

ANALISIS IMPAK *LANDING SKID* DRONE AGRIKULTUR DENGAN VARIASI *GROUND CONTUR*

Muhammad Fadli⁽¹⁾, Muhammad Hadi Widanto⁽²⁾, Syarifah Fairuza⁽³⁾

(1)(2)(3)Prodi Teknik Penerbangan, Fakultas Teknologi Kedirgantaraan, Universitas Dirgantara Marsekal Suryadarma, Jakarta, Indonesia

*Corresponding Author: muhammadfadli0641@gmail.com

Abstrak – UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*) memiliki bentuk, ukuran, dan model yang bervariasi. Salah satu komponen penting dalam struktur UAV adalah *landing skid*. *Landing skid* berfungsi menahan beban pesawat pada saat di darat serta menyerap energi akibat hentakan yang terjadi ketika proses pendaratan. *Landing skid* harus menanggung beban tekan (*compressive load*),. Penelitian ini bertujuan mengetahui pengaruh pemilihan material dan ketebalan terhadap kekuatan *landing skid*. Pada penelitian ini terdapat 4 komponen dalam mensimulasikan *impact skid landing* yaitu: *plat body*, *skid landing*, *mounting*, *ground contur*. Hasil simulasi dari respon dinamik gaya terhadap waktu dari simulasi *skid landing* terhadap *ground contur* dengan variasi ketebalan 2 mm, 4 mm, dan 6 mm terhadap tanah yang bergelombang dan tanah datar. Dari hasil simulasi menunjukkan semakin tebal material maka nilai gaya maksimum juga semakin tinggi. Dari hasil simulasi menunjukkan material *Carbon Fiber Reinforced Polymer* (CFRP) menghasilkan defleksi yang lebih kecil dibandingkan dengan material alumunium dimana pada kecepatan jatuh

Kata Kunci: *impact skid landing drone, skid landing, mounting, ground contur*

Abstarck - UAVs (*Unmanned Aerial Vehicle*) come in a variety of shapes, sizes, and models. One important component in the UAV structure is the landing. The landing functions to hold the weight of the aircraft while on the ground and absorb energy due to the pounding that occurs during the landing process. Landing must bear compressive load, drag load, and heavy side load. This research aims to determine the effect of material selection on the strength of the landing skid. Material selection is part of the manufacturing process of a product design. Material selection aims to find materials that have properties that best suit the requirements needed in the design process, including in designing the main landing frame. In this study there are 4 components in simulating impact skid landing, namely: body plate, landing skid, mounting, ground contour. The simulation results of the dynamic response of the force against the time of the landing skid simulation against the ground contour with a thickness variation of 2 mm, 4 mm, and 6 mm against the bumpy ground and flat ground produce, the thicker the material, the value of the resulting force also increases, but for Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP) material against flat ground with a speed of 10 m / s the value of thickness 4 and 6 has a different value.

Keywords: *impact skid landing drone, skid Landing, mounting, ground contour*

I. PENDAHULUAN

Tujuan melakukan uji impak ialah untuk mengetahui kekuatan dari material yang digunakan terhadap kontur tanah yang mereka hadapi pada saat melakukan pendaratan. Pemilihan material bertujuan mencari material mana yang memiliki sifat yang paling sesuai dengan persyaratan yang dibutuhkan dalam proses desain, termasuk dalam mendesain rangka *landing skid*.

Setiap jenis drone membutuhkan *landing skid* yang sesuai dengan karakteristik dan kebutuhan dari drone untuk melengkapi keunikan karakteristik dari masing-masing drone. *Landing skid* adalah struktur pendukung utama drone saat mendarat (*landing*) dan lepas landas (*take-off*), kekuatan struktur dan berat *landing skid* menjadi faktor sangat penting untuk sebuah drone karena *landing skid* merupakan komponen pertama yang mendapatkan beban impak pada saat *vertical autorotation*^[1].

Beban yang berpengaruh pada *landing skid* adalah beban impak. Beban impak merupakan fungsi dari kecepatan *landing* vertikal. Dibandingkan dengan jenis roda pendaratan lainnya, roda pendaratan dengan *landing skid* memiliki keuntungan sebagai berikut: konstruksi yang sederhana dan ringan, biaya yang rendah, dan waktu perawatan yang lebih singkat^[2].

Kontur tanah adalah garis imajiner di permukaan tanah yang menghubungkan titik – titik dengan ketinggian yang sama, Garis kontur menunjukkan bentuk dan kemiringan permukaan tanah^[3].

I. METODE PENELITIAN

2.1 Metode Elemen Hingga

Metode elemen hingga merupakan *analytical tool* untuk memprediksi respon dari suatu sistem *engineering*. Kemampuan metode elemen hingga untuk dalam menyelesaikan permasalahan pada struktur dengan geometri yang kompleks dilakukan dari pendekatan pertama yaitu mendiskritisasi struktur menjadi suatu elemen-elemen kecil berhingga^[4].

2.2 Metode kegagalan Hasin

Pada kerusakan komposit terdapat suatu metode kegagalan yang dapat di uji coba pada Abaqus secara *default* berasosiasi dengan teori kegagalan

composite(kriteria *Hashin's damage*).Kriteria tersebut memiliki kemampuan untuk memodelkan beberapa mode kerusakan seperti *matrix tensile* dan *matrix compression* serta *fibre breakage tensile* dan *fiber compression*. Adapun persamaan konstitutif kegagalan Hashin sebagai berikut.

$$Fiber\ Tension\ \sigma_{11} \geq 0 \quad F_f^t = \left(\frac{\sigma_{11}}{X^t}\right)^2 + \alpha \left(\frac{\tau_{12}}{S^t}\right)^2 \quad (2.1)$$

$$Fiber\ Compression\ \sigma_0 < 0 \quad F_f^c = \left(\frac{\sigma_{11}}{X^c}\right)^2 \quad (2.2)$$

$$Matrix\ Tension\ \sigma_{22} \geq 0 \quad F_m^t = \left(\frac{\sigma_{22}}{Y^t}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{12}}{S^t}\right)^2 \quad (2.3)$$

$$Matrix\ Compression\ \sigma_{22} < 0 \quad F_m^c = \left(\frac{\sigma_{22}}{2S^t}\right)^2 + \left[\left(\frac{Y^c}{2S^t}\right)^2 - 1\right] \frac{\sigma_{22}}{Y^c} + \left(\frac{\tau_{12}}{S^t}\right)^2 \quad (2.4)$$

Material yang di gunakan pada metode ini adalah CFRP, material CFRP biasa digunakan pada struktur pesawat terbang dan juga pada drone, penggunaan material CFRP mampu mengurangi bobot dari drone dan juga kuat serta tahan terhadap korosi. Pada simulasi ini material menggunakan arah serat [0,90], [0,90], [0,90], [0,90] dengan variasi ketebalan material CFRP yaitu, 2 mm, 4 mm, 6 mm^[5]. Properti material yang digunakan pada model ditunjukkan pada **Tabel 2.1**.

Tabel 2. 1 material properti CFRP

Property	Symbol	Value
Density(kg/m ³)	ρ	1530
Longitudinal Young's modulus (Gpa)	E_{11}	127
Transverse Young's modulus (GPa)	E_{22}	8.41
Young's modulus in the thickness direction (GPa)	E_{33}	8.41
Shear modulus	G_{12}, G_{13}	4.41
Shear modulus	G_{23}	4
Poison's ratio	ν_{12}, ν_{13}	0.31
Poison's ratio	ν_{23}	0.42
Longitudinal Tensile strength (MPa)	X_t	2097
Longitudinal Compressive strength (MPa)	X_c	1258
Transverse tensile strength (MPa)	Y_t	42
Transverse compressive strength (MPa)	Y_c	175
Tensile strength in the thickness direction (MPa)	Z_t	42
Compressive strength in the thickness direction (MPa)	Z_c	175
In- plane shear strength (MPa)	S_{12}	119
Out- of- plane shear strength (MPa)	S_{23}, S_{13}	90

2.3 Metode kegagalan Von Mises

Von Mises adalah metode untuk menentukan apakah suatu material atau

struktur akan mengalami kegagalan akibat kombinasi tegangan yang kompleks, seperti tegangan normal dan tegangan geser yang berbeda arah pada material logam. Kriteria ini di dasarkan pada asumsi bahwa kegagalan material terjadi Ketika tegangan mencapai atau melebihi batas tegangan Von Mises. Persamaan Von Mises sebagai berikut dimana nilai tegangan luluh menjadi batas nilai dalam memprediksi kegagalan

$$\frac{1}{2}[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2] = \leq \sigma_y \quad (2.5)$$

Pada metode ini menggunakan material Aluminium 6061 T6 kendaraan

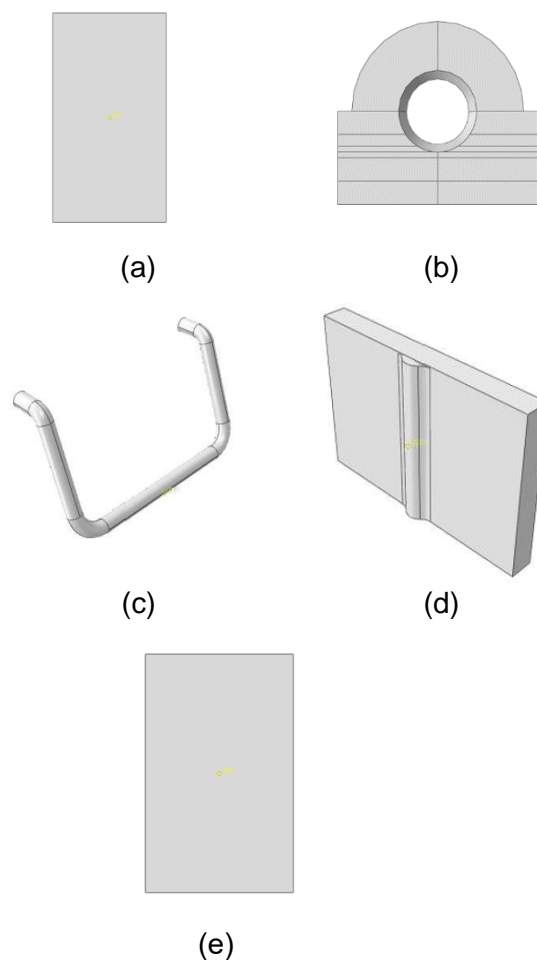
lainnya, pada material ini menggunakan variasi ketebalan yaitu 2 mm, 4 mm, 6 mm^[6].

Tabel 2. 2 material propertis Aluminium 6061 T6

Propertis	AA6061- T6
Yield stress, MPa	276
Ultimate stress, MPa	349
Fatigue limit, MPA	96.5
SRepture strain	17
Elasticity Modulus, (GPa)	68.9
Poisson's ratio	0.33
Density, g/cm ³	2.7

II. Pemodelan Simulasi

Pada pembuatan pemodelan simulasi *Impact skid landing*, penggambaran part terdapat plat *body*, *mounting*, *skid landing*, dan *ground contur* seperti pada gambar:



Gambar 2. 1 Gambar pemodelan Simulasi (a) *Plat body*, (b) *mounting*, (c) *Landing skid*, (d) Tanah bergelombang, (e) Tanah datar

Seperti yang di sebutkan di awal terdapat 5 komponen dalam mensimulasikan *impact skid landing* yaitu: *plat body*, *skid landing*, *mounting*, *ground contour*. Pada *ground contour* di buat dengan tipe rigid yang artinya tidak dapat berdeformasi dan pada *plat body* dengan ukuran 5450 mm x 3200 mm sesuai dengan ukuran drone Thor EA (2021)A.

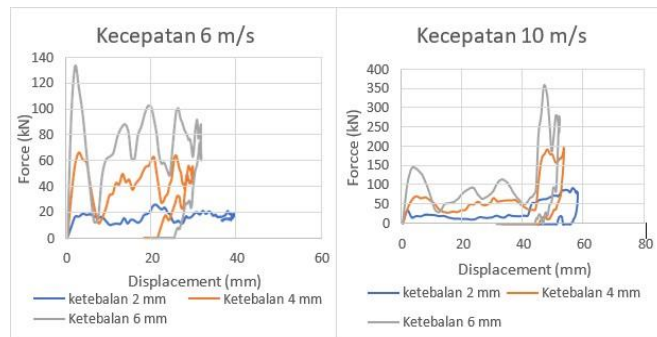
Kemudian terdapat komponen *mounting* untuk menempelkan *body* dan *skid landing* pada saat pengujian, dalam pengujian ini terdapat *ground contour* dengan ukuran 1000 mm x 900 mm dan dengan ketinggian gundukan 45 mm dan pada part *ground contour* dibuat dalam bentuk rigid yang mengasumsikan kondisi untuk tanah bergelombang dan tanah rata dimana tanah bergelombang terdapat gundukan tanah yang mengeras dan tanah rata terdapat batu batuan yang di padatkan untuk menjadi jalan. Dalam pengujian menggunakan *velocity* 6 m/s dan 10 m/s, yang mana di ambil berdasarkan ketinggian jatuh drone dan di tambah kan mass drone dengan berat 25 Kg.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Pengujian dinamik skid terhadap tanah bergelombang

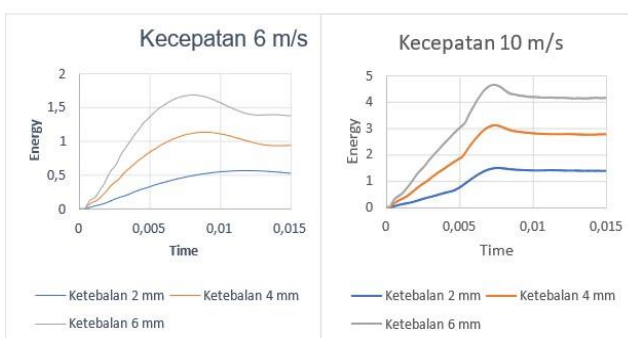
Simulas dengan variasi ketebalan dari setiap material, material yang di gunakan adalah aluminium 6061 T6 dengan ketebalan yang di gunakan adalah 2 mm, 4 mm, dan 6 mm dengan kecepatan jatuh 6 m/s dan 10 m. dengan berat drone sebesar 25 Kg. Pada **Gambar 3.1** dapat dilihat data kerusakan dari material Aluminium 6061 T6, dari data tersebut di dapat melihat bahwa pada kecepatan 6 m/s dengan ketebalan material 2 mm nilai *displacement* tertinggi pada saat 39.18 mm dengan besar gaya yang diterima 17.84 kN, pada ketebalan material 4 mm nilai *displacement* tertinggi sebesar 29.52 mm dengan gaya yang di terima sebesar 51.83 kN dan pada ketebalan material 6 mm maka nilai *displacement* tertinggi sebesar 31.53 mm dengan gaya yang di terima sebesar 62.95 kN. Pada kecepatan 10 m/s dengan ketebalan 2 mm nilai *displacement* tertinggi sebesar 57.78 mm dengan besar gaya yang diterima sebesar 76.47 kN, pada ketebalan 4 mm sebesar 53.32 mm dengan gaya sebesar

187.97 kN, dan pada ketebalan 6 mm sebesar 51.64 mm dengan nilai gaya yang di terima sebesar 267.96 kN. Dari data tersebut dapat mengetahui bahwa ketebalan material berpengaruh terhadap Displacement semakin tebal material yang di gunakan maka nilai displacement semakin kecil walaupun gaya yang diterima semakin besar.

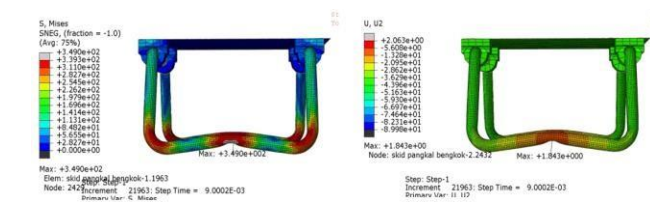


Gambar 3. 1 Grafik force Vs displacement pada material Aluminium 6061T6

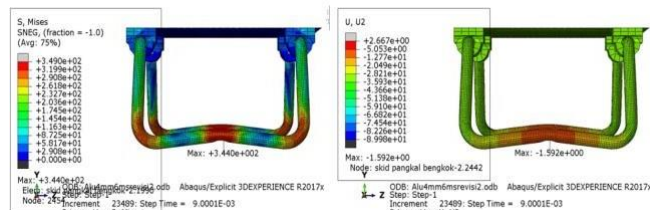
Pada **Gambar 3.2** dapat di lihat bahwa nilai setiap ketebalan material Aluminium 6061 T6 dalam melakukan penyerapan energi memiliki nilai yang berbeda- beda, Sehingga nilai maksimum energy dengan kecepatan 6 m/s pada ketebalan 2 mm sebesar 0.56 kJ, pada ketebalan 4 mm sebesar 1.14 kJ dan pada ketebalan 6 mm di dapatkan nilai sebesar 1.69 kJ sedangkan di kecepatan 10 m/s pada ketebalan 2 mm di dapatkan nilai sebesar 1.47 kJ, pada ketebalan 4 mm sebesar 3.09 kJ dan pada ketebalan 6 mm di dapatkan nilai sebesar 4.63 kJ. Maka dapat di artikan semakin besar ketebalan material maka energy yang dapat di serap oleh material tersebut semakin tinggi.



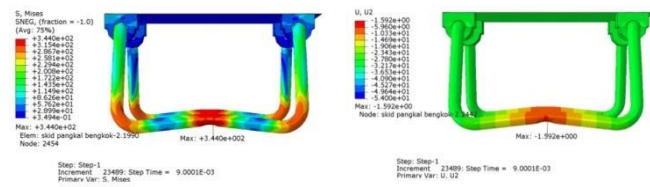
Gambar 3. 2 Grafik Energy vs time pada material Aluminium 6061T6



Gambar 3. 3 Gambar hasil perbandingan *stress* dan *displacement* pada waktu 0.009 s di ketebalan 2 mm dengan material Aluminium 6061T6



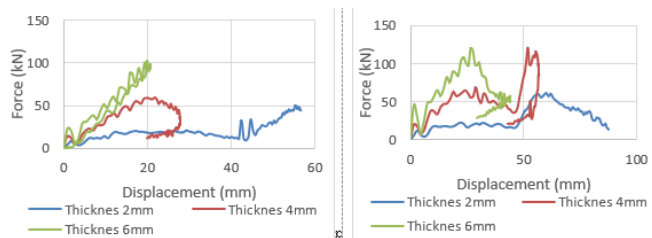
Gambar 3. 4 Gambar hasil perbandingan *stress* dan *displacement* pada waktu 0.009 s di ketebalan 4 mm dengan material Aluminium 6061T6



Gambar 3. 5 Gambar hasil perbandingan *stress* dan *displacement* pada waktu 0.009 s di ketebalan 6 mm dengan material Aluminium 6061T6

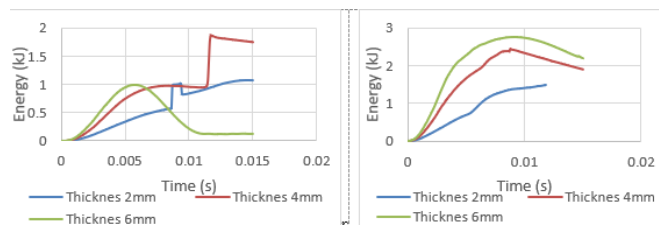
Pada **Gambar 3. 6** Dapat dilihat data kerusakan dari material CFRP, dari data tersebut didapat melihat bahwa pada kecepatan 6 m/s dengan ketebalan material 2 mm nilai displacement tertinggi pada saat 56.68 mm dengan besar gaya yang diterima 44.49 kN, pada ketebalan material 4 mm nilai displacement tertinggi sebesar 27.88 mm dengan gaya yang diterima sebesar 28.17 Kn dan pada ketebalan material 6 mm maka nilai displacement tertinggi sebesar 20.72 mm dengan gaya yang diterima sebesar 93.95. Pada kecepatan 10 m/s dengan ketebalan 2 mm nilai displacement tertinggi sebesar 87.31 mm dengan besar gaya yang diterima sebesar 13.42 kN, pada ketebalan 4 mm sebesar 56.64 mm dengan gaya sebesar 86.51 kN, dan pada ketebalan 6 mm sebesar 43.84 mm dengan nilai gaya yang diterima sebesar 45.34 N. Dari data tersebut dapat mengetahui bahwa ketebalan material berpengaruh terhadap Displacement

semakin tebal material yang digunakan maka nilai displacement semakin kecil walaupun gaya yang diterima semakin besar.

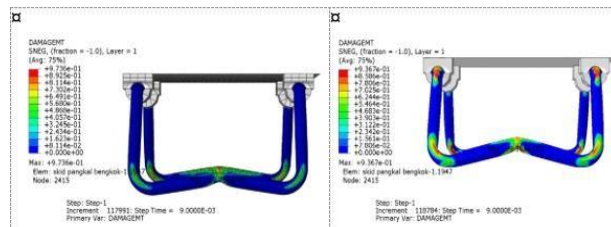


Gambar 3. 6 Grafik *force vs displacement* pada material CFRP

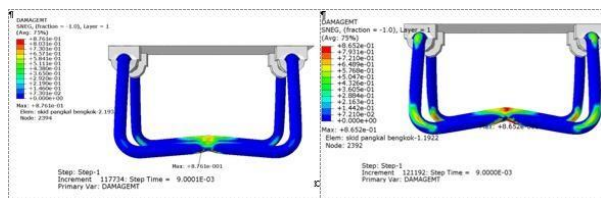
Pada **Gambar 3. 7** dapat dilihat bahwa nilai setiap ketebalan material dalam melakukan penyerapan energi memiliki nilai yang berbeda-beda, Sehingga nilai maksimum energy dengan kecepatan 6 m/s pada ketebalan 2 mm sebesar 0.57 kJ, pada ketebalan 4 mm sebesar 0.97 kJ dan pada ketebalan 6 mm didapatkan nilai sebesar 0.98 kJ sedangkan di kecepatan 10 m/s pada ketebalan 2 mm didapatkan nilai sebesar 1.50 kJ, pada ketebalan 4 mm sebesar 2.44 kJ dan pada ketebalan 6 mm didapatkan nilai sebesar 2.75 kJ. Maka dapat di artikan semakin besar ketebalan material maka energy yang dapat di serap oleh material tersebut semakin tinggi.



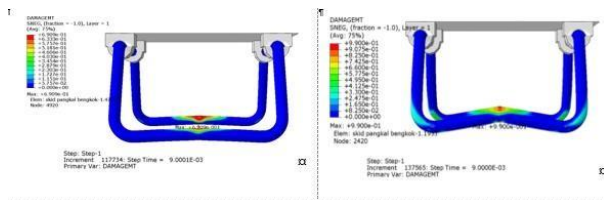
Gambar 3. 7 Grafik *energy vs time* pada material CFRP



Gambar 3. 8 Gambar hasil perbandingan *damagemt* pada kecepatan 6 m/s dan 10 m/s pada material CFRP dengan ketebalan 2 mm



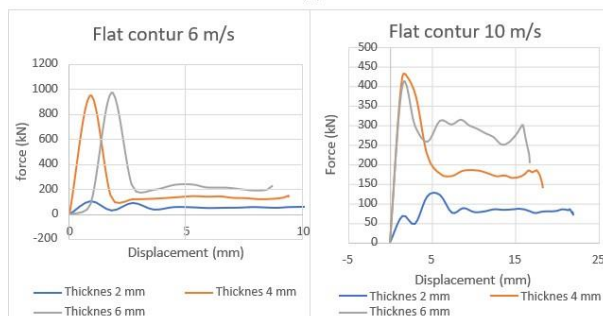
Gambar 3. 9 Gambar hasil perbandingan *damagemt* pada kecepatan 6 m/s dan 10 m/s pada material CFRP dengan ketebalan 4 mm



Gambar 3. 10 Gambar hasil perbandingan *damagemt* pada kecepatan 6 m/s dan 10 m/s pada material CFRP dengan ketebalan 6 mm

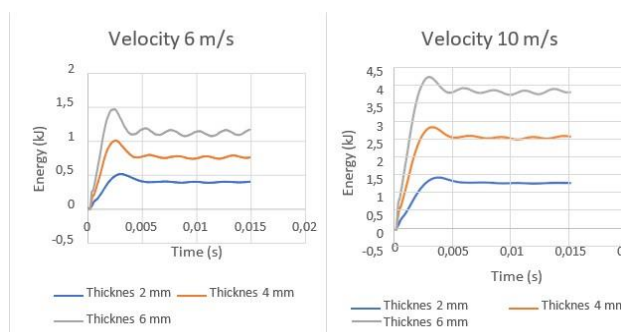
III. 3.2 Hasil Pengujian dinamik *skid* terhadap tanah datar

Pada **Gambar 3.11** dapat dilihat data kerusakan dari material tersebut, dari data tersebut dapat melihat bahwa pada kecepatan 6 m/s dengan ketebalan material 2 mm nilai *displacement* tertinggi pada saat 10.66 mm dengan besar gaya yang diterima 61.76 kN, pada ketebalan material 4 mm nilai *displacement* tertinggi sebesar 9.35 mm dengan gaya yang di terima sebesar 139.76 dan pada ketebalan material 6 mm maka nilai *displacement* tertinggi sebesar 8.67 mm dengan gaya yang di terima sebesar 231.7 kN. Pada kecepatan 10 m/s dengan ketebalan 2 mm nilai *displacement* tertinggi sebesar 21.99 mm dengan besar gaya yang diterima sebesar 69.68 N, pada ketebalan 4 mm sebesar 18.34 mm dengan gaya sebesar 139.51 N, dan pada ketebalan 6 mm sebesar 16.77 mm dengan nilai gaya yang di terima sebesar 203.08 N. Dari data tersebut dapat mengetahui bahwa ketebalan material berpengaruh terhadap *Displacement* semakin tebal material yang di gunakan maka nilai *displacement* semakin kecil walaupun gaya yang diterima semakin besar.

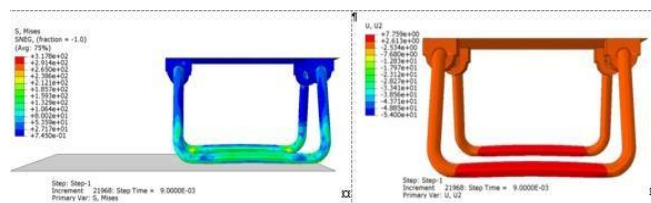


Gambar 3. 11 Grafik *force vs displacement* pada material Aluminium 606T6

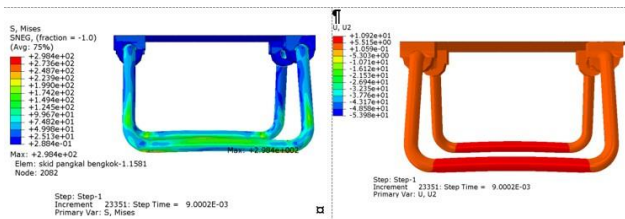
Pada **Gambar 3.12** dapat di lihat bahwa nilai setiap ketebalan material dalam melakukan penyerapan energi memiliki nilai yang berbeda-beda. Sehingga nilai maksimum energy dengan kecepatan 6 m/s pada ketebalan 2 mm sebesar 0.506 kJ, pada ketebalan 4 mm sebesar 0.991 kJ dan pada ketebalan 6 mm di dapatkan nilai sebesar 1.463 kJ sedangkan di kecepatan 10 m/s pada ketebalan 2 mm di dapatkan nilai sebesar 1.442 kJ, pada ketebalan 4 mm sebesar 2.842 kJ dan pada ketebalan 6 mm di dapatkan nilai sebesar 4.24 kJ. Maka dapat di artikan semakin besar ketebalan material maka energy yang dapat di serap oleh material tersebut semakin tinggi.



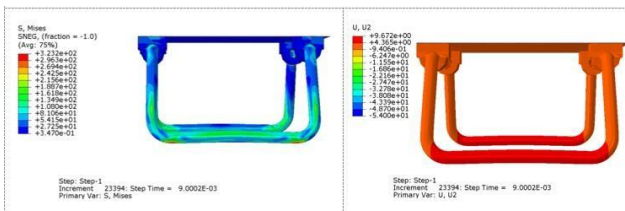
Gambar 3. 12 Grafik *energy vs time* pada material Aluminium 6061T6



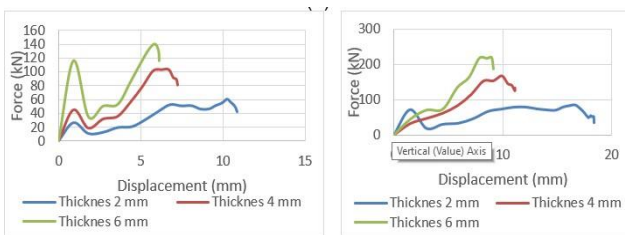
Gambar 3. 13 Gambar hasil perbandingan *stress* dan *displacement* pada waktu 0.009 s di ketebalan 2 mm dengan material Aluminium 6061T6



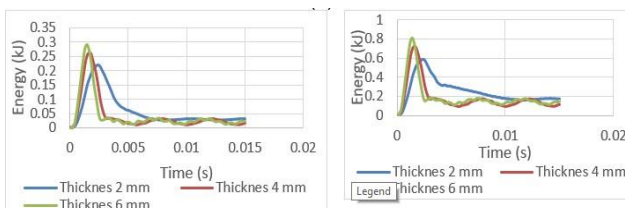
Gambar 3. 14 Gambar hasil perbandingan *stress* dan *displacement* pada waktu 0.009 s di ketebalan 44 mm dengan material Aluminium 6061T6



Gambar 3. 15 Gambar hasil perbandingan *stress* dan *displacement* pada waktu 0.009 s di ketebalan 6 mm dengan material Aluminium 6061T6



Gambar 3. 16 Grafik *force vs displacement* pada material CFRP

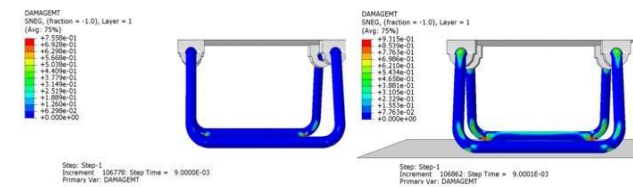


Gambar 3. 17 Grafik *force vs displacement* pada material CFRP

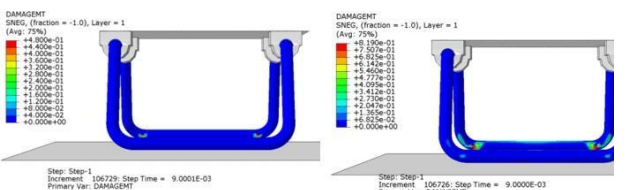
Pada **Gambar 3.16** dapat mengambil data kerusakan dari material tersebut, dari data tersebut dapat melihat bahwa pada kecepatan 6 m/s dengan ketebalan material 2 mm nilai *displacement* tertinggi pada saat 10.66 mm dengan besar gaya yang diterima 42.38 kN, pada ketebalan material 4 mm nilai *displacement* tertinggi sebesar 7.25 mm dengan gaya yang diterima sebesar 80.72 kN dan pada ketebalan material 6 mm maka nilai *displacement* tertinggi sebesar 6.10 mm

dengan gaya yang diterima sebesar 115.91 kN. Pada kecepatan 10 m/s dengan ketebalan 2 mm nilai *displacement* tertinggi sebesar 18.35 mm dengan besar gaya yang diterima sebesar 35.38 kN, pada ketebalan 4 mm sebesar 11.10 mm dengan gaya sebesar 134.44 kN, dan pada ketebalan 6 mm sebesar 9.15 mm dengan nilai gaya yang diterima sebesar 187.37 kN. Dari data tersebut dapat mengetahui bahwa ketebalan material berpengaruh terhadap *Displacement* semakin tebal material yang digunakan maka nilai *displacement* semakin kecil walaupun gaya yang diterima semakin besar.

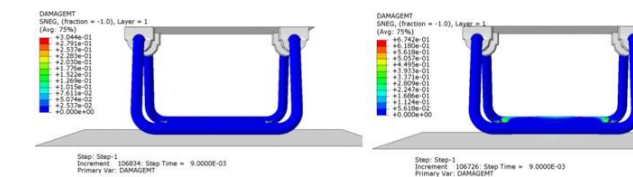
Pada **Gambar 3.17** dapat dilihat bahwa nilai setiap ketebalan material dalam melakukan penyerapan energi memiliki nilai yang berbeda-beda. Sehingga nilai maksimum energy dengan kecepatan 6 m/s pada ketebalan 2 mm sebesar 0.21 kJ, pada ketebalan 4 mm sebesar 0.26 kJ dan pada ketebalan 6 mm didapatkan nilai sebesar 0.29 kJ sedangkan di kecepatan 10 m/s pada ketebalan 2 mm didapatkan nilai sebesar 0.58 kJ, pada ketebalan 4 mm sebesar 0.72 kJ dan pada ketebalan 6 mm didapatkan nilai sebesar 0.80 kJ. Maka dapat di artikan semakin besar ketebalan material maka energy yang dapat di serap oleh material tersebut semakin tinggi.



Gambar 3. 18 Gambar hasil perbandingan *damagemt* pada kecepatan 6 m/s dan 10 m/s pada material CFRP dengan ketebalan 2 mm



Gambar 3. 19 Gambar hasil perbandingan *damagemt* pada kacepaatan 6 m/s dan 10 m/s pada material CFRP dengan ketebalan 4 mm



Gambar 3. 20 Gambar hasil perbandingan

damagemt pada kecepatan 6 m/s dan 10 m/s dengan material CFRP dengan ketebalan 6 mm

IV. IV. KESIMPULAN

Berdasarkan analisa yang telah dilakukan dapat di simpulkan sebagai berikut:

- a. Dari simulasi *skid landing* terhadap tanah bergelombang dapat disimpulkan bahwa semakin besar ketebalan material yang di gunakan maka semakin besar juga material tersebut dalam penyerapan energy dan kecepatan yang di berikan juga dapat mempengaruhi besar nilai yang di dapat. Dapat dilihat juga perbandingan material CFRP dan Aluminium 6061- T6 menampilkan perbedaan yang signifikan terlihat pada *displacement* yang terjadi pada kedua material.
- b. Dari hasil simulasi *skid landing* terhadap tanah rata dapat di simpulkan bahwa semakin tebal material yang digunakan semakin besar pula energy yang dapat di serap dan kecepatan yang di berikan juga dapat mempengaruhi besaran nilai yang didapat. Dapat di lihat juga perbandingan material CFRP dn Aluminium 6061- T6 terlihat pada nilai *Displacement*, material CFRP memiliki nilai *displacement* yang rendah di bandingkan Aluminium 6061- T6.

V. DAFTAR PUSTAKA

1. L A N Wibawa, J. P. (2021). Effect of Fillet Radius of UAV Main *Landing* Gear on static stress and fatigue life using finite element method. *Journal of Physics: Conference Series*, 2-3.
2. O. Yildirim., E. G. (2014). Analysis of a *Skid* Type *Landing* Gear of a Rotary Wing UAV. Fethiye, *Proceedings of the 4th International Congress APMAS2014.*, Turkey.
3. Senduk Novatus, (2021), Penerapan Teknik Penggambaran Grais Kontur Menggunakan Auto Cad 3D, *Jurnal Teknik Sipil Terapan*.
4. Muhammad Rifai Arif, 2018, "Analysis Of Struts Variation On Asymmetric Balloon Expandable Stent Using Finite Element Method", *Tugas akhir*, Institut Teknologi Sepuluh November.
5. X.C. Sun, M. S. (2016). Interaction of inter- and intralaminar damage in scaled quasi-static indentation tests: Part 2 – Numerical simulation. *Composite Structures* 136 (2016) 727–742.
6. Adienegoro Pangestu, 2023, "Analisi Numerik Pengaruh Variasi Kecepatan dan Massa pada main *landing* gear pesawat nirawak menggunakan Finite Element Method", *Skripsi*, Universitas Dirgantara Marsekal Suryadarma.