

## **Analisis Kekuatan Struktur Komposit Sandwich Pada Main Landing Gear UAV**

**Jauharul Akfiya\*\***, Sahril Afandi, Endah Yuniarti

Prodi Teknik Penerbangan, Fakultas Teknologi Kedirgantaraan,  
Universitas Dirgantara Marsekal Suryadarma

\*Corresponding Author. [jauharulakfiya14@gmail.com](mailto:jauharulakfiya14@gmail.com)

### **Abstract**

*Tricycle landing gear is a landing gear configuration on an aircraft with nose landing gear and main landing gear. Strength analysis of sandwich composites with impact loads aims to determine the maximum strength that can be resisted by sandwiches with several layers of lamina arranged with variations orientation fiber to obtain stiffness, for determine the type of damage caused by excessive loading. Fiber direction optimization was carried out to obtain optimal fiber direction variations in receiving loading. The optimal fiber direction was [(0)(45)(-45)(90)(0)]s with a significant Tsai-hill value from 0.091 to 0.058 after optimization. Simulation of impact loading with vertical velocity variations of 2 m/s, 3 m/s 4 m/s, 6 m/s, 8 m/s, 10 m/s, 12 m/s, 15 m/s using the finite element method by utilizing the Abaqus CAE software on the tricycle landing gear model and conducting tests to obtain large displacement, stresses and strains. The result is shown that the main landing gear structure is able to withstand a landing speed of up to 12 m/s with a large X-axis stress (S11) of 447.118 MPa, a Y-axis stress (S22) 30.5 MPa, a shear stress of 26.2218 MPa with a large a displacement of 11.9461 mm and a Tsai-hill value of 0.5920. At a landing speed of 15 m/s the landing gear structure fails with a Tsai-hill value that has passed the failure index 1, with a large X-axis stress (S11) 477.556 MPa, Y-axis stress (S22) 44.4075 MPa, shear stress of 35 .2047 MPa with a large displacement of 15.8297 mm and a Tsai-hill value of 1.1336 where the landing speed of this landing gear structure failed, indicated by the Tsai-hill value which had exceeded the failure index value 1.*

**Keywords:** Main Landing Gear, UAV, Drop Impact, Composite Sandwich.

## I. PENDAHULUAN

UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*) atau pesawat terbang tanpa awak merupakan sebuah teknologi terkemuka yang saat ini banyak digunakan dalam berbagai aplikasi seperti industry militer, transportasi kargo komersial, pemetaan suatu wilayah hingga kebutuhan pertanian<sup>[1]</sup>. Pesawat terbang tanpa awak sering juga digunakan dalam tugas penyelamatan dan juga mitigasi atau upaya mengurangi resiko dalam bencana alam seperti bencana letusan gunung, banjir, tanah longsor, kebakaran, gempa bumi dikarenakan memiliki tingkat efisien yang baik dan keamanan yang memumpuni<sup>[1][2]</sup>.

*Tricycle landing gear* merupakan jenis *landing gear* yang terdiri dari 2 (dua) buah roda utama yang merupakan bagian utama (*main landing gear*) dan terdapat bagian pendukung dibagian tengahnya yakni 1 (satu) roda dibagian depan atau bagian hidung pesawat (*nose landing gear*), dimana berfungsi sebagai sistem manuver dari sebuah pesawat. *Tricycle landing gear* merupakan jenis yang paling sering digunakan pada pesawat dan UAV karena memiliki distribusi beban yang lebih merata, tidak berlawanan dengan arah aliran udara yang melintang, mengurangi tingkat kebisingan saat proses pengereman, mudah dalam bermanuver, dan dapat mengurangi efek *Ground-Looping* pada UAV<sup>[1,4]</sup>.

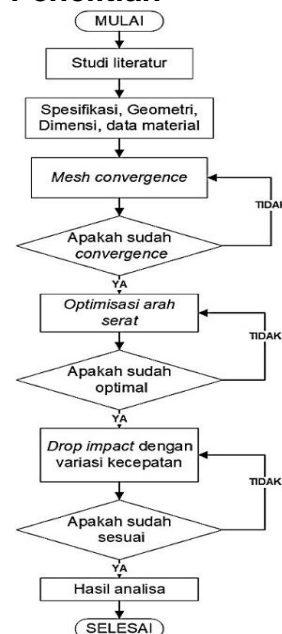
*Landing gear* merupakan salah satu komponen utama dari struktur sebuah pesawat sebagai tumpuan bagi pesawat saat mendarat (*landing*) dan lepas landas (*take off*)<sup>[2]</sup>. Leaf spring adalah jenis peredam kejut

yang berguna untuk pesawat ringan, karena relatif murah dalam biaya pemeliharaannya<sup>[4,5]</sup>. Leaf spring menahan beban yang terjadi dengan menyerapnya beban yang tidak melebihi batasan nilai elastis yang aman sehingga leaf spring dapat kembali ke bentuk semula setelah melepas beban yang terjadi<sup>[6]</sup>. Analisis struktur terhadap pembebanan impact umumnya meliputi: prediksi besar dan lama pembenanan impact, analisis perilaku elemen struktur dan struktur secara keseluruhan terhadap beban impact, analisis kekuatan struktur terhadap beban impact<sup>[7]</sup>.

Pada penelitian ini akan dilakukan simulasi dinamik pada landing gear UAV dengan material komposit sandwich. Pada simulasi akan divariasikan kecepatan impak *landing gear* dan menganalisis terkait kegagalan yang dapat terjadi sesuai dengan metode *Tsai-hill*.

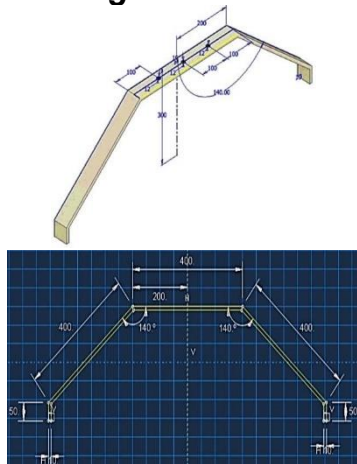
## II. METODE PENELITIAN

### 2.1 Prosedur Penelitian



Gambar 2.1 Diagram Alir

## 2.2 Geometri Pemodelan Main Landing Gear



Gambar 2.2 Geometri Pemodelan

Bentuk geometri struktur *leaf spring main landing gear* di meshing menjadi bagian-bagian kecil berbentuk kotak untuk mencari solusi yang berupa temperature struktur. *Global size* untuk *meshing* part ini digunakan 3 untuk kerapihan dan ketelitian hasil saat simulasi dijalankan.

### 2.3 Set up Material

Pada bagian *leaf spring* pada *main tricycle landing gear* menggunakan material komposit *carbon fiber ni-directional* dan *aluminium foam* yang diaplikasikan pada *leaf spring*. Kombinasi *aluminium foam* pada bagian inti dilapisi oleh *Carbon* pada kedua sisi di bagian atas dan bawah memiliki kombinasi yang lebih efektif karena kombinasi ini lebih ringan sebagai intinya.

Tabel 2.1 material aluminium foam

Aluminium Foam			
Properties	Symbol	Nilai	Satuan
Density	$\rho$	125e-9	Ton/mm <sup>3</sup>
Young modulus	E	22	MPa
Poisson's ratio	$\nu_{12}$	0.33	-
Compression strength	$\gamma_c$	250	MPa
Shear strength	S	48	MPa
Modulus elasticity		100	MPa

Tabel 2.2 material carbon epoxy

CARBON EPOXY			
Properties	Symbol	Nilai	Satuan
Density	$\rho$	1.60E-09	Ton/mm <sup>3</sup>
Young modulus 0	E1	130000	MPa
Young modulus 90	E2	7700	MPa
Poisson's ratio	$\nu_{12}$	0.33	-
	$\nu_{13}$	0.33	-
	$\nu_{23}$	0.35	-
Shear modulus	$G_{12}$	4800	MPa
	$G_{13}$	4800	MPa
	$G_{23}$	3800	MPa
Tensile strength 0	$\chi_t$	1500	MPa
Compressive strength 0	$\chi_c$	1200	MPa
Tensile strength 90	$\gamma_t$	50	MPa
Compressive strength 90	$\gamma_c$	250	MPa
Shear strength	S	70	MPa

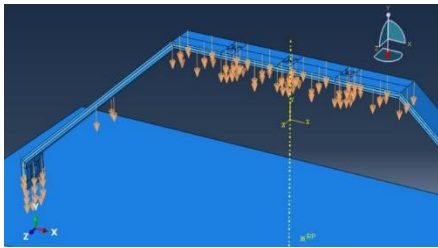
### 2.4 Setup simulasi

Besar pembebanan menggunakan beban kecepatan vertikal saat pesawat melakukan landing, dengan data asumsi sebagai berikut:

Tabel 2.3 data asumsi pembebanan

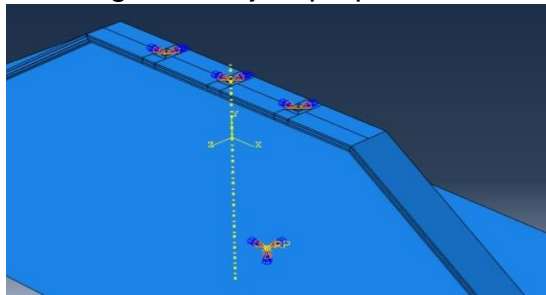
Tipe Simulasi	Single Point
Variabel kecepatan vertikal	2 m/s, 3 m/s, 4 m/s, 5 m/s, 6 m/s, 8 m/s, 10 m/s, 12 m/s, 15 m/s
Massa UAV	75 kg
Waktu Impact	0.001 detik

Pembebanan dengan variasi kecepatan vertikal dilakukan guna mengetahui kemampuan struktur *main landing gear* dalam menahan beban saat proses *landing*, proses setup pembebanan seperti Gambar 2.3..



**Gambar 2.3** Arah pembebanan

Selanjutnya dilakukan pembatasan pada bagian bagian yang tidak diinginkan terjadi perpindahan



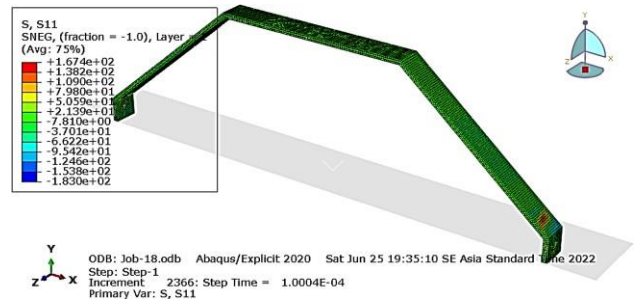
**Gambar 2.4** Kondisi batas pada part model

Bagian ini diberikan kondisi kondisi batas yakni pada media tumbukan atau *plat ground* dan bagian lubang baut dan lubang as roda.

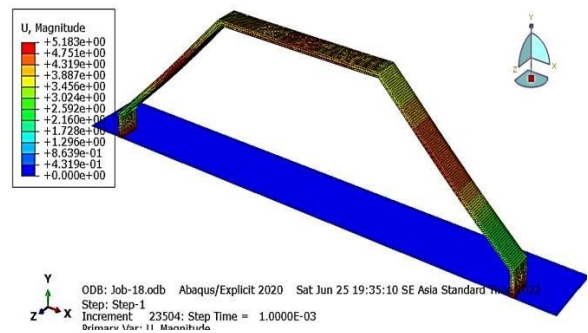
### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Simulasi Dinamik Part Leaf Spring

Simulasi dinamik pada *part leaf spring main landing gear* dilakukan dengan menggunakan *software ABAQUS CAE 2020*. Hasil dari simulasi dinamik dilakukan sebelum dilakukan optimisasi arah serat, dimana arah serat yang digunakan adalah  $[(45)/(-45)/(90)/(0)/(0)]_s$ , untuk susunan arah serat yang lebih jelas dapat dilihat.

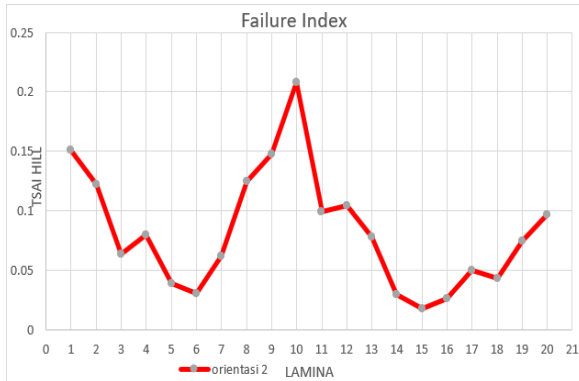


**Gambar 3.1** Hasil tegangan pada arah S11



**Gambar 3.2** Hasil U magnitude

Hasil simulasi *leaf spring* sebelum optimisasi menunjukkan nilai tegangan maksimum pada arah sumbu longitudinal atau arah serat (S11) yakni sumbu X sebesar 167,4 MPa. Tegangan maksimum pada arah sumbu transversal atau arah sumbu yang tegak lurus dengan arah serat (S22) yakni sumbu Y sebesar 12,17 MPa. Tegangan geser maksimum pada arah sumbu X dan sumbu Y (S12) sebesar 9,952MPa. Nilai *displacement* yang terjadi pada pengujian dinamik impact yakni sebesar 5,183 mm. Nilai keamanan struktur komposit diverifikasi dengan menggunakan metode kriteria kegagalan Tsai-Hill dengan hasil sebagai berikut.

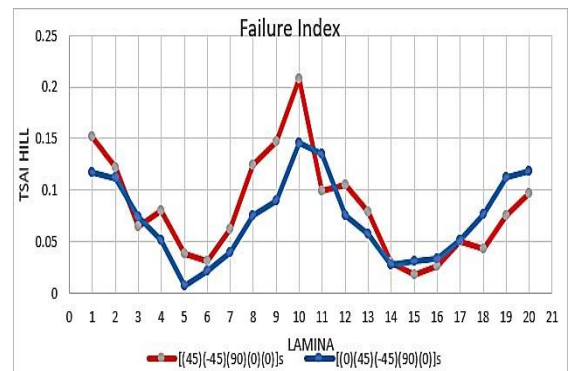


**Gambar 3.3** Hasil grafik Tsai-hill sebelum dilakukan optimisasi

Optimisasi arah orientasi serat komposit berguna untuk mendapatkan arah serat yang lebih optimal tanpa melakukan penambahan atau pengurangan massa dari sebuah *leaf spring main landing gear* tersebut. Metode yang digunakan dalam melakukan optimisasi arah orientasi serat komposit yakni dengan membandingkan nilai hasil dari indeks kriteria kegagalan Tsai-Hill arah serat pada setiap lapisan lamina. Metode perbandingan (comparison) pada optimisasi arah serat komposit dilakukan dengan mengumpulkan data- data dari setiap arah serat komposit yang akan running dan disimulasikan. Arah serat komposit yang memiliki nilai kriteria kegagalan komposit yang paling kecil yang akan dipilih dan dikatakan paling optimal dibandingkan dengan arah serat komposit lainnya dari part leaf spring main landing gear.

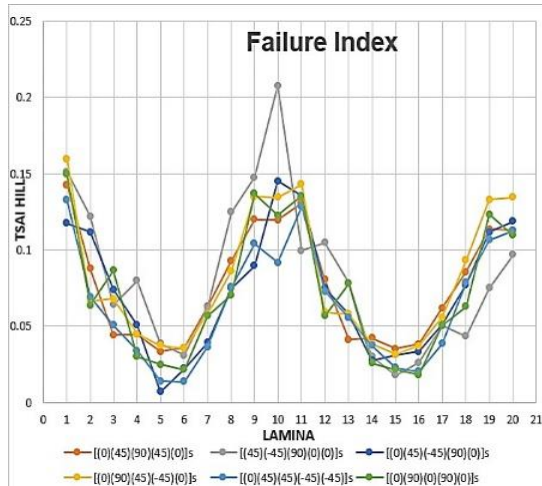
**Tabel 3.1** besar tegangan pada variasi orientasi arah serat

Case	Maximum				
	S Mises	S11	S22	S33	S12
	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)
$[(0)(45)(90)(45)(0)]_s$	190.025	180.906	7.8197	0.002869	12.3884
$[(45)(-45)(90)(0)(0)]_s$	167.723	167.404	12.1748	0.003124	9.9521
$[(0)(45)(-45)(90)(0)]_s$	190.918	169.427	7.8794	0.002085	10.0473
$[(0)(90)(45)(-45)(0)]_s$	210.545	190.548	6.1636	0.00325	13.3637
$[(0)(45)(45)(-45)(-45)]_s$	181.195	152.96	13.9068	0.003518	8.9258
$[(0)(90)(0)(90)(0)]_s$	187.377	178.725	6.8632	0.0031159	18.3273



**Gambar 3.4** Grafik hasil Tsai-hill di setiap orientasi arah serat

**Gambar 3.4** menampilkan grafik nilai hasil optimisasi perbandingan arah orientasi serat komposit dengan cara membandingkan dari kriteria kegagalan Tsai-hill. Optimisasi orientasi arah serat komposit pada model *leaf spring main landing gear* dilakukan dengan membandingkan 6 variasi orientasi arah serat yang berbeda- beda. **Gambar 3.4** juga menampilkan arah lapisan yang mana lapisan 1-10 merupakan lapisan untuk *skin* atas *composite sandwich* dan lapisan 11-20 merupakan lapisan untuk *skin* bawah komposit *sandwich*. Didapatkan juga nilai Tsai-hill yang sangat baik karena nilainya yang sangat kecil dan belum melebihi indeks kriteria kegagalan 1.



**Gambar 3.5** Grafik nilai tsai-hill sebelum dan sesudah optimisasi

**Gambar 3.5** merupakan grafik yang menunjukkan perbandingan nilai Tsai-hill terhadap variasi lamina. Arah serat  $[(0)/(45)/(-45)/(90)/(0)]_s$  merupakan orientasi arah serat komposit yang memiliki hasil indeks kriteria kegagalan yang paling kecil dibandingkan dengan faktor percobaan orientasi arah serat lainnya.

**Tabel 3.2** Tabel nilai tsai-hill sebelum dan sesudah optimisasi arah serat

kondisi	Tegangan S11 (MPa)	Tegangan S22 (MPa)	Tegangan S12 (MPa)	Displacement U (mm)	Tsai-Hill
Sebelum optimisasi	167,404	12,1748	9,9521	5,18326	0.091052752
Setelah optimisasi	169,427	7,879	10.0473	5,020	0.057597845

**Tabel 3.2** menampilkan besar peningkatan nilai Tsai-hill sebelum dan sesudah dilakukan optimisasi arah serat, dimana setelah dilakukan optimisasi arah serat terjadi penurunan nilai Tsai-hill sebesar 52% yang membuat struktur main landing gear ini lebih baik dalam menerima pembebanan *drop impact*

**Tabel 3.3** Perbandingan hasil simulasi struktur

parameter	Ketebalan laminate	Ketebalan sandwich
	3mm	10mm
Perpindahan (mm)	136,37	5,18
Tegangan (MPa)	927,31	169,427

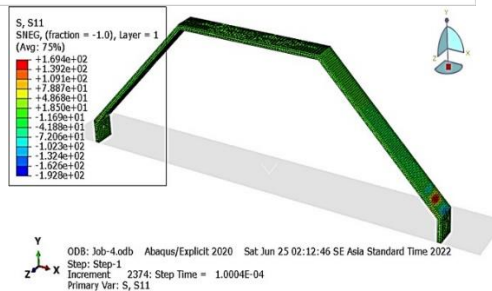
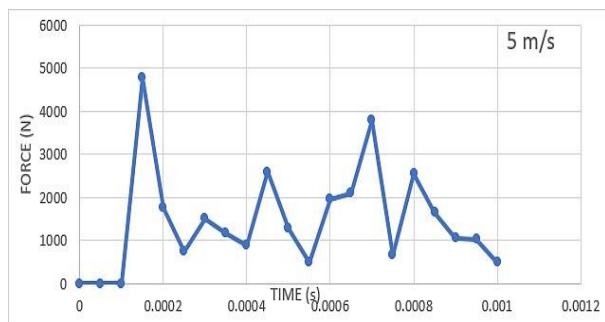
Perbedaan konstruksi antara struktur *laminat* dengan struktur *sandwich* dapat dilihat sebagaimana dalam **Tabel 3.3** dimana pada struktur laminat terjadi nilai perpindahan (*displacement*) yang sangat besar yang berbanding terbalik dengan struktur *sandwich* yang mana hal tersebut merupakan dari adanya perbedaan ketebalan dan juga campuran dengan material *aluminium foam* sebagai *core* pada struktur sandwich yang mengakibatkan semakin kakunya struktur tersebut. Besar tegangan yang bekerja pada struktur *laminat* lebih besar yang menunjukkan bahwa structure laminat lebih mudah mengalami kriteria kegagalan dikarenakan terlalu besarnya tegangan yang bekerja, sedangkan pada struktur *sandwich* nilai tegangan yang bekerja lebih kecil yang menunjukkan bahwa struktur sandwich lebih baik dalam menerima suatu beban dan meminimalisir terjadinya kegagalan suatu struktur

**Tabel 3.4** Hasil dari perbandingan kekuatan & kekakuan struktur

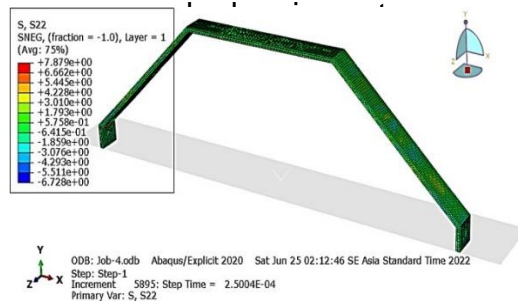
parameter	Ketebalan laminate	Ketebalan sandwich
	3mm	10mm
Kekakuan relative	100	2633 (26,33 kali lebih kaku)
Kekuatan relative	100	547 (5,47 kali lebih kuat)

### 3.2 Simulasi Drop Impact Main Landing Gear

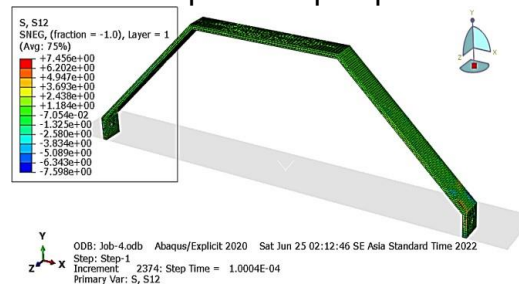
Simulasi *drop impact* pada struktur *leaf spring main landing gear* dengan menggunakan software ABAQUS CAE 2020. Simulasi ini bertujuan untuk mengetahui kekuatan *struktur leaf spring main landing gear* pada saat mendarat dengan menggunakan metode elemen hingga. Simulasi drop impact mempresentasikan keadaan saat pesawat dalam fase landing (*touchdown*) dimana *main landing gear* akan menerima beban *impact*.



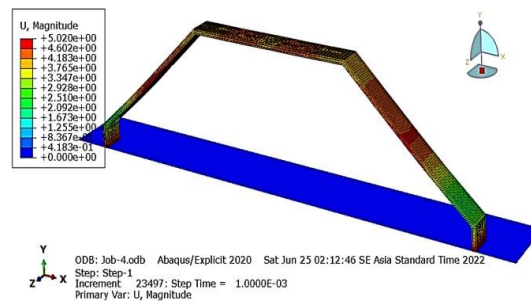
Gambar 3.6 Hasil tegangan S11



Gambar 3.7 Hasil tegangan S22 pada drop impact



Gambar 3.8 Hasil tegangan S12 pada drop impact

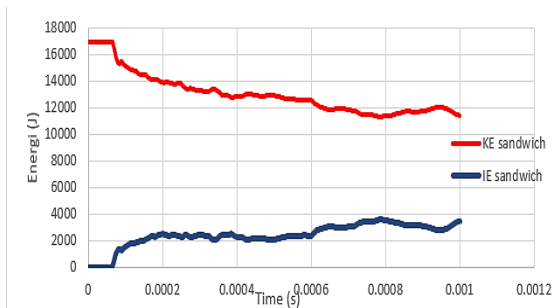


Gambar 3.9 Hasil displacement pada drop impact

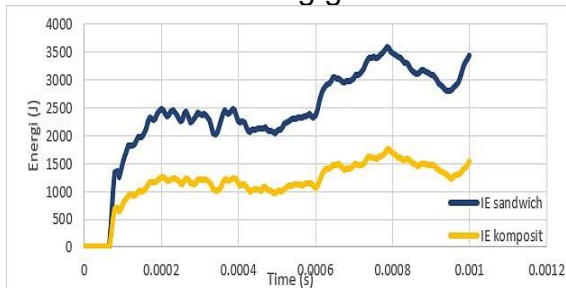
Gambar 3.10 Grafik hasil reaction force

Gambar 3.6 – 3.9 merupakan hasil simulasi *drop impact pada main landing gear*. Hasil yang didapatkan dari hasil simulasi *drop impact* yakni berupa plot tegangan dan displacement. Nilai tegangan maksimum pada arah longitudinal atau arah searah(S11) dengan sumbu x yakni sebesar 169,427

MPa. Tegangan maksimum pada arah transversal atau arah tegak lurus (S22) sumbu Y yakni sebesar 7,879 MPa. Tegangan geser maksimum pada arah (S12) atau pada sumbu X, Y yakni sebesar 7,456 MPa. Untuk nilai *displacement* yang terjadi sebesar 5,020 mm. Pada **Gambar 3.10** menampilkan grafik hasil *reaction force* terhadap waktu terjadinya *impact* yang menghasilkan nilai peak force 4782.66 N yang berada dalam rentan waktu 0.00015 s.



**Gambar 3.11** energi kinetik dan energi deformasi leaf spring main landing gear



**Gambar 3.12** energi deformasi sandwich dan komposit laminate

**Gambar 3.11** menunjukkan energi kinetik dan energi deformasi plastis dari *leaf spring* berdasarkan perubahan waktu. Energi kinetik yang bekerja mengalami penurunan secalin dengan bertambahnya waktu yang mana besarnya energi kinetik tersebut diserap oleh *leaf spring*

sehingga akan energi deformasi akan bertambah besar. Besarnya energi kinetik tersebut diserap oleh leaf spring sehingga akan energi deformasi akan **Gambar 3.12** menunjukkan perbedaan nilai energi deformasi yang terjadi pada struktur *sandwich* dan struktur komposit laminate karena pada struktur sandwich energi deformasi mencakup energi deformasi yang bekerja pada bagian skin maupun core sehingga energi yang bekerja lebih besar dibanding dengan energi deformasi yang bekerja pada bagian komposit laminate sendiri.

**Tabel 3. 3** Hasil Tegangan Dengan Margin Of Safety

Kecepatan (m/s)	tegangan maksimum (MPa)	displacement (mm)	margin of safety
2	90.5844	2.40091	15.55914263
3	113.843	3.18542	12.17604069
4	153.199	4.06634	8.791186627
5	225.421	4.98130	5.654215889
6	225.315	5.99138	5.657346382
8	323.273	8.00099	3.64004108
10	381.654	9.9814	2.930261441
12	440.409	11.9461	2.405924947
15	627.922	14.8297	1.388831734

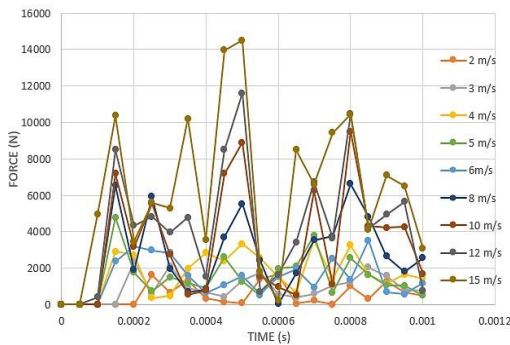
Pada **Tabel 3.5** menghasilkan nilai tegangan von mises dan tegangan disetiap arah sumbu dan juga nilai *Displacement* pada simulasi *drop Impact* pada *leaf spring main landing gear*. Nilai *Margin Of Safety* di keluarkan karena untuk memastikan bahwa struktur tersebut aman atau tidak.

### 3.3 Simulasi *Drop Impact* Dengan Variasi Kecepatan

Simulasi *drop impact* dilakukan dengan kondisi kecepatan yang bervariasi guna untuk mengetahui karakteristik berubah nilai pada setiap kondisi variasi

kecepatan. Variasi kecepatan bervariasi dari 2 m/s, 3 m/s, 4 m/s, 5 m/s, 6 m/s, 8 m/s, 10 m/s, 12 m/s dan 15 m/s. pemilihan variasi kecepatan drop impact dilakukan untuk mengetahui kondisi *leaf spring main landing gear* apakah dapat menahan beban impact dan mengetahui kekuatan dari *struktur main landing gear*.

Kecepatan landing (m/s)	Peak force (N)
2	1673.12
3	2359.17
4	3543.44
5	4782.66
6	3503.06
8	6621.95
10	9488.3
12	11611.3
15	14496.7



**Gambar 3.13** Grafik reaction force pada variasi kecepatan drop impact\

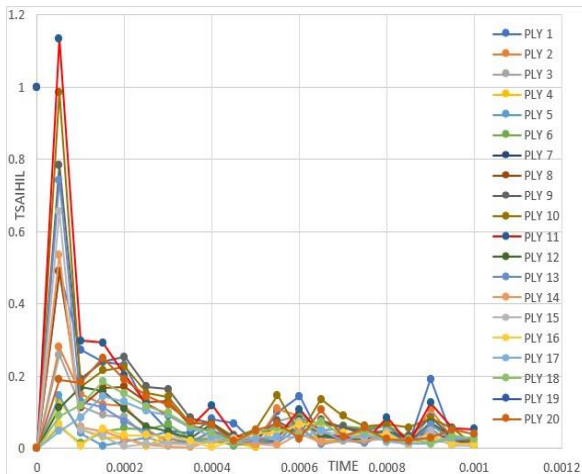
**Gambar 3.13** menampilkan grafik resultan gaya impact (N) dengan waktu (s) dengan beberapa variasi kecepatan yang dilakukan dalam simulasi *drop impact*. Trend grafik yang memiliki bentuk yang naik turun merupakan efek yang dipengaruhi oleh adanya damping yang dihasilkan akibat adanya intraksi antara *part leaf spring main landing gear* dengan *part ground (runway)*.

**Tabel 3.4** nilai peak force pada variasi kecepatan

**Tabel 3. 5** Nilai Tsai-hill dengan variasi kecepatan drop impact

kecepatan m/s	S11 (MPa)	S22 (MPa)	S12 (MPa)	perpindahan mm	Tsai-Hill
2	66.1885	7.08357	4.47369	2.40091	0.025893952
3	114.071	8.8989	5.87636	3.18542	0.044055474
4	147.305	7.05115	8.73933	4.06634	0.044656666
5	168.271	17.3935	11.7726	4.98130	0.160581742
6	204.39	10.8125	12.2343	5.99138	0.094895193
8	277.51	14.6013	19.0459	8.00099	0.191735618
10	374.8	18.6809	21.431	9.9814	0.292644134
12	447.118	30.4995	26.2218	11.9461	0.595200878
15	477.556	44.4075	35.2047	14.8297	1.133677777

**Tabel 3.5** menunjukkan nilai tegangan maksimum pada sumbu X, adn sumbu Y, tegangan geser maksimum dan juga nilai displacement. Ditampilkan juga nilai kriteria kegagalan struktur komposit dimana pada simulasi drop impact dengan kecepatan 2 m/s, 3 m/s, 4 m/s, 5 m/s, 6 m/s, 8 m/s, 10 m/s, dan 12 m/s didapatkan nilai kriteria kegagalan ( $Tsai-Hill < 1$ ) yang mana menunjukkan bahwa struktur belum mengalami kegagalan struktur dan masih bisa kembali ke bentuk semua setelah mengalami drop impact tersebut. Pada simulasi drop impact dengan kecepatan landing (touchdown) sebesar 15 m/s didapatkan nilai kriteria kegagalan material ( $Tsai-Hill > 1$ ) yang menunjukkan bahwa struktur main landing gear sudah mengalami kegagalan struktur komposit.



**Gambar 3.14** Grafik Tsai-hill drop impact 15m/s

**Gambar 3.14** menunjukkan besar terjadinya kegagalan struktur komposit dengan kriteria kegagalan Tsai-hill. Nilai kriteria kegagalan Tsai-hill terbesar terjadi pada lapisan 10 dan lapisan 11, dimana pada lapisan tersebut nilai Tsai-hill melewati nilai kriteria kegagalan 1 sedangkan pada lapisan lainnya nilai Tsai-hill masih sangat aman dengan nilai maksimumnya yang masih di bawah 1. Hal tersebut menunjukkan bahwa pada simulasi drop impact dengan kecepatan 15 m/s terjadi kegagalan struktur komposit pada lapisan 10 dan 11 menurut kriteria kegagalan Tsai-hill dan struktur masih mampu menahan beban 1,38 kali besar pembebanan tersebut hal tersebut dikarenakan oleh lapisan komposit lainnya masih mampu menahan pembebanan yang diberikan menurut Margin of Safety. Besar nilai Tsai-hill pada setiap lapisan lamina pada pengujian drop impact dengan kecepatan 15 m/s

#### IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah diperoleh, maka terdapat beberapa kesimpulan antara lain:

1. Simulasi drop impact dinamik pad

*landing gear* leaf spring, mengalami tegangan maksimum di 5 m/s sebelum dilakukan optimisasi arah serat komposit diperoleh tegangan maksimum arah sumbu longitudinal atau serah serat (S11) sumbu X sebesar 167,404 MPa. Tegangan maksimum pada arah transversal atau arah yang tegak lurus dengan arah serat (S22) sumbu Y sebesar 12,1748 MPa. Tegangan geser maksimum pada arah (S12) sumbu X,Y sebesar 9,9521 MPa dan nilai displacement yang terjadi sebesar 8.467 mm.

2. Orientasi arah serat yang optimal yakni  $[(0)(45)(-45)(90)(0)]_s$  karena n indeks kriteria kegagalan paling kecil diantara beberapa variasi arah serat lainnya. Selisih perbandingan hasil kriteria kegagalan Tsai-hill antara  $[(45)(-45)(90)(0)(0)]_s$  dengan  $[(0)(45)(-45)(90)(0)]_s$  menghasilkan perbedaan hingga 52%

#### V. DAFTAR REFERENSI

- [1] Wibawa, Lasinta Ari Nendra. (2019a). Desain dan Analisis Kekuatan Rangka Tricycle Landing Gear UAV Menggunakan Metode Elemen Hingga. *Mechanical*,9(2), 33. <https://doi.org/10.23960/mech.v9.i2.201806>
- [2] Liang, Y. C., Chin, P. C., Sun, Y. P., & Wang, M. R. (2021). Design and manufacture of composite landing gear for a light unmanned aerial vehicle. *Applied Sciences (Switzerland)*, 11(2), 1–12.

- <https://doi.org/10.3390/app11020509>
- [3] Nababan. Arie. Dwi, 2021, “Optimisasi Arah Serat Komposit Main Landing Gear Pesawat Nirawak Lsu- 05 Menggunakan Metode Elemen Hingga”, Skripsi, Universitas Dirgantara Marsekal Suryadarma.
- [4] FAA, 2018, “Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe (FAA-H-8083-31A), Volume 2”, United States Department of Transportation, Oklahoma City.
- [5] Joel. P. Praveen, R. Vijayan. 2014. “Design and Stress Analysis of Nose Landing gear Barrel (NLGB) of A Typical Naval Trainer Aircraft”. IOSR-JMCE Vol. 11 Ver. III.
- [6] Xue, Z., Li, M., Li, Y., & Jia, H. (2014). A Simplified Flexible Multibody Dynamics for a Main Landing Gear with Flexible Leaf Spring. 2014.
- [7] Herlina Sari, N., Dyah, E. S., & Wiryra Dirjan, M. (2014). Analisis Sifat Kekuatan Impact Komposit Sandwich Plastik Bekas Diperkuat Serat Sisal Dengan Core Bonggol Jagung. *Dinamika Teknik Mesin*, 4(1), 2088–88.
- [8] Parmar, J., & Acharya, V. (2015). Selection And Analysis Of The Landing Gear For Unmanned Aerial Vehicle For Sae Aero Design Series laeme Publication Selection And Analysis Of The Landing Gear For Unmanned Aerial Vehicle For Sae Aero Design Series International Journal Of Mechanical Engin. International Journal of Mechanical Engineering and Technology, 6(2), 10–18. [www.jifactor.com](http://www.jifactor.com)
- [9] Wibawa, L. A.N. (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*. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1811/1/012082>
- [10] Ardiansyah, R., Hidayat, Nugroho, Afid, 2014, “Design and Analysis of Main Landing Gear Frame of LSU-05 By Finite Element Methode”, *Jurnal Teknologi Pesawat Terbang, LAPAN, Rumpin*.