

## STUDI PARAMETRIK PADA *FLAPPING-WING MAV* DENGAN BENTUK SAYAP BELALANG, KUPU-KUPU DAN KUMBANG

Reo Yudhono<sup>1</sup>, Arfie Armelia Erissonia<sup>2</sup>, Haris Ardianto<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Teknik Dirgantara, <sup>2</sup>Aeronautika  
Sekolah Tinggi Teknologi Kedirgantaraan  
Jl Parangtritis Km.4,5, Yogyakarta  
[reo.yudhono@gmail.com](mailto:reo.yudhono@gmail.com)

### *Abstract*

*Nature has been a great inspiration for engineering design. Flying insect, in specific, has been studied and being an inspiration in the development of flapping-wing micro aerial vehicle (FW-MAV). Each species of flying insect has its own wing kinematics, but most all of them generate the aerodynamic force with the same of three mechanism: delayed stall, rotational circulation and wake capture<sup>[1]</sup>. In this research, we conduct a parametric study on the FW-MAV with different wing shapes. There are two designs of the FW-MAV in this study, which have flapping angle of 80 and 120 deg. The three different shapes of wings are mimics from: desert locust, Monarch butterfly and rhinoceros beetle. The wings then attached to the FW-MAV and operated with voltage input of 1.5V. The force generated by the FW-MAV and the electrical current measured in a swing test, while recorded in 240 fps using action camera. From the test, we get the flapping frequency, generated horizontal force and power consumption. From this research we have several data that can be used for the further development of the FW-MAV*

*Keywords : flapping-wing, micro aerial vehicle, parametric study, generated force, power consumption*

### 1. Pendahuluan

Alam telah menjadi sumber inspirasi dalam dunia keteknikan. Banyak produk keteknikan yang didesain dengan melihat fenomena atau meniru suatu prinsip kerja pada alam. Serangga terbang adalah salah satu objek pada penelitian di dunia teknik penerbangan. Berbagai desain FW-MAV telah dikembangkan dengan mengamati dan meniru prinsip kerja pada serangga terbang.

Setiap serangga terbang memiliki kinematik sayap yang berbeda-beda dalam membangkitkan gaya aerodinamika. Namun, kesemuanya didasari pada tiga kombinasi mekanisme yang sama: *delayed stall*, *rotational circulation* dan *wake capture*<sup>[1]</sup>. Beberapa serangga terbang juga menggunakan mekanisme *clap and fling* untuk meningkatkan pembangkitan gaya aerodinamikanya<sup>[2]</sup>.

Dalam penerbangannya, ada tiga parameter yang digunakan oleh serangga terbang, yaitu frekuensi kepakan sayap, sudut kepakan sayap dan sudut rotasi sayap. Serangga terbang merubah suatu moda

terbang dengan melakukan perubahan pada salah satu atau sejumlah parameter ini.

Pada penelitian ini, kami berkonsentrasi pada frekuensi kepakan sayap yang rendah. Frekuensi kepakan sayap rendah berhubungan langsung dengan input daya yang diberikan ke FW-MAV, di mana daya dengan voltase yang rendah cenderung memiliki massa yang juga rendah. Hal ini akan mempermudah pada pengembangan lanjut dari desain FW-MAV tersebut, di mana massa total dari FW-MAV dapat ditekan sekecil mungkin.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan basis data untuk pengembangan desain FW-MAV selanjutnya. Data-data yang telah didapatkan akan menjadi arah dalam langkah pengembangan selanjutnya.

### 2. Metode Penelitian

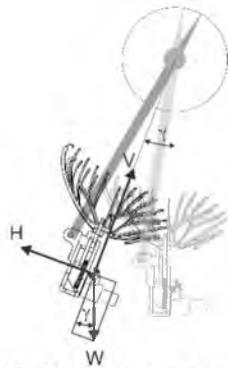
Penelitian dimulai dengan melakukan desain mekanisme FW-MAV yang disesuaikan dengan metoda manufaktur *3D printing*. Pemilihan metoda ini adalah

karena kecepatan dan ketelitiannya yang baik, sehingga kebutuhan pembuatan prorotipe yang banyak dan cepat pada studi parametrik ini dapat terpenuhi.

Desain FW-MAV dilakukan pada perangkat lunak CAD. Desain yang dibuat memiliki nilai sudut frekuensi 80° dan 120°. Pembuatan sayap tiruan juga dilakukan pada perangkat lunak CAD. Desain sayap tiruan dilakukan dengan menjiplak foto/gambar sayap asli belalang, kupu-kupu dan kumbang pada skala 1:1.

Material yang digunakan pada pembuatan FW-MAV dan vein sayap tiruan adalah material 3D printing plastik ABS. Material ini memiliki kelenturan yang cukup baik, sehingga part yang dihasilkan tidak mudah patah. Membran pada sayap tiruan dibuat dari plastik polyethelene.

Proses perakitan FW-MAV dilakukan secara manual. Perekatan dilakukan menggunakan lem Cyano-Acrilic. Semua sumbu putar dibuat dari mata bor 1 mm. Motor penggerak FM-MAV menggunakan motor DC kecil berukuran diameter 7 mm. Putaran motor direduksi dengan *reduction gear* yang sudah sepasang dengan *pinion gear* pada motor DC.



Gambar 1. FW-MAV pada posisi setimbang dalam pengukuran menggunakan metode bandul

Pengukuran sudut kepakan sayap yang dihasilkan dilakukan dengan merekam gerakan kepakan sayap FW-MAV dari arah depan menggunakan kamera dengan kecepatan 240 fps. Pengukuran gaya dilakukan dengan metoda bandul. FW-MAV dipasangkan tegak lurus dengan lengan ayunnya. Pada saat FW-MAV berkepak, FW-MAV akan berayun hingga mencapai suatu posisi kesetimbangan. Dari posisi

kesetimbangan ini dapat dihitung nilai gaya terbangkitkan oleh FW-MAV untuk melawan gaya beratnya, seperti terlihat pada gambar 1. Persamaan yang digunakan pada kondisi setimbangnya adalah:

$$H - W \sin \gamma = 0 \dots \dots \dots (1)$$

dimana  $H$  adalah gaya horisontal,  $W$  adalah gaya berat, dan  $\gamma$  adalah sudut ayun pada kondisi setimbang.

Pengambilan data pengukuran gaya terbangkitkan dilakukan secara berulang-ulang. Dari data yang banyak tersebut, dipilih data-data yang memberikan nilai standar deviasi yang kecil, < 3%. Dari data-data ini kemudian dihitung nilai rata-rata gaya terbangkitkannya.

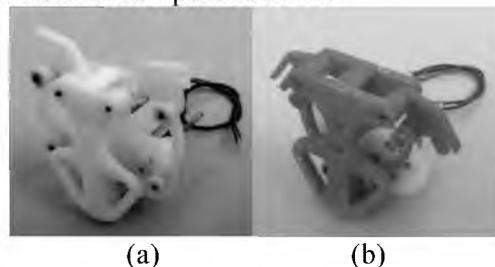
Pengukuran dengan metoda ini dapat menghasilkan nilai yang cukup baik dan dapat dibandingkan dengan hasil pengukuran menggunakan alat yang lebih maju, seperti *load cell*. Dalam thesisnya, R. Yudhono (2012)<sup>[8]</sup> menyatakan bahwa hasil pengukuran dengan metoda bandul dan dengan *load cell*, memberikan perbedaan dibawah 20%. Bahkan untuk pengukuran dengan pemasangan FW-MAV seperti pada gambar 1, perbedaannya sekitar 10%.

Paralel dengan pengukuran gaya terbangkitkan, arus listrik ( $I$ ) yang dialirkan pada motor DC juga diukur dengan multimeter. Sementara nilai voltase input ( $V$ ) untuk semua pengukuran ditetapkan di 1,5 V. Dari nilai arus yang terukur, konsumsi power ( $P$ ) pada FW-MAV dihitung menggunakan persamaan:

$$P = I \cdot V \dots \dots \dots (2)$$

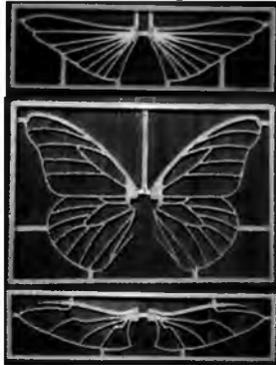
### 3. Hasil dan Pembahasan

Dari penelitian ini telah didapatkan desain FW-MAV yang sesuai dengan metode manufactur 3D printing. Gambar 2 menunjukkan prototipe FW-MAV yang dihasilkan dari penelitian ini.



Gambar 2. Prototipe FW-MAV dengan sudut kepakan (a) 80° dan (b) 120°

Desain sayap tiruan juga sudah didapatkan dan memungkinkan untuk dimanufaktur dengan *3D printing*. Gambar 3 menunjukkan sayap tiruan setelah selesai dimanufaktur dengan *3D printer*.

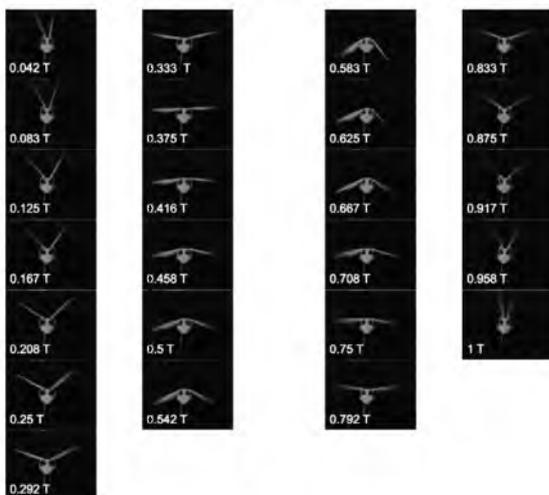


Gambar 3. Sayap tiruan. Atas ke bawah: belalang, kupu-kupu, kumbang

Perbandingan luas sayap dan massa sayap tiruan disajikan pada tabel 1. Kupu-kupu menjadi sayap yang memiliki luas dan massa paling besar. Sementara belalang dan kumbang memiliki luas dan massa yang hampir sama.

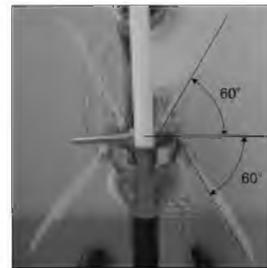
Tabel 1. Luas dan massa sayap tiruan

No	Bentuk Sayap	Luas Sayap (mm <sup>2</sup> )	Massa (gr)
1	Belalang	1641,54	0,92
2	Kupu-kupu	3940,70	1,96
3	Kumbang	1687,38	0,84



Gambar 4. Foto sekuensial gerakan FW-MAV mulai dari gerakan mengepak ke bawah (downstroke) hingga kembali ke posisi setelah mengepak ke atas (upstroke)

Pengukuran sudut kepakan dan frekuensi kepakan menggunakan kamera berkecepatan 240 fps telah memberikan hasil yang baik. Gambar 4 menunjukkan foto sekuensial dari perekaman FW-MAV. Gambar 5 menunjukkan sudut kepakan pada desain FW-MAV bersudut kepakan 120°



Gambar 5. Sudut kepakan pada salah satu prototipe FW-MAV

Dengan voltase input 1,5 V, frekuensi kepakan yang dicapai oleh masing-masing bentuk sayap disajikan pada tabel 2. Sayap kupu-kupu memberikan frekuensi kepakan yang paling rendah untuk kedua sudut kepakan. Sedangkan sayap belalang memberikan frekuensi paling tinggi pada sudut kepakan 80°. Pada sudut kepakan 120°, frekuensi FW-MAV dengan sayap belalang dan kumbang menghasilkan frekuensi kepakan yang sama.

Tabel 2. Frekuensi kepakan FW-MAV pada setiap penggunaan sayap tiruan

No	Bentuk Sayap	Frekuensi Kepakan (Hz)	
		Sudut Kepakan 80°	Sudut Kepakan 120°
1	Belalang	24	12
2	Kupu-kupu	14	8
3	Kumbang	18	12

Hasil perhitungan konsumsi daya, *P*, disajikan pada tabel 3. nilai konsumsi daya yang sama.

Tabel 3. Konsumsi daya pada penggunaan setiap sayap tiruan pada sudut kepakan 80° dan 120°

No	Bentuk Sayap	Daya, P (W)	
		Sudut Kepakan 80°	Sudut Kepakan 120°
1	Belalang	0,915	1,215
2	Kupu-kupu	1,095	1,305
3	Kumbang	1,005	1,215

Hasil perhitungan konsumsi daya, berbanding terbalik dengan frekuensi kepakan. Pada kedua sudut kepakan, konsumsi daya paling besar terjadi pada penggunaan sayap kupu-kupu. Pada sudut kepakan 80°, sayap belalang memberikan nilai konsumsi daya yang paling kecil. Sedangkan pada kepakan 120°, sayap belalang dan kumbang memberikan nilai konsumsi daya yang sama.

Hasil pengukuran gaya terbangkitkan pada sudut kepakan 80° disajikan pada tabel 4. Sedangkan pengukuran pada sudut kepakan 120° disajikan pada tabel 5.

Tabel 4. Hasil pengukuran gaya terbangkitkan pada sudut kepakan 80°

No	Bentuk Sayap	Sudut Kepakan 80°	
		Gaya Horisontal, H (gr)	Standard Deviasi (%)
1	Belalang	1,622	1,77
2	Kupu-kupu	1,578	2,09
3	Kumbang	1,385	2,02

Tabel 5. Hasil pengukuran gaya terbangkitkan pada sudut kepakan 120°

No	Bentuk Sayap	Sudut Kepakan 120°	
		Gaya Horisontal, H (gr)	Standard Deviasi (%)
1	Belalang	1,467	2,41
2	Kupu-kupu	1,386	2,64
3	Kumbang	1,803	1,24

Kesemua pengukuran gaya terbangkitkan menunjukkan hasil yang baik, ditunjukkan dengan nilai standar deviasi kurang dari 3%. Pada sudut kepakan 80°, sayap belalang memberikan nilai gaya terbangkitkan yang paling besar. Hal ini berbanding lurus dengan frekuensi kepakannya. Sementara pada sudut kepakan 120°, walaupun sayap

belalang dan kumbang memberikan frekuensi yang sama, namun sayap kumbang dapat menghasilkan gaya terbangkitkan yang lebih tinggi. Pada sudut kepakan 80°, sayap kupu-kupu menghasilkan gaya terbangkitkan yang lebih besar daripada sayap kumbang, walaupun sayap kupu-kupu beroperasi pada frekuensi yang lebih rendah.

Efisiensi bentuk sayap terhadap performa FW-MAV dilihat dengan menghitung rasio antara gaya terbangkitkan dan konsumsi daya. Tabel 6 menunjukkan efisiensi dari FW-MAV pada setiap sudut kepakan dan bentuk sayap.

Tabel 6. Efisiensi bentuk sayap dalam rasio gaya terbangkitkan dan konsumsi daya

No	Bentuk Sayap	Efisiensi (gr/W)	
		Sudut Kepakan 80°	Sudut Kepakan 120°
1	Belalang	1,772	1,207
2	Kupu-kupu	1,441	1,062
3	Kumbang	1,378	1,484

#### 4. Kesimpulan

Dari penelitian ini telah didapatkan desain FW-MAV yang sesuai untuk metoda manufaktur *3D printing*. Prototipe FW-MAV juga telah menunjukkan kemampuan yang baik untuk pengujian yang berulang.

Dari hasil pengukuran, untuk voltasi input 1,5 V, didapat bahwa bentuk sayap belalang sesuai digunakan untuk sudut kepakan lebih rendah (80°) dan frekuensi yang lebih tinggi (24 Hz). Hal ini ditunjukkan dengan nilai efisiensi yang paling tinggi di sudut kepakan 80°. Pada sudut kepakan 80° ini juga, ditemukan bahwa bentuk sayap kupu-kupu lebih efisien dari pada bentuk sayap kumbang. Bentuk sayap kumbang sesuai untuk sudut kepakan yang lebih besar (120°), ditunjukkan dengan nilai efisiensi yang lebih besar dibandingkan dua bentuk sayap lainnya.

#### 5. Saran

Untuk pengembangan lanjut, perlu dilakukan pengukuran dengan peralatan yang lebih canggih, seperti *load cell*. Pembuatan prototipe juga perlu diperbanyak, karena material *3D printing* mudah rusak

untuk mekanisme yang bergerak terus menerus.

#### 6. Ucapan Terima kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi yang telah mendanai penelitian ini melalui skema Simlitabmas 2017.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Dickinson, M.H., Lehmann F.O. dan Sane, S.P. 1999. Wing rotation and the aerodynamics basis of insect flight. *Science*. vol. 284. pp 1954-1960.
- [2] Ellington, C.P. 1999. The novel aerodynamics of insect flight: application to micro-air vehicles. *The Journal of Experimental Biology*. vol. 202. pp 3439-3448.
- [3] Wood, R.J. 2007. Design, fabrication, and analysis of a 3DOF, 3cm flapping-wing MAV. *Intelligent Robot and Systems*. pp 1576-1581.
- [4] de Croon, G. C. H. E., de Clerq, K. M. E., Ruijsink, R., Remes, B. dan de Wagter, C. 2009,. Design, aerodynamics, and vision-based control of the DelFly. *International Journal of Micro Air Vehicle*. vol. 1. no. 2. pp 71-97.
- [5] Nguyen, Q. V., Park, H. C., Goo, N. S. dan Byun, D. 2010. Characteristic of a beetle's free flight and a flapping-wing system that mimics beetle flight. *Journal of Bionic Engineering*. vol. 7. issue 1. pp 77-86.
- [6] Nguyen, Q. V., Truong, Q. T., Park, H. C., Goo, N. S. dan Byun, D. 2010. Measurement of force produced by an insect-mimicking flapping-wing system. *Journal of Bionic Engineering*. vol. 7. Supp. pp 94-102.
- [7] Kumar, R., Silin, D. dan Shkarayev, S. 2011. Experimental Study of Aerodynamic Performance of Locust and Model Wings. *49th AIAA Aerospace Sciences Meeting including the New Horizons Forum an Aerospace Exposition*
- [8] Yudhono, R. 2012. *Investigation of wing interaction using beetle-inspired flapping-wing systems*. Thesis. Faculty of Advanced Technology Fusion. Konkuk University, Korea Selatan.