

PENGARUH KECEPATAN *LANDING* VERTIKAL TERHADAP KETAHANAN BEBAN IMPAK RANGKA *LANDING GEAR* MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA

Lasinta Ari Nendra Wibawa

Balai Uji Teknologi dan Pengamatan Antariksa dan Atmosfer Garut
Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN)
Jln. Cilauteureun, Cikelet, Garut, Indonesia
Email: lasinta.ari@lapan.go.id

Abstract

This study aimed to investigate the effect of vertical landing speed on impact load resistance of the landing gear frame using finite element method. Stress analysis was done using Autodesk Inventor Professional 2017 software. The landing gear frame material used Aluminum alloy 5083. The UAV weighted 100 kg and an impact time of 0.5 seconds. Vertical landing speeds were 7 m/s, 8 m/s, 9 m/s, and 10 m/s. Simulation results show that the landing gear frame is safe enough to withstand landing speeds of up to 9 m/s because it has a safety factor of 3.201.

Keyword: aluminium 5083, autodesk inventor 2017, finite element analysis, landing gear, impact load resistance

Abstrak

Penelitian ini bertujuan menyelidiki pengaruh kecepatan *landing* vertikal terhadap ketahanan beban impak rangka *landing gear* menggunakan metode elemen hingga. Analisis tegangan dilakukan menggunakan perangkat lunak Autodesk Inventor Professional 2017. Material rangka *landing gear* menggunakan Aluminium paduan 5083. Pesawat UAV memiliki berat 100 kg dan waktu impak 0,5 detik. Kecepatan *landing* vertikal yaitu 7 m/s, 8 m/s, 9 m/s, dan 10 m/s. Hasil simulasi menunjukkan bahwa rangka *landing gear* cukup aman untuk menahan kecepatan *landing* hingga 9 m/s karena memiliki faktor keamanan sebesar 3,201.

Kata Kunci: aluminium 5083, autodesk inventor 2017, analisis elemen hingga, landing gear, ketahanan beban impak

1. Pendahuluan

UAV merupakan pesawat udara tanpa awak atau pilot di dalamnya. Saat ini pesawat UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*) atau Drone telah digunakan di berbagai aplikasi seperti industri militer, transportasi kargo komersial, dan pemetaan (Parmar & Acharya, 2015). Pesawat UAV sering digunakan dalam berbagai misi penyelamatan dan mitigasi bencana seperti letusan gunung berapi, banjir, tanah longsor, dan gempa bumi. Pesawat UAV juga menjadi salah satu sumber data penting untuk masalah inspeksi, pengawasan, pemetaan lahan, dan pemodelan 3D (Nex & Remondino, 2014).

Salah satu komponen yang sangat penting dalam konstruksi pesawat UAV adalah *landing gear* (Kumar, dkk., 2013)(Al-banaa, dkk., 2014)(Dutta, 2016)(Prakash, dkk., 2018)(Swarnakiran & Rohith, 2018)(Wibawa, 2019f). *Landing gear* adalah struktur pendukung utama pesawat saat mendarat (*landing*) dan lepas landas (*take off*). *Landing gear* adalah satu-satunya komponen yang bersentuhan langsung dengan permukaan landasan

pesawat. *Landing gear* terdiri dari 3 (tiga) roda. Dua roda utama pada bagian tengah yang berfungsi sebagai pendukung beban UAV dan satu roda di depan atau di belakang yang berfungsi mengontrol manuver dari pesawat (Wibawa, 2019e).

Penelitian ini bertujuan mempelajari pengaruh kecepatan *landing* vertikal dari pesawat UAV terhadap ketahanan beban dampak rangka *landing gear* menggunakan metode elemen hingga. Analisis elemen hingga dilakukan untuk mengukur seberapa besar pengaruh kecepatan *landing* terhadap tegangan *Von Mises*, deformasi, dan faktor keamanan (*safety factor*) dari rangka *landing gear*.

2. Metodologi Penelitian

Penelitian ini menggunakan simulasi perangkat lunak (*software*) Autodesk Inventor Professional 2017. Simulasi Autodesk Inventor berguna untuk menjalankan analisis untuk membuktikan validitas dari sebuah desain. Hal ini sangat praktis dan hemat waktu saat merancang desain sebelum membuatnya dalam bentuk prototipe fisik (Wibawa, 2018b).

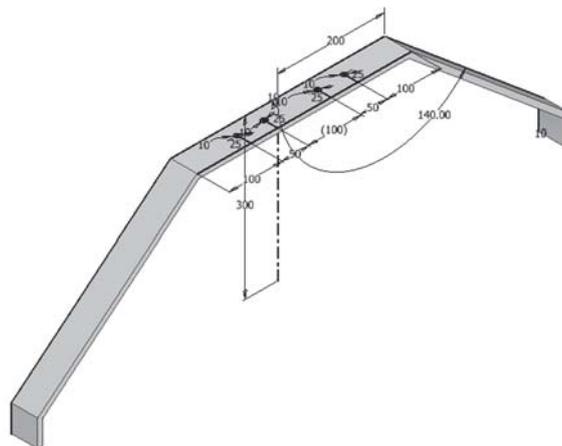
Autodesk Inventor Professional adalah salah satu produk dari Autodesk Inc. USA yang dulu lebih familier dengan produk AutoCAD (Wibawa, 2018a). Analisis tegangan Autodesk Inventor menggunakan metode elemen hingga. Analisis elemen hingga adalah teknik numerik matematis untuk menghitung kekuatan dan perilaku struktur komponen teknik dengan membagi obyek menjadi bentuk jala (Wibawa, 2019b)(Wibawa, 2019c).

Asumsi pada saat melakukan analisis linier, yaitu (Wibawa, 2018b):

1. Sifat material komponen tetap linier setelah batas luluh. Maka, hasil diluar batas luluh tidak valid menggunakan simulasi Autodesk Inventor.
2. Defleksi komponen sangat kecil dibandingkan ukuran komponen secara keseluruhan.
3. Komponen bersifat kaku dan ulet. Misalnya, material logam (bukan karet).
4. Deformasi komponen sama dalam ketiga arah. Dengan kata lain, material bersifat isotropik.

Prosedur menjalankan analisis tegangan statik linear menggunakan *software* Autodesk Inventor Professional 2017 ada beberapa tahapan (Wibawa, 2019a):

Pertama, mendesain rangka *main landing gear*. Desain meliputi bentuk dan dimensi dari rangka *main landing gear*. Dimensi rangka *main landing gear* secara detail ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Desain 3 (tiga) dimensi *landing gear* dengan 4 lubang baut (dalam mm) (Wibawa, 2019d).

Kedua, menentukan jenis material yang digunakan. Material yang digunakan adalah Aluminium paduan 5083.

Ketiga, menentukan batasan (*constraint*). Batasan yang digunakan adalah *fixed constraint* pada 2 (dua) ujung kaki rangka *main landing gear* (Gambar 2).



Gambar 2. Lokasi *fixed constraint* rangka main landing gear.

Keempat, menentukan besarnya beban. Beban pada rangka *main landing gear* yaitu beban impak. Dalam ilmu Mekanika, impak adalah gaya besar yang diterapkan dalam periode waktu yang sangat singkat saat dua atau lebih benda mengalami tumbukan atau tabrakan. Gaya impak pada *landing gear* terjadi saat proses pendaratan (*landing*) dimana komponen *landing gear* bertumbukan dengan permukaan landasan pesawat.

Karena beban impak adalah fungsi dari kecepatan vertikal, maka persamaan momentum impulsnya adalah:

$$F \Delta t = m V_f \tag{1}$$

Dimana:

F = beban impak

Δt = waktu impak

m = massa pesawat UAV

V_f = kecepatan *landing* vertikal

Asumsi kecepatan vertikal saat *landing*, massa, dan waktu impak dari pesawat UAV serta parameter analisis tegangan menggunakan Autodesk Inventor Professional 2017 dijabarkan secara lengkap pada Tabel 1 berikut ini.

Tabel 1. Asumsi dan parameter analisis tegangan

Parameter	Keterangan
Tipe Simulasi	<i>Single Point</i>
Variasi kecepatan	7 m/s, 8 m/s, 9 m/s, dan 10 m/s
Massa UAV	100 kg
Waktu impak	0,5 detik
Beban impak	1.400 N, 1.600 N, 1.800 N, dan 2.000 N
<i>Average element size</i>	0,1 mm
<i>Minimum element size</i>	0,2 mm
<i>Safety factor</i>	Berdasarkan <i>yield strength</i>
Jumlah node	849
Jumlah elemen	376

Kelima, menjalankan proses *meshing*. Proses *meshing* material pada simulasi ini membagi material menjadi 849 node dan 376 elemen. Proses *meshing* rangka *main landing gear* dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Proses *meshing* rangka main landing gear.

Keenam, menjalankan simulasi program. Simulasi program akan menghasilkan tegangan *Von Mises*, deformasi (*displacement*), dan faktor keamanan. Simulasi program juga akan menampilkan titik-titik kritis dari desain yang telah dibuat.

3. Hasil dan Pembahasan

Tabel 2 menunjukkan sifat fisik material Aluminium paduan 5083 dalam *Autodesk Material Library*. Material Aluminium 5083 memiliki massa jenis sebesar 2,66 gram/cm³. Hal ini berdampak pada massa total rangka *landing gear* yang hanya seberat 1,67 kg.

Tabel 2. Sifat fisik material *landing gear*

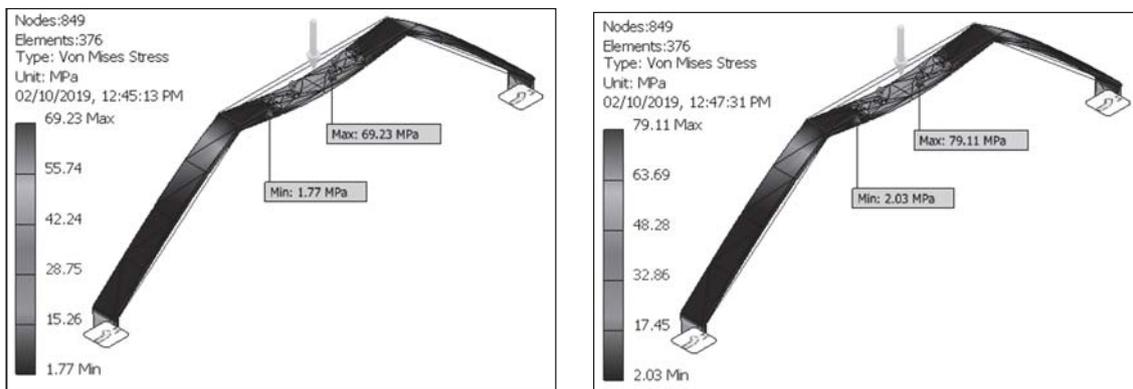
Parameter	Keterangan
<i>Material</i>	Aluminum 5083
<i>Density</i>	2,66 g/cm ³
<i>Mass</i>	1,67 kg
<i>Area</i>	252433 mm ²
<i>Volume</i>	1047940 mm ³
<i>Yield Strength</i>	285 MPa
<i>Ultimate Tensile Strength</i>	385 MPa
<i>Young's Modulus</i>	69 GPa
<i>Poisson's Ratio</i>	0,33 ul
<i>Shear Modulus</i>	25,94 GPa

Hasil simulasi Autodesk Inventor menggunakan analisis statik linier. Analisis statik adalah disiplin teknik yang menentukan tegangan pada material dan struktur yang mengalami gaya atau beban statis maupun dinamis (Younis, 2010). Analisis statik menggunakan metode elemen hingga bertujuan untuk menentukan struktur atau komponen, dapat dengan aman menahan kekuatan dan beban yang telah ditentukan. Kondisi ini dapat tercapai saat tegangan yang ditentukan dari gaya yang diaplikasikan kurang dari kekuatan luluh material dalam menahan beban. Hubungan tegangan ini disebut sebagai faktor keamanan dan digunakan dalam banyak analisis sebagai indikator keberhasilan atau kegagalan dalam sebuah desain (Wibawa, 2018b).

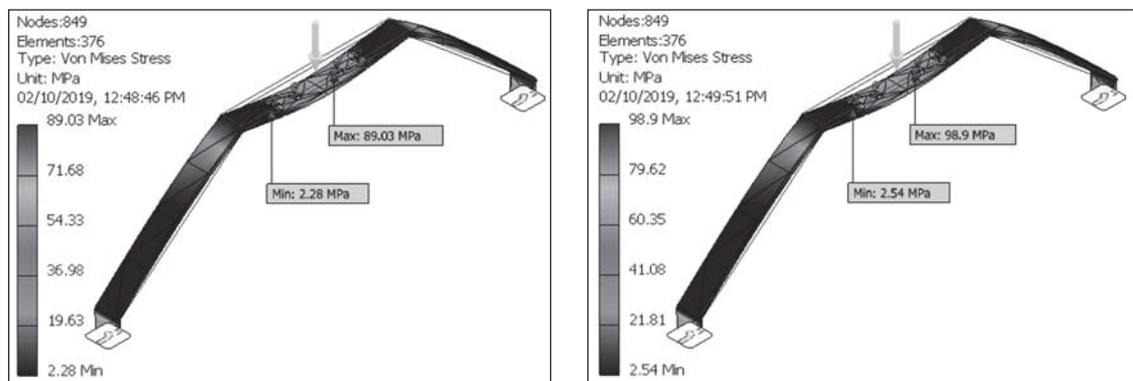
Teori tegangan maksimum menyatakan bahwa kegagalan akan terjadi bila tegangan utama maksimum dalam suatu komponen mencapai nilai tegangan maksimum pada batas elastis. Teori ini digunakan untuk memprediksi kegagalan material getas. Namun, pada benda elastis yang berlaku beban tiga dimensi, tegangan kompleks bakal terjadi, yang berarti bahwa

pada setiap titik di dalam benda ada tekanan yang bekerja dalam berbagai arah. Kriteria energi distorsi maksimum (*Von Mises*) menghitung apakah kombinasi tegangan pada titik tertentu akan menyebabkan kegagalan (Wibawa, 2018b). Kriteria *Von Mises* menunjukkan bahwa material ulet mengalami luluh ketika invarian kedua tegangan deviatorik mencapai nilai kritis. Hal ini merupakan teori plastisitas yang berlaku paling baik untuk bahan ulet, terutama untuk material logam. Tegangan *Von Mises* juga disebut sebagai tegangan setara atau ekuivalen.

Gambar 4 dan Gambar 5 menunjukkan hasil simulasi tegangan *Von Mises* rangka *landing gear* terhadap variasi kecepatan *landing* vertikal pesawat UAV. Tegangan *Von Mises* maksimal rangka *landing gear* terhadap kecepatan *landing* vertikal 7 m/s, 8 m/s, 9 m/s, dan 10 m/s berturut-turut sebesar 69,230 MPa, 79,109 MPa, 89,033 MPa, dan 98,895 MPa. Tegangan *Von Mises* masih berada di bawah kekuatan luluh (*yield strength*) material Aluminium 5083, yaitu sebesar 285 MPa.



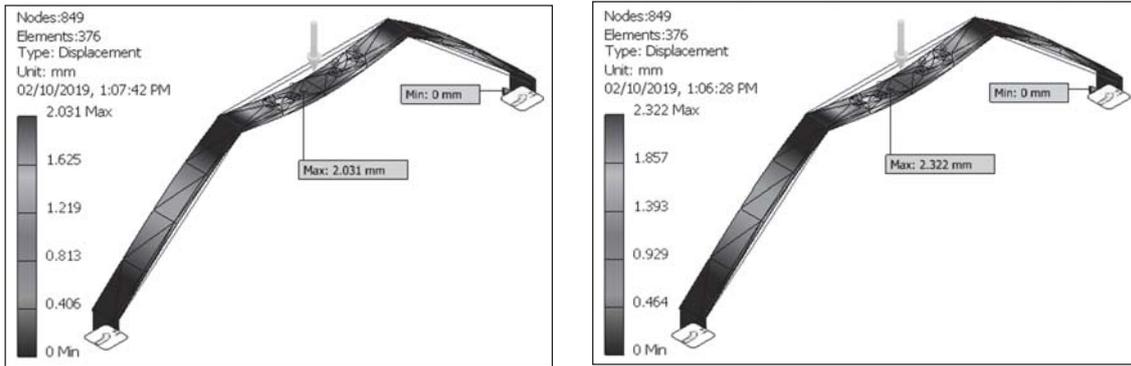
Gambar 4. Tegangan *Von Mises* pada kecepatan *landing* 7 m/s (kiri) dan 8 m/s (kanan).



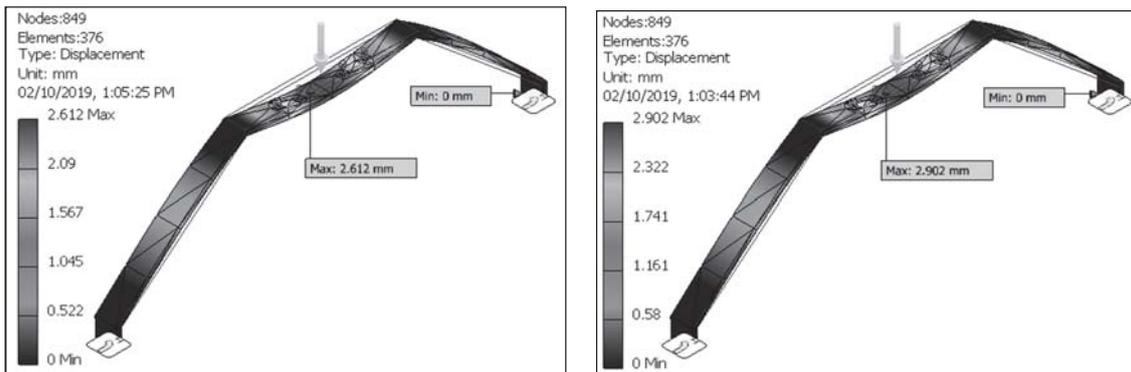
Gambar 5. Tegangan *Von Mises* pada kecepatan *landing* 9 m/s (kiri) dan 10 m/s (kanan).

Deformasi merupakan proses perubahan bentuk atau distorsi pada suatu komponen yang terjadi karena adanya beban atau tekanan. Deformasi merupakan salah satu indikator dari kekuatan material. Semakin kuat suatu material, maka nilai deformasi yang dihasilkan dari proses pembebanan semakin kecil. Semakin lemah suatu material, maka nilai deformasi yang dihasilkan dari proses pembebanan semakin besar.

Gambar 6 dan Gambar 7 menunjukkan nilai deformasi (*displacement*) material terhadap kecepatan *landing* pesawat UAV. Nilai deformasi maksimal rangka *landing gear* terhadap kecepatan *landing* vertikal 7 m/s, 8 m/s, 9 m/s, dan 10 m/s berturut-turut sebesar 2,031 mm, 2,322 mm, 2,612 mm, dan 2,902 mm. Nilai deformasi ini relatif cukup kecil.



Gambar 6. Deformasi pada kecepatan *landing* 7 m/s (kiri) dan 8 m/s (kanan).

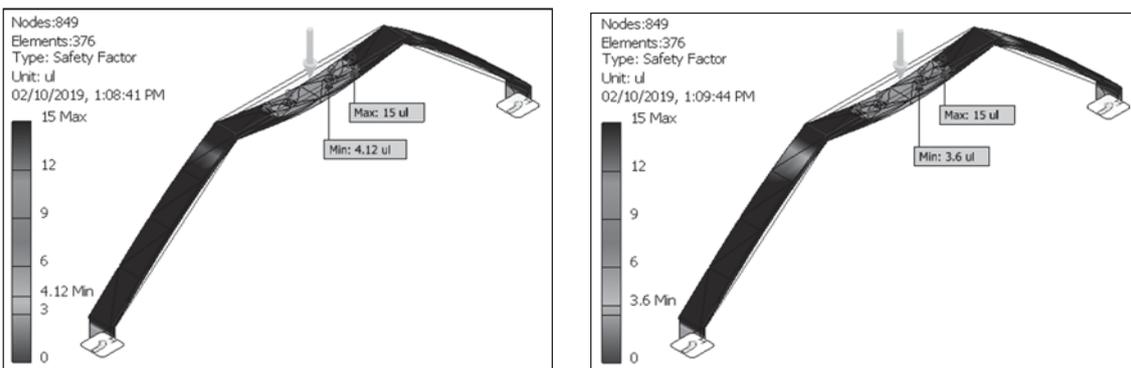


Gambar 7. Deformasi pada kecepatan *landing* 9 m/s (kiri) dan 10 m/s (kanan).

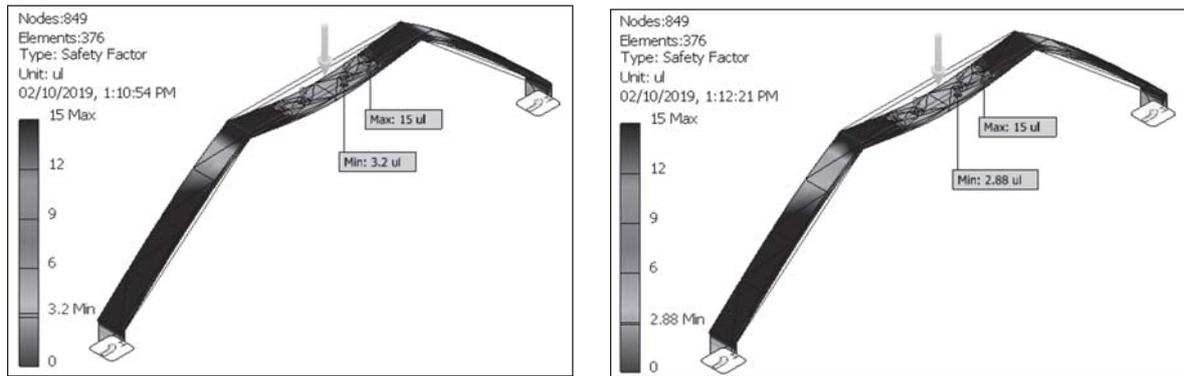
Faktor keamanan (*safety factor*) juga menjadi salah satu indikator dari kekuatan material. Semakin kuat suatu material, maka nilai faktor keamanan yang dihasilkan dari proses pembebanan semakin besar. Demikian juga sebaliknya, semakin lemah suatu material, maka nilai faktor keamanan yang dihasilkan dari proses pembebanan semakin kecil. Faktor keamanan minimum menggunakan simulasi Autodesk Inventor dihitung sebagai kekuatan luluh dari material yang dibagi dengan tegangan *Von Mises* maksimum. Faktor keamanan kurang dari 1 (satu) menunjukkan kegagalan dari suatu desain.

Gambar 8 dan Gambar 9 menunjukkan nilai faktor keamanan (*safety factor*) material terhadap variasi kecepatan *landing* vertikal pesawat UAV. Nilai faktor keamanan (*safety factor*) minimum pada saat kecepatan *landing* 7 m/s, 8 m/s, 9 m/s, dan 10 m/s berturut-turut sebesar 4,117, 3,603, 3,201, dan 2,882.

Nilai faktor keamanan (*safety factor*) pada saat kecepatan 10 m/s berada di bawah standar yang dipersyaratkan untuk suatu komponen mampu menahan beban impact (*impact load*). Beban impact merupakan salah satu jenis beban dinamis.



Gambar 8. Faktor keamanan pada kecepatan *landing* 7 m/s (kiri) dan 8 m/s (kanan).



Gambar 9. Faktor keamanan pada kecepatan *landing* 9 m/s (kiri) dan 10 m/s (kanan).

Beban dalam ilmu Mekanika dibagi menjadi dua jenis, beban statis dan beban dinamis. Beban dinamis adalah beban yang dapat terjadi atau bekerja secara tiba-tiba pada sebuah struktur (Wibawa & Himawanto, 2018). Beban dinamis umumnya kecil tetapi berubah-ubah terhadap waktu.

Beban impact adalah beban yang terjadi secara cepat pada struktur ketika benda yang bergerak dihentikan dengan tiba-tiba. Beban impact terjadi karena adanya dua benda yang bertumbukan atau benda jatuh yang mengenai sebuah struktur. Beban impact dialami oleh *landing gear* karena pengaruh kecepatan *landing* dari pesawat UAV yang bertumbukan dengan landasan pesawat. Nilai faktor keamanan yang dipersyaratkan untuk struktur mampu menahan beban impact yaitu pada kisaran angka 3-5 (V. Dobrovolsky, 1978).

Hasil simulasi rangka *landing gear* secara lengkap dapat dilihat pada Tabel 3. Hasil simulasi menunjukkan rancangan rangka *landing gear* masih cukup aman untuk menahan beban impact yang dihasilkan dari kecepatan *landing* vertikal hingga 9 m/s. Hal ini karena memiliki nilai faktor keamanan sebesar 3,201.

Tabel 3. Hasil simulasi tegangan rangka *landing gear*

Kecepatan (m/s)	Tegangan Von Mises (MPa)	Deformasi (mm)	Faktor keamanan
7	69,230	2,031	4,117
8	79,109	2,322	3,603
9	89,033	2,612	3,201
10	98,895	2,902	2,882

4. Kesimpulan

Desain rangka *landing gear* menggunakan material Aluminium paduan 5083 memiliki massa sebesar 1,67 kg. Rancangan rangka *landing gear* yang telah dibuat cukup aman untuk menahan kecepatan *landing* vertikal dari pesawat UAV hingga 9 m/s. Hal ini karena nilai faktor keamanannya sebesar 3,201.

Daftar Pustaka

1. Al-banaa, Ali, M. S. ., & Pires, R. (2014). Stress Analysis on Main Landing Gear for Small Aircraft. *Al-Rafidain Engineering*, 22(1), 26–33.
2. Dutta, A. (2016). Design and Analysis of Nose Landing Gear. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 3(10), 261–266.
3. Kumar, R. R., Dash, P. K., & Basavaraddi, S. R. (2013). Design And Analysis of Main Landing Gear Structure of A Transport Aircraft and Fatigue Life Estimation. *International Journal of Mechanical and Production Engineering*, 1(4), 22–26.
4. Nex, F., & Remondino, F. (2014). UAV for 3D mapping applications: a review,

- (March). <https://doi.org/10.1007/s12518-013-0120-x>
5. Parmar, J., & Acharya, V. (2015). Selection and Analysis of the Landing Gear for Unmanned Aerial Vehicle for Sae Aero Design Series. *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*, 6(2), 10–18.
 6. Prakash, J. A., Joshua, P., & Santosh, D. (2018). Design and Analysis of Aircraft Landing Gear Axle. *International Journal of Advance Research, Ideas and Innovations in Technology*, 4(2), 1550–1555.
 7. Swarnakiran, S., & Rohith, S. (2018). Numerical Analysis of Nose Landing Gear System. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 5(4), 1978–1984.
 8. V. Dobrovolsky, K. Z. (1978). *Machine elements : a textbook*. Moscow: Peace Publisher.
 9. Wibawa, L. A. N. (2018a). *Merancang Komponen Roket 3D dengan Autodesk Inventor Professional 2017*. Buku Katta.
 10. Wibawa, L. A. N. (2018b). *Simulasi Kekuatan Komponen Sarana Pengujian Roket Menggunakan Autodesk Inventor Professional 2017*. Buku Katta.
 11. Wibawa, L. A. N. (2019a). Desain dan Analisis Kekuatan Dudukan (Bracket) AC Outdoor Menggunakan Metode Elemen Hingga. *Crankshaft*, 2(1), 19–24.
 12. Wibawa, L. A. N. (2019b). Desain dan Analisis Kekuatan Rangka Meja Kerja (Workbench) Balai LAPAN Garut Menggunakan Metode Elemen Hingga. *Jurnal Teknik Mesin – ITI*, 3(1), 13–17.
 13. Wibawa, L. A. N. (2019c). Desain dan Analisis Kekuatan Rangka Tempat Sampah di Balai LAPAN Garut Menggunakan Metode Elemen Hingga. *Turbulen: Jurnal Teknik Mesin*, 1(2), 64–68.
 14. Wibawa, L. A. N. (2019d). Pengaruh Diameter Baut Terhadap Kekuatan Rangka Main Landing Gear Pesawat UAV Menggunakan Metode Elemen Hingga. *Polimesin*, 17(1), 26–32.
 15. Wibawa, L. A. N. (2019e). Pengaruh Pemilihan Material Terhadap Kekuatan Rangka Main Landing Gear Untuk Pesawat UAV. *Jurnal Teknologi Dan Terapan Bisnis*, 2(1), 48–52.
 16. Wibawa, L. A. N. (2019f). Pengaruh Susunan dan Jumlah Lubang Baut Terhadap Kekuatan Rangka Main Landing Gear Untuk Pesawat UAV. *Flywheel*, V(1), 46–50.
 17. Wibawa, L. A. N., & Himawanto, D. A. (2018). Analisis Ketahanan Beban Dinamis Material Turbin Angin Terhadap Kecepatan Putar Rotor (rpm) Menggunakan Metode Elemen Hingga. *Jurnal Simetris*, 9(2), 803–808. <https://doi.org/10.24176/simet.v9i2.2343>
 18. Younis, W. (2010). *Up and running with Autodesk Inventor Simulation 2011: a step-by-step guide to engineering design solutions*. Elsevier.