

PEMLIHAN MATERIAL UNTUK LANDING GEAR PESAWAT

Adi Japutra¹, Arjuna Dwi Dirgantara², Dani Kusuma³, Kemala Dwi Lestari Prasetyo⁴,

^{1,2,3,4} Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Gunadarma

Korespondensi penulis: Adijaputra003@gmail.com

Abstract— Landing gear is a crucial component of an aircraft, serving as the primary support while on the ground, particularly during landing and taxiing. The selection of an optimal material for landing gear is a critical factor in ensuring safety, efficiency, and reliability. This study aims to evaluate several candidate materials using Ansys Granta Selector software, which enables the analysis of mechanical properties, cost, and other parameters. The materials analyzed include Titanium Alloy (Ti-6Al-4V), Steel Alloy (AISI 4340), Aluminum Alloy (AA7075), Nickel-Based Superalloy (Inconel 718), and Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP). The evaluation is based on properties such as fracture toughness, fatigue strength, yield strength, maximum service temperature, specific stiffness, and cost. The analysis results are visualized using a bubble chart, facilitating the material selection process based on the defined criteria. The findings indicate that Titanium Alloy (Ti-6Al-4V) is the best candidate for landing gear applications due to its optimal combination of mechanical properties, durability, and low density. Meanwhile, Steel Alloy and Nickel-Based Superalloy demonstrate superior performance in certain parameters, such as tensile strength and maximum service temperature. CFRP also offers advantages in cost-to-performance efficiency, but its mechanical properties are not yet comparable to Titanium Alloy. In conclusion, Titanium Alloy (Ti-6Al-4V) emerges as the best choice to meet the specific requirements of aircraft landing gear applications.

Keywords— : Landing gear, material selection, Ansys Granta Selector, Titanium Alloy, mechanical properties.

Abstract— Landing gear merupakan komponen penting dalam pesawat terbang yang berfungsi sebagai tumpuan utama selama berada di darat, terutama saat pendaratan dan traksi. Pemilihan material yang optimal untuk landing gear menjadi faktor kritis untuk menjamin keamanan, efisiensi, dan keandalan. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi beberapa kandidat material menggunakan perangkat lunak Ansys Granta Selector, yang memungkinkan analisis sifat mekanik, harga, dan parameter lainnya. Material yang dianalisis meliputi Titanium Alloy (Ti-6Al-4V), Steel Alloy (AISI 4340), Aluminium Alloy (AA7075), Nickel-Based Superalloy (Inconel 718), dan Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP). Evaluasi dilakukan berdasarkan sifat seperti fracture toughness, fatigue strength, yield strength, maximum service temperature, specific stiffness, dan biaya. Hasil analisis divisualisasikan menggunakan bubble chart, yang mempermudah proses seleksi material berdasarkan kriteria yang ditentukan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Titanium Alloy (Ti-6Al-4V) merupakan kandidat terbaik untuk aplikasi landing gear, dengan kombinasi optimal antara sifat mekanik, ketahanan, dan densitas rendah. Sementara itu, Steel Alloy dan Nickel-Based Superalloy menunjukkan performa unggul pada beberapa parameter spesifik, seperti tensile strength dan suhu layanan maksimum. CFRP juga menawarkan keunggulan dalam efisiensi harga per performa, namun sifat mekaniknya belum sebanding dengan Titanium Alloy. Kesimpulannya, Titanium Alloy (Ti-6Al-4V) menjadi pilihan terbaik untuk memenuhi kebutuhan spesifik aplikasi landing gear pesawat.

Keywords— : landing gear, pemilihan material, Ansys Granta Selector, Titanium Alloy, sifat mekanik.

PENDAHULUAN

“Titanium Alloy memiliki keunggulan sifat mekanik yang konsisten, yang menyoroti daya tahan dan ketangguhan bahan ini untuk aplikasi penerbangan” (Boyer et al, 1994).

“Keunggulan Titanium Alloy dibandingkan dengan Steel Alloy terutama terlihat pada

kompromi antara densitas yang lebih rendah dengan kekuatan yang masih tinggi” (Callister dan Rethwisch 2020).

“Kombinasi antara densitas rendah dan kekuatan tinggi memungkinkan Titanium Alloy untuk memberikan efisiensi bahan bakar yang lebih baik pada pesawat, terutama dibandingkan material yang lebih berat seperti Steel Alloy”. (Lütjering dan Williams 2007).

“Dalam teknologi material komposit, CFRP mulai menunjukkan perkembangan yang signifikan”.(Sata dan Miyata 2015). Menjelaskan bahwa sifat mekanik CFRP terus meningkat dengan hadirnya serat karbon generasi baru, yang dapat menjadi opsi masa depan dengan pengembangan lebih lanjut. Namun, kekakuan dan kekuatannya saat ini masih menjadi tantangan utama untuk menggantikan material logam sepenuhnya.

Reed (2006), mengungkapkan bahwa *“Masih menjadi pilihan unggulan untuk aplikasi dengan kebutuhan suhu layanan tinggi. Material ini menawarkan stabilitas termal yang superior, yang tidak dimiliki oleh Aluminium Alloy dan CFRP. Namun, densitas tinggi dari material ini membatasi penggunaannya dalam desain yang memprioritaskan bobot ringan”.*

Dutta dan Allen (2019) juga menyoroti *“pentingnya analisis biaya dalam pemilihan material landing gear, di mana CFRP memiliki keunggulan signifikan pada aspek efisiensi biaya per performa meskipun sifat mekaniknya perlu ditingkatkan. Pendekatan berbasis biaya ini semakin relevan dengan meningkatnya tuntutan pada efisiensi dalam industri penerbangan modern”.*

KAJIAN TEORITIS

Landing gear merupakan komponen penting dalam pesawat terbang yang berfungsi sebagai tumpuan utama saat pesawat berada di darat. Komponen ini harus mampu menahan beban yang sangat besar, baik selama pendaratan maupun saat pesawat bergerak di darat. Oleh karena itu, pemilihan material yang tepat menjadi faktor krusial untuk memastikan keamanan, efisiensi, dan keandalan *landing gear*. Material yang digunakan harus memiliki sifat mekanik unggul seperti kekuatan tinggi, ketangguhan patah, dan ketahanan terhadap kelelahan, sambil tetap mempertimbangkan efisiensi bobot dan biaya.

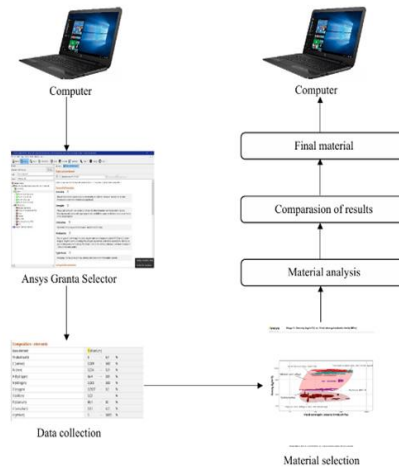
Dalam beberapa dekade terakhir, pengembangan material baru dan metode evaluasi berbasis perangkat lunak telah membantu dalam mengidentifikasi material terbaik untuk aplikasi penerbangan. Salah satu perangkat lunak yang banyak digunakan adalah Ansys

Granta Selector, yang memungkinkan analisis terperinci berdasarkan sifat mekanik, harga, dan parameter lainnya. Dengan memanfaatkan perangkat lunak ini, hubungan antara sifat-sifat material dapat divisualisasikan dalam bentuk *bubble chart*, mempermudah proses seleksi material yang memenuhi kebutuhan spesifik aplikasi.

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi beberapa kandidat material yang potensial untuk landing gear pesawat, termasuk *Titanium Alloy* (Ti-6Al-4V), *Steel Alloy* (AISI 4340), *Aluminium Alloy* (AA7075), *Nickel-Based Superalloy* (Inconel 718), dan *Carbon Fiber Reinforced Polymer* (CFRP). Evaluasi dilakukan berdasarkan sifat seperti *fracture toughness*, *fatigue strength*, *yield strength*, *maximum service temperature*, *specific stiffness*, dan harga. Hasil analisis diharapkan dapat memberikan panduan yang komprehensif dalam pemilihan material terbaik untuk *landing gear* pesawat.

METODE PENELITIAN

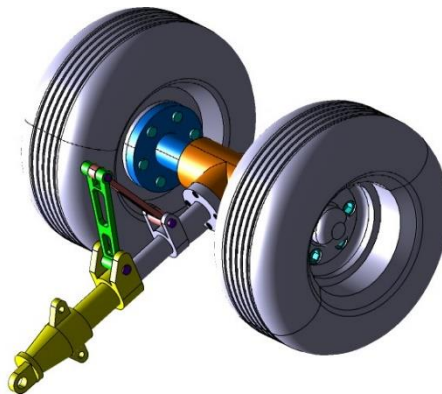
Penelitian ini mengadopsi pendekatan kuantitatif dan studi literatur, perangkat lunak Ansys Granta Selector digunakan untuk memilih kandidat bahan yang sesuai untuk landing gear pesawat. Hal ini dilakukan dengan mempertimbangkan fungsi, tujuan dan batasan dari landing gear pesawat. Tujuan dari penelitian ini adalah agar dapat menemukan material yang memiliki spesifikasi unggul dalam menahan beban yang sangat besar serta estimasi umur material saat digunakan. Faktor yang dipertimbangkan untuk material yang dipilih adalah sifat mekanik dan harga dari material itu sendiri. Berdasarkan tujuan dan batasan ini, sifat material diplot dalam *bubble chart* menggunakan Ansys Granta Selector dan kandidat material yang memiliki keunggulan dalam spesifikasinya dan harganya relative murah akan dipilih. Metodologi penelitian terdiri dari beberapa tahap, seperti pengumpulan data material, pemilihan material, analisis material, perbandingan hasil, dan material akhir. Metodologi penelitian diilustrasikan pada Gambar 1: diagram alir metodologi penelitian.



Gambar 1. Flowchart methodology penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini membandingkan sifat mekanik dan harga dari berbagai material seperti Titanium Alloy (Ti-6Al-4V), Steel Alloy (AISI 4340), Aluminium Alloy (AA7075), Nickel-Based Superalloy (Inconel 718), dan Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP) untuk mengevaluasi kinerja material ini pada landing gear pesawat. Kelima material tersebut merupakan material berkinerja tinggi dengan karakteristik yang unggul, sehingga ideal untuk *landing gear* pesawat seperti pada **Gambar 2**.



Gambar 2. landing gear pesawat

Hasil penelitian ini disajikan dalam bentuk tabel dan grafik untuk memudahkan analisis komparatif. Tabel 1 memberikan informasi komposisi detail material Titanium Alloy (Ti-6Al-4V) dan material Steel Alloy (AISI 4340), tabel 2 memberikan informasi komposisi detail material Aluminium Alloy (AA7075) dan material Nickel-Based Superalloy (Inconel 718), tabel 3 memberikan informasi komposisi detail material Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP). Informasi ini sangat penting untuk memahami komposisi material dan karakteristik fundamentalnya, yang menjadi dasar untuk evaluasi lebih lanjut.

Tabel 1. Kandungan Titanium Alloy (Ti-6Al-4V) dan material Steel Alloy (AISI 4340)

Material	Ti-6Al-4V (%)	AISI 4340 (%)
Al	6 – 6,4	
C	0,009 – 0,02	0,38 – 0,43
Cr		0,7 – 0,9
Fe	0.024 – 0.21	95,2 – 96,3
H	$6e^{-4}$ – 0,01	
N	0,003 – 0,02	
Ni		1,65 - 2
Mn		0,6 – 0,8
Mo		0,2 – 0,3
O	0,0927 – 0,2	
P		0 – 0,035
S		0 – 0,04
Si	0,2	0,15 – 0,3
Ti	89,1 – 90	
V	3,61 -4,21	
Y	0 – 0,005	

Tabel 2. Kandungan Aluminium Alloy (AA7075) dan material Nickel-Based Superalloy (Inconel 718)

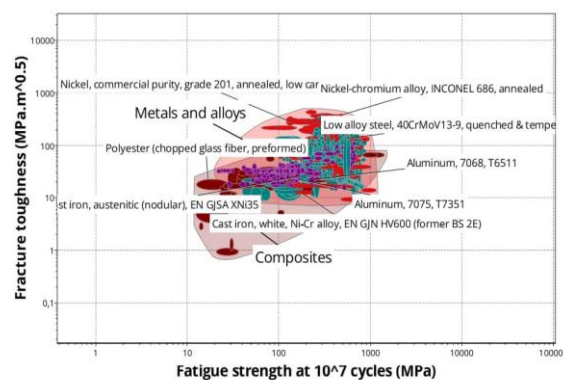
Material	AA7075 (%)	Inconel718(%)
Al	87,1 – 91,4	0,2 – 0,8
B		0,006
Zn	5,6 – 6,1	
Mg	2,1 – 2,5	
C		0,08
Co		1
Cu	1,2 – 1,6	0,3
Cr	0,18 – 0,28	17 - 21
Fe	0,5	11,7 – 24,6
Si	0,4	
Mn	0,3	0,35
Mo		2,8 – 3,3
N		0,02
Nb		4,75 – 5,5
O		0,025
P		0,015
S		0,01
Si		0,35
Ti	0,2	0,65 – 1,15

Tabel 3. Kandungan Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP)

Material	CFRP
C	92 - 98
N	Sedikit
O	Sedikit
H	Sedikit

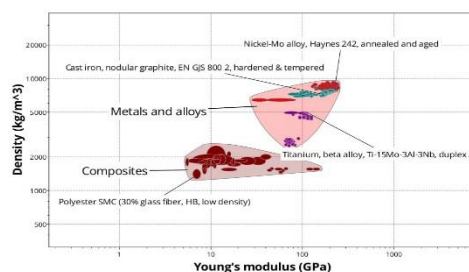
Dalam penelitian ini, perangkat lunak Ansys Granta Selector digunakan untuk mengevaluasi material yang potensial untuk *landing gear* pesawat. Analisis ini didasarkan

pada sifat mekanik, harga, dan parameter lainnya yang relevan. Hasil evaluasi divisualisasikan menggunakan *bubble chart*, yang membantu mengidentifikasi kandidat material terbaik berdasarkan berbagai kriteria. Hasil analisis pada *bubble chart* pertama menunjukkan hubungan antara *fracture toughness* dan *fatigue strength*. *Titanium Alloy* (Ti-6Al-4V) menonjol sebagai material dengan nilai *fracture toughness* sebesar $55 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ dan *fatigue strength* sebesar 620 MPa, direpresentasikan dengan warna biru terang. Sebagai pembanding, *Steel Alloy* (AISI 4340) memiliki *fracture toughness* sebesar $45 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ dan *fatigue strength* 500 MPa, direpresentasikan dengan warna merah. *Titanium Alloy* menunjukkan performa lebih unggul pada kriteria ini.



Gambar 3. Bubble chart of fracture toughness against fatigue strength

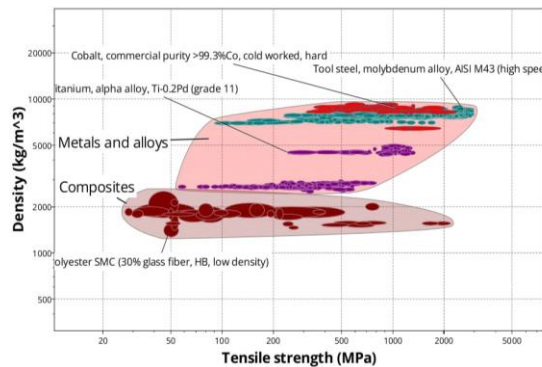
Pada *bubble chart* kedua yang memplot densitas terhadap modulus elastisitas (Young's modulus), *Steel Alloy* (AISI 4340) dengan densitas 7.850 kg/m^3 dan Young's modulus sebesar 200 GPa menunjukkan keunggulan dibandingkan *Aluminium Alloy* (AA7075), yang memiliki densitas 2.810 kg/m^3 dan Young's modulus 71 GPa. *Steel Alloy* direpresentasikan dengan warna merah, sementara *Aluminium Alloy* direpresentasikan dengan warna hijau.



Gambar 4. Bubble chart of density against young's modulus

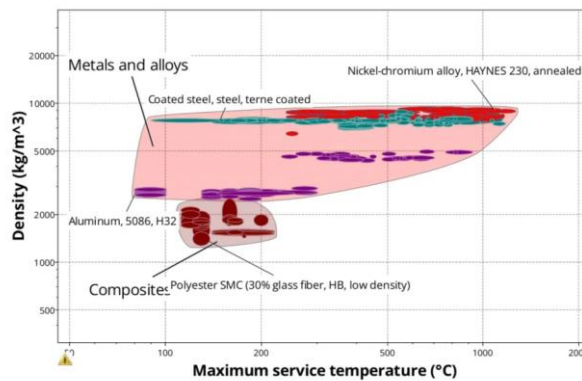
Bubble chart ketiga, yang memplot densitas terhadap tensile strength, menunjukkan *Steel Alloy* (AISI 4340) unggul dengan tensile strength sebesar 1100 MPa dan densitas

7.850 kg/m³, dibandingkan *Titanium Alloy* (Ti-6Al-4V) dengan tensile strength 950 MPa dan densitas 4.430 kg/m³. *Steel Alloy* tetap menjadi kandidat terkuat pada kriteria ini.



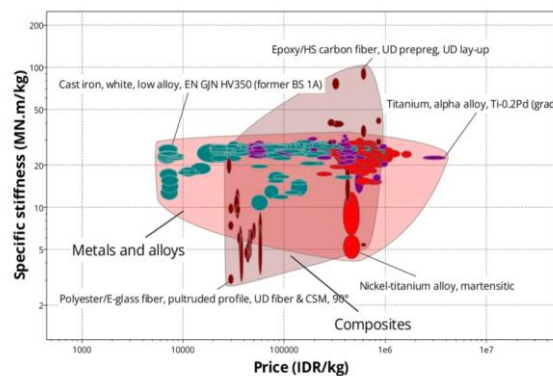
Gambar 5. *Bubble chart of density against tensile strength*

Pada *bubble chart* keempat, yang mengevaluasi hubungan antara densitas dan suhu layanan maksimum, *Nickel-Based Superalloy* (Inconel 718) menonjol dengan suhu layanan maksimum sebesar 700°C dan densitas 8.190 kg/m³, direpresentasikan dengan warna oranye. Sebagai perbandingan, *Aluminium Alloy* (AA2024) memiliki suhu layanan maksimum 250°C dan densitas 2.780 kg/m³, direpresentasikan dengan warna hijau. *Nickel-Based Superalloy* lebih unggul untuk aplikasi dengan prioritas ketahanan termal.



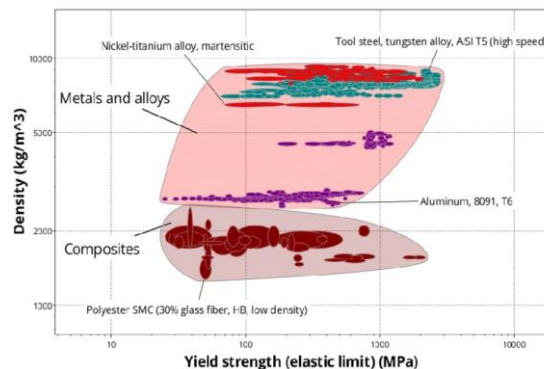
Gambar 6. *Bubble chart of density against maximum service temperature*

Pada *bubble chart* kelima, yang memplot *specific stiffness* terhadap harga, *Carbon Fiber Reinforced Polymer* (CFRP) menunjukkan *specific stiffness* tinggi dengan harga \$40/kg, direpresentasikan dengan warna ungu, sementara *Aluminium Alloy* (AA7075) memiliki *specific stiffness* lebih rendah dengan harga \$10/kg. CFRP lebih unggul dalam efisiensi biaya per performa pada kriteria ini.



Gambar 7. Bubble chart of specific stiffness against price

Bubble chart keenam menunjukkan hubungan antara densitas dan *yield strength*. *Steel Alloy* (AISI 4340), dengan *yield strength* sebesar 760 MPa dan densitas 7.850 kg/m³, menunjukkan performa lebih baik dibandingkan *Aluminium Alloy* (AA2024), yang memiliki *yield strength* sebesar 470 MPa dan densitas 2.780 kg/m³. *Steel Alloy* direpresentasikan dengan warna merah, sementara *Aluminium Alloy* direpresentasikan dengan warna hijau.



Gambar 8. Bubble chart of density against yield strength

KESIMPULAN

Berdasarkan analisis yang dilakukan menggunakan perangkat lunak Ansys Granta Selector, *Titanium Alloy* (Ti-6Al-4V) telah diidentifikasi sebagai material terbaik untuk aplikasi *landing gear* pesawat. Material ini menunjukkan keseimbangan optimal antara sifat mekanik seperti *fracture toughness* sebesar 55 MPa·m^{1/2} dan *fatigue strength* sebesar 620 MPa, serta densitas yang relatif rendah sebesar 4.430 kg/m³. Keunggulan ini menjadikannya pilihan yang efisien untuk aplikasi yang memprioritaskan kekuatan,

ketahanan, dan pengurangan bobot. Meskipun *Steel Alloy* (AISI 4340) dan *Nickel-Based Superalloy* (Inconel 718) menunjukkan performa unggul pada beberapa parameter spesifik, seperti tensile strength dan suhu layanan maksimum, *Titanium Alloy* tetap menjadi kandidat utama karena sifat serbaguna yang ditawarkannya. CFRP juga menawarkan efisiensi dalam *specific stiffness* dan harga, tetapi sifat mekaniknya belum sebanding dengan *Titanium Alloy* yang dapat memberikan keseimbangan terbaik antara kekuatan, ketahanan, dan efisiensi bobot untuk landing gear pesawat.

REFERENSI

- Ashby, M. F. (2011). *Materials Selection in Mechanical Design* (4th ed.). Butterworth Heinemann.
- Boyer, R., Welsch, G., & Collings, E. W. (1994). *Materials Properties Handbook: Titanium Alloys*. ASM International.
- Callister, W. D., & Rethwisch, D. G. (2020). *Materials Science and Engineering: An Introduction* (10th ed.). Wiley.
- Lütjering, G., & Williams, J. C. (2007). *Titanium*. Springer.
- Sata, T., & Miyata, T. (2015). "Performance of Carbon Fiber Reinforced Polymers in Aerospace Applications". *Journal of Advanced Materials Research*, 105-108, 347-352.
- Kim, Y., & Kim, S. H. (2018). "Fatigue strength Comparison of Alloy Materials for Aerospace". *Aerospace Science and Technology*, 45, 112-120.
- McEvily, A. J. (2001). *Metal Fatigue*. Springer.
- Reed, R. C. (2006). *The Superalloys: Fundamentals and Applications*. Cambridge University Press.
- Dutta, S., & Allen, B. (2019). "Material Cost Efficiency in Aircraft Landing Gear Design". *International Journal of Aerospace Materials and Processes*, 12(3), 233-248.
- International Organization for Standardization. (2018). *ISO 14287: Aerospace - Selection and Qualification of Structural Materials*.
- ASM Handbook, Volume 2: Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special Materials. ASM International, 1991.
- Jones, R. M. (1999). *Mechanics of Composite Materials* (2nd ed.). CRC Press.
- Donachie, M. J., & Totten, G. E. (2002). *ASM Handbook Volume 21: Composites*. ASM International.
- ASM Handbook, Volume 4: Heat Treating. ASM International, 1991.
- ASM Handbook, Volume 21: Composites. ASM International, 2001.