

**PENGARUH PEMANASAN TERHADAP MECHANICAL PROPERTIES  
KOMPONEN KOMPOSIT FABRIC PLAIN WEAVE PADA PESAWAT TERBANG  
TANPA AWAK MEDIUM ALTITUDE LONG ENDURANCE ELANG HITAM**

**EFFECT OF HEATING ON MECHANICAL PROPERTIES OF FABRIC PLAIN WEAVE  
COMPOSITES ON THE BLACK EAGLE MEDIUM ALTITUDE LONG ENDURANCE  
UNMANED AERIAL VEHICLE**

Untung<sup>1</sup>, Maykel T E Manawan<sup>2</sup>, Y H Yogaswara<sup>3</sup>

PROGRAM STUDI TEKNOLOGI PESENJATAAN  
FAKULTAS TEKNOLOGI PERTAHANAN  
UNIVERSITAS PERTAHANAN

(untung.kautsar05@gmail.com, maykel.manawan@idu.ac.id, yh.yogaswara@idu.ac.id)

**Abstrak**–Spesimen komposit *fabric plain weave* disekitar *engine* PTTA MALE Elang Hitam terpapar panas pada temperatur tinggi (>100°C) dengan jangka waktu lama (mencapai 30 jam). Paparan pemanasan tersebut mempengaruhi sifat mekanik dari komponen yang berada disekitar *area engine*. Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis pengaruh pemanasan terhadap *mechanical properties* spesimen komposit *fabric woven plain weave* pada PTTA MALE Elang Hitam buatan PTDI. Spesimen komposit *fabric plain weave* yang digunakan berbasis material *carbon fiber-epoxy* dibuat menggunakan metode *hand lay-up* dan melalui proses *curing cycle* menggunakan *autoclave*. Simulasi pemanasan dilakukan pada temperatur 125°C selama 24 dan 48 jam. *Mechanical properties* dari spesimen tersebut dianalisis berdasarkan hasil pengujian *tensile*, *compression*, *in-plane shear*, dan *short-beam strength* sesuai standar ASTM. Hasil pengujian menunjukkan nilai *tensile stress* meningkat sebesar 15% terjadi setelah spesimen dipanaskan selama 48 jam. Hal tersebut disebabkan karena adanya peningkatan densitas spesimen karena pengaruh pemanasan. Nilai *compressive strength* pada spesimen tanpa pemanasan sebesar 584.30 MPa dan turun pada spesimen A, yaitu menjadi 447.59 MPa. Penurunan kekuatan spesimen disebabkan adanya penurunan *crosslink* dalam polimer resin yang digunakan. Hasil pengujian *in-plane shear* menunjukkan hasil kerusakan bentuk patahan yang terjadi pada spesimen A dan B, didukung dengan grafik pengujian yang tidak mengalami pertambahan panjang setelah mencapai pembebanan maksimal. Hal tersebut menunjukkan spesimen A dan B memiliki sifat *brittle* yang lebih tinggi dibanding spesimen yang tidak dipanaskan.

**Kata Kunci:** *carbon fiber*, komposit, , *plain weave*, resin polymer, sifat mekanik.

**Abstract**–Composite *fabric plain weave* specimens around the engine of Black Eagle MALE UAV can be exposed to heat at high temperatures (>100°C) for a long time (up to 30 hours). The heating exposure affects to the mechanical properties of the plain weave fabric composite components around the engine area. So, the purpose of this research is to investigate the effect of heating from engine temperature on the mechanical properties of fabric plain weave composite components in Black Eagle MALE UAV, that produced by Indonesian Aerospace (IAe). This research analyzed the mechanical properties of the fabric plain weave composite based on the carbon fiber-epoxy material, which produce using the hand lay-up method and through the curing cycle process using autoclave. The

heating simulation was carried out at a temperature of 125°C for 24 and 48 hours. The mechanical properties of the composite specimens are carried out by tensile, compressive, in-plane shear, and short-beam strength tests according to ASTM. The test results showed an increase the tensile stress value of 15% occurred after the specimen was heated for 48 hours. This is due to an increase in specimen density due to the effect of heating. The value of compressive strength in the specimen without heating was 584.30 MPa and decreased in specimen A, which was 447.59 MPa. The decrease in specimen strength was due to a decrease in the cross-link in the polymer resin used. The in-plane shear test results show the results of the fracture damage that occurred in specimens A and B, supported by test charts that do not show any elongation after reaching maximum loading shows that specimens A and B have higher brittle properties than unheated specimens.

**Keywords:** carbon fiber, composites, mechanical properties, plain weave, resin polymer.

## Pendahuluan

Lingkungan strategis yang berkembang semakin eskalatif dan kompleks menjadikan isu pertahanan kawasan strategis sebagai perhatian dunia. Ancaman merupakan faktor dasar penyusunan desain sistem pertahanan negara, baik ancaman yang bersifat aktual maupun potensial (Kemhan, 2015). Pengawasan pertahanan menggunakan pesawat terbang tanpa awak banyak digunakan dalam menjalankan operasi pengawasan.

Pesawat terbang tanpa awak (PTTA) jenis *Medium Altitude Long Endurance* (MALE) yang mampu terbang selama 30 jam dengan radius mencapai 250 km (PTDI, 2020), mampu membantu menjaga pertahanan udara NKRI karena sangat efisien dan dapat mengurangi korban jiwa (Chiesa, Fioriti, & Fusaro, 2016). PTTA MALE yang diberi nama Elang Hitam ini merupakan wahana yang telah

diinisiasi oleh Balitbang Kemhan yang bekerjasama dengan TNI, Dirjen Potan Kemhan, BPPT, LAPAN, ITB, dan PT Dirgantara Indonesia (PTDI) dalam proses pembuatannya.

Untuk mendukung pengembangan *weapon system* tersebut, PTDI merupakan industri yang berperan mengembangkan teknologi material komposit pada Elang Hitam. Material komposit merupakan salah satu teknologi kunci yang digunakan dalam struktur *unmanned aerial vehicle* (UAV) ini. Material komposit dapat meningkatkan akurasi, kualitas permukaan yang baik serta memungkinkan untuk membuat komponen pesawat dengan bentuk yang sangat rumit (Verma, Pradhan, Nehra, & Prateek, 2018). Komponen komposit yang digunakan pada Elang Hitam berbasis *carbon fiber* sebagai *reinforcement* dan resin epoxy sebagai matriksnya.

PTTA MALE Elang Hitam dibuat lebih 90% berbahan komposit. Penggunaan pesawat ini adalah untuk operasi pertahanan dalam jangka waktu yang lama, hal tersebut membuat material komposit pada bagian *engine* terpapar panas dan mempengaruhi sifat mekaniknya. Berdasarkan penelitian oleh Getahun Aklilu, Sarp Adali, dan Glen Bright tahun 2018, menyatakan bahwa material komposit yang berbasis *carbon-fiber* dan resin epoxy yang terpapar panas pada temperature dan lama waktu yang berbeda akan mempengaruhi sifat mekaniknya. Sifat mekanik dari material komposit berkurang seiring dengan bertambah tingginya temperature paparan panas (Aklilu, Adali, & Bright, 2018).

Penelitian ini ditujukan untuk mengetahui pengaruh paparan panas yang diterima spesimen komposit *fabric plain-weave* berbasis *carbon fiber-epoxy* yang digunakan pada PTTA MALE Elang Hitam. *Mechanical properties* dari spesimen berbahan komposit tersebut dapat diketahui melalui beberapa pengujian mekanik, yaitu *tensile test*, *in plane shear test*, *compression test*, dan *short beam strength (SBS) test* yang dilakukan sesuai dengan *Ameriaccan Standard Test Material (ASTM)*. Dengan

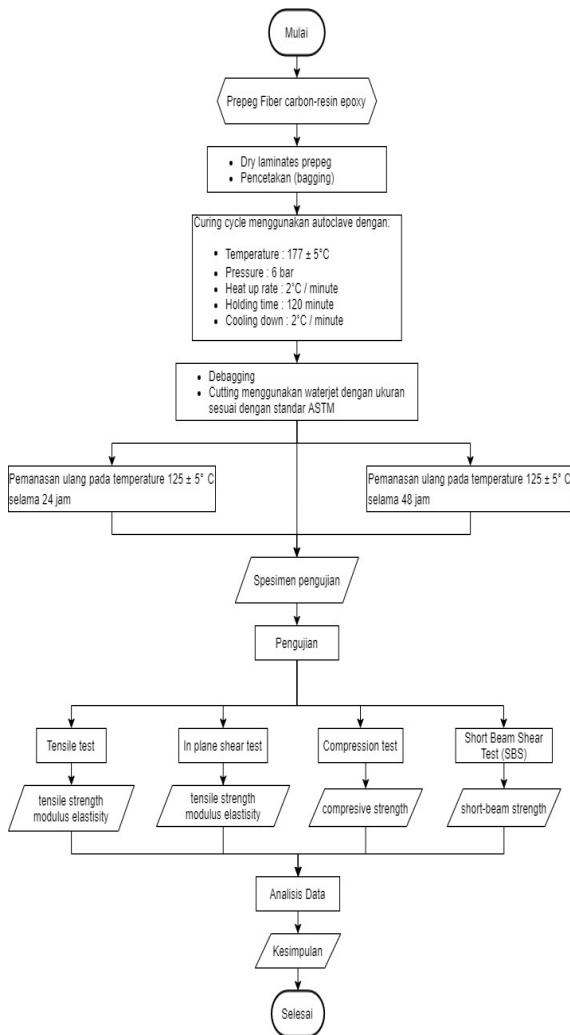
demikian karakteristik komponen komposit tersebut dapat diketahui dan menjadi referensi penelitian mendukung terwujudnya PTTA MALE Elang Hitam dengan kemampuan kombatan untuk menjaga pertahanan dan keutuhan Negara Kesatuan Republik Indonesia.

### **Metode Penelitian**

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode kuantitatif variabel terukur langsung. Variabel yang terukur langsung pada penelitian ini, antara lain adalah nilai *tensile stress*, *in plane shear strength*, *compressive strength*, dan nilai *short beam strength (SBS)*.

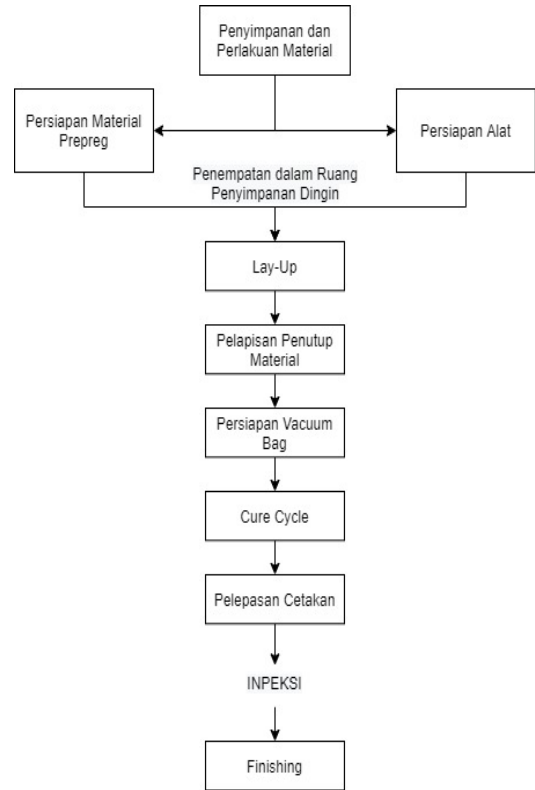
Penelitian ini diawali dengan membuat spesimen komposit *fabric plain weave*, kemudian spesimen hasil manufaktur dilakukan simulasi pemanasan menggunakan *Fisher Scientific Isotemp Programmable Oven Model 838F* pada *service temperature* material tersebut, yaitu  $125 \pm 5^{\circ}\text{C}$  selama 24 jam (Spesimen A) dan 48 jam (Spesimen B). Setelah itu, spesimen komposit hasil manufaktur diidentifikasi sifat mekaniknya dengan melakukan beberapa pengujian, yaitu *tensile test*, *in plane shear test*, *compression test*, dan *short beam strength (SBS) test* yang

dilakukan sesuai dengan *American Standard Test Material (ASTM)*. Alur penelitian yang telah dideskripsikan tersebut dapat disusun pada bagan Gambar 1.



**Gambar 1.** Alur Penelitian  
 Sumber: diolah peneliti, 2021

Adapun alur proses manufaktur spesimen komposit *fabric plain weave* dapat dilihat pada Gambar 2.





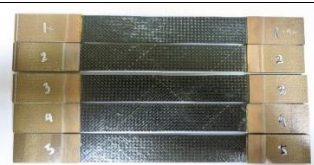

**Gambar 2.** Alur Manufaktur Spesimen  
 Sumber: diolah peneliti, 2021

## Hasil dan Pembahasan

### Manufaktur Spesimen

Proses manufaktur spesimen menghasilkan empat jenis spesimen pengujian seperti pada tabel 1. Dimana untuk pengujian *tensile*, *compressive*, dan *in-plane shear* memiliki spesimen yang dilengkapi dengan *tabbing* atau *grip*. Berbeda dengan spesimen pengujian *short beam strength* yang dibuat tanpa dilengkapi dengan *tabbing*. Proses manufaktur yang dilakukan berdasarkan prosedur produksi yang dimiliki PTDI, terdapat beberapa analisis teknis yang perlu diperhatikan.

**Tabel 1.** Spesimen Hasil Manufaktur

Pengujian	Spesimen
<b>Tensile</b>	
<b>Compression</b>	
<b>In plane shear</b>	
<b>Short beam strength</b>	

Sumber: diolah peneliti, 2021

### Analisis Hasil Uji Tensile

Berdasarkan pengujian *tensile* yang telah dilakukan sesuai dengan standar pengujian ASTM D3039, untuk setiap variasi waktu pemanasan dilakukan 5 pengujian spesimen. Pengujian *tensile* untuk spesimen tanpa pemanasan ulang mengalami pengulangan pengujian untuk dua spesimen. Diperlukan ketelitian yang lebih dalam memasang spesimen pada *fixture* alat uji sehingga data yang diperoleh maksimal.

Spesimen mengalami kerusakan setelah proses pengujian, semua spesimen pada variasi waktu pemanasan mengalami patahan lateral (*brittle*), baik dibagian *tabbing area* ataupun *gage area*-

nya. Kerusakan tersebut banyak terjadi di beberapa bagian pada spesimen (*multiple area*). Kerusakan yang dialami oleh spesimen *tensile test* dapat dibedakan berdasarkan arah, bentuk, lokasi patahan. Mengantisipasi adanya kesalahan pengujian, spesimen disiapkan dengan jumlah yang lebih dari yang dibutuhkan (lebih dari 5 spesimen) atau menyiapkan cadangan spesimen minimal dua buah.

Berdasarkan standar pengujian ASTM D3039, kode kerusakan spesimen pengujian *tensile* terdiri atas 3 huruf, dimana huruf pertama menyatakan tipe kerusakan, huruf kedua menyatakan area kerusakan, dan huruf ketiga menyatakan lokasi kerusakan. Kode kerusakan spesimen *tensile test* yang terjadi adalah LMV, LGT, dan LGV. Huruf pertama L menunjukkan bahwa tipe kerusakan yang terjadi memiliki arah yang lateral. Huruf kedua M berarti terjadi di beberapa area (*multiple areas*), G berarti kerusakan terjadi pada area *gage*, dan A berarti kerusakan terjadi pada area *grip* atau *tab* (*at grip/tab*). Dan huruf ketiga V berarti lokasi kerusakan terjadi di beberapa tempat (*various*), sedangkan T berarti lokasi kerusakan terjadi di bagian atas spesimen (*top*) (ASTM D3039, 2002).

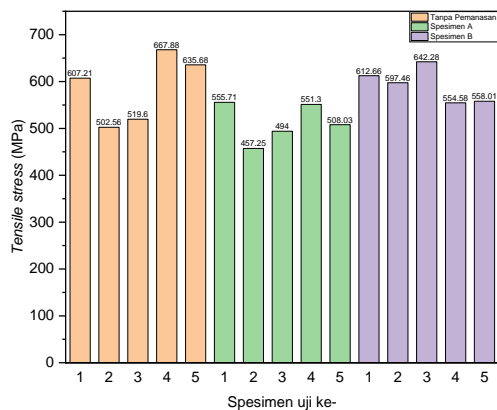
Kondisi kerusakan spesimen setelah pengujian beserta kode kerusakannya secara lengkap dapat dilihat pada tabel 2.

**Tabel 2.** Kode Kerusakan Spesimen *Tensile Test*

Spesimen	Gambar	Kode Kerusakan
Spesimen Tanpa Pemanasan		LMV
		LMV
		LMV
		LMV
		LMT
Spesimen A		LAV
		LMV
		LMV
		LMV
		LAV
Spesimen B		LMV
		LMV
		LMV
		LMV
		LMV

Sumber: diolah peneliti, 2021

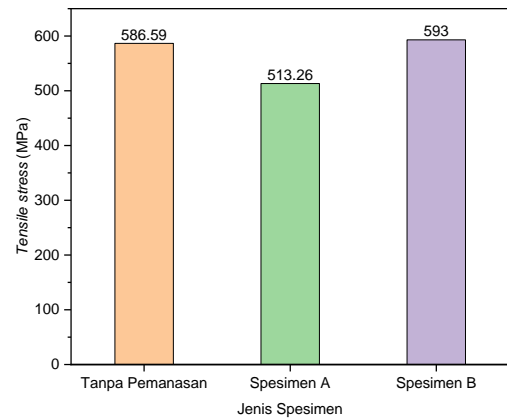
Adapun data nilai *tensile stress* yang diperoleh dengan melakukan pengujian pada lima spesimen untuk setiap variasi pemanasan adalah seperti gambar 3 berikut:



**Gambar 3.** Grafik nilai *tensile stress* hasil pengujian

Sumber: diolah peneliti, 2021

Berdasarkan hasil pengujian kelima spesimen untuk setiap variasi pemanasan diperoleh nilai rata-rata, seperti yang direpresentasikan dalam bentuk grafik pada Gambar 4.



**Gambar 4.** Grafik nilai rata-rata *tensile stress*  
Sumber: diolah peneliti, 2021



Nilai *tensile stress* yang diperoleh pada spesimen tanpa pemanasan adalah 586.59 MPa, kemudian nilainya turun saat spesimen dipanaskan selama 24 jam yaitu menjadi 513.26 MPa dan kembali naik untuk spesimen yang dipanaskan selama 48 jam yaitu menjadi 593 MPa. Kenaikan nilai tegangan tarik pada spesimen B, disebabkan karena adanya pemanasan ulang yang mengurangi *moisture* dan volume udara yang terdapat pada daerah *interface* dalam spesimen. Hal tersebut menimbulkan peningkatan nilai densitas spesimen dan peningkatan nilai kekuatan (*strength*) material. Hasil tersebut terjadi pula pada penelitian yang dilakukan oleh Zhang, Sun, dan Gu tahun 2016 yang juga

menghasilkan peningkatan nilai kekuatan material pada spesimen yang dipanaskan pada suhu yang lebih tinggi dan dalam waktu yang lebih lama (Zhang, Sun, & Gu, 2016).

### Analisis Hasil Uji Compression

Pengujian *compression* yang dilakukan mengacu pada standar pengujian ASTM D6641. Standar prosedur pengujian tersebut dapat mencegah adanya kemungkinan *buckling* atau pembengkokan spesimen yang dapat terjadi saat proses pengujian. Pada pengujian ini terdapat banyak kerusakan yang terjadi pada *tabbing* spesimen seperti yang terlihat pada tabel 3 berikut.

**Tabel 3.** Kode Kerusakan Spesimen *Compression Test*

Spesimen	Gambar	Kode Kerusakan
Spesimen Tanpa Pemansan		XGM XAB XGT SIT XGM
Spesimen A		MMV DTB DTB SAB DTB



Sumber: diolah peneliti, 2021

Adanya kerusakan *tabbing* mengakibatkan beberapa data hasil pengujian yang didapatkan tidak maksimal. Berdasarkan standar pengujian ASTM D6641, klasifikasi kerusakan dapat direpresentasikan dengan kode kerusakan yang terdiri dari tiga huruf dengan arti yang berbeda. Huruf pertama menunjukkan bentuk kerusakan, huruf kedua menunjukkan area kerusakan, dan huruf ketiga menunjukkan lokasi kerusakan. Penjelasan kode kerusakan yang dialami spesimen hasil uji *compression* dapat dilihat secara lengkap pada tabel 4 berikut.

**Tabel 4.** Arti Kode Kerusakan *Compression Test*

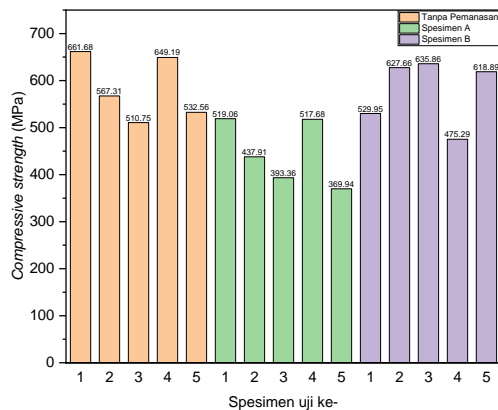
Kode Kerusakan	Huruf		
	1	2	3
<b>XGM</b>	<i>Explode</i>	<i>gage</i>	<i>Middle</i>
<b>XAB</b>	<i>Explode</i>	<i>At grip/tab</i>	<i>Bottom</i>
<b>XGT</b>	<i>Explode</i>	<i>Gage</i>	<i>Top</i>
<b>SIT</b>	<i>Long-splitting</i>	<i>Inside grip/tab</i>	<i>Top</i>
<b>MMV</b>	<i>Multi-mode</i>	<i>Multiple area</i>	<i>Various</i>



<b>DTB</b>	<i>Delamination</i>	<i>Tab adhesive</i>	<i>Bottom</i>
<b>SAB</b>	<i>Long-splitting</i>	<i>At grip/tab</i>	<i>Bottom</i>
<b>DTV</b>	<i>Delamination</i>	<i>Tab adhesive</i>	<i>Various</i>
<b>BGM</b>	<i>Brooming</i>	<i>Gage</i>	<i>Middle</i>
<b>SGM</b>	<i>Long-splitting</i>	<i>Gage</i>	<i>Middle</i>

Sumber: diolah peneliti, 2021

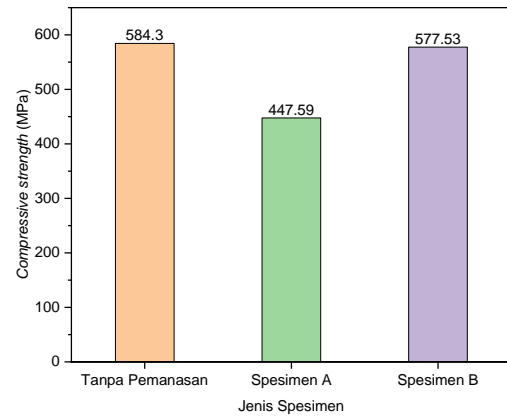
Pengujian *compression* dilakukan pada 5 buah spesimen untuk tiap variasi waktu pemanasan, dan menghasilkan nilai kuat tekan (*compressive strength*) seperti pada gambar 5 berikut:



**Gambar 5.** Grafik nilai *compressive strength* hasil pengujian

Sumber: diolah peneliti, 2021

Data tiap jenis spesimen dapat dirata-rata, sehingga diperoleh data seperti Gambar 6.



**Gambar 6.** Grafik nilai rata-rata *compressive strength*

Sumber: diolah peneliti, 2021

Berdasarkan 6 diatas, nilai *compressive strength* pada spesimen tanpa pemanasan yaitu sebesar 584.30 MPa, lalu setelah dipanaskan selama 24 jam (spesimen A), nilai *compressive strength* turun menjadi 447.59 MPa. Dan mengalami kenaikan signifikan pada spesimen yang dipanaskan selama 48 jam (spesimen B), yaitu menjadi 577.53 MPa. Penurunan nilai kekuatan tekan yang terjadi pada spesimen A, terjadi pula pada penelitian yang dilakukan oleh Campana tahun 2018. Adanya penurunan nilai kuat tekan tersebut disebabkan adanya penurunan kekuatan ikatan dalam *adhesive film* yang menyebabkan banyak terjadi kerusakan pada area *tabbing*. *Adhesive film* merupakan bahan polimer yang memiliki penurunan karakteristik jika dipanaskan pada temperatur di atas atau di dekat *Tg* (*glass transition*




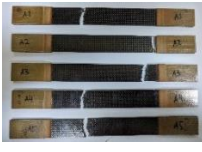
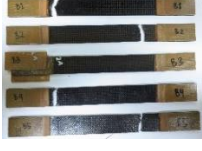
temperature) sehingga menurunkan kekuatan ikatan silang atau *crosslink* dalam bahan polimer tersebut. (Campana *et al.*, 2018).

### Analisis Hasil Uji *In-plane shear*

Pengujian *in-plane shear* dilakukan berdasarkan standar uji ASTM D3518. Terjadi kerusakan *tabbing* pada spesimen tanpa pemanasan dan spesimen B dengan pemanasan selama 48 jam untuk pengujian yang ketiga, sehingga data yang dihasilkan kurang maksimal. Pengujian *in-plane shear* dilakukan menggunakan prosedur dan *fixture* yang sama dengan pengujian *tensile*. Perbedaannya terdapat pada arah serat spesimen yang membentuk sudut 45° dari arah horizontalnya (ASTM D3518, 1995).

Perbedaan arah serat tersebut mempengaruhi kekuatan yang dimiliki spesimen komposit. Kerusakan spesimen yang terjadi setelah pengujian *in-plane shear* dapat diklasifikasikan mengacu pada dokumen pengujian ASTM D3039 karena memiliki tipe pengujian yang sama. Adapun hasil kerusakan spesimen pengujian *in-plane shear* memiliki kode kerusakan antara lain DGM, AGM, LAB, AGB, LGM, AAT, GAT, dan LGT. Kode kerusakan untuk tiap spesimen secara lengkap dapat dilihat pada tabel 5 berikut.

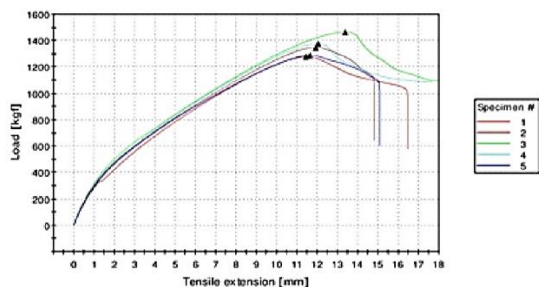
**Tabel 5.** Kode Kerusakan Spesimen *In-Plane Shear Test*

Spesimen	Gambar	Kode Kerusakan
Spesimen Tanpa Pemanasan		DGM
		DGM
		DGM
		DGM
		DGM
Spesimen A		AGM
		LAB
		AGB
		LGM
		AAT
Spesimen B		AAT
		LGM
		GAT
		LGT
		LGM

Sumber: diolah peneliti, 2021

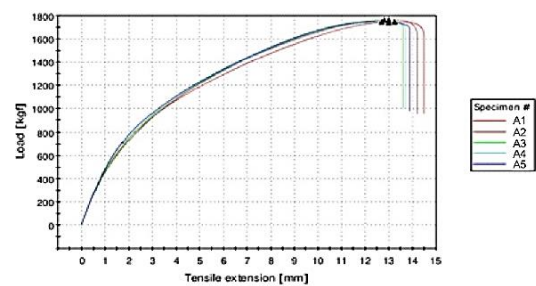
Berdasarkan klasifikasi kerusakan pada standar pengujian ASTM D3039, kode kerusakan terdiri dari tiga huruf yang memiliki arti berbeda. Huruf D diawal kode berarti kerusakan berupa delaminasi (*delamination*), A berarti kerusakan membentuk sudut kemiringan (*angled*), L berarti kerusakan memiliki arah lateral, dan G berarti kerusakan terjadi pada *Grip* atau *Tabbing* (ASTM D3039, 2002). Huruf kedua pada kode kerusakan untuk huruf G berarti kerusakan pada area *gage*, dan A berarti kerusakan terjadi pada *grip* atau *tabbing*. Dan huruf ketiga pada kode kerusakan untuk huruf M berarti kerusakan terjadi di tengah (*middle*), B berarti kerusakan

terjadi di bawah spesimen (*bottom*), dan T berarti kerusakan terjadi pada bagian atas spesimen (*top*) (ASTM D3039, 2002). Berdasarkan kode kerusakan pada tiap spesimen pengujian *in-plane shear* terjadi kerusakan yang berbeda diantara spesimen tanpa pemanasan dengan spesimen A dan B. Spesimen tanpa pemanasan mengalami kerusakan hanya dalam bentuk delaminasi atau tidak sampai menyebabkan spesimen patah. Berbeda dengan spesimen A dan B yang mengalami patahan hampir di semua spesimen uji. Hal tersebut menunjukkan dengan adanya pemanasan ulang baik dalam waktu 24 dan 48 jam menyebabkan spesimen semakin getas atau *brittle*. Sama halnya yang terjadi pada penelitian yang dilakukan oleh Li pada tahun 2016, sifat kegetasan spesimen meningkat seiring dengan peningkatan temperatur pemanasan yang dilakukan (Li, Wu, Ma, & Yan, 2016).

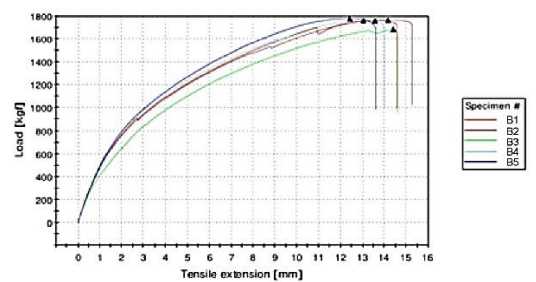


**Gambar 7.** Grafik pengujian *in-plane shear* spesimen tanpa pemanasan  
 Sumber: diolah peneliti, 2021

Grafik perubahan panjang terhadap pembebanan tarik yang kontinu berdasarkan pengujian pada spesimen tanpa pemanasan seperti yang terlihat pada Gambar 7 menunjukkan adanya pertambahan panjang (*elongation*) yang terjadi setelah spesimen mendapatkan pembebanan maksimum. Berbeda dengan grafik yang dihasilkan untuk spesimen A dan spesimen B seperti yang terlihat pada Gambar 8 yang menunjukkan adanya penurunan grafik pada spesimen A dan B setelah mencapai *maximum load*.



(a)

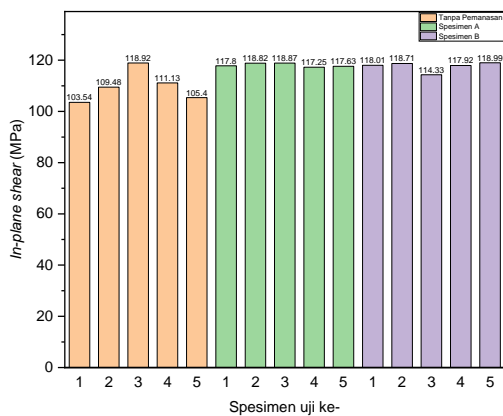


(b)

**Gambar 8.** Grafik hasil pengujian *in-plane shear* (a) Spesimen A (b) Spesimen B  
 Sumber: diolah peneliti, 2021

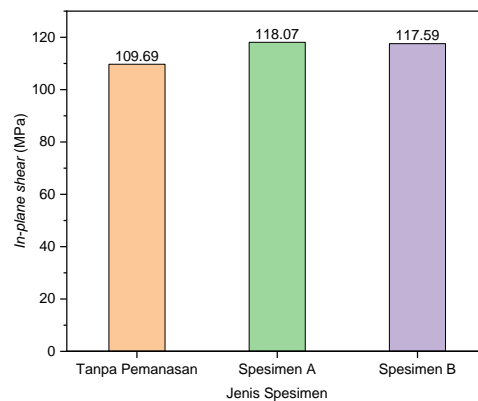
Penurunan grafik tersebut menunjukkan terjadi kerusakan patah pada spesimen yang diuji, berbeda dengan spesimen tanpa pemanasan yang

tidak memiliki grafik menurun signifikan setelah mencapai *maximum load*. Dengan demikian, spesimen A dan spesimen B memiliki kegetasan (*brittle*) yang lebih tinggi dibanding spesimen yang tidak dipanaskan. Pengujian *in-plane shear* yang dilakukan menggunakan lima spesimen untuk tiap variasi waktu pemanasan, dan menghasilkan nilai kuat *in-plane shear* seperti pada Gambar 9 berikut.



**Gambar 9.** Grafik nilai *in-plane shear* hasil pengujian  
 Sumber: diolah peneliti, 2021

Berdasarkan nilai *inplane shear* hasil pengujian kelima spesimen untuk setiap variasi pemanasan diperoleh nilai rata-rata, seperti yang direpresentasikan dalam bentuk grafik seperti pada Gambar 10.



**Gambar 10.** Grafik nilai rata-rata *in-plane shear*  
 Sumber: diolah peneliti, 2021

Terlihat baik pada gambar 10, rata-rata nilai *in-plane shear* mengalami kenaikan yang signifikan pada spesimen yang dipanaskan selama 24 jam (spesimen A) yaitu mencapai 118.07 MPa dibandingkan pada spesimen tanpa pemanasan dengan nilai 109.69 MPa. Nilai *in-plane shear* berkurang pada spesimen yang dipanaskan selama 48 jam (spesimen B), yaitu 117.59 MPa. Namun nilai *in-plane shear* pada spesimen B masih lebih tinggi dibanding nilai pada spesimen tanpa pemanasan. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Yashiro dan Ogi tahun 2019 yang menghasilkan kenaikan nilai *in-plane shear* dan kekuatan material pada temperature pemanasan yang lebih tinggi dan lama, menjelaskan bahwa adanya peningkatan nilai *in-plane shear* menunjukkan pemanasan yang dilakukan efektif dalam mengurangi volume udara

dalam spesimen atau meningkatkan densitas spesimen (Yashiro & Ogi, 2019).

### Kesimpulan Rekomendasi

Berdasarkan pada hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Spesimen komposit *fabric plain weave* untuk pesawat terbang tanpa awak MALE Elang Hitam telah berhasil dibuat.
2. Pemanasan ulang yang dipaparkan pada spesimen komposit *fabric plain weave* berbasis *carbon fiber-epoxy* mempengaruhi sifat mekanik dari spesimen tersebut. Perubahan sifat mekanik disebabkan karena adanya pengaruh perubahan karakteristik resin polimer saat dikenai pemanasan.
3. Nilai rata-rata *tensile stress* pada spesimen tanpa pemanasan, spesimen A dan spesimen B berturut-turut adalah 586.59; 513.26; dan 593.00 MPa. Nilai tersebut turun pada spesimen A dan meningkat pada spesimen B. Nilai rata-rata *compressive strength* mengalami tren sama seperti nilai rata-rata *tensile stress*, dimana nilai rata-rata *compressive strength* tersebut untuk spesimen tanpa pemanasan,

spesimen A, dan spesimen B berturut-turut adalah 584.30; 447.59; dan 577.53 MPa. Nilai rata-rata *in-plane shear* pada spesimen tanpa pemanasan, spesimen A dan spesimen B berturut-turut adalah 109.69; 118.07; dan 117.59 MPa. Nilai tersebut mengalami peningkatan pada spesimen A. Mode kerusakan hasil pengujian *in-plane shear* pun menunjukkan baik spesimen A maupun spesimen B memiliki sifat *brittel* yang lebih tinggi dibanding spesimen tanpa pemanasan.

Saran untuk penelitian selanjutnya dapat dilakukan dengan memvariasikan temperature pemanasan pada suhu rendah. Sehingga mendapatkan variasi data yang lebih banyak dalam mendukung kekuatan material selama digunakan untuk beroperasi.

### Daftar Pustaka

- Aklilu, G., Adali, S., & Bright, G. (2018). Temperature effect on mechanical properties of carbon, glass and hybrid polymer composite specimens. *International Journal of Engineering Research in Africa*, 39, 119–138.
- ASTMD3039. (2002). Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials. *ASTM International*.
- ASTMD3518. (1995). Standard Test

Method for In-Plane Shear Response of Polymer Matrix Composite Materials by Tensile Test of a 45 ° Laminate. *ASTM International*, 1–7.

Chiesa, S., Fioriti, M., & Fusaro, R. (2016). MALE UAV and its systems as basis of future definitions. *Aircraft Engineering and Aerospace Technology*, 88(6), 771–782.

Kemhan. (2015). *Buku Putih Pertahanan*. Jakarta: Kementerian Pertahanan Republik Indonesia.

Li, X., Wu, L., Ma, L., & Yan, X. (2016). Effect of temperature on the compressive behavior of carbon fiber composite pyramidal truss cores sandwich panels with reinforced frames. *Theoretical and Applied Mechanics Letters*, 6(2), 76–80.

PTDI. (2020). Indonesia Introduced BLACK EAGLE, Unmanned Aircraft. Retrieved from PT Dirgantara Indonesia website: [https://www.indonesian-aerospace.com/news/detail/892\\_indonesia+introduced+black+eagle%2C+unmanned+aircraft](https://www.indonesian-aerospace.com/news/detail/892_indonesia+introduced+black+eagle%2C+unmanned+aircraft)

Verma, A. K., Pradhan, N. K., Nehra, R., & Prateek. (2018). Challenge and Advantage of Materials in Design and Fabrication of Composite UAV. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 455(1).

Yashiro, S., & Ogi, K. (2019). Experimental study on shear-dominant fiber failure in CFRP laminates by out-of-plane shear loading. *Journal of Composite Materials*, 53(10), 1337–1346.

Zhang, M., Sun, B., & Gu, B. (2016). Accelerated thermal ageing of epoxy resin and 3-D carbon fiber/epoxy braided composites. *Composites Part A: Applied Science and*