

# DESAIN DAN ANALISIS STRUKTUR *DRONE* BERBAHAN ALUMINIUM UNTUK PEMANTAUAN MELALUI JALUR UDARA DENGAN KRITERIA DEFLEKSI

<sup>1</sup>Muhammad Ikhsan, <sup>2</sup>Indra Permana, <sup>3</sup>Riza Arif Pratama, <sup>4</sup>Sahid Bayu Setiajit, <sup>5</sup>Sriyanto

<sup>1,2,3,4,5</sup> Teknologi Pemeliharaan Pesawat/Teknik, Universitas Tunas Pembangunan Surakarta

## Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis struktur pesawat tanpa awak (*drone*) yang akan digunakan untuk pengambilan gambar melalui pantauan udara. Struktur yang akan dianalisis yaitu bagian lengan yang berfungsi sebagai tempat pemasangan motor listrik dan propeller. Gaya angkat yang dihasilkan oleh motor listrik dan propeller menyebabkan struktur lengan tersebut mengalami defleksi sehingga akan memengaruhi arah gaya angkat dan mengurangi efektivitas gaya angkat. Perhitungan defleksi struktur dilakukan dengan pendekatan empiris, dimana slope (kemiringan) dan deformation (defleksi) dihitung dengan menggunakan distribusi internal bending moment sepanjang struktur lengan *drone*. Tiga jenis penampang struktur lengan yang dianalisis yaitu penampang plat datar, penampang berbentuk U (*U-channel*), dan penampang berbentuk kotak (*Square-channel*). Berdasarkan hasil analisis, diperoleh bahwa penampang plat datar memiliki berat 13,55 gram dan memberikan defleksi 4,38 mm. Penampang *U-channel* memiliki berat 13,35 gram dan defleksi 0,12 mm. Sedangkan penampang *Square-channel* memiliki berat 13,02 gram dan defleksi 0,06 mm. Dari ketiga jenis penampang tersebut, penampang berbentuk kotak (*Square-channel*) dipilih sebagai penampang terbaik karena dapat memberikan defleksi yang lebih kecil dengan berat yang hampir sama.

**Kata kunci:** *drone*, analisis struktur, momen inersia, defleksi.

## Abstract

The purpose of this research is to obtain an analysis on the structure of unmanned aerial vehicle (*drone*) that will be used for surveillance. The arm of the *drone*, where the electrical motor and propeller are installed, will be analyzed. The lift produced by the electrical motor and propeller cause the arm to be deflected which, in turn, change the direction of the lift and make the lift less effective. Calculation of deflection of arm structure is conducted by empirical approach, where slope and deformation are predicted using internal bending moment distribution in the spanwise direction of the arm. Three types of cross-sections of the arm are considered, namely flat plate cross-section, *U-channel* cross-section, and *Square-channel* cross-section. Based on the analysis result, the weight and deflection of the flat plate cross-section are 13,55 gram and 4,38 mm, respectively. The weight and deflection of *U-channel* cross-section are 13,35 gram and 0,12 mm, respectively. The weight and deflection of *Square-channel* cross-section are 13,02 gram and 0,06 mm, respectively. From these three cross-sections, *Square-channel* cross-section is selected to be the best cross-section because it can provide smaller deflection with approximately the same weight.

**Keywords:** *drone*, structure analysis, moment of inertia, deflection.

## Pendahuluan

Teknologi merupakan suatu rancangan langkah instrumental untuk memperkecil keraguan antara sebab akibat dalam mencapai sebuah hasil yang diharapkan (Darmawan, 2015). Salah satu teknologi yang saat ini telah banyak dikembangkan dan digunakan yaitu *drone*. *Drone* merupakan pesawat tanpa awak yang dikendalikan menggunakan *remote* dari jarak jauh. Pada awal perkembangannya, *drone* lebih banyak digunakan sebagai alat mata-mata militer. Namun sekarang, *drone* sudah banyak digunakan untuk berbagai kebutuhan sipil, seperti bidang bisnis, industri, dan logistik. Beberapa contoh penerapan *drone* seperti pemadam kebakaran, pengawasan infrastruktur, dan pengiriman paket (Suroso, 2017). *Drone* juga sangat membantu dalam menjangkau lokasi atau daerah yang sulit dijangkau dan dipantau manusia.

Salah satu pemanfaatan *drone* yang sudah mulai banyak diterapkan yaitu sebagai *surveillance* atau

<sup>1</sup>Email Address: [mr.ikhsanmuhammad@lecture.utp.ac.id](mailto:mr.ikhsanmuhammad@lecture.utp.ac.id)  
Received 30 April 2022, Available Online 30 Juli 2022

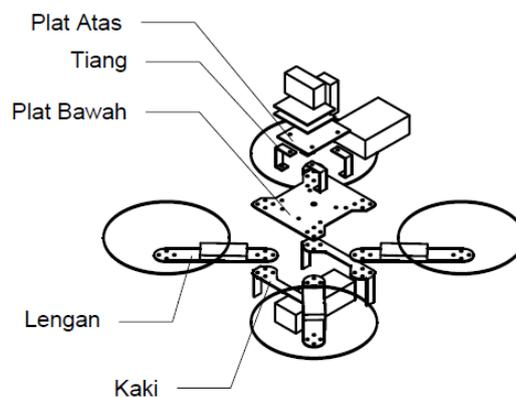
alat untuk pemantauan area melalui udara. Sebagai contoh, pemantauan udara dapat dimanfaatkan untuk meningkatkan keamanan pada daerah terluar dan terpencil (Ondieki dkk., 2017). Pemantauan area menggunakan drone sangat bermanfaat karena dapat mencakup area yang luas terlebih lagi jika dilengkapi dengan kamera berkualitas tinggi (Budiharto dkk., 2021). Hal tersebut diharapkan dapat memberikan hasil survei atau pantauan area yang luas dalam waktu yang relatif singkat (WingtraOne, n.d.).

Dalam merancang suatu *drone*, ada berbagai aspek teknis yang perlu dipertimbangkan. Ditinjau dari jenis perangkat elektronik yang digunakan, drone dapat mencapai performa yang tinggi dengan cara memilih motor listrik, kapasitas baterai, berat komponen, serta efisiensi *propeller* yang sesuai (Tytrobotics, 2021). Ditinjau dari sudut pandang struktur rangka drone, beberapa aspek yang perlu dipertimbangkan yaitu besarnya tegangan maksimum (*maximum stress*) serta frekuensi pribadi struktur lengan dan kaki drone baik pada saat terbang maupun saat mendarat (Setiawan dkk., 2015). Selain itu, besarnya kekakuan struktur lengan *drone* juga perlu dipertimbangkan agar dapat menjaga arah gaya angkat *drone* tetap ke arah atas. Kekakuan struktur ini dapat ditunjukkan oleh besarnya defleksi yang terjadi pada struktur ketika menerima beban.

Struktur lengan *drone*, yang merupakan tempat pemasangan motor listrik dan *propeller*, harus mampu menerima dan menyalurkan gaya angkat yang dihasilkan oleh motor listrik dan *propeller* agar *drone* mampu terbang sebagaimana fungsinya. Struktur lengan harus ringan dan memiliki kekakuan (*stiffness*) yang mencukupi untuk menjaga arah gaya angkat tetap sejajar ke arah atas *drone*. Struktur lengan yang kurang kaku dapat mengalami defleksi yang besar ketika menerima beban (seperti gaya angkat *drone*) dan mengakibatkan arah gaya angkat menjadi berubah sehingga sebagian gaya angkat tersebut tidak termanfaatkan dengan baik (terbuang).

Struktur lengan *drone* yang kaku dan tetap ringan dapat diperoleh dengan cara mengubah-ubah bentuk penampang serta pemilihan material yang sesuai. Pada penelitian ini, tiga jenis penampang struktur lengan akan dianalisis, yaitu penampang berbentuk plat datar (*flat plate cross-section*), penampang berbentuk huruf U (*U-channel cross-section*), dan penampang berbentuk kotak (*Square-channel cross-section*). Sedangkan jenis material yang digunakan adalah material aluminium. Besarnya defleksi struktur dihitung berdasarkan besarnya beban internal yang dialami struktur lengan *drone* (Hibbeler, 2001).

Hasil dari penelitian ini dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan untuk perancangan struktur rangka *drone*. Penelitian ini diharapkan menjadi awal mula pengembangan *drone* untuk kebutuhan *surveillance* maupun kebutuhan-kebutuhan lainnya di lingkungan Universitas Tunas Pembangunan Surakarta. Adapun rancangan awal *drone* yang akan dibuat, yang diberi nama DTU1, dapat dilihat pada gambar di bawah ini.

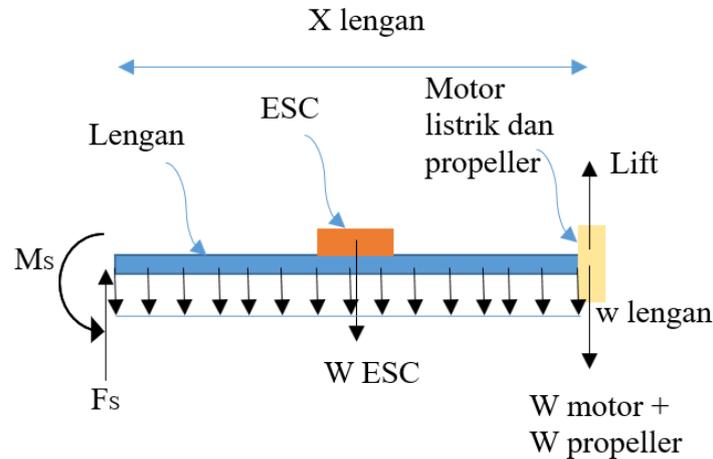


**Gambar 1. Gambar perakitan rangka *drone* DTU1**

## Tinjauan Pustaka dan Pengembangan Hipotesis

### Diagram Benda Bebas

Diagram benda bebas diperlukan untuk menunjukkan gaya-gaya yang terlibat baik besaran maupun arahnya. Pada penelitian ini, struktur yang akan dianalisis yaitu struktur lengan drone yang menjadi tempat pemasangan ESC (*Electronic Speed Controller*), motor listrik, dan *propeller* seperti yang diilustrasikan pada gambar di bawah ini.



**Gambar 2. Diagram Benda Bebas**

#### Keterangan:

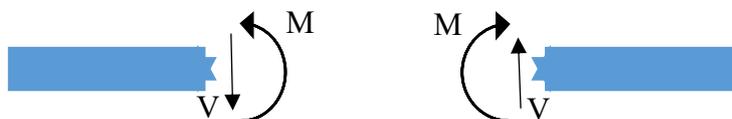
Ms	= Bending moment reaksi pada tumpuan ( <i>support</i> )
Fs	= Gaya reaksi pada tumpuan ( <i>support</i> )
W ESC	= Berat terpusat dari ESC ( <i>Electronic Speed Controller</i> )
W motor + W propeller	= Berat terpusat dari motor listrik dan propeller
w lengan	= Berat terdistribusi dari struktur lengan <i>drone</i>
X lengan	= Panjang struktur lengan <i>drone</i>
Lift	= Gaya angkat pada tiap lengan

Berdasarkan diagram benda bebas tersebut, gaya ( $F_s$ ) dan bending moment ( $M_s$ ) pada tumpuan dapat diperoleh dengan persamaan kesetimbangan sebagai berikut:

$$\sum F = 0 \quad \text{dan} \quad \sum M = 0 \quad \dots (1)$$

### Beban Internal

Beban internal adalah gaya dalam yang dialami oleh struktur lengan *drone* mulai dari bagian awal (tumpuan) hingga bagian akhir (tempat motor dan *propeller*). Pada penelitian ini, gaya dalam yang dipertimbangkan adalah gaya dalam internal (*internal shear force*) dan *internal bending moment*. Persamaan yang digunakan sama seperti persamaan (1), namun penggunaannya mengikuti kaidah umum seperti yang terdapat pada Bab 6 buku *Mechanics of Material* karangan Hibbeler sebagai berikut:



**Gambar 3. Konvensi tanda positif untuk *internal shear force* ( $V$ ) dan *internal bending moment* ( $M$ )**

## Slope dan Defleksi

*Slope* dan defleksi dapat dihitung dengan memanfaatkan beban internal yang telah dihitung pada bagian sebelumnya. Pada penelitian ini, *slope* dan defleksi dihitung berdasarkan persamaan dan prosedur yang terdapat pada Bab 12 buku *Mechanics of Material* (Hibbeler, 2001: 573-577) dimana *slope* diperoleh dengan mengintegrasikan internal bending moment, modulus young, dan inersia penampang sepanjang struktur lengan *drone*. Kemudian defleksi diperoleh dengan mengintegrasikan *slope* sepanjang struktur lengan *drone*. Persamaan-persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$\theta = \int \frac{M(x)}{E(x).I(x)} dx \quad \dots (2)$$

$$v = \int \theta dx \quad \dots (3)$$

Untuk menyelesaikan persamaan-persamaan integral tersebut, maka digunakan beberapa kondisi batas agar diperoleh solusi unik yang berkaitan dengan kasus pada penelitian ini. Berdasarkan diagram benda bebas pada Gambar 2, analisis beban internal dilakukan dengan membagi struktur lengan menjadi dua yaitu daerah sebelah kiri ESC (disebut bagian 1) dan daerah sebelah kanan ESC (disebut bagian 2). Oleh karena itu, pada lokasi dimana ESC berada ( $x = x$  ESC), digunakan persamaan kompatibilitas yang menyatakan bahwa *slope* dan defleksi bagian 1 dan bagian 2 memiliki besar yang sama pada lokasi dimana ESC berada. Kondisi batas yang digunakan pada kasus ini adalah sebagai berikut:

$$\theta_1 = 0 @ x = 0 \quad \dots (4)$$

$$v_1 = 0 @ x = 0 \quad \dots (5)$$

$$\theta_1 = \theta_2 @ x = x \text{ ESC} \quad \dots (5)$$

$$v_1 = v_2 @ x = x \text{ ESC} \quad \dots (6)$$

Keterangan:

$$\theta_1 = \text{Slope pada bagian 1} \quad \dots (7)$$

$$v_1 = \text{Slope pada bagian 1}$$

$$\theta_2 = \text{Slope pada bagian 2}$$

$$v_2 = \text{Slope pada bagian 2}$$

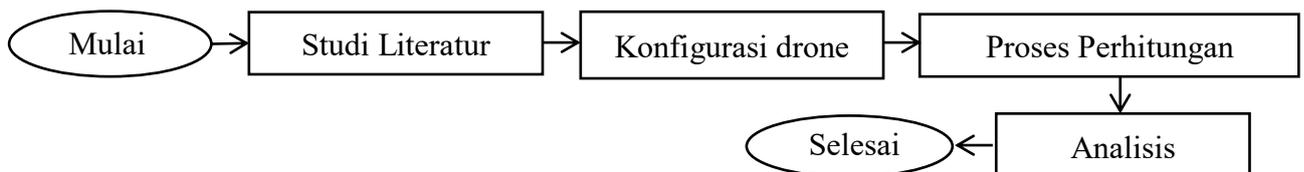
$M(x)$  = internal bending moment sepanjang struktur lengan *drone*

$E(x)$  = Modulus Young sepanjang struktur lengan *drone*

$I(x)$  = Momen Inersia penampang lengan sepanjang struktur lengan *drone*

## Metode Penelitian

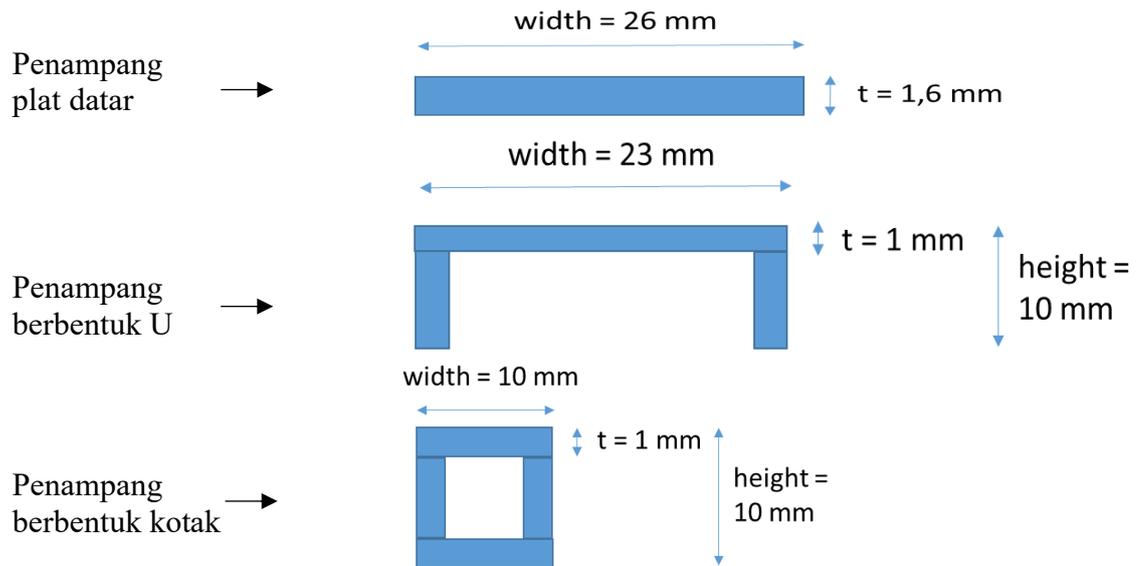
Secara umum, penelitian ini dilakukan dengan tahapan seperti yang terdapat pada *flowchart* berikut ini:



**Gambar 4. Flowchart**

Penelitian ini diawali dengan studi literatur terkait pemanfaatan drone serta berbagai studi yang telah dilakukan dalam perancangan *drone*. Setelah itu menentukan bentuk rangka serta tempat pemasangan sistem kendali pada *drone*. Kemudian menentukan bentuk dan ukuran tiga jenis penampang struktur lengan *drone* yang akan dibandingkan. Lalu dilakukan proses perhitungan untuk menentukan besarnya defleksi yang dialami oleh tiap jenis penampang tersebut. Adapun bentuk serta ukuran ketiga jenis

penampang tersebut ditentukan agar struktur lengan yang dihasilkan memiliki berat akhir yang (hampir) sama untuk memudahkan proses analisis. Ketiga penampang struktur lengan beserta ukurannya dapat dilihat pada ilustrasi berikut ini:



**Gambar 5. Alternatif penampang struktur lengan *drone***

Secara sederhana, tahapan perhitungan yang dilakukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Hitung gaya dan bending moment pada tumpuan (*support*) berdasarkan diagram benda bebas.
2. Cari persamaan distribusi beban internal, yaitu *internal shear force* ( $V$ ) dan *internal bending moment* ( $M$ ).
3. Integrasikan persamaan *slope* (persamaan 2) dan persamaan defleksi (persamaan 3).
4. Hitung konstanta integrasi secara simultan dengan menggunakan kondisi batas pada persamaan 4-7.
5. Masukkan konstanta integrasi pada persamaan 2 dan persamaan 3 yang sudah diintegrasikan.
6. Hitung defleksi sepanjang struktur lengan *drone*.

Setelah diperoleh besarnya defleksi yang terjadi pada masing-masing penampang struktur lengan *drone*, selanjutnya dilakukan analisis dengan membandingkan defleksi pada ketiga jenis penampang tersebut agar didapat jenis penampang yang mampu memberikan nilai defleksi paling kecil.

## Hasil dan Pembahasan

Pada penelitian ini, analisis dilakukan pada *drone* kecil dengan bobot sekitar 600 gram yang terbang vertikal dengan gaya angkat maksimum 5,2 N pada tiap lengan. Sedangkan modulus elastisitas sebesar 70 GPa ( $70000 \text{ N/mm}^2$ ) dan densitas alumunium sebesar  $0,0027 \text{ g/mm}^3$  (xometry, n.d.). Adapun data-data yang digunakan sebagai studi kasus dalam perhitungan adalah sebagai berikut:

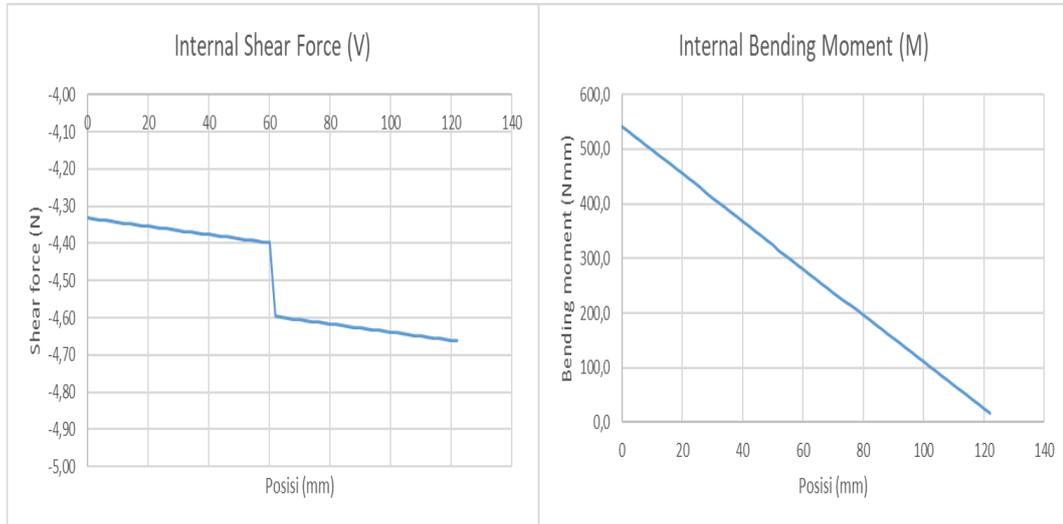
**Tabel 1. Data-data yang digunakan**

Percepatan gravitasi	$g$	9,8	$\text{m/s}^2$
Modulus elastisitas alumunium	$E$	70000	$\text{N/mm}^2$
Densitas alumunium	$\rho$	0,0027	$\text{g/mm}^3$
Gaya angkat pada tiap lengan	Lift	5,2	N
Panjang tiap lengan	X lengan	120,6	mm
Lokasi ESC dari tumpuan	X ESC	60,3	mm
Berat tiap ESC	W ESC	20	g

Berat tiap motor + propeller	W motor + W propeller	55 g
Berat Total drone	W total	600 g
Berat terdistribusi tiap lengan	w lengan	0,112 g/mm

Sumber: data diolah 2022

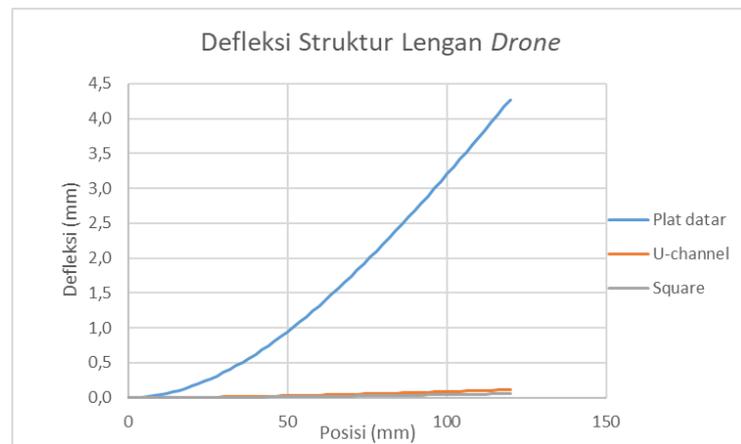
Dari hasil perhitungan yang dilakukan, didapat distribusi beban internal yang dialami oleh struktur lengan *drone* sebagai berikut:



**Gambar 6. Distribusi *internal shear force* (kiri) dan *internal bending moment* (kanan)**

Pada Gambar 6 di atas, posisi 0 adalah posisi tumpuan yang merupakan tempat menempelnya lengan pada tubuh drone, sedangkan posisi 120 mm adalah tempat menempelnya motor listrik dan propeller. Pada grafik sebelah kiri, terlihat bahwa struktur lengan drone mengalami *Internal Shear Force* (V) maksimum 4,66 N pada bagian ujung dekat dengan motor listrik, dimana tanda negatif pada grafik menunjukkan arah *Internal Shear Force* ke arah atas. Sedangkan pada bagian tengah lengan (pada posisi 60 mm) terdapat lompatan *Internal Shear Force* yang muncul akibat adanya beban terpusat yang berasal dari ESC (*Electronic Speed Controller*). Lompatan nilai *Internal Shear Force* akibat ESC tidak begitu besar karena diketahui bahwa berat ESC cukup kecil sehingga dapat diabaikan.

Sedangkan pada grafik *Internal Bending Moment* (Gambar 6 sebelah kanan), terlihat bahwa struktur lengan drone mengalami *Internal Bending Moment* yang semakin besar pada posisi yang semakin dekat dengan tumpuan. *Internal Bending Moment* inilah yang menyebabkan struktur lengan *drone* mengalami defleksi. Gambar di bawah ini menunjukkan defleksi yang terjadi sepanjang struktur lengan *drone*, baik pada penampang plat datar, penampang berbentuk U (U-channel), maupun penampang berbentuk kotak (Square-channel).



**Gambar 7. Defleksi struktur lengan drone**

Berdasarkan Gambar 7, bentuk penampang plat datar memiliki defleksi yang jauh lebih besar dibandingkan dua penampang lainnya. Defleksi yang besar ini mengakibatkan arah gaya angkat menjadi berubah dimana sebagian gaya angkat akan mengarah ke badan *drone*, bukan ke arah atas *drone*. Hal ini menyebabkan gaya angkat menjadi kurang efektif. Oleh karena itu, bentuk plat datar dapat dikatakan tidak cocok untuk menerima beban terpusat yang berupa gaya angkat. Sedangkan dua penampang lainnya memiliki defleksi yang jauh lebih kecil dan memiliki nilai yang hampir sama.

Berdasarkan bentuk dan ukuran ketiga jenis penampang seperti pada Gambar 5, didapat bahwa penampang plat datar memiliki Momen Inersia sebesar  $8,86 \text{ mm}^4$ , penampang berbentuk U memiliki Momen Inersia sebesar  $331,12 \text{ mm}^4$ , dan penampang berbentuk kotak (*Square*) memiliki Momen Inersia sebesar  $673 \text{ mm}^4$ . Semakin besar nilai Momen Inersia yang dimiliki suatu penampang, maka semakin besar ketahanan penampang tersebut terhadap defleksi. Dengan kata lain, semakin besar Momen Inersia, maka defleksi semakin kecil seperti yang ditunjukkan pada tabel berikut ini.

**Tabel 2. Defleksi dan Berat berbagai Penampang Struktur Lengan Drone**

No	Penampang	Berat @lengan (g)	Momen Inersia ( $\text{mm}^4$ )	Defleksi Maksimum (mm)
1	Plat datar	13,55	9	4,38
2	U-channel	13,35	331	0,12
3	Square	13,02	673	0,06

Pada pembahasan sebelumnya, disebutkan bahwa variasi ukuran penampang dibuat sedemikian rupa agar diperoleh berat lengan yang hampir sama agar analisis dapat dilakukan dengan lebih objektif. Berdasarkan Tabel 2, dengan berat lengan yang hampir sama (pada kisaran angka 13,3 gram), penampang kotak (*Square-channel*) dapat memberikan defleksi yang paling minimum yaitu sebesar 0,06 mm. Oleh karena itu, penampang berbentuk kotak dianggap sebagai penampang yang paling baik dalam menerima beban berupa gaya angkat.

## Kesimpulan

1. Bentuk dan ukuran penampang struktur memengaruhi besarnya momen inersia penampang.
2. Semakin besar momen inersia suatu struktur, maka struktur tersebut semakin kaku (dapat memberikan defleksi yang minimum).
3. Dengan berat yang hampir sama, penampang struktur lengan *drone* berbentuk plat datar memberikan defleksi sebesar 4,38 mm, penampang berbentuk U memberikan defleksi sebesar 0,12 mm, dan penampang berbentuk kotak memberikan defleksi sebesar 0,06 mm.
4. Penampang berbentuk kotak merupakan penampang yang paling cocok untuk digunakan pada *drone* yang sedang dirancang pada penelitian ini.

**Daftar Pustaka**

- Budiharto, W., Irwansyah, E., Suroso, J.S., et al., 2021, *Mapping and 3D modelling using quadrotor drone and GIS software*, *J Big Data* 8, 48, <https://doi.org/10.1186/s40537-021-00436-8>
- Darmawan I.A., D 2015, *Teknologi Pendidikan*, 1st ed, Remaja Rosdakarya.
- Hibbeler, R.C. 2001, *Mechanics of Materials*, 8<sup>th</sup> ed, America, Pearson Prentice Hall
- Ondieki, F., Odongo, O., Lawrence, G 2017, *An Autonomous Unmanned Aerial Security Surveillance System to Enhance Security in Remote Territories*, *International Journal of Computer Applications*, DOI:10.5120/ijca2017915964
- Setiawan, J.D., Caesarendra, W., Ariyanto, M. 2015, *Perancangan Struktur Frame Quadrotor, Rotasi*, DOI:10.14710/rotasi.17.3.130-136
- Suroso, Indreswari 2017, *Peran Drone/Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Buatan STTKD dalam Dunia Penerbangan*, *Sinaskpa*, dilihat 27 Mei 2022, <<https://researchgate.net>>
- Tytorobotics, 2021, *Drone Building and Optimization: How to Increase Your Flight Time, Payload, and Overall Efficiency*, dilihat 16 Mei 2022, <<https://tytorobotics.com>>
- WingtraOne, n.d., *Surveying & GIS*, Website, dilihat 24 November 2021, <<https://wingtra.com/drone-mapping-applications/surveying-gis/>>
- Xometry, n.d., *Data Sheet Aluminium 3.3206*, Website, dilihat 31 Mei 2022, <[xometry.eu](https://www.xometry.eu)>