

# PENGARUUH *BIO-MIMETRIC* TULANG TRABEKULAR PADA PENGOPTIMASIAN KOMPARTEMEN BERBENTUK KAPSUL UNTUK *DRONE DELIVERY* DENGAN METODE *GREY RELATIONAL ANALYSIS*

1<sup>st</sup> Fatih Ammar Haidar  
Teknik Industri  
Fakultas Rekayasa Industri  
Bandung, Indonesia  
fatihammr@student.telkomuniversity.ac.id

2<sup>nd</sup> Rino Andias Anugraha  
Teknik Industri  
Fakultas Rekayasa Industri  
Bandung, Indonesia  
rinoandias@student.telkomuniversity.ac.id

3<sup>rd</sup> Teddy Sjafrizal  
Teknik Industri  
Fakultas Rekayasa Industri  
Bandung, Indonesia  
teddysjafrizal@student.telkomuniversity.ac.id

**Abstrak**— Untuk mempercepat pengiriman pasokan medis selama keadaan darurat di daerah terpencil atau sulit diakses, logistik berbasis drone menawarkan solusi yang menjanjikan. Namun, pengiriman berbasis drop menimbulkan tantangan dalam merancang kompartemen penyimpanan tahan benturan. Studi ini bertujuan untuk mengoptimalkan kompartemen berbentuk kapsul yang ringan dan tahan lama dengan menerapkan pendekatan biomimikri yang terinspirasi oleh struktur tulang trabekular. Desain ini dievaluasi melalui simulasi dinamis eksplisit menggunakan Autodesk Nastran 2025. Parameter desain, termasuk ketebalan dan lebar tabung struktur multiskala yang terinspirasi oleh trabekular, dianalisis menggunakan metode Taguchi dan Grey Relational Analysis (GRA) untuk menangani optimasi multi-respons untuk nilai *displacemet* dan *strain*. Hasil menunjukkan bahwa konfigurasi optimal dicapai pada ketebalan 2 mm dan lebar tabung 21,5 mm, menghasilkan *displacemet* dan *strain* terendah, dengan Nilai Relasional Abu-abu (GRG) tertinggi sebesar 0,78. Temuan ini memberikan dasar untuk mengembangkan kompartemen drone yang efisien, aman, dan tahan benturan untuk mendukung logistik medis di medan ekstrem.

**Kata Kunci**— Biomimikri, Struktur Tulang Trabekular, Kompartemen Drone, *Grey Relational Analysis*, *Drop Test Simulation*, Optimasi Desain.

## I. PENDAHULUAN

Pengantaran barang menggunakan drone atau UAV (*unmanned aerial vehicle*) sudah dimulai sejak satu dekade yang lalu dan terus berkembang. Inovasi dalam perkembangan teknologi, memacu *drone* untuk bisa memiliki beragam aplikasi, mulai dari pertambangan, keamanan, fotografi udara, hingga keadaan darurat [1]. Di Indonesia, sekitar 51% daratan Indonesia masih tertutup hutan lebat pada tahun 2013 [2] dan kebutuhan untuk intervensi cepat di medan seperti itu telah membuat *drone* dengan aksesibilitasnya yang luas mampu menjangkau area yang tidak dapat diakses atau berbahaya bagi akses manusia. [3]. Diperkuat, Penggunaan drone juga menghadapi tantangan teknis tersendiri, khususnya dalam proses pengiriman barang

tanpa kontak langsung dengan tanah. Medan yang tertutup kanopi hutan dengan kerapatan hingga 86,9% [4]. menghalangi *drone* untuk melakukan pendaratan langsung. Oleh karena itu, metode yang paling sesuai adalah teknik *drop delivery*, yaitu melepaskan barang dari udara ke lokasi target.

Untuk mendukung metode ini, diperlukan desain kompartemen pengangkut barang yang mampu menahan benturan saat jatuh dari ketinggian tanpa merusak isi di dalamnya. Kompartemen berbentuk kapsul menjadi solusi desain yang banyak dikembangkan karena bentuknya yang aerodinamis dan kapasitas perlindungan yang baik terhadap benturan. Bentuk kapsul memiliki permukaan kontur halus dan simetri aksial yang mampu mengurangi gaya hambat (*drag force*) dan turbulensi saat melayang atau jatuh di udara, sehingga menghasilkan pergerakan yang lebih stabil dan terarah menuju target [5].

Agar proses *drop delivery* ini efektif, kompartemen harus memiliki karakteristik mekanik yang mampu menyerap energi tumbukan secara efisien, ringan, dan tetap mampu menjaga integritas barang yang dibawa. Salah satu pendekatan desain struktural yang relevan adalah penggunaan struktur ber dinding tipis (*thin-walled structure*) yang telah banyak diterapkan dalam industri otomotif dan kedirgantaraan karena kemampuannya dalam menyerap energi secara optimal.

Pendekatan biomimikri yakni meniru desain alami untuk kebutuhan teknik dapat diadopsi untuk meningkatkan efisiensi struktur penyerapan energi. Dalam hal ini, struktur tulang trabekular, yang ditemukan dalam tulang spons manusia, dikenal memiliki struktur berongga multisel dengan geometri kompleks yang terbukti efektif dalam menyebarkan gaya secara merata serta menyerap energi dari tumbukan. Struktur ini mampu menghasilkan performa penyerapan energi yang lebih tinggi dibandingkan struktur konvensional seperti *honeycomb* dan *re-entrant auxetics*, berkat mekanisme *buckling* progresif dan distribusi gaya yang optimal di seluruh jaringan trabekular. Dengan membentuk

struktur seluler biomimetik berbasis tulang trabekular melalui pendekatan Voronoi 3D printing, mereka berhasil mengembangkan unit sel dengan strain energy density tinggi serta daya tahan tumbukan yang unggul [6].

Dengan mengadaptasi struktur multisel tulang trabekular, kompartemen pengangkut dapat dirancang agar memiliki *force strength* yang tinggi untuk meredam tumbukan dan mencegah kerusakan pada peralatan medis di dalamnya. Optimalisasi struktur ini juga memungkinkan dilakukannya simulasi dan eksperimen *drop test* guna memastikan kinerjanya dalam kondisi nyata. Penelitian ini diarahkan untuk merancang dan menganalisis kompartemen penyimpanan berbasis struktur tulang trabekular multisel berbentuk kapsul. Fokus utama adalah mengevaluasi kemampuan penyerapan energinya saat diuji melalui simulasi *drop test*, sehingga dapat mendukung upaya evakuasi dan pertolongan medis dalam medan ekstrem tanpa membahayakan isi pengiriman.

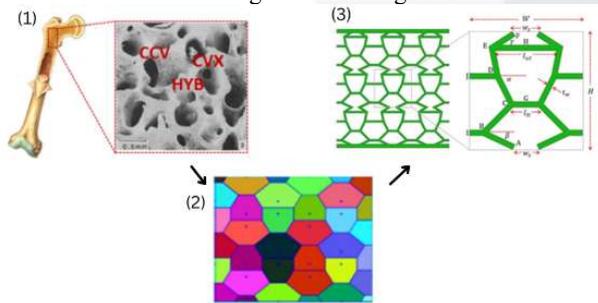
## II. KAJIAN TEORI

### A. Tantangan Pengiriman Drone dan Dampaknya

Sistem pengiriman *drone* telah muncul sebagai solusi yang menjanjikan untuk menjangkau daerah-daerah terpencil dan sulit dijangkau, terutama dalam situasi darurat atau bencana. Namun, pengiriman melalui udara melalui teknik penerjunan menghadirkan tantangan signifikan terkait gaya tumbukan yang dialami saat kontak dengan tanah. Untuk memastikan keamanan dan integritas muatan terutama pasokan yang rapuh atau penting seperti peralatan medis, kompartemen pelindung harus dioptimalkan secara struktural untuk menyerap guncangan dan meminimalkan kerusakan selama peristiwa tumbukan.

### B. Biomimikri dan Struktur Tulang Trabekular

Pengembangan biomimikri sebagai solusi potensial untuk keberlanjutan telah lama diakui [7]. Biomimikri merupakan ilmu terapan yang berasal dari studi teori atau konsep alam, penyelidikan kehidupan biologis, kondisi lingkungan, dan mekanisme adaptasi. Salah satu inspirasi fungsional yang diambil dari tulang trabekular terletak pada kemampuannya untuk menunjukkan struktur berongga namun kokoh, kuat, dan ringan. Konsep ini diilustrasikan dalam Gambar 1, yang menyajikan perkembangan struktur multi-sel yang dimodelkan berdasarkan geometri tulang trabekular.



GAMBAR 1

Perancangan struktur multisel dari tulang trabekular: (1) Struktur tulang trabekular dengan struktur pelat sel tertutup dari tulang trabekular, yang terdiri dari cekung (CCV), cembung (CVX), dan hibrida (HYB) [6], (2) Hasil dari memimikri struktur tulang trabekular dengan voronoi diagram [6], (3) Hasil dari struktur multi sel yang menyerupai struktur tulang menggunakan voronoi diagram [6].

Biomimikri mengacu pada desain dan produksi material, struktur, dan sistem yang terinspirasi oleh alam. Dalam konteks ini, struktur tulang trabekular, yang dicirikan oleh konfigurasi berpori dan menyerupai kisi, menawarkan rasio kekuatan terhadap berat dan kemampuan penyerapan energi yang luar biasa. Atribut-atribut ini menjadikan desain trabekular cocok untuk aplikasi yang membutuhkan komponen ringan namun tahan benturan. Adaptasi geometri trabekular ke dalam struktur rekayasa telah menunjukkan hasil yang menjanjikan dalam meningkatkan kinerja mekanis dalam kondisi tabrakan atau jatuh.

## III. METODE

### A. Grey Relational Analysis

Metode ini dianggap sangat efektif dalam menyelesaikan permasalahan multivariabel yang kompleks, terutama yang melibatkan faktor-faktor yang saling terkait dan sulit dijelaskan menggunakan pendekatan statistik konvensional. Berikut ini adalah prosedur untuk melakukan *Grey Relational Analysis* (GRA).

#### 1) Gray Relational Generation

Proses ini mengubah data asli menjadi bentuk non-dimensi dalam rentang 0 hingga 1 [8]. Rumus yang digunakan untuk menormalkan data asli bervariasi tergantung pada sifat data respons dan tujuan optimasi.

##### a) Large is better

$$Z_{ij} = \frac{y_{ij} - \min(y_{ij})}{\max(y_{ij}) - \min(y_{ij})} \quad (1)$$

##### b) Smaller is better

$$Z_{ij} = \frac{\max(y_{ij}) - y_{ij}}{\max(y_{ij}) - \min(y_{ij})} \quad (2)$$

##### c) Nominal is best

$$Z_{ij} = \frac{(y_{ij} - \text{Target}) - \min(|y_{ij} - \text{Target}|)}{\max(|y_{ij} - \text{Target}|) - \min(|y_{ij} - \text{Target}|)} \quad (3)$$

#### 2) Gray Relational Coefficient

Proses ini bertujuan untuk mengukur tingkat kedekatan atau korelasi antara data eksperimen aktual dan data referensi ideal. Dengan menghitung *Grey Relational Coefficient* (GRC), Para peneliti dapat mengevaluasi seberapa dekat setiap percobaan mendekati kondisi optimal yang diinginkan. Koefisien relasional ini memainkan peran penting dalam merumuskan nilai akhir, yang dikenal sebagai *Grey Relational Grade* (GRG), yang berfungsi sebagai dasar untuk mengidentifikasi kombinasi parameter yang paling optimal dalam konteks optimasi multi-respons [8]. *Grey Relational Coefficient* dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\gamma(j) = \frac{\Delta \min + \epsilon \Delta \max}{\Delta_{0j} + \epsilon \Delta \max} \quad (4)$$

#### 3) Gray Relational Grade

*Grey Relational Grade* (GRG) dihitung sebagai rata-rata dari *Grey Relational Coefficients* (GRC) untuk setiap

respons. GRG nilai biasanya berkisar antara 0 dan 1. GRG yang lebih tinggi menunjukkan korelasi yang lebih kuat antara kondisi eksperimen dan kondisi referensi ideal, yang menunjukkan bahwa eksperimen yang sesuai lebih dekat dengan kondisi optimal [9]. *Grey relational grade* dapat ditentukan menggunakan persamaan berikut:

$$\bar{\gamma} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^m \gamma_{ij} \quad (5)$$

#### B. S/N Ratio

Desain eksperimen Taguchi mengurangi biaya, meningkatkan kualitas, dan menyediakan solusi desain yang tangguh. Keunggulan metode Taguchi dibandingkan metode lain adalah banyak faktor dapat dioptimalkan secara bersamaan dan lebih banyak. Taguchi mengusulkan penggunaan *Signal-to-Noise* (S/N) untuk mengukur karakteristik kualitas yang menyimpang dari parameter yang dirancang. Informasi kuantitatif dapat diekstraksi dari lebih sedikit percobaan [10][11]. *Signal-to-Noise* (S/N) *ratio analysis* dilakukan untuk mengidentifikasi faktor-faktor paling signifikan dan levelnya yang memengaruhi respons atau keluaran, sekaligus memperhitungkan dampak faktor-faktor noise terhadap variasi yang diamati. Pemilihan *Orthogonal Array* (OA) bergantung pada jumlah faktor dan levelnya. OA ditentukan menggunakan persamaan berikut:

$$La(b^c) \quad (6)$$

### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam studi ini, data dikumpulkan melalui eksperimen uji jatuh dengan melepaskan kapsul dari ketinggian yang telah ditentukan. Data yang dihasilkan, yang berasal dari kombinasi berdasarkan *ortogonal array* terpilih, kemudian digunakan sebagai input untuk menghasilkan pengaturan skenario parameter dan level yang diterapkan dalam proses simulasi. Data input terdiri dari nilai level spesifik untuk setiap faktor. Faktor yang digunakan dalam studi ini adalah parameter struktural model multisel yang terinspirasi oleh geometri tulang trabekular. Eksperimen dilakukan dalam bentuk simulasi uji jatuh menggunakan model simulasi dinamis eksplisit untuk mengamati respons struktural yang dihasilkan dari kecepatan impact kompartemen berbentuk kapsul yang dijatuhkan dari ketinggian 45 meter. Pengujian dilakukan berdasarkan parameter dan konfigurasi desain yang telah ditentukan. Sebanyak sembilan simulasi eksperimental dilakukan sesuai dengan skenario yang diuraikan dalam matriks ortogonal, yang memungkinkan evaluasi sistematis pengaruh berbagai kombinasi level faktor terhadap kinerja kompartemen dalam kondisi *impact*.

#### A. Pemilihan Parameter dan Level

Dalam studi ini, pemilihan parameter desain dan tingkatannya masing-masing didasarkan pada karakteristik geometris struktur multisel biomimetik yang terinspirasi oleh tulang trabekular. Dua parameter kunci dipilih karena pengaruhnya yang signifikan terhadap kinerja mekanis selama impact: lebar tabung dan ketebalan dinding sel. Spesifikasi detail untuk setiap faktor disajikan dalam Table 1.

TABEL 1  
Parameter dan Level

Paramete	Level 1	Level 2	Level 3
Cell wall thickness (mm)	0,75 mm	1 mm	2 mm
Tube width	 15,8 mm	 18,7 mm	 21,5 mm

Berdasarkan Tabel 1, dua faktor dengan masing-masing tiga level digunakan dalam penelitian eksperimen ini.

#### B. Pengumpulan Data dan Pengolahan Data

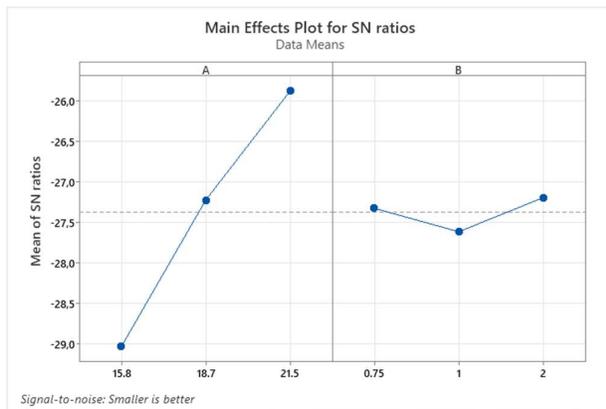
Hasil percobaan yang dilakukan menggunakan Autodesk Nastran 2025 disajikan pada Tabel 2.

TABEL 2  
Hasil Eksperimen

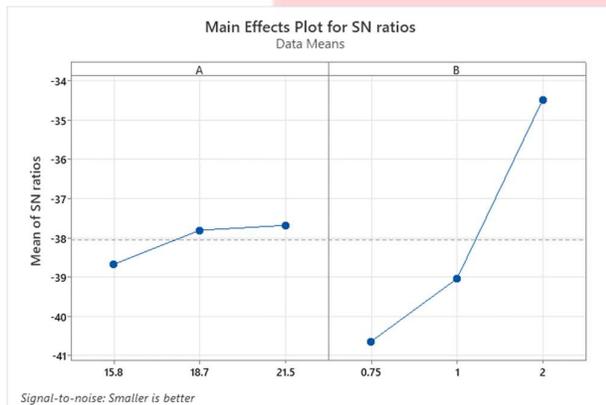
Run	Faktor 1	Faktor 2	Response 1	Response 2
	A: width (mm)	B: thickness (mm)	Strain (%)	Displacement (mm)
1	15,8	0,75	123.1	26.77
2	15,8	1	98.4	29.75
3	15,8	2	52.2	28.59
4	18,7	0,75	100	22.43
5	18,7	1	90.4	23.79
6	18,7	2	51.8	22.84
7	21,5	0,75	101.1	20.91
8	21,5	1	80.6	19.58
9	21,5	2	59.3	18.57

Berdasarkan hasil eksperimen yang diperoleh dari sembilan skenario pengujian, nilai *displacemet* dan *strain* dievaluasi. *Displacemet* maksimum yang tercatat adalah 29,75 mm, sedangkan *displacemet* minimum adalah 18,57 mm. Untuk *strain*, nilai maksimum mencapai 123,1%, dan minimum adalah 51,8%. Hasil ini diperoleh melalui simulasi uji jatuh menggunakan Autodesk Inventor Nastran dengan metode analisis Dinamis Eksplisit. Simulasi menghasilkan data yang konsisten untuk gaya reaksi, *displacemet*, dan *strain*. *Displacemet* terendah dicapai dengan lebar tabung 21,5 mm (Level 3), dan demikian pula, *strain* terendah juga diamati pada konfigurasi lebar 21,5 mm (Level 3), yang menunjukkan efektivitas pengaturan ini dalam meminimalkan deformasi struktural selama benturan.

Dari hasil simulasi, diperoleh data *displacemet* dan *strain*. Data ini kemudian digunakan sebagai input untuk menentukan kombinasi parameter optimal melalui penerapan metode Taguchi dan *Grey Relational Analysis*.



GAMBAR 2  
Main Effect Plot S/N Ratio Displacement



GAMBAR 3  
Main Effect Plot S/N Ratio Strain

Berdasarkan Gambar 2 dan Gambar 3, dapat diidentifikasi bahwa pengaturan faktor optimal dicapai pada Level 3 untuk kedua parameter: lebar tabung 21,5 mm dan tebal dinding 2 mm. Kombinasi optimal ini selanjutnya divisualisasikan melalui representasi grafis untuk mengidentifikasi kondisi optimal untuk setiap faktor, berdasarkan karakteristik kualitas yang dipilih. Dalam studi ini, “*Smaller is Better*” kriteria diadopsi, sehingga tingkat optimal untuk setiap faktor ditentukan berdasarkan nilai tertinggi *Signal-to-Noise (S/N) Ratio*.

Tabel 4 menyajikan data eksperimen yang telah dinormalisasi berdasarkan kriteria spesifik untuk setiap respons. Nilai normalisasi yang lebih tinggi menunjukkan kinerja sistem yang lebih baik, dengan nilai optimal dalam proses normalisasi didefinisikan sebagai 1.

TABEL 3  
Hasil Grey Relational Generational Calculation

Run	Experimental Data		GRG	
	Displacement (mm)	Strain (%)	Displacement (mm)	Strain (%)
1	249.93	341.5	0.27	0.00
2	233.08	104.3	0.00	0.35
3	345.98	110.9	0.10	0.99
4	249.93	180.9	0.65	0.32
5	249.94	173.62	0.53	0.46
6	222.47	93.1	0.62	1.00
7	249.93	154.64	0.79	0.31

TABEL 4

Hasil Grey Relational Generational Calculation (lanjutan).

8	249.93	197	0.91	0.60
9	234.82	134.68	1.00	0.89

Tahap kedua dalam metode Analisis Relasional Grey bertujuan untuk mengidentifikasi tingkat hubungan antara data eksperimen yang diinginkan dan hasil normalisasi aktual. Dalam studi ini, koefisien pembeda yang digunakan dalam perhitungan Koefisien Relasional Grey (GRC) ditetapkan sebesar 0,5.

TABEL 5

Hasil Grey Relational Coefficient Calculation

Run	Experimental Data		GRC	
	Displacement (mm)	Strain (%)	Displacement (mm)	Strain (%)
1	26.77	123.1	0.41	0.33
2	29.75	98.4	0.33	0.43
3	28.59	52.2	0.36	0.99
4	22.43	100	0.59	0.43
5	23.79	90.4	0.52	0.48
6	22.84	51.8	0.57	1.00
7	20.91	101.1	0.70	0.42
8	19.58	80.6	0.85	0.55
9	18.57	59.3	1.00	0.83

Tahap akhir dari metode Analisis Relasional Grey melibatkan agregasi nilai Koefisien Relasional Grey dari setiap respons melalui pembobotan, untuk mendapatkan skor keseluruhan yang dikenal sebagai Nilai Relasional Grey (GRG). Nilai GRG yang lebih tinggi menunjukkan tingkat kedekatan yang lebih tinggi dengan kondisi eksperimen ideal. Tabel 5 menyajikan peringkat setiap kombinasi eksperimen berdasarkan nilai GRG masing-masing.

TABEL 6

Hasil Grey Relational Grade Calculation

Run	GRG	Rank
1	0.37	9
2	0.38	8
3	0.67	4
4	0.51	6
5	0.50	7
6	0.78	2
7	0.56	5
8	0.70	3
9	0.91	1

Nilai Grey Relational Grade (GRG) tertinggi sesuai dengan konfigurasi peringkat teratas. Sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 6, Eksperimen 9 mencapai skor GRG tertinggi, yang menunjukkan bahwa kombinasi parameter yang digunakan dalam uji coba ini menghasilkan kinerja paling optimal. Temuan ini menunjukkan bahwa Eksperimen 9 merupakan konfigurasi paling efektif untuk meminimalkan *displacement* dan *strain* secara bersamaan. Parameter pemesinan untuk

eksperimen ini terdiri dari lebar tabung 21,5 mm dan ketebalan dinding multisel 2 mm, yang menghasilkan *displacement* sebesar 18,57 mm dan *strain* sebesar 59,3%.

## V. KESIMPULAN

Melalui penelitian ini, data eksperimen diolah dengan menggunakan metode Taguchi dan *Grey Relational Analysis* pendekatan untuk mengoptimalkan parameter *displacement* dan *strain* secara bersamaan di pengaruh *bio-mimetric* struktur tulang trabekular pada pengoptimasian kompartemen berbentuk kapsul untuk *drone delivery*. Berdasarkan hasil analisis, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

- i. Hasil pengolahan data menunjukkan bahwa kombinasi optimal parameter struktural multiseluler, ketika diterapkan pada kompartemen berbentuk kapsul dengan desain dinding multisel, terdiri dari lebar tabung 21,5 mm dan tebal dinding multisel 2 mm. Konfigurasi ini menghasilkan nilai *displacement* 18,57 mm dan nilai *strain* 59,3%.

## REFERENSI

- [1] P. Sanjana and M. Prathilothamai, "Drone Design for First Aid Kit Delivery in Emergency Situation," in *2020 6th International Conference on Advanced Computing and Communication Systems, ICACCS 2020*, 2020. doi: 10.1109/ICACCS48705.2020.9074487.
- [2] D. Djaenudin, R. Oktaviani, S. Hartoyo, and H. Dwiprabowo, "Analysis of Probability for Achieving the Reduction of Deforestation Rate: Forest Transition Theory Approach," *Jurnal Penelitian Sosial dan Ekonomi Kehutanan Vol.*, vol. 15, no. 1, 2018.
- [3] A. Nina, "EFEKTIFITAS DRONE SEBAGAI MEDIA PENGINDERAAN JAUH UNTUK PEMANTAUAN KESEHATAN TANAMAN," *Jurnal Technopreneur (JTech)*, vol. 11, no. 2, 2023, doi: 10.30869/jtech.v11i2.1186.
- [4] M. Muhammad, T. Teguh, Ismail, W. Setyawan, W. Enu, and I. Gofar, "Analisis Vegetasi Pohon Di Hutan Hujan Tropik Harapan, Jambi," *Jurnal Ilmu-Ilmu Hayati. LIPI*, vol. 10, no. 2, 2010.
- [5] J. Vachálek, M. Habara, and D. Nyeky, "Design and Basic Aerodynamic Analysis of a Drone-Suspended Transport Container for Safe Biological Sample Transport," *Designs (Basel)*, vol. 9, no. 1, Feb. 2025, doi: 10.3390/designs9010020.
- [6] A. Ghazlan, T. Ngo, T. Nguyen, S. Linforth, and T. Van Le, "Uncovering a high-performance bio-mimetic cellular structure from trabecular bone," *Sci Rep*, vol. 10, no. 1, 2020, doi: 10.1038/s41598-020-70536-7.
- [7] R. Raman, A. Sreenivasan, M. Suresh, and P. Nedungadi, "Mapping biomimicry research to sustainable development goals," *Sci Rep*, vol. 14, no. 1, Dec. 2024, doi: 10.1038/s41598-024-69230-9.
- [8] P. A. Sylajakumari, R. Ramakrishnasamy, and G. Palaniappan, "Taguchi grey relational analysis for multi-response optimization of wear in co-continuous composite," *Materials*, vol. 11, no. 9, 2018, doi: 10.3390/ma11091743.
- [9] Y. C. Chang, C. M. Chang, L. H. Chen, and T. J. Chan, "Evaluating image quality using consistent grey relational grade," *Engineering Computations (Swansea, Wales)*, vol. 31, no. 2, 2014, doi: 10.1108/EC-01-2013-0016.
- [10] R. A. Anugraha, M. Y. Wiraditya, M. Iqbal, and N. M. Darmawan, "Application of Taguchi Method for Optimization of Parameter in Improving Soybean Cracking Process on Dry Process of tempeh Production," in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2019. doi: 10.1088/1757-899X/528/1/012070.
- [11] L. Li, J. Lv, W. Chen, W. Wang, X. Zhang, and G. Xie, "Application of Taguchi Method in the Optimization of Swimming Capability for Robotic Fish," *Int J Adv Robot Syst*, vol. 13, no. 3, 2016, doi: 10.5772/64039.