



## Analisis Perbandingan Efektivitas Penggunaan Material Kevlar dan Serat Boron pada Pesawat UAV MALE Berbasis Inovasi Winglet

Ringgit Purbowati<sup>1\*</sup>, Sovian Aritonang<sup>2</sup>

<sup>1-3</sup> Universitas Pertahanan, Indonesia

Email: [ringgitpurbaaa@gmail.com](mailto:ringgitpurbaaa@gmail.com)<sup>1\*</sup>, [sovia.aritonang@idu.ac.id](mailto:sovia.aritonang@idu.ac.id)<sup>2</sup>

Alamat: Kawasan IPSC Sentul, Sukahati, Kec. Citeureup, Bogor, Jawa Barat, 16810, Indonesia

\*Penulis Korespondensi

**Abstract.** *This study was conducted to examine the effectiveness of Kevlar as a structural material in Medium Altitude Long Endurance (MALE) Unmanned Aerial Vehicles (UAVs), particularly those designed with winglet innovations. In UAV development, material selection plays a crucial role since it directly affects flight performance, fuel efficiency, and the overall durability of the aircraft structure. Kevlar is widely recognized as a lightweight yet highly durable material, making it an interesting candidate to replace more conventional options such as aluminum and carbon fiber composites. Two approaches were applied in this research: numerical simulations using aerodynamic software and experimental testing on a prototype wing and winglet reinforced with Kevlar. The analysis focused on comparing lift, drag, total aircraft weight, and fuel consumption between Kevlar-based structures and conventional materials. The results demonstrate that Kevlar significantly improves aerodynamic efficiency and extends flight endurance due to its lower weight. Moreover, Kevlar exhibits superior resistance to dynamic loads and impacts, which are critical during certain flight conditions. However, challenges remain in terms of higher production costs and more complex manufacturing processes compared to traditional materials. Despite these limitations, the findings provide valuable insights for developing more efficient and durable MALE UAVs, while also encouraging innovation in aerodynamic design through the application of winglet technology.*

**Keywords:** *Aerodynamics; Effectiveness; Kevlar; MALE UAV; Winglet.*

**Abstrak.** Penelitian ini dilakukan untuk melihat seberapa efektif penggunaan material Kevlar pada pesawat tanpa awak (Unmanned Aerial Vehicle/UAV) tipe Medium Altitude Long Endurance (MALE), khususnya yang dirancang dengan tambahan inovasi winglet. Dalam dunia pengembangan UAV, pemilihan material merupakan hal yang sangat penting karena akan berpengaruh pada performa terbang, efisiensi bahan bakar, hingga ketahanan struktur pesawat itu sendiri. Kevlar dikenal sebagai material yang ringan namun sangat kuat, sehingga menarik untuk dikaji penggunaannya sebagai pengganti material yang lebih umum seperti aluminium maupun komposit serat karbon. Dalam penelitian ini digunakan dua pendekatan, yaitu simulasi numerik menggunakan perangkat lunak aerodinamika, serta pengujian eksperimental terhadap prototipe sayap dan winglet yang dilapisi Kevlar. Fokus analisis diarahkan pada perbandingan gaya angkat, hambatan, bobot total pesawat, serta konsumsi bahan bakar ketika menggunakan Kevlar dibandingkan dengan material konvensional. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa Kevlar mampu meningkatkan efisiensi aerodinamika dan memberikan waktu terbang yang lebih panjang karena bobot yang lebih ringan. Selain itu, Kevlar juga terbukti lebih tahan terhadap beban dinamis dan benturan. Meski begitu, ada tantangan yang harus dihadapi, yaitu biaya produksi yang lebih tinggi serta proses manufaktur yang lebih rumit. Temuan ini diharapkan dapat menjadi dasar untuk pengembangan UAV MALE yang lebih efisien, tahan lama, serta mendorong inovasi desain aerodinamis melalui penerapan teknologi winglet.

**Kata kunci:** Aerodinamika; Efektivitas; Kevlar; UAV MALE; Winglet

## **1. LATAR BELAKANG**

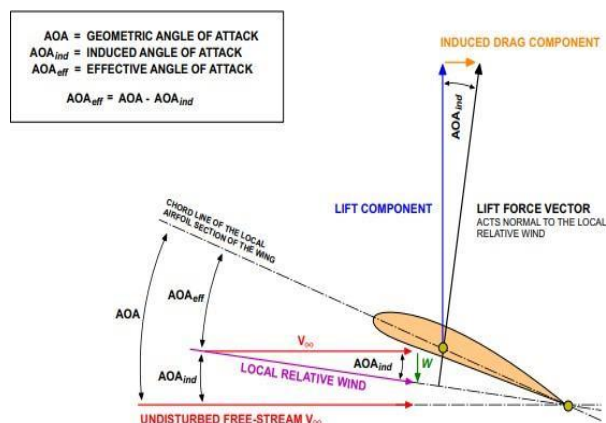
Kebutuhan akan pesawat nirawak kelas ringan mendorong berbagai pihak, termasuk Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN), untuk merancang dan membangun pesawat ini. Dalam desain pesawat nirawak LSU-02, konfigurasi yang dipilih adalah sayap di atas (*high wing*) dengan ekor vertikal *twin-boom*, yang sering dipilih karena kesederhanaan desain dan kestabilan terbang yang tinggi (Soemaryanto & Rosid, 2017). Dalam pemilihan konfigurasi, karakteristik aerodinamika menjadi aspek penting, yang ditunjukkan melalui kurva yang menggambarkan hubungan antara koefisien gaya hambat dan gaya angkat, termasuk *drag polar* dan efisiensi aerodinamika (Young et al, 2009). Karakteristik aerodinamika adalah parameter penting yang mempengaruhi performa terbang dan pemilihan mesin pesawat. Dalam perancangan pesawat nirawak LSU-02, terdapat dua konfigurasi ekor vertikal berbeda, yaitu *Inverted V* dan *U tail* (Kurukularachchi, Prince, & Munasinghe, 2014).

Material Kevlar, serat aramid yang dikembangkan oleh DuPont, memiliki keunggulan seperti ketahanan tinggi terhadap benturan dan abrasi serta kemampuan menyerap energi, berkat sifat mekanik dan matriks material kompositnya yang relatif rendah (Zhao, 2013). Serat Kevlar juga dikenal sebagai serat inert berkat tingkat kristalisasi yang tinggi dan permukaan yang halus (Kong et al, 2019) Untuk menurunkan biaya komposit Kevlar, perlu penelitian tentang sifat tarik, tumbukan, dan tekukan serat, agar dapat memahami bahwa sifat mekanik komposit hibrida sangat bergantung pada posisi geometris lapisan. (Sandesh et al, 2016). Posisi geometris dalam suatu lapisan terdiri dari tiga lapisan yang disusun dengan cara yang sama (Tyagi, Kumar, & Rakesh, 2018). Dalam penggunaan UAV, Kevlar dapat mengurangi berat pesawat, meningkatkan efisiensi bahan bakar, dan memperpanjang durasi terbang. Namun, untuk kinerja optimal, diperlukan penyesuaian serat Kevlar dan epoksi sesuai luas permukaan, serta analisis mendalam tentang desain dan integrasi material, terutama pada komponen penting seperti *winglet* (Fan et al, 2018). Kevlar adalah serat sintetis aramid yang dihasilkan melalui polimerisasi *p-phenylenediamine* dan *terephthaloyl chloride*, menghasilkan rantai molekul kuat dengan ikatan hidrogen stabil. Kevlar memiliki kekuatan tinggi, ketahanan terhadap tarikan dan panas, serta struktur yang lima kali lebih kuat daripada besi, menjadikannya ideal untuk aplikasi di produk konsumen, industri, dan militer. (Rahmat, Ismojo, & Suastiyanti, 2020). Untuk UAV MALE yang beroperasi pada ketinggian menengah hingga tinggi, ketahanan terhadap suhu ekstrem sangat penting karena suhu dan panas akibat gesekan dapat meningkat. Serat ini menawarkan kekuatan tinggi, modulus tinggi, ketahanan kimia, dan stabilitas termal (Chung, D. D. L., 2010). Keunggulan serat Kevlar memberikan

dampak positif pada pesawat UAV MALE dengan ketahanan tinggi terhadap kerusakan dan daya tahan baik di bawah tekanan tarik, serta memastikan stabilitas dimensi tanpa pengembangan atau penyusutan akibat perubahan suhu (Burhanuddin, 2015).

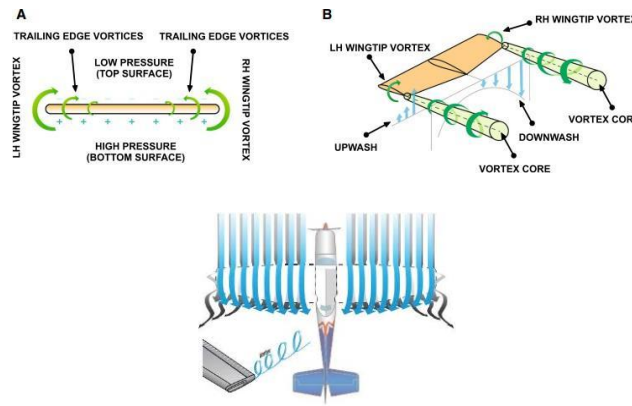
Di sisi lain, serat boron yang terkenal karena kekerasan dan kekuatan mekaniknya, menawarkan potensi yang besar dalam meningkatkan karakteristik struktural UAV karena mempunyai pengaplikasian elektronik yang menarik (Pender, M. J., Kersten, M. F., & Larry, G. S., 2003). Boron adalah metaloid yang memiliki sifat rapuh, berwarna gelap, dan mengkilap; dalam bentuk amorfnya, boron muncul sebagai bubuk kecoklatan yang mengental secara bertahap selama pembakaran (Chintersingh, K. L., Schoenitz, M., & Dreizin, E. L., 2016) (Chintersingh, K. L., Sun, Y., Schoenitz, M., & Dreizin, E. L., 2019). Serat boron menghadapi tantangan dalam melepaskan energi selama proses pembakaran, sehingga perlu ditingkatkan kinerjanya dalam interaksi dengan sayap pesawat untuk meningkatkan efisiensi pembentukannya (Wang, G. D., Jing, S. M., Liu, G. Q., & Gao, X. Y., 2020) (Zamostianu, A., & Yavor, Y., 2022). Sebagai unsur teringan dalam kelompok boron, ia memiliki tiga elektron valensi yang memungkinkan pembentukan ikatan kovalen, menghasilkan berbagai senyawa seperti asam borat dan kristal ultra keras seperti boron karbida. Penggunaan material ini dalam desain UAV dapat memberikan keunggulan signifikan, terutama dalam inovasi desain winglet untuk mengurangi drag dan meningkatkan efisiensi aerodinamis. Senyawa berbasis boron, yang termasuk dalam golongan *halogen free flame retardant*, juga dikembangkan sebagai bahan penghambat api (Intharapat, P., Nakason, C., & Kongnoo, A., 2016). Bahan flame retardant unsur utama dari senyawa berbasis fosfor yang banyak digunakan karena ramah lingkungan berupa gas tidak bersifat toxic apabila terjadi pembakaran akan menghasilkan lebih sedikit asap (Hajiali, F., Tajbakhsh, S., & Marić, M., 2020). Penggunaan utama lainnya adalah dalam polimer dan keramik sebagai bahan struktural yang ringan, kuat, tahan panas, rendah toksisitas, mudah diaplikasikan, ekonomis, dan ramah lingkungan (Baysal, E., & Yalinkilic, M. K., 2005). Kaca borosilikat lebih disukai karena memiliki kekuatan dan ketahanan terhadap goncangan termal yang lebih baik dibandingkan kaca soda kapur biasa. Selain itu, serat boron menawarkan keunggulan seperti stabilitas suhu, tingkat kekerasan tinggi, dan kemampuan penyerapan neutron yang efektif, menjadikannya cocok untuk aplikasi dalam peralatan militer (Rodriguez, M. G., Oxana, V. K., & Ortiz Mendez, U., 2004).

Winglet adalah struktur tambahan di ujung sayap yang dirancang untuk mengurangi drag dan meningkatkan efisiensi aerodinamis. Desain inovatif winglet dapat secara signifikan meningkatkan performa UAV. Dengan menggabungkan inovasi winglet dan material Kevlar, diharapkan dapat tercipta pesawat UAV MALE yang lebih efisien dan efektif. Winglet juga berfungsi untuk mengurangi pusaran udara di ujung sayap, yang meningkatkan efisiensi bahan bakar, memperpanjang jarak tempuh, dan menurunkan induced drag (Anderson, J. D., Jr., 2007). Penggunaan winglet yang tepat dapat meningkatkan performa sayap secara keseluruhan. Penambahan geometri winglet pada NACA 4412 umumnya meningkatkan kinerja, tergantung pada desain winglet dan sudut serang. Blended winglet dianggap tipe paling efektif untuk NACA 4412, memberikan lift dan stabilitas lebih baik dibandingkan model spiroid dan wingtip fence, serta meningkatkan kinerja hingga 3,92%. Pesawat dengan sudut cant winglet  $45^\circ$  menunjukkan gaya angkat tertinggi dan drag minimal, dan penyesuaian sudut cant dapat meningkatkan performa aerodinamis dalam berbagai kondisi penerbangan. Sudut swept winglet yang besar juga berkontribusi positif terhadap peningkatan kinerja aerodinamis secara efektivitas pada kecepatan dan sudut sayap. Rasio lift to drag yang tinggi juga memungkinkan daya dorong yang sedikit lebih rendah untuk mendorong sayap melintasi udara dengan gaya angkat (Yuvarai, S. R., & Subramanyam, P., 2015). Efisiensi aerodinamis pada sudut dan winglet akan meningkat pada berbagai kondisi penerbangan dengan mengatur sudut (Krishnan, S. G., Issac, M. H., & Ismail, F., 2020). Penggunaan material yang tepat untuk winglet akan yang menghasilkan kombinasi pengurangan parasit drag, penurunan wave drag pada kecepatan tinggi (Mach Number), dan efek gaya angkat dari sayap (Bramantya, M. A., Christian, N., & Nugroho, G., 2020).



Sumber: (Bramantya, M. A., Christian, N., & Nugroho, G., 2020).

**Gambar 3.** Gambar Angle of attack yang dibentuk antara chord line dengan free stream.



Sumber: (Bramantya, M. A., Christian, N., & Nugroho, G., 2020).

**Gambar 4.** Ilustrasi vortex yang terjadi pada bagian ujung sayap.

## 2. METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan adalah literatur review dengan pendekatan eksperimental dan simulasi numerik untuk menganalisis efektivitas material Kevlar pada pesawat tanpa awak (UAV) tipe Medium Altitude Long Endurance (MALE) berbasis inovasi winglet. Penelitian terdiri dari dua fase utama: analisis desain dan pengujian performa. Material yang dibandingkan adalah Kevlar dan komposit serat karbon, dengan spesifikasi berdasarkan kekuatan, bobot, dan biaya. Perancangan model UAV menggunakan perangkat lunak ANSYS CFD, dengan fitur ANSYS-Meshing untuk proses meshing atau grid generation (Panagiotou, P., Kaparos, P., Salpingidou, C., & Yakinthos, K., 2016). Sedangkan untuk proses solving menggunakan solver dari ANSYS-CFX. Solver ANSYSCFX dengan pemodelan aliran dengan persamaan Navier-Stokes (Barnhart, R. K., 2012). Model UAV tersebut mencakup sayap, body dan winglet yang dibuat dari material yang dipilih untuk mensimulasikan aliran udara disekitar model UAV serta menganalisa koefisien drag, lift dan efisiensi aerodinamis dari setiap konfigurasi material yang menerapkan permodelan CATIA sehingga memungkinkan pesawat dapat terbang lebih efisien (Guerrero, J. E., Sanguineti, M., & Wittkowski, K., 2020). CATIA adalah akronim untuk Computer Aided Three-dimensional Interactive Application. Ini adalah salah satu perangkat lunak 3D terkemuka yang digunakan oleh organisasi di berbagai industri mulai dari kedirgantaraan, mobil hingga produk konsumen. CATIA menyediakan kemampuan untuk memvisualisasikan desain dalam model 3D airfoil NACA 64.215 (Andreutti, G., Capizzano, F., & Favaloro, N., 2014). Namun, disini hanya menjelaskan perbandingan penggunaan dua jenis material yang efektif antara serat Kevlar dan Boron pada sayap UAV MALE.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

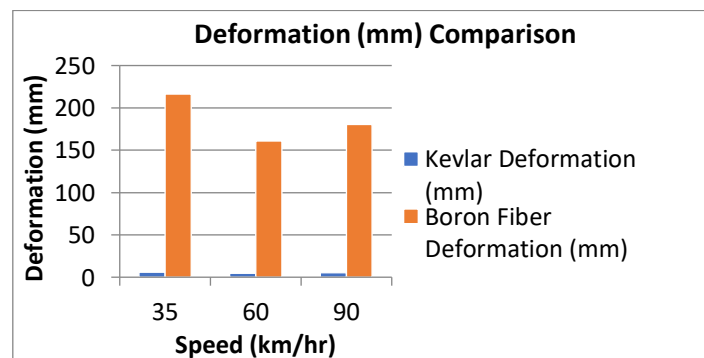
Pengembangan dan perancangan dalam pemilihan material untuk sayap pesawat UAV sangat diperlukan pada bidang pertahanan (Susdarwono, E. T., 2020). Untuk menciptakan pertahanan negara yang tangguh dalam infrastruktur dan mengembangkan kebijakan pemerintah (Shofhani, C., Apriyanto, I. N. P., & Jandhana, I. B. P., 2022). Berdasarkan analisis desain dan perbandingan metode untuk pesawat UAV menggunakan perangkat lunak, operasi pada ketinggian, kecepatan, dan waktu sangat memengaruhi efektivitasnya. Pemilihan material yang tepat, seperti perbandingan antara serat Kevlar dan Boron, juga berpengaruh pada operasi pesawat, sehingga dimensi tubuh, tinggi, dan lebar sayap perlu diperhitungkan untuk menentukan berat lepas landas yang diuji (Rajasa, A., 2021).

Dari Tabel 1, analisis statik sayap pesawat menunjukkan bahwa nilai tegangan meningkat dengan bertambahnya kecepatan (400, 600, 800 km/jam), menghasilkan data deformasi, tegangan, dan regangan untuk masing-masing material. Nilai tegangan serat boron lebih rendah dibandingkan serat Kevlar, yang memiliki kekuatan lebih tinggi karena kuat luluh per densitasnya sekitar delapan kali lipat lebih besar dibandingkan kedua bahan lainnya. (Khosravi, S., & Zingg, D. W. (2018).

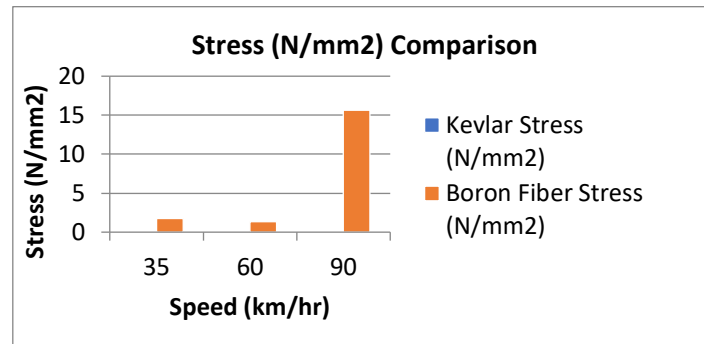
**Tabel 1.** Hasil Analisis Statis.

Winglet angle(°)	Speed (km/hr)	Material	Deformation (mm)	Stress (N/mm <sup>2</sup> )	Strain
35 <sup>0</sup>	400	Kevlar	6.191	216.33	0.0019324
		Boron fiber	1.750	195.3	0.00048834
60 <sup>0</sup>	600	Kevlar	4.778	160.62	0.0014345
		Boron fiber	1.332	159.25	0.00039812
90 <sup>0</sup>	800	Kevlar	5.514	180.64	0.0016129
		Boron fiber	15.642	179.44	0.002145

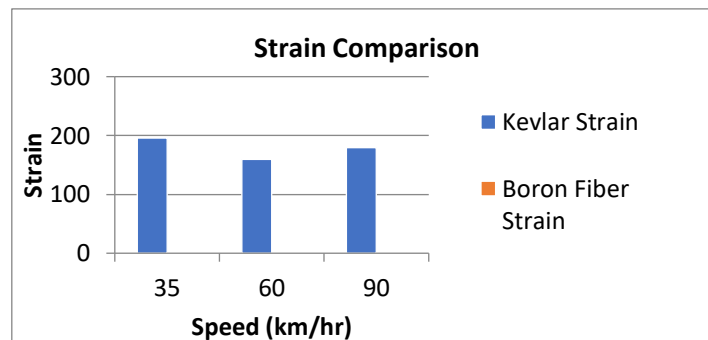
Sumber: (Khosravi, S., & Zingg, D. W., 2018).



(a)



(b)



(c)

Sumber: (Khosravi, S., & Zingg, D. W., 2018).

**Grafik 1.** Material winglet pesawat (a) Deformasi (b) Stres (c).

Pada Wingle angle(<sup>0</sup>) atau sudut kemiringan winglet akan memengaruhi besar gaya yang diterima oleh material, sudut yang digunakan adalah 35<sup>0</sup>, 60<sup>0</sup>, 90<sup>0</sup>. Speed(km/hr) dalam aliran udara atau kecepatan penerapan gaya pada material yaitu 400 km/jam, 600 km/jam, dan 800 km/jam[40]. Besar perubahan bentuk yang dialami material saat menerima gaya, diukur dalam milimeter (mm). Semakin kecil nilai deformasi, semakin besar kekakuan material tersebut. Berdasarkan tabel, serat Boron menunjukkan deformasi terkecil dalam setiap kombinasi sudut dan kecepatan, menandakan tingkat kekakuan yang tinggi.

Tegangan atau Stress( N/mm<sup>2</sup>) yang lebih tinggi menunjukkan gaya yang lebih besar diterapkan pada material per satuan luasnya. Pada kecepatan yang sama, Kevlar cenderung memiliki nilai tegangan yang lebih tinggi dibandingkan material lainnya, menunjukkan kemampuannya menahan gaya besar sebelum terjadi perubahan bentuk. Sedangkan, regangan yaitu rasio antara perubahan panjang dengan panjang awal material akibat gaya yang diberikan. Regangan menunjukkan tingkat peregangan atau kompresi yang dialami material. Serat Boron memiliki nilai regangan terendah di semua kondisi, mencerminkan ketahanannya yang tinggi terhadap perubahan bentuk.

Temuan tersebut menunjukkan bahwa sayap kecil mengurangi hambatan dengan menaikkan rentang sayap secara artifisial dalam analisis statis ini model sayap 3D dibuat dengan tulang rusuk dan spar dipertimbangkan untuk analisis rinci dengan material yang berbeda properti seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2 (Nicholos, S., Skerritt, L., & Bee, T., 2018).

**Tabel 2.** Nilai Pengurangan Gaya Hambatan Relatif.

<b>Properti</b>	<b>Kevlar</b>	<b>Boron</b>
Kepadatan (g/cc)	1.44	2.60
Modulus Young (Mpa)	112.000	400.000
Rasio Poisson	0.36	0.13

Sumber: (Nicholos, S., Skerritt, L., & Bee, T., 2018).

Kepadatan pada material menunjukkan massa per satuan volume, Kevlar-49 memiliki kepadatan paling rendah (1.44g/cc) dibandingkan dengan Serat Boron (2.60g/cc), kepadatan yang lebih rendah sering kali diinginkan untuk aplikasi yang memerlukan material ringan, seperti di dunia industri penerbangan atau perlindungan balistik. Modulus Young (MPa) diatas menunjukkan kekakuan material terhadap deformasi elastis saat diberi tegangan. Serat Boron memiliki Modulus Young tertinggi (400.000 Mpa), sedangkan Kevlar-49 memiliki Modulus Young sebesar (112.000 Mpa). Modulus Young yang tinggi pada serat Boron menunjukkan bahwa material tersebut sangat kaku sehingga membuat struktur dengan kekuatan tinggi dan kestabilan bentuk.

Adanya Rasio Poisson pada material Kevlar-49 dan Serat Boron menjadikan perubahan dimensi lateral relatif terhadap perubahan dimensi aksial ketika material diberi tegangan. Kevlar-49 memiliki Rasio Poisson tertinggi (0.36) dan Serat Boron (0.13), hal ini menunjukkan bahwa material ini memiliki sedikit perubahan dimensi lateral Ketika ditekan atau ditarik yang menandakan stabilitas bentuk yang lebih tinggi dalam aplikasi yang struktural. Secara keseluruhan, tabel ini membandingkan karakteristik fisik dari tiga jenis serat yang digunakan dalam aplikasi teknik dan struktural. Kevlar-49 cocok untuk aplikasi yang membutuhkan material ringan tetapi kuat, sedangkan Serat Boron memiliki kekakuan yang jauh lebih tinggi, menjadikannya pilihan untuk aplikasi yang membutuhkan ketahanan tinggi dan stabilitas bentuk.



#### 4. KESIMPULAN

Kevlar menunjukkan kinerja yang sangat baik dalam hal kekuatan tarik dan ketahanan terhadap dampak, menjadikannya pilihan optimal untuk struktur pesawat yang memerlukan perlindungan tambahan. Sementara itu, serat Boron juga memiliki kekuatan tinggi, tetapi lebih unggul dalam ketahanan terhadap panas dan stabilitas dimensi. Kevlar lebih ringan dibandingkan serat Boron, yang dapat memberikan keuntungan dalam desain UAV untuk meningkatkan efisiensi bahan bakar dan daya angkat. Namun, serat Boron lebih bermanfaat dalam kondisi yang memerlukan ketahanan terhadap suhu tinggi. Secara umum, Kevlar lebih mudah diperoleh dan memiliki biaya lebih rendah dibandingkan serat Boron, yang dapat memengaruhi keputusan pemilihan material dalam produksi massal.

Inovasi winglet pada UAV MALE memberikan keuntungan aerodinamika yang signifikan. Menggunakan kombinasi material yang tepat dapat meningkatkan kinerja keseluruhan pesawat, di mana Kevlar cocok untuk bagian yang memerlukan fleksibilitas, sedangkan serat Boron lebih sesuai untuk area yang memerlukan ketahanan tambahan. Dalam memilih material, penting untuk mempertimbangkan kebutuhan spesifik desain UAV, termasuk faktor biaya, performa, dan kondisi operasional. Kombinasi kedua material juga dapat menjadi solusi optimal untuk memanfaatkan kelebihan masing-masing.

#### DAFTAR REFERENSI

- Soemaryanto, R., & Rosid, N. H. (2017). Verification of Schrenk method for wing loading analysis of small unmanned aircraft using Navier-Stokes based CFD simulation. *Jurnal Teknologi Dirgantara*, 15(2), 161–166.
- Young, J., Walker, S. M., Bomphrey, R. J., Taylor, G. K., & Thomas, A. L. R. (2009). Details of insect wing design and deformation enhance aerodynamic function and flight efficiency. *Science*, 325(5947), 1549–1552. <https://doi.org/10.1126/science.1175928>
- Soemaryanto, D., Rasyadi, A., & Herdiana. (2015). Verification of aerodynamics characteristic in twin tail-boom pusher unmanned aircraft configuration using numerical method. In *Advances in Science and Technology of Indonesian Aircraft, Rocket and Satellite: Design, Simulation, and Performance Analysis* (pp. 14–21).
- Kurukularachchi, L., Prince, R., & Munasinghe, S. R. (2014). Stability and control analysis in twin-boom vertical stabilizer unmanned aerial vehicle (UAV). *International Journal of Scientific Research Publications*, 4(2), 1–5.
- Zhao, J. (2013). Effect of surface treatment on the structure and properties of para-aramid fibers by phosphoric acid. *Fibers and Polymers*, 14(1), 59–64. <https://doi.org/10.1007/s12221-013-0059-x>
- Kong, H. J., Sun, H., Chai, J., Ding, H. Q., Ding, X. M., Qiao, M. M., Yu, M. H., & Zhang, Y. F. (2019). Improvement of adhesion of Kevlar fabrics to epoxy by surface modification with acetic anhydride in supercritical carbon dioxide. *Polymer Composites*, 40(S1), E920–E927. <https://doi.org/10.1002/pc.25100>

- Sandesh, K. J., Umashankar, K. S., Manujesh, B. J., Thejesh, C. K., & Kumar, N. M. (2016). Mechanical characterisation of Kevlar/glass hybrid reinforced polymer composite laminates. *International Advanced Research Journal in Science, Engineering and Technology*, 3(12), 90–97. <https://doi.org/10.17148/IARJSET.2016.31218>
- Tyagi, S., Kumar, M. S., & Rakesh, M. (2018). Experimental and numerical analysis of tensile strength of unidirectional glass/epoxy composite laminates with different fiber percentage. *International Journal of Applied Engineering Research*, 13(15), 12157–12160.
- Fan, W., Tian, H. X., Wang, H. H., Zhang, T., Yang, X., Yu, Y., Meng, X., Yu, X. C., Yuan, L. J., Xu, B. G., & Wang, S. J. (2018). Enhanced interfacial adhesion of aramid fiber III reinforced epoxy composites via low temperature plasma treatment. *Polymer Testing*, 72, 147–156. <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2018.10.003>
- Rahmat, H., Ismojo, & Suastiyanti, D. (2020). Study perbandingan serat jute Jawa dan Kevlar sebagai penguat epoxy untuk aplikasi helm anti peluru berdasarkan analisis numerik. *Jurnal Teknik Mesin – ITI*, 1(2), 37–45. <https://doi.org/10.31543/jtm.v4i2.400>
- Chung, D. D. L. (2010). *Composite materials: Science and applications*. Springer.
- Burhanuddin. (2015). *Teknologi dan rekayasa material polimer komposit*. Prodi Teknik Arsitektur UIN Alauddin.
- Pender, M. J., Kersten, M. F., & Larry, G. S. (2003). Molecular and polymeric precursors to boron carbide nanofibers, nanocylinders, and nanoporous ceramics. *Pure and Applied Chemistry*, 75(7), 1287–1294. <https://doi.org/10.1351/pac200375071287>
- Chintersingh, K. L., Schoenitz, M., & Dreizin, E. L. (2016). Oxidation kinetics and combustion of boron particles with modified surface. *Combustion and Flame*, 173, 288–295. <https://doi.org/10.1016/j.combustflame.2016.01.009>
- Chintersingh, K. L., Sun, Y., Schoenitz, M., & Dreizin, E. L. (2019). Heterogeneous reaction kinetics for oxidation and combustion of boron. *Thermochimica Acta*, 682, 178415. <https://doi.org/10.1016/j.tca.2019.178415>
- Wang, G. D., Jing, S. M., Liu, G. Q., & Gao, X. Y. (2020). Review on the synthesis and properties of the energetic compound containing boron. *Current Organic Chemistry*, 24(10), 1097–1107. <https://doi.org/10.2174/1385272824666200507092030>
- Zamostianu, A., & Yavor, Y. (2022). Burn rate of a novel boron-AN-water green solid propellant. *FirePhysChem*, 2(1), 76–82. <https://doi.org/10.1016/j.fpc.2021.12.002>
- Intharapat, P., Nakason, C., & Kongnoo, A. (2016). Preparation of boric acid supported natural rubber as a reactive flame retardant and its properties. *Polymer Degradation and Stability*, 128, 217–227. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2016.03.004>
- Hajjali, F., Tajbakhsh, S., & Marić, M. (2020). Thermal characteristics and flame retardance behavior of phosphoric acid-containing poly(methacrylates) synthesized by RAFT polymerization. *Materials Today Communications*, 25, 101618. <https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2020.101618>
- Baysal, E., & Yalinkilic, M. K. (2005). A comparative study on stability and decay resistance of some environmentally friendly fire retardant boron compounds. *Wood Science and Technology*, 39(3), 169–186. <https://doi.org/10.1007/s00226-004-0264-2>
- Rodriguez, M. G., Oxana, V. K., & Ortiz Mendez, U. (2004). Formation of boron carbide nanofibers and nanobelts from heated by microwave. *Reviews on Advanced Materials Science*, 7, 55–60.

- Anderson, J. D., Jr. (2007). *Fundamentals of aerodynamics* (4th ed.). McGraw-Hill.
- Yuvarai, S. R., & Subramanyam, P. (2015). Ultralight aircraft wing concept and study. *International Journal of Innovative Studies in Science, Engineering and Technology*, 4(8), 7456–7468.
- Venkatesan, S. P., Beemkumar, N., Jayaprbhakar, J., & Kandires, P. N. (2018). Aircraft wing modelling and study with and without winglet. *International Journal of Atmospheric Energy*, 1–22. Taylor & Francis.
- Ameri, N., Livne, E., Lowenberg, M. H., & Friswell, M. I. (2008). Continuous modelling of flight control aircraft. *American Institute of Aeronautics and Astronautics*, 1–23.
- Myilsamy, D., Thirmmalai, Y., & Premkumar, P. S. (2015). Aircraft wing efficiency investigation using CFD simulation at different canting angles of winglets. *Simulate to Innovate*, 1–233.
- Liauzn, G., la Bihan, D., David, J. M., Joly, D., & Paluch, B. (2018). Analysis of morphing winglet principles to enhance civil transport aircraft load control and aeroelastic behavior. *Journal of Aerospace Lab*.
- Krishnan, S. G., Issac, M. H., & Ismail, F. (2020). Investigation of wing model aerodynamic features with RGV winglet. *Aerospace Technology and Management Journal*, 1–22.
- Bramantya, M. A., Christian, N., & Nugroho, G. (n.d.). Airfoil performance due to winglet configuration on NACA 4412. *International Journal* [detail publikasi perlu dilengkapi].
- Panagiotou, P., Kaparos, P., Salpingidou, C., & Yakinthos, K. (2016). Aerodynamic design of a MALE UAV. *Aerospace Science and Technology*, 50, 127–138. <https://doi.org/10.1016/j.ast.2015.12.017>
- Barnhart, R. K. (2012). *Introduction to unmanned aircraft systems*. Taylor & Francis Group.
- Guerrero, J. E., Sanguineti, M., & Wittkowski, K. (2020). Variable cant angle winglets for improvement of aircraft flight performance. *Meccanica*, 55, 1917–1947. <https://doi.org/10.1007/s11012-020-01230-1>
- Andreutti, G., Capizzano, F., & Favaloro, N. (2014). Computational study of 3D-flow over a paraoil canopy for UAV applications. *Journal of Applied Aerodynamics*, 1–14.
- Susdarwono, E. T. (2020). Kebijakan sinergitas R & D pemerintah, komunitas epistemik, dan sektor swasta dalam percepatan kemandirian industri pertahanan. *Journal of Governance and Local Politics*, 2(2), 106–130.
- Shofhani, C., Apriyanto, I. N. P., & Jandhana, I. B. P. (2022). Acceleration of defense technology mastery: R-Han 122 B rocket for the establishment of national defense industry independence in supporting the fulfillment of defense and security equipment. *International Journal of Social Science Research and Review*, 5(1), 16–23.
- Rajasa, A. (2021, March 17). Spesifikasi drone pertahanan 'Elang Hitam' buatan anak bangsa. *CNN Indonesia*. <https://www.cnnindonesia.com/teknologi/20191230183500-199-461119/spesifikasi-drone-pertahanan-elang-hitam-buatan-anak-bangsa>
- Khosravi, S., & Zingg, D. W. (2018). A numerical optimization analysis on winglets. *American Institute of Aeronautics and Astronautics*, 1–14.
- Nicholos, S., Skerritt, L., & Bee, T. (2018). Structural study of composite aerofoils using aero- and inertial-elastic tailoring. *Journal of Structural Dynamics*, 36(6), 1041–1047.