

Analisis Kegagalan Laminasi Komposit Epoksi/Serat Karbon pada Sayap Pesawat Tanpa Awak

Ansor Salim Siregar^{1,a)}, Mulyadi², and Syaiful Arief³

¹Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sutomo, Indonesia

²Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Institut Teknologi Medan

E-mail: ^{a)}ansorsalim@gmail.com

Diterima: 10 November 2021

Direvisi: 16 November 2021

Disetujui: 20 November 2021

Abstract: This study aims to analyze the initial failure value using the Tsai – Wu criteria from the wing skin of an unmanned aircraft with the Eppler 214 airfoil model. The study was carried out using computer modeling with Abaqus software. The material used is an epoxy composite which is carbon fiber. The composites used in the wing skins have two different arrangement sequences, namely the fiber layer arrangement sequence 1 $[0^0/90^0]_{8s}$ and the layer sequence 2 $[0^0/+45^0/-45^0/90^0]_{2s}$. The load given to the wing is a pressure of 0.40077 MPa. The results for the fiber layer sequence 1 $[0^0/90^0]_{8s}$ at the maximum stress distribution are 5.067×10^4 MPa and in the fiber layer sequence, 2 $[0^0/+45^0/-45^0/90^0]_{2s}$ the maximum value is 4.205×10^4 MPa. While the sequences consist of fiber layer 1 and layer 2 sequence layers, the Tsai – Wu failure meets the Tsai – Wu failure criteria because almost all of them fail.

Keywords: Abaqus, composite, Tsai–Wu criteria

Abstrak: Studi ini bertujuan untuk menganalisis nilai kegagalan awal dengan menggunakan kriteria Tsai – Wu dari lapisan (skin) sayap pesawat tanpa awak dengan model airfoil Eppler 214. Kajian dilakukan menggunakan pemodelan komputer dengan perangkat lunak Abaqus. Bahan yang digunakan yaitu komposit epoksi yang diperkuat serat karbon. Komposit yang digunakan pada skin sayap memiliki dua sekuens susunan yang berbeda yaitu sekuens susunan lapisan serat 1 $[0^0/90^0]_{8s}$ dan sekuens susunan lapisan serat 2 $[0^0/+45^0/-45^0/90^0]_{2s}$. Beban yang diberikan pada sayap adalah berupa tekanan sebesar 0,40077 MPa. Adapun hasil pada sekuens susunan lapisan serat 1 $[0^0/90^0]_{8s}$ pada distribusi tegangan maksimum yaitu $5,067 \times 10^4$ MPa dan pada sekuens lapisan serat 2 $[0^0/+45^0/-45^0/90^0]_{2s}$ nilai maksimumnya yaitu $4,205 \times 10^4$ MPa. Sedangkan pada sekuens susunan lapisan serat 1 dan sekuens lapisan serat 2 kegagalan Tsai – Wu memenuhi kriteria kegagalan Tsai – Wu karena hampir keseluruhannya mengalami kegagalan.

Kata kunci: Abaqus, komposit, kriteria Tsai – Wu

PENDAHULUAN

UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*) atau *drone* adalah pesawat tanpa membawa pilot atau dikendalikan secara *autonomous* [1]. UAV juga merupakan komponen *Unmanned Aerial System* (UAS) yang dilengkapi dengan berbagai perangkat IoT seperti sensor kamera, dan actuator [2]. Saat ini penggunaan UAV sangat berkembang digunakan di berbagai kalangan seperti militer juga sipil yang diaplikasikan sebagai pengawasan, penyelamatan bencana, industri inspeksi, pemetaan topografi, pemantauan cuaca hingga medis darurat [3][4].

Secara prinsip pesawat terdapat 4 gaya utama yang bekerja saat pesawat mengudara yakni *trust* T (gaya dorong), *drag* D (hambat), *lift* L (angkat) dan *weight* W (berat pesawat) [5]. Prospek penggunaan material dalam aplikasi dirgantara material komposit semakin diminati untuk pembuatan aplikasi pesawat baru [6]. Spesifik kekuatan dan kekakuan material komposit telah menjanjikan bahwa material komposit memiliki struktur paling tinggi sehingga penggunaannya banyak diaplikasikan seperti di dirgantara, turbin angin dan lainnya [7][8]. Pemodelan berbasis komputer memegang peranan yang krusial di dalam industri termasuk industri pesawat atau UAV. Pemanfaatan pemodelan mampu memangkas biaya operasional seperti eksperimen, analisa, penetapan pemilihan bahan serta proses menyingkat waktu perancangan. Pemodelan berbasis komputer yang



keakuratannya mendekati pada kenyataan telah banyak diaplikasikan di beberapa industri hingga pada institusi kesehatan.

Kemudian selain dari hal tersebut, seiring meningkatnya jumlah penduduk khususnya di daerah perkotaan menimbulkan kekhawatiran, dimana secara otomatis jumlah kendaraan juga akan meningkat yang mengakibatkan terjadi kemacetan lalu lintas, polusi, hingga pada perilaku pengemudi tidak taat aturan berkendara [9]. Diketahui menurut *list publication* bahwa jumlah kendaraan di Indonesia setiap tahunnya meningkat 6,4% pertahun [10], sehingga penting untuk memulai mempersiapkan memberikan solusi seperti konsep *smart* transportasi dan mobilitas berkelanjutan [11]. Maka untuk mendukung *smart transportasi* terkhususnya pada sayap PTA tentunya dilakukan penelitian terlebih dahulu secara pemodelan yang dapat meminimalisir biaya untuk pengaplikasiannya. Penelitian ini secara spesifik bertujuan menganalisis kegagalan awal yang terjadi pada lapisan luar sayap pesawat (skin) dengan menarapkan berbagai orientasi arah serat secara metode laminasi.

METODE

Kriteria memprediksi batas kegagalan dengan membandingkan tegangan atau regangan komposit searah dengan kekuatan yang sesuai secara terpisah, seperti tegangan maksimum dan kriteria regangan maksimum. Kriteria interaktif biasanya dinyatakan dengan polinomial yang melibatkan semua komponen tegangan, seperti kriteria Tsai-Hill dan Tsai-Wu [12]. Selama beberapa dekade terakhir parameter penggunaan kriteria Tsai-Wu telah digunakan oleh peneliti dan desainer di seluruh dunia karena diketahui kriteria kegagalan Tsai-Wu adalah salah satu kriteria kegagalan paling awal untuk bahan anisotropi dengan cara non fenomenologis menggunakan ekspresi tensorial sebagai fungsi kegagalan [13]. Maka pada penelitian ini juga akan menjadikan kriteria Tsai-Wu sebagai parameter dalam melakukan simulasi guna mengetahui kegagalan awal yang terjadi.

Penetapan spesifikasi sayap PTA

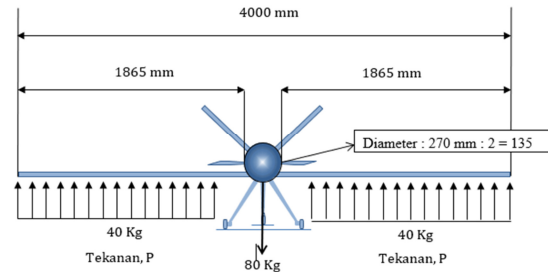
Spesifikasi sayap PTA perlu ditetapkan agar dapat dilakukan desain awal dengan mengaplikasikan beban secara estimasi pemodelan kegagalan material yang digunakan pada sayap PTA dalam hal ini adalah komposit laminasi polimer yang diperkuat serat kontinu. Adapun penetapan estimasi spesifikasi sayap PTA sebagai berikut:

1. Beban angkat total (WTO) : 80 kg
2. Panjang jarak antar ujung pesawat (wing span) : 4 m
3. Panjang pesawat : 1865 m
4. Panjang chord : 0.525 m
5. Penampang sayap (airfoil) yang digunakan : Eppler 214
6. Kecepatan jelajah : 100 km/jam
7. Tekanan sayap : 4.0077 Mpa

Tabel 1. Parameter material sayap

No	Parameter	Besar (satuan)	
		Sekuens 1	Sekuens 2
1	Jumlah lapis lamina	16	
2	Tebal komposit laminasi	2 (mm)	
3	Variasi Orientasi serat	$[0^{\circ}/90^{\circ}]_{8s}$	$[0^{\circ}/+45^{\circ}/-45^{\circ}/90^{\circ}]_{2s}$
4	Bahan lamina	Polimer epoksi epikote 828 diperkuat	
	Sifat-sifat lamina [14]:	Serat karbon Tenax®-E HTS45	
	Modulus elastisitas longitudinal, E_{11}	180 (GPa)	
	Modulus elastisitas transversal, E_{22}	15.82 (GPa)	
	Kekuatan Tarik longitudinal, σ_{11}	3000 (MPa)	
	Kekuatan Tarik transversal, σ_{22}	82.66 (MPa)	
	Poison's ratio, μ_{12}	0.32	
	Poison's ratio, μ_{13}	0.32	
	Poison's ratio, μ_{23}	0.53	

Sebagai perhitungan tekanan yang diberikan pada saat pemodelan simulasi sayap PTA bahwa massa (F) 40 kg dan gravitasinya $9,81 \text{ m/s}^2$ maka tekanan yang terapkan pada sayap pesawat yaitu $= 0,40077 \text{ MPa}$. Adapun bentuk skala pembebanan sayap PTA adalah sebagai berikut:



Gambar 1. Skala pembebanan sayap PTA

Pemodelan sayap menggunakan perangkat lunak

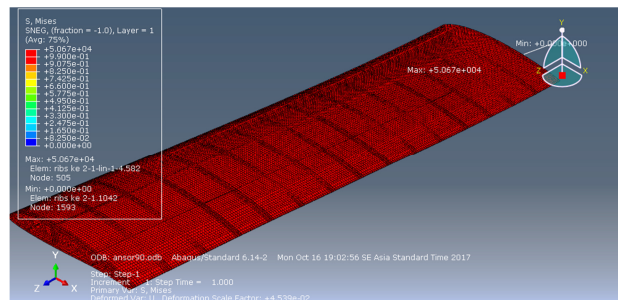
Pemodelan ini menggunakan perangkat lunak Abaqus 2016 *Student Version* dan open source Calculix 2.12. Secara umum, proses pemodelan elemen hingga menggunakan perangkat lunak dibagi kedalam tiga tahap yaitu:

1. *Pre-processing*, pada tahap ini dilakukan pembuatan gambar model, penetapan sifat-sifat material, konstrain (constraint), kondisi batas dan pembebanan, pemilihan mesh dan penge-mesh-an.
2. *Solving*, yaitu proses running program.
3. *Post-processing*, dapat diuraikan sebagai proses menampilkan hasil dan ekstraksi hasil untuk proses lebih lanjut sesuai dengan kebutuhan.

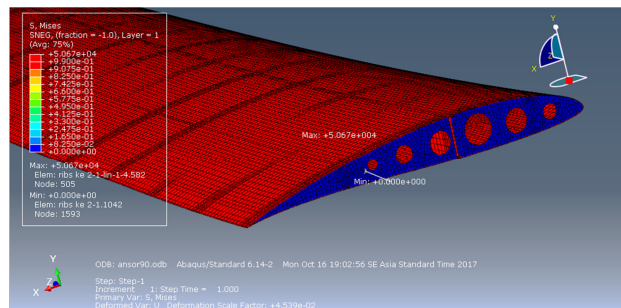
Pre-processing dan *post-processing* pemodelan pada tugas ini dikerjakan menggunakan software Abaqus sedangkan Calculix 2.12 dimanfaatkan untuk proses *solving*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil distribusi Tegangan pada sekuens $[0^\circ/90^\circ]_8$

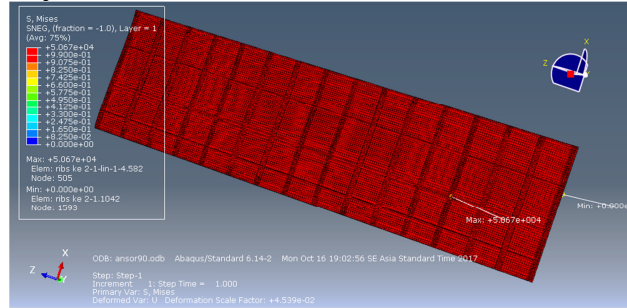


(a)



(b)

Lanjutan

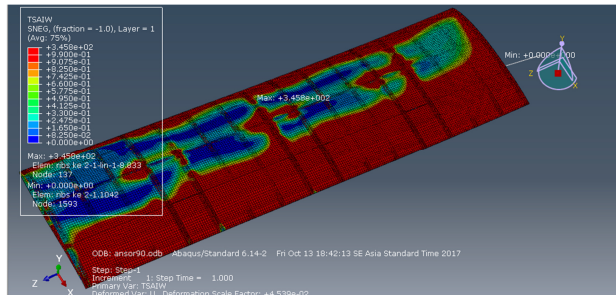


(c)

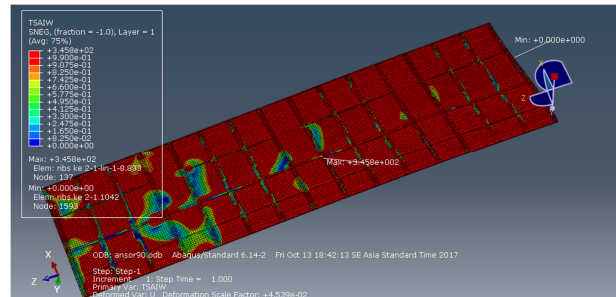
Gambar 2. Hasil simulasi distribusi tegangan pada sayap PTA sekuens 1 $[0^\circ/90^\circ]_{8s}$ (a) daerah atas sayap, (b) daerah tumpuan, (c) daerah bagian bawah.

Gambar 2 adalah hasil dari simulasi distribusi tegangan sayap PTA dengan estimasi ukuran panjang 1865 cm, lebar 0,525 cm, tekanan 0,40077 MPa dan desainnya diambil dari Eppler 214. Pada gambar tersebut dapat dilihat bahwa hasil distribusi tegangan yang terjadi mendefinisikan nilai maksimumnya yaitu $5,067 \times 10^4$ MPa.

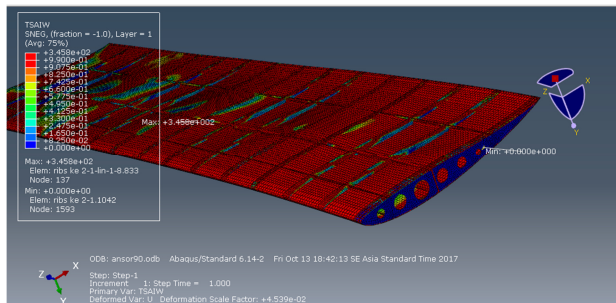
Hasil kegagalan Tsai - Wu pada sekuens 1 $[0^\circ/90^\circ]_{8s}$



(a)



(b)

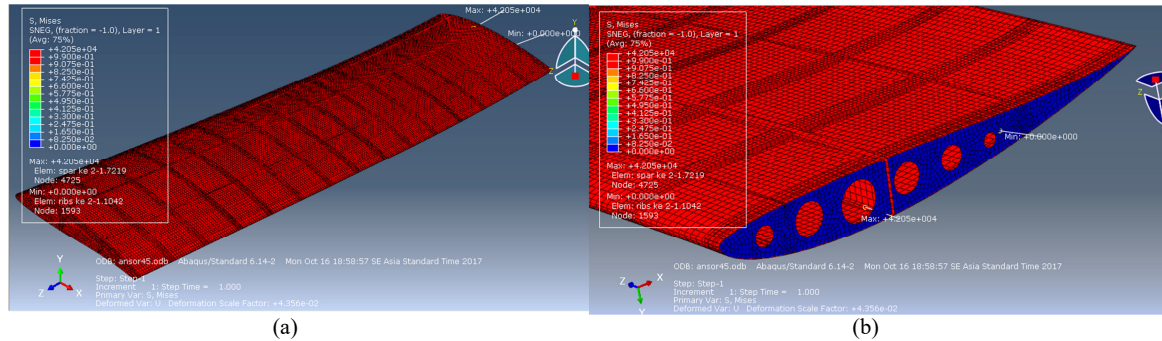


(c)

Gambar 3. Hasil simulasi kegagalan Tsai - Wu sekuens 1 $[0^\circ/90^\circ]_{8s}$ (a) daerah atas sayap, (b) daerah bagian bawah, (c) daerah tumpuan.

Gambar 3 di atas terlihat ada beberapa daerah yang menyatakan belum terjadi kegagalan, akan tetapi ini mendefinisikan bahwa pada hasil simulasi Tsai - Wu sekuens 1 dinyatakan sudah gagal dengan melihat lebih banyak daerah kegagalan yang ada dari pada di bawah nilai maksimum, dan dapat lihat nilai maksimum pada kegagalan Tsai - Wu sekuens 1 yaitu $3,458 \times 10^2$ Mpa.

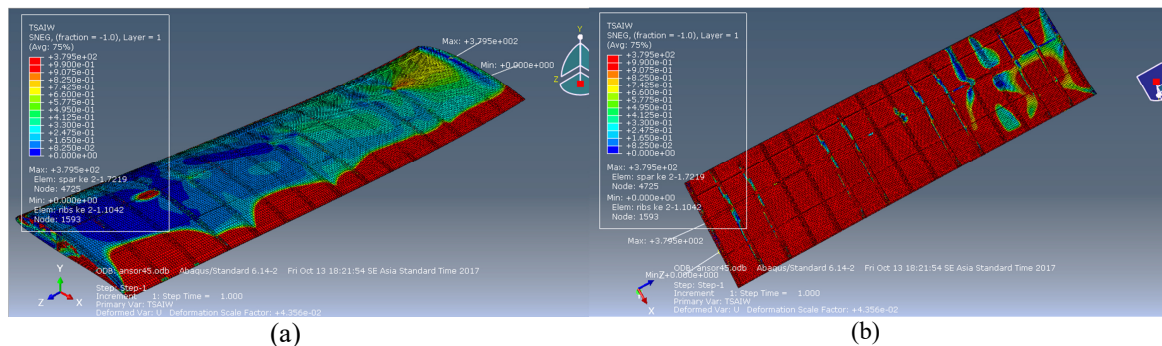
Hasil distribusi Tegangan pada sekuens 2 $[0^\circ/+450/-450/90^\circ]_{2s}$



Gambar 4. Hasil simulasi distribusi tegangan yang terjadi pada sekuens 2 $[0^\circ/+450/-450/90^\circ]_{2s}$ pada (a) tampilan atas dan (b) daerah tampilan bawah tumpuan.

Gambar 4 di atas dapat didefinisikan bahwa hasil simulasi terdistribusi tegangan tersebut dinyatakan sudah melewati nilai maksimum, maka dalam hal ini disimpulkan bahwa material sayap pada hasil distribusi tegangan sekuens 2 tidak dapat digunakan. Akan tetapi pada tampilan bawah sayap pesawat di daerah tumpuan sebagaimana dapat dilihat pada gambar 4b menyatakan bahwa masih batas nilai normal. Adapun nilai maksimum pada distribusi tegangan sekuens 2 yaitu $4,205 \times 10^4$ MPa.:

Hasil kegagalan Tsai – Wu pada sekuens 2 $[0^\circ/+450/-450/90^\circ]_{2s}$



Gambar 5. Hasil simulasi kegagalan Tsai-Wu sekuens 2 $[0^\circ/+450/-450/90^\circ]_{2s}$ pada (a) tampilan atas dan (b) daerah tampilan bawah tumpuan.

Gambar 5 di atas merupakan hasil simulasi kegagalan Tsai – Wu tampilan atas skin sekuens 2 $[0^\circ/+450/-450/90^\circ]_{2s}$ daerah tumpuan sampai pada daerah ujung sayap dinyatakan belum sepenuhnya gagal. Akan tetapi pada skin atas sayap memiliki banyak daerah di bawah nilai maksimum. Adapun hasil nilai maksimum Tsai – Wu yaitu $3,795 \times 10^2$ MPa dan ini dinyatakan tidak dapat digunakan karena melewati nilai maksimum pada kriteria Tsai – Wu. Kriteria kegagalan ini didasarkan pada teori kegagalan total energi regangan dimana kegagalan terjadi jika kondisi dipenuhi dalam lamina atau kegagalan Tsai – Wu terjadi jika salah satu indikator kegagalan mencapai atau melebihi nilai kritis 1 [15].

KESIMPULAN

Hasil analisis yang didapat pada tegangan maksimum yang terjadi sekuens susunan lapisan serat 1 adalah $5,067 \times 10^4$ MPa, lapisan serat 2 adalah $4,205 \times 10^4$ MPa. Disimpulkan dari kedua lapisan tersebut sama – sama mengalami kegagalan tetapi, jika dibandingkan dari keduanya bahwa yang paling optimal pada lapisan luar adalah terdapat pada sekuens lapisan 1 $[0^\circ/90^\circ]_{8s}$. Kemudian untuk penelitian selanjutnya disarankan

memperbesar bentuk pemodelan spar dan stringers agar tekanan yang terjadi pada sayap pesawat tanpa awak tidak melawati nilai kegagalan pada kulit (*skin*) sayap pesawat.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Gupta, T. Afrin, E. Scully, and N. Yodo, "Advances of UAVs toward Future Transportation: The State-of-the-Art, Challenges, and Opportunities," *Futur. Transp.*, vol. 1, no. 2, pp. 326–350, 2021, doi: <https://doi.org/10.3390/futuretransp1020019>.
- [2] S. B. Aktharun and M. S. R. Sekhar, "Design of Unmanned Aerial Vehicles for various wireless applications," *Mater. Today Proc.*, no. xxxx, pp. 1–5, 2021, doi: 10.1016/j.matpr.2021.07.108.
- [3] V. M. Becerra, "Autonomous Control of Unmanned Aerial Vehicles," 2019, doi: 10.3390/electronics8040452.
- [4] Y. Jiang, Q. Wu, G. Zhang, S. Zhu, and W. Xing, "A diversified group teaching optimization algorithm with segment-based fitness strategy for unmanned aerial vehicle route planning," *Expert Syst. Appl.*, vol. 185, no. December 2020, p. 115690, 2021, doi: 10.1016/j.eswa.2021.115690.
- [5] H. S. Saroinsong, V. C. Poekoel, and P. D. Manembu, "Rancang Bangun Wahana Pesawat Tanpa Awak (Fixed Wing) Berbasis Ardupilot," *J. Tek. Elektro dan Komput.*, vol. 7, no. 1, pp. 73–84, 2018, doi: <https://doi.org/10.35793/jtek.7.1.2018.19195>.
- [6] L. Zhu, N. Li, and P. R. N. Childs, "Light-weighting in aerospace component and system design," *Propuls. Power Res.*, vol. 7, no. 2, pp. 103–119, 2018, doi: 10.1016/j.jprr.2018.04.001.
- [7] B. Shen, H. Liu, S. Lv, Z. Li, and W. Cheng, "Acid Aging of CFRP Composite Materials for Solar UAV Structure," vol. 2021, no. 1, 2021.
- [8] F. Tao, X. Liu, H. Du, and W. Yu, "Learning composite constitutive laws via coupling Abaqus and deep neural network," *Compos. Struct.*, vol. 272, pp. 1–10, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2021.114137>.
- [9] J. Tang, A. McNabola, and B. Misstear, "The potential impacts of different traffic management strategies on air pollution and public health for a more sustainable city: A modelling case study from Dublin, Ireland," *Sustain. Cities Soc.*, vol. 60, p. 102229, 2020, doi: 10.1016/j.scs.2020.102229.
- [10] A. D. Limantara, L. D. Krisnawati, S. Winardi, and S. W. Mudjanarko, "Solusi Pengawasan Kebijakan Mengatasi Kemacetan Jalan dan Parkir Kota Berbasis Internet Cerdas," *Semin. Nas. Teknol. dan Rekayasa Inf.*, no. November, pp. 1–6, 2017.
- [11] S. Majumdar, M. M. Subhani, B. Roullier, A. Anjum, and R. Zhu, "Congestion prediction for smart sustainable cities using IoT and machine learning approaches," *Sustain. Cities Soc.*, vol. 64, no. August 2020, p. 102500, 2021, doi: 10.1016/j.scs.2020.102500.
- [12] Y. Tao, H. Chen, K. Yao, H. Lei, Y. Pei, and D. Fang, "Experimental and theoretical studies on inter-fiber failure of unidirectional polymer-matrix composites under different strain rates," *Int. J. Solids Struct.*, vol. 113–114, pp. 37–46, 2017, doi: 10.1016/j.ijstr.2016.11.014.
- [13] S. Li, E. Sitnikova, Y. Liang, and A. S. Kaddour, "The Tsai-Wu failure criterion rationalised in the context of UD composites," *Compos. Part A Appl. Sci. Manuf.*, vol. 102, pp. 207–217, 2017, doi: 10.1016/j.compositesa.2017.08.007.
- [14] Mulyadi, "Modelling of mechanical properties of nano-silica carbon fibre reinforced epoxy composite, Doctorate thesis draft (not approved yet)." 2017.
- [15] N. Nyambeni and B. R. Mabuza, "Considerations of Failure Analysis in a Multi-Layered Composite Structure under Thermomechanical Loading," p. 447, 2018, doi: 10.3390/icem18-05329.