

Analisis Bird Strike Pada Bagian Struktur Sayap Pesawat UAV JATAYU-01 dengan Variasi Kecepatan dan Material.

Candra Pranoto^{1,*}, Budi Aji Warsianto², Endah Yuniarti³

^{1, 2, 3} Teknik Penerbangan, Fakultas Teknologi Dirgantara dan Industri, Universitas Dirgantara Marsekal Suryadarma, Jakarta

Info Artikel

Histori Artikel:

Diajukan: 29 Juli 2024
Direvisi: 1 Agustus 2025
Diterima: 7 Agustus 2025

Kata kunci:

bird strike
material komposit
UAV JATAYU-01
Simulasi
struktur sayap.

Keywords:

Bird strike
Composite material
JATAYU-01 UAV
Simulation
Wing structure

Penulis Korespondensi:

Candra Pranoto
Email:
candrapranoto1217@gmail.com

ABSTRAK

Keselamatan penerbangan merupakan aspek krusial dalam sistem transportasi udara, termasuk pada operasional pesawat tanpa awak (Unmanned Aerial Vehicle/UAV) yang kini semakin luas digunakan di berbagai sektor. Salah satu ancaman serius terhadap keselamatan dan kelayakan operasional UAV adalah bird strike, yaitu tumbukan antara pesawat dan burung yang dapat menyebabkan kerusakan struktural signifikan, terutama pada bagian sayap. Sayap merupakan komponen kritis yang rentan terhadap dampak tumbukan karena posisinya yang terbuka dan luas. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis tingkat kerusakan pada struktur sayap pesawat UAV JATAYU-01 akibat bird strike, dengan memvariasikan jenis material skin serta kecepatan tumbukan. UAV JATAYU-01 dikategorikan sebagai small UAV, sehingga sangat rentan terhadap dampak langsung bird strike. Simulasi dilakukan menggunakan perangkat lunak Abaqus CAE untuk memperoleh nilai energi internal, tegangan (stress), dan regangan (displacement) yang terjadi pada struktur sayap. Konfigurasi struktur sayap terdiri dari core berbahan Styrofoam, low spar dan upper spar dari material komposit Carbon UD, serta skin yang divariasikan antara Balsa wood dan Styrofoam. Kecepatan tumbukan burung dalam simulasi divariasikan pada 20 m/s, 30 m/s, dan 40 m/s. Hasil simulasi menunjukkan bahwa pada kecepatan 40 m/s, skin berbahan Balsa wood menyerap energi sebesar 22,759 J dengan displacement 2,207 mm, sementara skin berbahan Styrofoam menyerap energi sebesar 29,271 J dengan displacement 9,494 mm. Temuan ini menunjukkan bahwa pemilihan material skin sangat berpengaruh terhadap daya tahan struktur UAV terhadap bird strike, dan menjadi pertimbangan penting dalam desain UAV yang aman dan andal dalam operasional di wilayah rawan burung.

Aviation safety is a critical aspect of air transportation systems, including the operation of Unmanned Aerial Vehicles (UAVs), which are increasingly utilized across various sectors. One of the major threats to UAV operational safety is bird strike—collisions between birds and aircraft—that can cause significant structural damage, particularly to the wings, which are vulnerable due to their exposed and broad surface. This study aims to analyze the structural damage to the wing of the UAV JATAYU-01 resulting from bird strikes by varying the skin material and impact velocity. The JATAYU-01 is classified as a small UAV, making it especially susceptible to such impacts. Simulations were conducted using Abaqus CAE software to evaluate internal energy, stress, and displacement values on the wing structure. The wing configuration includes a Styrofoam core, carbon UD composite for the low and upper spars, and skin made of either Balsa wood or Styrofoam. Bird impact velocities of 20 m/s, 30 m/s, and 40 m/s were tested. Results indicate that at 40 m/s, the Balsa wood skin absorbed 22.759 J of energy with a displacement of 2.207 mm, while the Styrofoam skin absorbed 29.271 J with a displacement of 9.494 mm. These findings highlight the significant influence of skin material selection on a UAV's structural resistance to bird strikes and underscore its importance in designing UAVs capable of safe and reliable operation in bird-prone airspace

.Copyright © 2025 Author(s). All rights reserved

I. PENDAHULUAN

Kemajuan teknologi dalam dunia penerbangan terus mengalami perkembangan pesat, terutama pada sistem pesawat tanpa awak atau Unmanned Aerial Vehicle (UAV). UAV merupakan pesawat yang dikendalikan dari jarak jauh melalui sistem radio dan elektro-mekanik, serta mampu menjalankan misi secara otomatis melalui pemrosesan data dari sensor yang tertanam di dalamnya. Teknologi UAV telah membuka peluang besar dalam berbagai sektor, termasuk pemetaan udara, pengawasan, hingga aplikasi militer [1]. Seiring meningkatnya kebutuhan dan penggunaan UAV, pengembangan desain dan material menjadi aspek krusial dalam menunjang kinerja dan keamanannya[2]. UAV menjadi hal yang baru harus dipertimbangkan karena semakin banyak digunakan maka perlu diidentifikasi kegagalan baik antara pesawat, UAV, dan burung yang dapat memberikan risiko pada keselamatan penerbangan[3]

Salah satu faktor penting dalam desain UAV adalah pemilihan material struktural yang ringan namun kuat. Material yang digunakan sangat memengaruhi efisiensi, kekuatan, dan ketahanan UAV terhadap beban dinamis maupun statis. Oleh karena itu, industri manufaktur UAV secara aktif mengembangkan material baru, terutama komposit ringan, yang mampu menyeimbangkan kekuatan dan bobot struktur.

Namun, di tengah kemajuan teknologi tersebut, ancaman bird strike menjadi tantangan serius yang belum sepenuhnya teratasi. Bird strike merupakan tumbukan antara burung atau hewan terbang lainnya dengan pesawat, dan telah terbukti sebagai salah satu penyebab utama kerusakan struktural pesawat. Dalam laporan menjelaskan bahwa sekitar 77% kecelakaan pesawat berkaitan dengan insiden bird strike[4]. Selain itu hampir 90% kerusakan akibat benda asing (foreign object damage) disebabkan oleh unggas, dan mayoritas bird strike terjadi pada ketinggian rendah di bawah 3.000 kaki—zona yang juga sering dilalui oleh UAV dalam operasionalnya[5].

SKerusakan akibat bird strike dapat berdampak signifikan terhadap bagian-bagian penting pesawat, salah satunya adalah struktur sayap pada UAV[6]. Sayap memiliki peran vital dalam menghasilkan gaya angkat, namun sekaligus menjadi bagian yang paling rentan terhadap tumbukan karena area eksposurnya yang luas. Untuk itu, diperlukan evaluasi terhadap ketahanan struktur sayap UAV terhadap bird strike guna mendukung keselamatan operasional UAV.

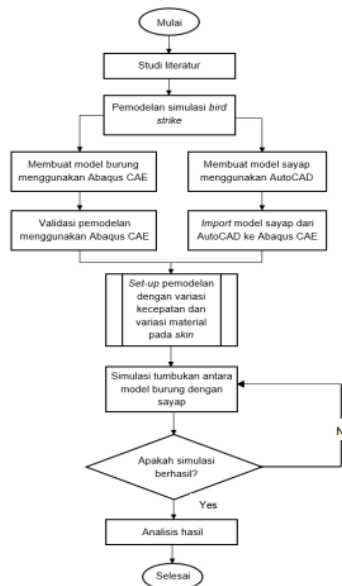
Dalam konteks ini, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis respons struktur sayap UAV JATAYU-01 terhadap bird strike dengan memvariasikan kecepatan tumbukan dan jenis material skin, yaitu kayu balsa dan styrofoam. UAV JATAYU-01 dikategorikan sebagai small UAV, sehingga kerusakan struktural akibat bird strike memiliki dampak signifikan terhadap integritas keseluruhan UAV. Simulasi numerik dilakukan menggunakan perangkat lunak Abaqus CAE dengan metode Smooth Particle Hydrodynamics (SPH) yang telah banyak digunakan dan memiliki akurasi yang baik terhadap pemodelan bird strike[7].

Penelitian ini dibatasi pada kecepatan tumbukan 20 m/s, 30 m/s, dan 40 m/s, dengan fokus pada skin sayap sebagai elemen struktural utama yang diamati. Hasil yang diharapkan meliputi nilai tegangan, regangan, dan energi serap akibat tumbukan. Adapun hipotesis yang diajukan adalah bahwa variasi material skin dan kecepatan tumbukan secara signifikan mempengaruhi tingkat kerusakan struktur sayap UAV. Novelty dari penelitian ini terletak pada pendekatan simulasi numerik yang mengintegrasikan variasi kecepatan dan material untuk menilai ketahanan terhadap bird strike, yang diharapkan dapat memberikan kontribusi terhadap pengembangan desain UAV yang lebih aman dan efisien dalam menghadapi risiko operasional di zona rawan burung.

II. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan melalui beberapa langkah sistematis yang tergambar pada diagram alur penelitian ditunjukkan pada Gambar 1. Proses diawali dengan studi literatur, yang bertujuan untuk mengumpulkan referensi terkait fenomena bird strike, karakteristik material komposit, serta metode simulasi numerik berbasis elemen hingga dan Smooth Particle Hydrodynamics (SPH) pada perangkat lunak Abaqus CAE. Tahapan berikutnya model burung dibuat menggunakan Abaqus CAE dengan metode SPH untuk merepresentasikan perilaku fluida semi-padat dari tubuh burung saat tumbukan. Sementara itu, model sayap UAV dibuat terlebih dahulu menggunakan AutoCAD, lalu di-import ke dalam Abaqus CAE untuk proses simulasi lebih lanjut.

Setelah kedua model tersedia, dilakukan proses validasi pemodelan untuk memastikan bahwa geometri, jenis material, dan parameter simulasi telah sesuai. Tahap selanjutnya adalah set-up simulasi, di mana variasi kecepatan burung (20 m/s, 30 m/s, dan 40 m/s) serta jenis material pada skin (kayu balsa dan styrofoam) diterapkan dalam model. Kemudian dilakukan simulasi tumbukan antara model burung dan sayap menggunakan Abaqus CAE. Setelah simulasi berhasil, dilakukan analisis hasil, yang mencakup parameter internal energy, tegangan, dan regangan untuk menilai tingkat kerusakan pada struktur sayap.



Gambar 1 Alur prosedur penelitian

Spesifikasi pesawat UAV JATAYU-01 dikategorikan sebagai small UAV, dengan desain flying wing yang terdiri dari dua komponen utama (wing dan fuselage) serta beberapa komponen pelengkap seperti nose, tail cone, dan winglet. Spesifikasi rinci dimensi UAV dapat dilihat pada Tabel 1. Pemodelan geometri pesawat dilakukan menggunakan satuan sistem internasional (mm) dan burung yang digunakan dalam simulasi memiliki bentuk hemispherical ended cylinder untuk mendekati hasil eksperimen yang akurat[8].

Tabel 1 Spesifikasi Pesawat UAV JATAYU-01

Spesifikasi Pesawat UAV JATAYU-01			
No	Nama	Dimensi	Satuan
1	Wing Span	2502.91	mm
2	Chord Root	400	mm
3	Chord Mid	300	mm
4	Chord Tip	200	mm
5	MAC	311,1	mm
6	Chord Root Fairing	480	mm
7	Fuselage	924	mm
8	Negative Twist Angle	3	Derajat
9	Angle of Incidence	2	Derajat
10	Joiner Hole	25.4	mm
11	Compartment Space	970.130	mm ³
12	Wing Area	600.000	mm ²
13	Empty Weight	3.100	gram
14	Total Weight	5.800	gram
15	Maximum Take Off Weight	7.000	gram
16	Propeller (Pusher)	14x7	Inch
17	Battery	10.000	mAh
18	Payload/Cargo	500	gram
19	Sweep Angle	30	Derajat

Langkah selanjutnya melibatkan pemodelan sayap pesawat yang dimulai dengan pembuatan beberapa part, yaitu core, spar, dan skin. Core menggunakan airfoil Clark YS dengan panjang chord root 386,4 mm dan chord tip 186,91 mm. Spar diletakkan pada maximum thickness dari Clark YS airfoil dengan ketebalan 3 mm, dan skin juga menggunakan airfoil yang sama dengan ketebalan 1,5 mm untuk memberikan bentuk tapered pada sayap.

Tabel 2 Material properti Styrofoam

Styrofoam		
Properti	Nilai	Satuan
Young Modulus	20,3	Mpa
Poisson Ratio	0,3	-
Density	3,1	Kg/m ³
Yield Strength	0,641	Mpa

Tabel 3 Material properti Balsa Wood

Balsa Wood		
Properti	Nilai	Satuan
Young Modulus	12400	Mpa
Poisson Ratio	0,3	-
Density	615	Kg/m ³
Yield Strength	4,4545	Mpa

Pada bagian properti material, struktur sayap menggunakan tiga jenis material utama: styrofoam untuk core, carbon unidirectional untuk spar, dan balsa wood untuk skin. Material ini dipilih karena kombinasi biaya rendah dan kekuatan yang sesuai untuk kebutuhan sayap pesawat. Data material ini dapat dilihat pada Tabel 2, Tabel 3, dan Tabel 4. Proses assembly menggabungkan pemodelan sayap dengan burung pada sudut tumbukan 0 derajat.

Tabel 4 Material properti Carbon UD

Carbon UD		
Properti	Nilai	Satuan
Density	1490	Kg/m ³
Elastic Modulus		
E_1	121000	Mpa
E_2	8600	Mpa
E_3	8600	Mpa
Shear Modulus		
G_{12}	4700	Mpa
G_{13}	4700	Mpa
G_{23}	3100	Mpa
Poisson Ratio		
ν_{12}	0,27	-
ν_{13}	0,27	-
ν_{23}	0,4	-

Modul step menentukan waktu simulasi untuk berbagai kecepatan (20, 30, dan 40 m/s) selama 5×10^{-2} detik, yang mencakup seluruh proses tumbukan. *Interaction module* digunakan untuk mendefinisikan kontak antara komponen-komponen dengan menggunakan tie *constraint*, di mana *skin* sebagai master *surface* dan *core* serta *spar* sebagai *slave surface*.

Load module mengaplikasikan kecepatan sebagai beban pada node burung, dan konvergensi *mesh* dilakukan untuk menentukan ukuran *mesh* yang efektif dan stabil. Berdasarkan grafik simulasi, *mesh* ukuran 7 dipilih karena menghasilkan *displacement max* yang konstan dan stabil.

III. HASIL DAN DISKUSI

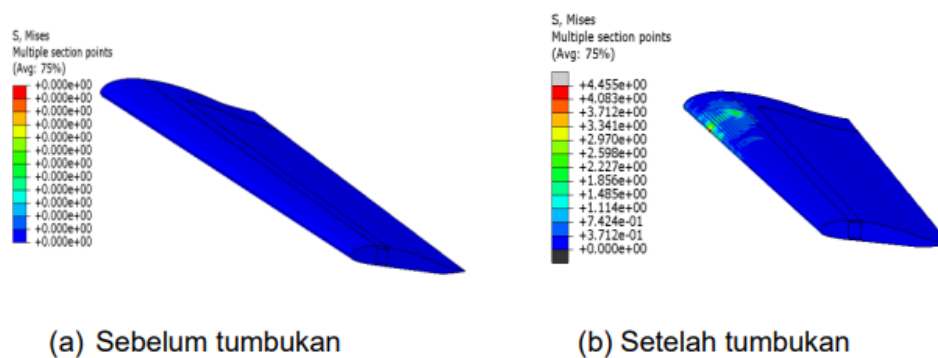
Pada penelitian ini, simulasi bird strike dilakukan pada struktur sayap pesawat UAV JATAYU-01 menggunakan variasi material dan kecepatan. Hasil simulasi dapat terlihat pada Tabel 5 yang menunjukkan bahwa material balsa wood pada kecepatan 40 m/s memiliki energi serapan sebesar

22.193 J dan displacement sebesar 2.207 mm. Sedangkan, material styrofoam pada kecepatan yang sama menunjukkan energi serapan sebesar 29.271 J dan displacement sebesar 9.494 mm.

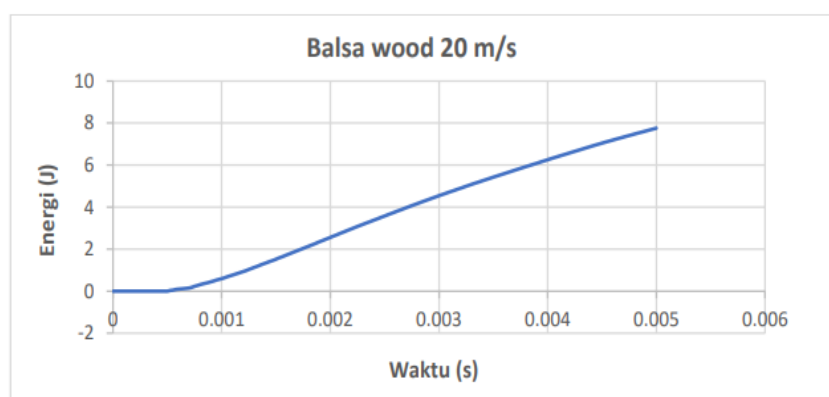
Tabel 5 Tabel hasil simulasi pada variasi kecepatan dan material

Balsa Wood		
Velocity (m/s)	Displacement (mm)	Energy (J)
20	0,361	7,759
30	0,952	14,912
40	2,207	22,193
Styrofoam		
Velocity (m/s)	Displacement (mm)	Energy (J)
20	1,177	7,845
30	3,550	16,916
40	9,494	29,271

Gambar 2 menunjukkan grafik energi internal terhadap waktu untuk kedua material pada berbagai kecepatan. Dari grafik tersebut, terlihat bahwa energi internal meningkat seiring bertambahnya kecepatan tumbukan. Hal ini mengindikasikan bahwa kecepatan tumbukan yang lebih tinggi menyebabkan energi yang lebih besar terserap oleh struktur sayap, yang kemudian mempengaruhi besarnya deformasi pada sayap.



Gambar 2 Deformasi pada kecepatan 20 m/s dengan balsa wood

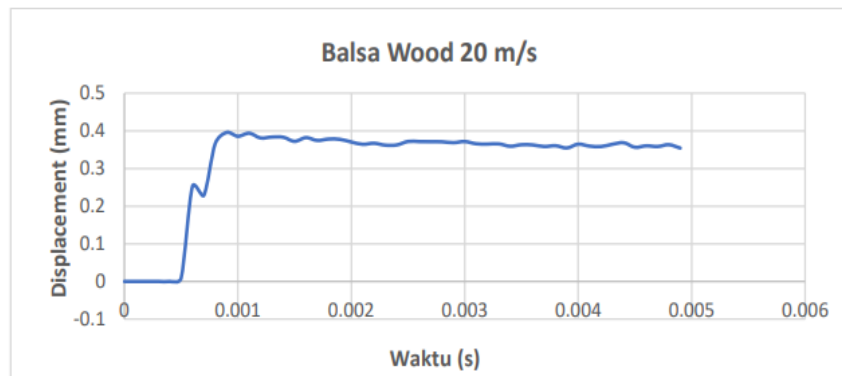


Gambar 3 Nilai energi pada kecepatan 20 m/s dengan balsa wood

Pada material balsa wood, kenaikan kecepatan dari 20 m/s ke 40 m/s menyebabkan peningkatan energi serapan dan displacement secara signifikan. Material ini menunjukkan kapasitas serap energi yang lebih rendah dibandingkan dengan styrofoam, namun displacement yang dihasilkan juga lebih rendah, menandakan bahwa material balsa wood lebih rigid. Dari material Styrofoam jelas bahwa perbedaan nilai energi atau penyerapan energi menggunakan material balsa wood nilai yang diperoleh berbeda, besar kecilnya nilai energi tergantung pada kecepatan burung nya pada simulasi ini kecepatannya adalah 20, 30, 40 m/s. pada kecepatan 20 m/s nilai energinya 7,845 J, pada kecepatan 30

m/s nilai energinya 16,916 J, dan pada kecepatan 40 m/s nilai energinya sebesar 29,271 J. Selanjutnya displacementnya juga terlihat jelas dan nilainya yang diperoleh juga berbeda. Pada kecepatan 20 m/s displacementnya 1,177 mm, kecepatan 30 m/s displacementnya 3,550 mm, dan kecepatan 40 m/s displacementnya 9,494 mm pada waktu 0.005 s.

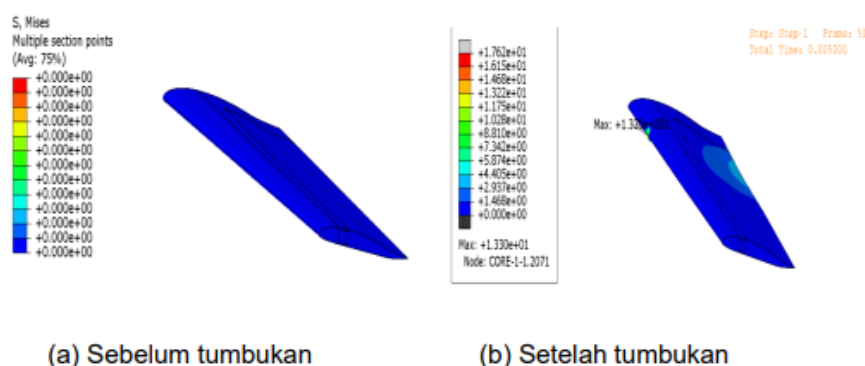
Material balsa wood menunjukkan kapasitas serap energi yang lebih rendah dibandingkan dengan styrofoam. Namun, displacement yang dihasilkan oleh balsa wood juga lebih rendah, menandakan bahwa material ini lebih rigid. Hal ini penting karena displacement yang lebih kecil berarti deformasi yang terjadi pada sayap lebih sedikit, yang dapat meningkatkan keandalan dan umur panjang struktur sayap.



Sebaliknya, material styrofoam menunjukkan kapasitas serap energi yang lebih tinggi, namun dengan displacement yang jauh lebih besar. Ini berarti bahwa meskipun styrofoam mampu menyerap lebih banyak energi, material ini lebih rentan terhadap deformasi besar saat terjadi tumbukan. Kelebihan styrofoam dalam menyerap energi membuatnya cocok digunakan pada bagian pesawat yang membutuhkan kapasitas serap energi yang tinggi, tetapi sifatnya yang mudah terdeformasi mungkin tidak ideal untuk struktur sayap utama yang harus tetap kaku.

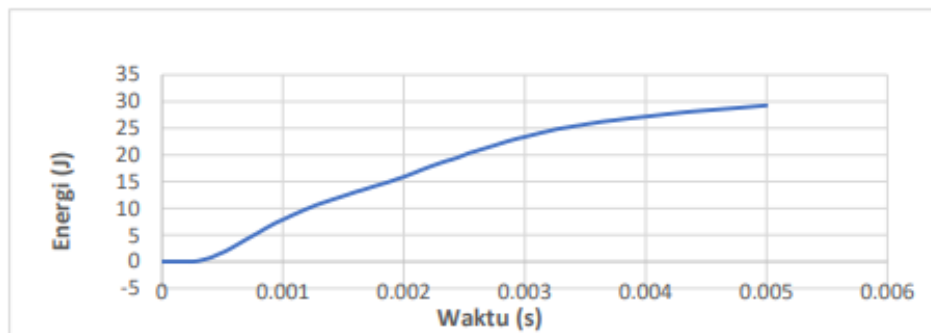
Hasil ini mengindikasikan bahwa dalam desain struktur sayap pesawat UAV JATAYU-01, material balsa wood lebih cocok digunakan untuk kecepatan tumbukan yang tinggi. Ini karena material ini mampu mengurangi deformasi yang terjadi pada sayap meskipun energi serapan lebih rendah. Penggunaan balsa wood pada sayap dapat meningkatkan keselamatan dan stabilitas pesawat saat terjadi bird strike dengan kecepatan tinggi.

Gambar 4 Displacement pada kecepatan 20 m/s dengan balsa wood

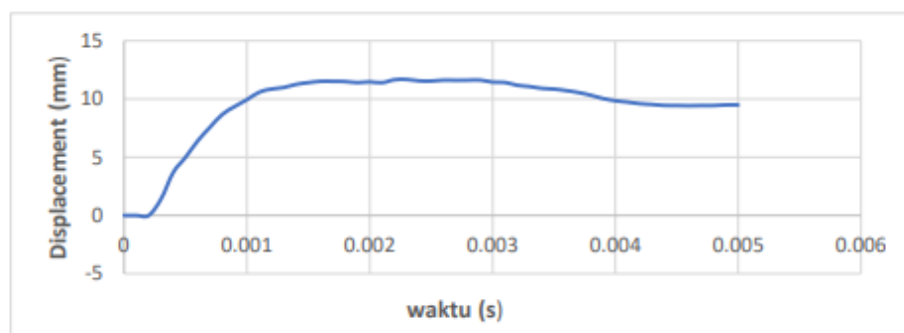


Pada kecepatan yang lebih rendah, styrofoam dapat menjadi pilihan yang baik karena kemampuannya menyerap energi yang tinggi, meskipun dengan risiko deformasi yang lebih besar. Hal ini menunjukkan bahwa pemilihan material harus mempertimbangkan kecepatan operasi pesawat dan skenario tumbukan yang mungkin terjadi.

Gambar 5 Deformasi pada kecepatan 40 m/s dengan Styrofoam



Gambar 6 Nilai energi pada kecepatan 40 m/s dengan Styrofoam



Gambar 7 Displacement pada kecepatan 40 m/s dengan Styrofoam

Penelitian ini menekankan pentingnya pemilihan material yang tepat untuk meningkatkan keselamatan dan kinerja pesawat UAV. Temuan ini menunjukkan bahwa kombinasi material yang optimal dapat memberikan perlindungan yang lebih baik terhadap bird strike, yang merupakan salah satu ancaman utama dalam penerbangan. Studi lebih lanjut dapat mengeksplorasi material alternatif yang menawarkan kombinasi optimal antara kekakuan dan kapasitas serap energi, serta pengujian dalam kondisi operasional yang lebih luas untuk memastikan keandalan dan efektivitas struktur pesawat dalam berbagai situasi.

Dengan demikian, hasil penelitian ini memberikan kontribusi signifikan terhadap pengembangan teknologi UAV, khususnya dalam hal meningkatkan keselamatan dan daya tahan struktur pesawat terhadap ancaman eksternal seperti bird strike. Temuan ini juga relevan bagi industri penerbangan yang terus mencari solusi inovatif untuk mengatasi tantangan keamanan dan efisiensi dalam operasional penerbangan.

IV. KESIMPULAN

Pada penelitian ini menunjukkan bahwa material dan kecepatan memiliki pengaruh signifikan terhadap kekuatan dan deformasi struktur sayap pesawat UAV JATAYU-01 saat terjadi bird strike. Pada variasi kecepatan, styrofoam menunjukkan displacement tertinggi pada kecepatan 40 m/s, dengan displacement mencapai 9,494 mm. Sedangkan pada kecepatan yang sama, balsa wood menghasilkan displacement sebesar 2,207 mm. Hal ini menunjukkan bahwa balsa wood lebih kaku dibandingkan dengan styrofoam, yang lebih rentan terhadap deformasi besar. Selain itu, analisis energi menunjukkan bahwa styrofoam memiliki kapasitas serap energi yang lebih tinggi, dengan energi serapan sebesar 29,271 J pada kecepatan 40 m/s, dibandingkan dengan balsa wood yang menyerap energi sebesar 22,193 J pada kecepatan yang sama. Temuan ini menekankan pentingnya pemilihan material yang tepat untuk meningkatkan keselamatan dan kinerja pesawat UAV, serta menunjukkan bahwa balsa wood lebih cocok untuk digunakan pada kecepatan tumbukan tinggi karena deformasi yang lebih rendah, sementara styrofoam lebih sesuai untuk kecepatan yang lebih rendah dengan kapasitas serap energi yang lebih tinggi. Penelitian ini memberikan kontribusi penting dalam pengembangan teknologi UAV, khususnya dalam desain struktur sayap yang lebih tahan terhadap bird strike.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada pihak-pihak yang telah memberikan dukungan dan bantuan selama proses penelitian ini diantaranya para dosen pembimbing dan civitas akademika di Prodi Teknik Penerbangan, Universitas Dirgantara Marsekal Suryadarma.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Barnhart, R. K., Hottman, S. B., Marshall, D. M., dan Shappee, E. Introduction to Unmanned Aircraft System. Boca Raton: CRC Press Taylor & Francis Group, 2012.
- [2] M. H. Widanto et al., "Peningkatan Pengetahuan dan Praktik Manufaktur Material Komposit untuk Siswa Sekolah Menengah Kejuruan," E-Dimas : Jurnal Pengabdian kepada Masyarakat, vol. 16, no. 1, pp. 115–121, 2025, [Online]. Available: <http://journal.upgris.ac.id/index.php/e-dimas>
- [3] B. A. Warsiyanto, M. H. Widanto, I. Musthofa, and I. Maulana, "Dynamic response of commuter category aircraft wing against drone collision," Jurnal Teknologi Dirgantara, vol. 19, no. 1, pp. 79–92, Jun. 2021.
- [4] Laksono, A., Sitompul, S. A., Suprianto, A., & Fitriansyah, R. (2022). Analisis Numerik Pengaruh Gasket pada Windshield Pesawat Komuter 19 Penumpang Terhadap Fenomena Bird Strike. Jurnal Teknologi Kedirgantaraan, 7(1), 72–84. <https://doi.org/10.35894/jtk.v7i1.49>
- [5] Thorpe, J. Analysis of Bird Strike. CAA-UK, 1992.
- [6] Park, C. Y., Jang, B. W., Kim, J. H., Kim, C. G., & Jun, S. M. (2012). Bird strike event monitoring in a composite UAV wing using high speed optical fiber sensing system. Composites Science and Technology, 72(4), 498–505. <https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2011.12.008>
- [7] B. Aji Warsiyanto, S. Fairuza, M. Widanto, and G. Kresna, "Numerical Analysis of Bird Strike on Engine Cowling of AW139 Helicopter using Sandwich Composite Material with Lattice Core Structure," in 2nd Aviation Industry, Education and Regulation, European Alliance for Innovation n.o., May 2024. doi: 10.4108/eai.8-11-2023.2345975.
- [8] Yuniarti, Endah, and Sahril Afandi Sitompu. "Pengaruh Model Burung Silinder dan Silinder Dengan Kedua Ujung Setengah Bola Dengan Pemodelan Elemen Hingga Kasus Tabrak Burung." jurnal teknologi dirgantara 17, no. 1 (2019): 41-56.