah serat 0°, 0/90° dan ±45°.

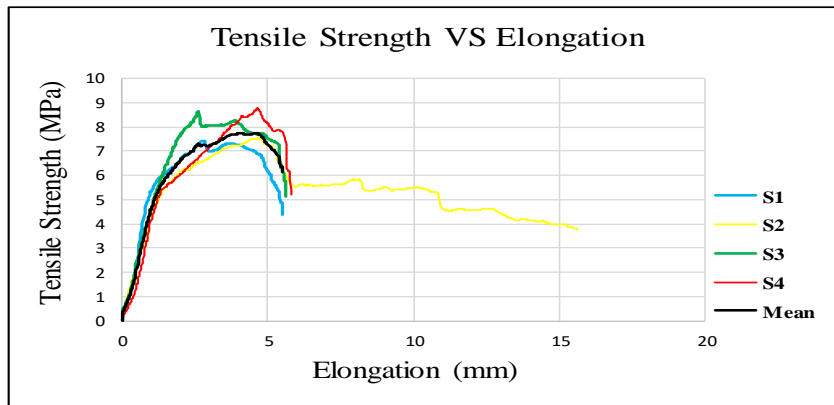


Gambar 1. Spesimen uji tarik komposit *bolted joint sandwich* hibrid rami *E-glass/epoxy* dengan *core* kayu balsa berdasarkan variasi arah serat (a) 0°, (b) 0/90°, dan (c) ±45°.

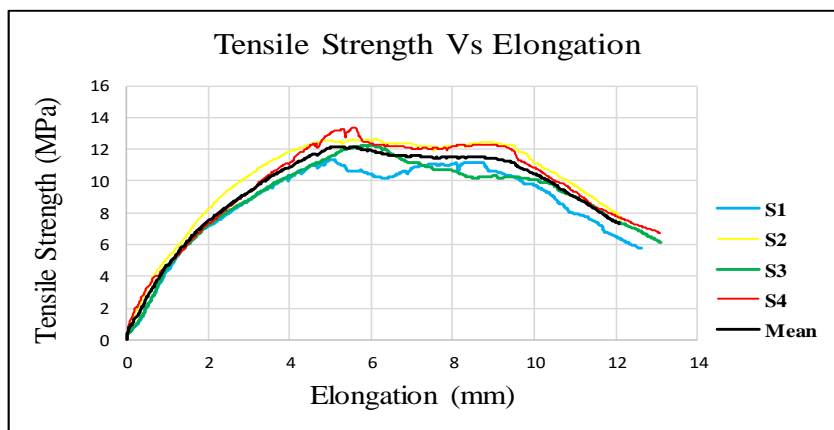
IV. HASIL/IMPLEMENTASI MODEL DAN PEMBAHASAN

A. Data Hasil Pengujian Spesimen Berdasarkan Variasi Arah Serat

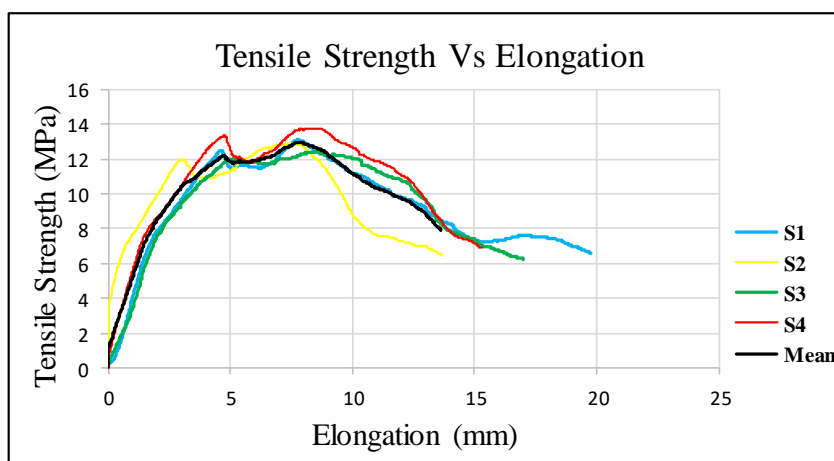
Pada Gambar 2 menunjukkan grafik perbandingan kekuatan tarik dan elongasi komposit *bolted joint sandwich* hibrid rami *E-glass/epoxy* dengan *core* kayu balsa berdasarkan variasi arah serat 0° , $0/90^\circ$ dan $\pm 45^\circ$.



(a)



(b)



(c)

Gambar 2. Grafik hasil uji tarik komposit *bolted joint sandwich* hibrid rami *E-glass/epoxy* dengan *core* kayu balsa berdasarkan variasi arah serat: (a) 0° , (b) $0/90^\circ$ dan (c) $\pm 45^\circ$.

Pada Tabel 3 menunjukkan perbandingan hasil kekuatan tarik dan densitas rata-rata komposit *bolted joint sandwich* hibrid rami *E-glass/epoxy* dengan *core* kayu balsa berdasarkan variasi arah serat 0° , $0^\circ/90^\circ$ dan $\pm 45^\circ$.

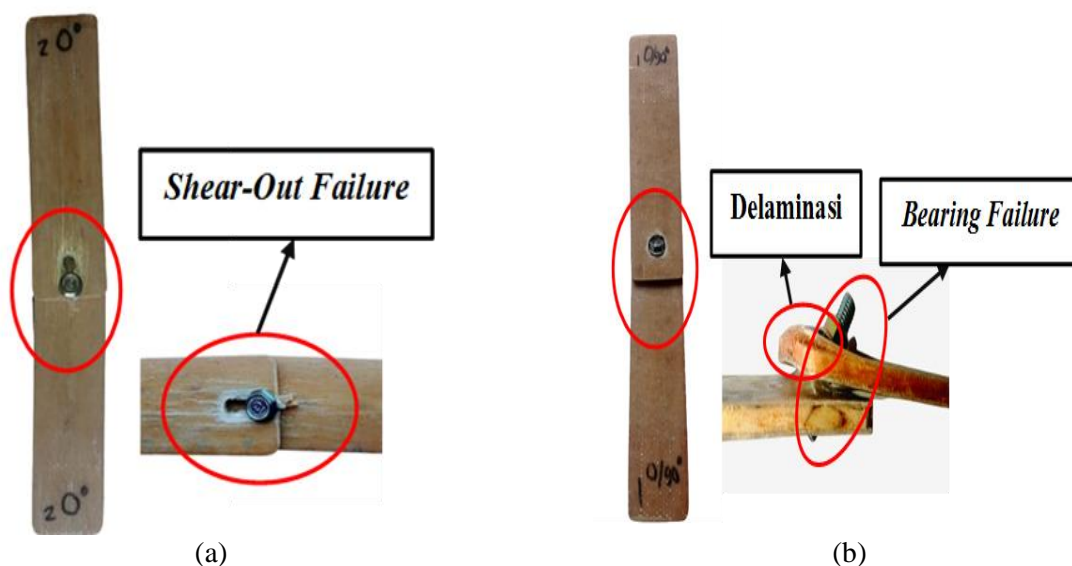
Tabel 3. Perbandingan hasil kekuatan tarik dan densitas komposit berdasarkan variasi arah serat 0° , $0^\circ/90^\circ$ dan $\pm 45^\circ$

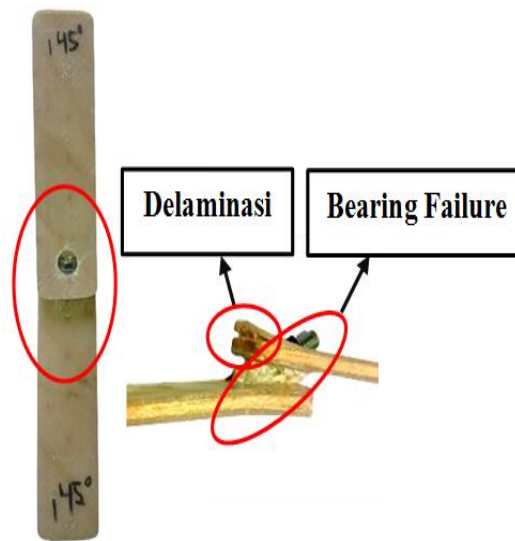
| Variasi arah serat | Kekuatan tarik (MPa) | Densitas (gr/cm ³) |
|--------------------|----------------------|--------------------------------|
| 0° | 8,09 | 0,677 |
| $0^\circ/90^\circ$ | 12,41 | 0,781 |
| $\pm 45^\circ$ | 13,05 | 0,8 |

Berdasarkan Tabel 3, perbandingan besar nilai kuat tarik komposit cenderung mengalami kenaikan seiring bertambah besar sudut arah serat. Hal ini menunjukkan bahwa perubahan sudut arah serat memberikan pengaruh terhadap besar kuat tarik yang dihasilkan. Nilai kekuatan tarik terbesar hingga yang terkecil yaitu pada arah serat $\pm 45^\circ$ dengan rata-rata sebesar 13,05 MPa, arah serat $0^\circ/90^\circ$ rata-rata sebesar 12,41 MPa, dan terkecil yaitu pada arah serat 0° dengan rata-rata sebesar 8,09 MPa. Hasil uji tarik tertinggi yaitu pada arah serat $\pm 45^\circ$, hal ini disebabkan karena beban yang diterima pada uji tarik spesimen arah $\pm 45^\circ$ terdistribusikan pada arah serat yang saling menyilang sehingga menghambat terjadinya perambatan retak pada komposit tersebut. Dan hasil pengujian densitas pada masing-masing arah serat yaitu 0,677 gr/cm³ untuk arah 0° , kemudian 0,781 gr/cm³ untuk arah $0^\circ/90^\circ$, dan 0,8 gr/cm³ untuk arah $\pm 45^\circ$.

B. Modus Kegagalan Spesimen Uji Tarik

Pada Gambar 3 menunjukkan modus kegagalan yang terjadi setelah dilakukan uji tarik spesimen komposit *bolted joint sandwich* hibrid rami *E-glass/epoxy* dengan *core* kayu balsa berdasarkan variasi arah serat 0° , $0^\circ/90^\circ$ dan $\pm 45^\circ$.





(c)

Gambar 3. Modus kegagalan uji tarik komposit *bolted joint sandwich* hibrid rami *E-glass/epoxy* dengan *core* kayu balsa berdasarkan variasi arah serat (a) 0° , (b) $0/90^\circ$ dan (c) $\pm 45^\circ$

Berdasarkan foto makro hasil dari pengujian tarik komposit *bolted joint sandwich* hibrid rami *E-glass/epoxy* dengan *core* kayu balsa memiliki beberapa kegagalan setelah dilakukan uji tarik. Dapat dilihat pada Gambar 3.(a) kegagalan ini terjadi pada arah serat 0° , jenis kegagalan yg terjadi yaitu (*sheer out failure*) atau kegagalan geser karena arah serat yang lurus/searah. Kegagalan ini terjadi akibat tergesernya bagian laminat yang berada didepan sambungan yang searah dengan arah pembebanan yang disebabkan oleh adanya gaya geser pada sambungan, sehingga terjadinya (*debonding*) atau kurangnya ikatan antara *matrix* dengan serat. Adapun jenis kegagalan yang lainnya dapat dilihat pada Gambar 3.(b) kegagalan ini terjadi pada arah serat $0/90^\circ$, jenis kegagalan yang terjadi yaitu (*bearing failure*) atau kegagalan bantalan biasa disebut kerusakan disekitar lubang karena arah serat yg saling menyilang, kegagalan ini diakibatkan beban tarik yang diberikan kepada *matrix* dan di distribusikan ke serat menyebar ke segala arah, sehingga terjadi (*delaminasi*) atau kurangnya ikatan antara lamina satu dengan laminasi yang lain, dan pada Gambar 3.(c) kegagalan ini terjadi pada arah serat $\pm 45^\circ$, jenis kegagalan yang terjadi yaitu (*bearing failure*) atau kegagalan bantalan biasa disebut kerusakan disekitar lubang karena arah serat yg saling menyilang, dan kegagalan ini sama dengan yang terjadi pada arah serat $0/90^\circ$ yaitu diakibatkan beban tarik yang diberikan kepada *matrix* dan di distribusikan ke serat menyebar ke segala arah, sehingga terjadi (*delaminasi*) atau kurangnya ikatan antara lamina satu dengan laminasi yang lain.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian menyimpulkan bahwa komposit *bolted joint sandwich* hibrid rami *E-glass/epoxy* dengan *core* kayu balsa variasi arah serat $\pm 45^\circ$ memiliki kekuatan tarik yang lebih besar dibandingkan dengan arah serat 0° dan $0/90^\circ$. Disamping itu setiap variasi arah serat memiliki densitas yang relatif lebih rendah dengan menggunakan metoda manufaktur *hand lay-up* dan *vacuum bagging* hasil dari komposit sandwich ini bisa dikatakan ringan, sehingga memiliki potensi yang baik untuk dikembangkan lebih lanjut untuk diterapkan pada *joiner* pesawat udara tanpa awak/UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*) yang memiliki ketahanan yang sangat baik terhadap korosi serta harga yang lebih ekonomis.

REFERENSI

- [1] Jones, R. M. 1975. *Mechanics of Composite Material*. Jones. Amerika Serikat: Mc Graw-Hill.
- [2] Wallenberger, F.T., etc. 2001. *Glass Fiber*. ASM International. Material Park. Ohio.
- [3] Purwati, D. R. 2010. "Strategi Pengembangan Rami (*Boehmeria nivea*)."
Perspektif Vol. 9 N0.2: 106-118.
- [4] Kotlarewski, Nathan J, dkk. 2015. *Mechanical Properties of Papua New Guinea Balsa Wood*. *Eur. J. Wood Prod.* (2016) 74:83–89, Berlin.
- [5] Krevelen. 1994. *Properties of Polymer, Their Correlation with Chemical Structure, Their Numerical Estimated and Prediction from Additional Group Contributions, Threed Edition*. Elsevier Science B. V. Amsterdam. Naderlands.
- [6] Wallenberger, F.T., etc. 2001. *Glass Fiber*. ASM International. Material Park. Ohio.
- [7] Maiti, R. 1997. *World Fiber Crop: Ramie (Boehmeria nivea)*. Hal.63- 73, Science publ. USA
- [8] Musaddad, M. 2007. "Agribisnis tanaman rami". Panebar Swadaya. Depok.
- [9] Ardiyanto, P. 2014. "Analisa Pengaruh Ketebalan Inti (Core) Polyurethane Terhadap Karakteristik Bending Komposit Sandwich." Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- [10] Diharjo, K. 2006. *Kajian Pengaruh Teknik Pembuatan Lubang Terhadap Kekuatan Tarik Komposit Hibrid Serat Gelas dan Serat Karung Plastik*. Universitas Negeri Sebelas Maret Surakarta.
- [11] Banowati, Lies dkk. 2017. *Analisis Perbandingan Kekuatan Tarik Orientasi Unidirectional 0° dan 90° pada Struktur Komposit Serat Mendong Dengan Menggunakan Epoksi Bakelite EPR 174*. Universitas Nurtanio Bandung.
- [12] Faza, A. 2014. "Analisis Kekuatan Tarik Struktur Komposit Thermoplastic Berbahan Serat Rami dan Matriks High Density Polyethylene (HDPE)." Institut Teknologi Bandung
- [13] ASTM 792-07. *Standard Test Methods for Density and Specific Gravity (Relative Density) of Plastics by Displacement*. Annual Book of ASTM Standards. United States: ASTM International
- [14] Diharjo, K. 2006. "Pengaruh Perlakuan Alkali terhadap Sifat Tarik Bahan Komposit Serat Rami Polyester." Teknik Mesin, Universitas Sebelas Maret, Surakarta.
- [15] Gibson, R.F. 1994. *Principles of Composite Material Mechanics*. International Edition. McGraw-Hill Book Company, New York USA.
- [16] ASTM. D 5961, 2012. *Standard Test Methon for Bearing Response of Polymer Matrix Composite Laminates*. American Society for Testing and Materials.