

PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI PLATFORM TERBANG ROBOT FLAPPING WINGS MICRO AERIAL VEHICLE

Dwiky Fajri Syahbana⁽¹⁾, Diardano Raihan⁽²⁾, Slamet Budiprayitno⁽¹⁾

⁽¹⁾ Departemen Teknik Elektro Otomasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember
dwiky@its.ac.id

⁽²⁾ School of Electrical and Electronic Engineering, Nanyang Technological University
diardano@gmail.com

Abstrak - Teknologi *Flapping Wings Micro Aerial Vehicle* (FWMAV) merupakan perkembangan dari *Unmanned Aerial Vehicle* yang berukuran lebih kecil dan lebih ringan. FWMAV dikembangkan untuk memenuhi kebutuhan *inspecting*, *surveillance*, dan *spying* di daerah yang sulit terjangkau manusia sehingga memerlukan kemampuan terbang yang dapat bermanuver tinggi. Platform terbang FWMAV “Papatong” dirancang untuk dapat terbang dengan mekanisme kepakkan sayap berfrekuensi tinggi, seperti capung. Platform terbang ini juga dirancang untuk dapat berbelok dan bergerak naik-turun sesuai dengan perintah yang dijalankan. Perancangan platform terbang Papatong meliputi pemilihan komponen elektrik dan perancangan mekanikal terbang. Pemilihan komponen dan bahan mengutamakan pada dimensi yang kecil dan ringan namun tetap menjalankan fungsinya. Perancangan mekanik platform terbang mengadaptasi dari beberapa penelitian tentang FWMAV yang sudah ada. Hasil perancangan tiap bagian diintegrasikan dengan komponen elektrik hingga menjadi suatu platform terbang Papatong FWMAV. Setelah melalui berbagai proses percobaan terbang dan pengujian, platform terbang yang telah terintegrasi dapat terbang dengan mekanisme kepakkan sayapnya dan dapat dikendalikan dengan cukup baik.

Kata Kunci: FWMAV, ringan, Papatong, platform, terbang

PENDAHULUAN

Micro Aerial Vehicle (MAV) adalah perkembangan dari teknologi *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) yang berdimensi lebih kecil dan berat lebih ringan. Teknologi MAV dikembangkan untuk memenuhi kebutuhan *inspecting*, *surveillance*, dan *spying* pada daerah yang sempit dan atau sulit terjangkau. FWMAV dirancang dengan meniru hewan yang terbang dengan mengepakkan sayapnya. Kepakan sayap inilah yang menimbulkan gaya *lift* dan *thrust* untuk dapat terbang. Mekanisme kepakkan sayap dengan frekuensi tinggi digunakan dalam rancang bangun MAV karena mempunyai kelebihan kemampuan manuver dan kestabilan dan ketahanan wahana terbang untuk pengambilan gambar. Hal ini dapat dimanfaatkan untuk *inspecting*, *surveillance*, dan *spying* terutama ke daerah-daerah yang sulit dijangkau.

Sebuah platform terbang FWMAV berdimensi kecil dan ringan perlu dikembangkan untuk mencapai teknologi MAV yang mumpuni. FWMAV yang diberi nama Papatong ini dirancang untuk dapat terbang dengan dimensi yang kecil dan ringan. Pemilihan komponen-komponen diutamakan pada ukurannya yang kecil dan ringan namun tetap menjalankan fungsinya dengan baik. Studi mengenai perkembangan FWMAV yang sudah ada dilakukan

sebagai perbandingan mendapatkan desain Papatong FWMAV. Ketika di udara, platform terbang yang dirancang harus dapat berbelok dan bergerak naik-turun sesuai dengan perintah yang dijalankan.

PERANCANGAN

Platform robot FWMAV Papatong dirancang berdasarkan studi perbandingan terhadap desain bagian robot FWMAV yang sudah ada. Desain yang diadaptasi adalah desain yang telah optimal berdasarkan penelitian yang sudah ada. Platform robot yang dikembangkan berdasarkan referensi yang sudah ada masih hanya dapat diluncurkan secara *hand launch*. Parameter desain FWMAV Papatong ditunjukkan pada Tabel 1. Platform robot FWMAV Papatong terdiri atas bagian mekanikal, seperti sayap, ekor, dan badan. serta bagian elektrik, seperti mikrokontroler, motor, dan servo.

Tabel 1 Parameter desain Papatong MAV

Parameter	Ketentuan
Panjang <i>Fuselage</i>	10 cm
Rentang Sayap	28 cm
Massa	22 gram
Frekuensi Kepak	10-14 Hz

A. Sayap

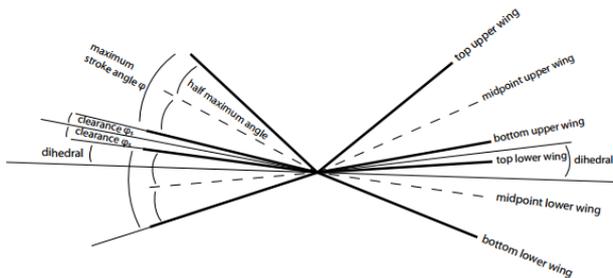
i. Konfigurasi Sayap

Konfigurasi sayap yang digunakan adalah konfigurasi *biplane*. Konfigurasi *biplane* terdiri dari 2 pasang sayap yang letaknya satu pasang sayap di atas sayap yang lain dengan kepankan yang berlawanan fasa. Penggunaan sayap *biplane* dalam kepankan memiliki amplitude goncangan yang rendah dan dapat mengurangi *plunging motion*. Kestabilan seperti itu tidak diperoleh jika konfigurasi yang digunakan adalah konfigurasi *monoplane* atau tandem. Selain itu, konfigurasi *biplane* mempunyai kelebihan konsumsi dayanya yang relative rendah jika dibandingkan dengan *monoplane* dan tandem.

Sayap *biplane* untuk robot Papatong FWMAV dipasangkan simetris terhadap fuselage untuk mendapatkan kestabilan lateral ketika *forward flight*. Sayap dipasang pada sudut dehidral, $\psi = 12^\circ$, dengan sudut clearance ϕ s kecil untuk menghindari tumbukan antara sayap atas dan sayap bawah. Sudut stroke maksimum, ϕ , adalah 44° . Sudut maksimum kedua sayap adalah 67° . Kepakan sayap atas dan sayap bawah berfrekuensi sama terhadap satu titik *hinge*.



Gambar 1 Konfigurasi sayap biplane 3D



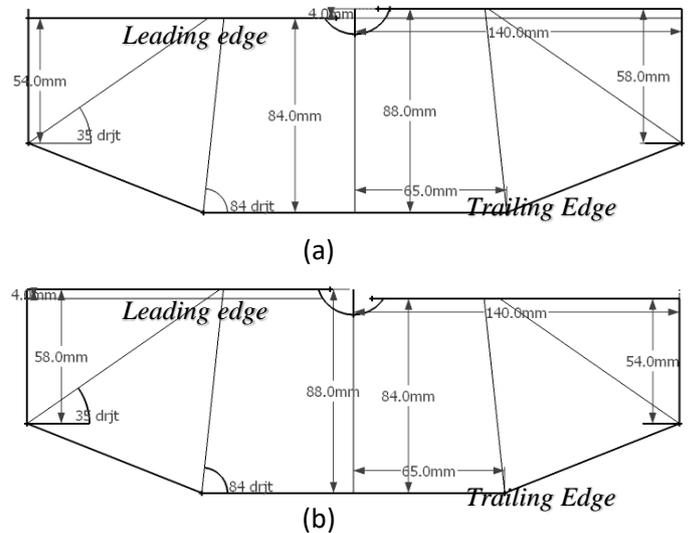
Gambar 2 Konfigurasi sayap biplane tampak depan

ii. Desain Sayap

Sayap adalah bagian terpenting robot yang menghasilkan gaya dorong untuk terbang. Hal yang perlu diperhatikan dalam desain sayap adalah ringannya sayap, kekuatan sayap, rentang sayap, tegangan bahan, dan tata letak *stiffener*. Sayap Papatong FWMAV memiliki panjang rentang sayap 28 cm dan lebar 8,8 cm dengan bentuk seperti pada Gambar 3. *Stiffener* membentuk sudut 35 dan 84 derajat terhadap *leading edge*.

B. Mekanisme Kepakan Sayap

Untuk mendapatkan gerakan mengepak naik-turun, digunakan mekanisme *crank-shaft*. Mekanisme *crank-shaft* mengubah gerakan rotasi motor menjadi gerakan translasi naik-turun. Dalam mekanisme kepankan sayap Papatong FWMAV, digunakan dua tahap reduksi gir untuk mencapai frekuensi kepankan yang dibutuhkan untuk terbang.



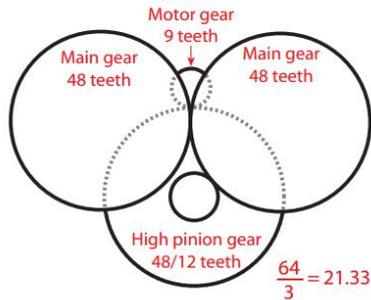
Gambar 3 Desain sayap Papatong MAV
(a) sayap atas (b) sayap bawah

Semua *gear* yang digunakan mempunyai nilai modul gir 0,3. Terdapat 3 jenis gir dengan 2 tahap reduksi, yaitu *motor pinion*, *intermediate gear*, dan *main gear*.

- *Motor pinion* adalah gir pada rotor motor DC yang kecepatan putarnya sama dengan motor DC dengan jumlah gigi 9.
- *Intermediate gear* adalah gir yang menghubungkan *motor pinion gear* dan *main gear*, terdiri dari 2 gir yang saling menempel. Jumlah gigi gir besar adalah 48 sedangkan jumlah gigi gir kecil adalah 12.
- *Main gear* adalah gir yang menggerakkan *push rods* untuk naik-turunnya sayap. Digunakan 2 *main gear* untuk dua pasang sayap kanan dan kiri dengan masing-masing mempunyai 48 gigi.

Motor pinion gear memiliki 9 gigi, terhubung dengan *intermediate gear* pertama yang memiliki gigi 48. Rasio dari kedua gir ini adalah 16:3. Gir kedua *intermediate gear* yang memiliki 12 gigi hanya terhubung dengan satu *main gear* yang memiliki 48 gigi. Rasio dari kedua gir ini adalah 4:1.

Dua *Main gear* memiliki jumlah gigi yang sama. Perbandingan keseluruhan gir adalah 64:3 (Gambar 4).



Gambar 4 Konfigurasi 3 jenis gir Papatong MAV



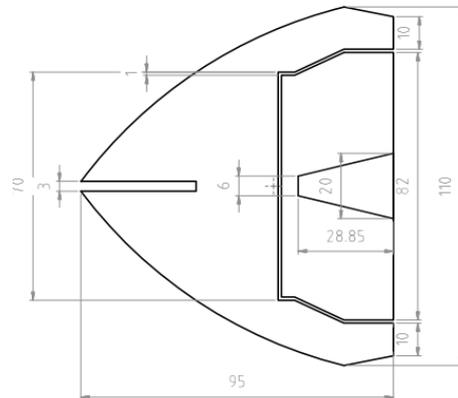
Gambar 5 Geardrive micronwings

Geardrive yang digunakan untuk mekanisme terbang mengadaptasi kepankan Delfly II yang terdiri atas beberapa komponen mekanik, yaitu *hinge*, *pushrod*, dan gir-gir. *Pushrod* merupakan komponen yang berfungsi menyalurkan gerakan rotasi *main gear* menjadi translasi pada *hinge*. *Push rod* menghubungkan *main gear* dengan *hinge*. Sementara itu, fungsi *hinge* adalah sebagai tumpuan sayap yang menggerakkan 2 sayap bersamaan. Konfigurasi *Biplane* menggunakan 2 *hinge*, masing-masing mengatur dua sayap yang bersilangan. *Hinge* tersebut disatukan pada 1 titik tengahnya.

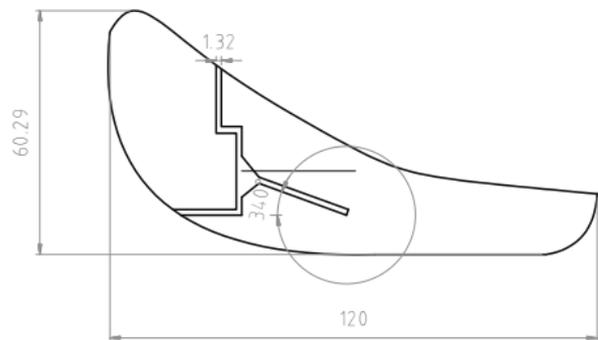
C. Control Surface

Ekor robot Papatong FWMAV berfungsi untuk *horizontal* dan *vertical stabilizer* serta 2 *control*

surface, yaitu *elevator* dan *rudder*. Desain ekor robot diadopsi dari ekor wahana terbang *fixed-wing*. *Horizontal stabilizer* memberikan nilai sudut serang robot ketika terbang, yaitu sebesar 20°. *Elevator* mengatur sudut *pitch* robot sedangkan *rudder* mengatur sudut *yaw* robot.



(a)



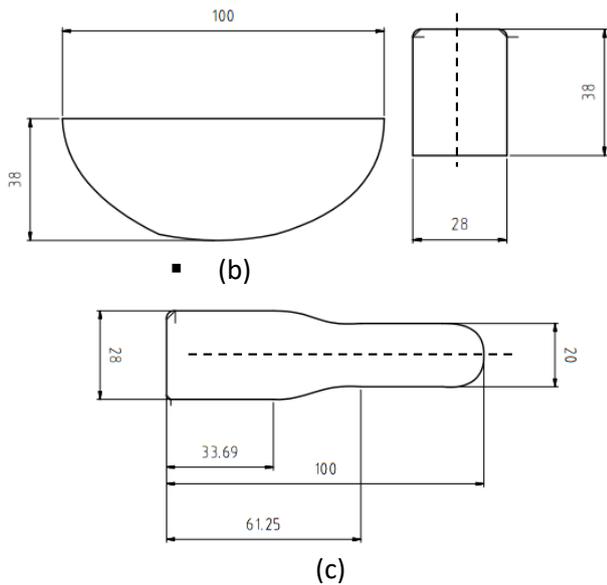
(b)

Gambar 6 Desain ekor robot Papatong MAV (dalam mm)

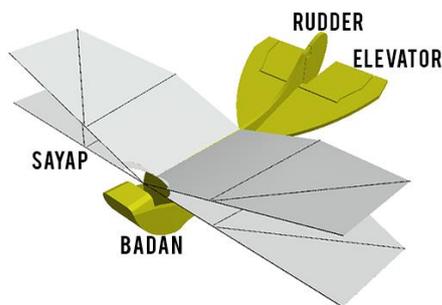
(a) ekor horizontal (b) ekor vertical

D. Badan

Badan robot Papatong FWMAV berfungsi sebagai pelindung komponen elektrik robot. Selain itu, fungsi badan robot adalah sebagai tempat peletakan komponen elektrik. Badan robot dibuat terdiri dari bagian kanan dan kiri. Hal ini dibuat untuk mempermudah pembuatan dan penempatan komponen. Penentuan letak komponen ditentukan dari letak *center of gravity* (cg), yaitu 5,1 cm dari *leading edge*. Gambar 8 menunjukkan desain 3D integrasi komponen mekanik platform robot Papatong MAV.



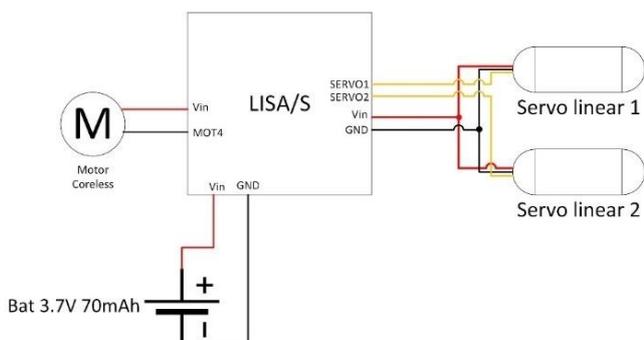
Gambar 7 Desain Badan Robot (dalam mm)
(a) tampak samping (b) tampak depan (c) tampak atas



Gambar 8 Desain 3D platform robot Papatong MAV

E. Komponen Elektrikal

Secara keseluruhan, Gambar 9 adalah diagram *wiring* komponen elektrikal platform robot FWMAV Papatong.



Gambar 9 Diagram wiring komponen elektrikal platform robot Papatong MAV

i. Board Autopilot

Platform Papatong MAV dirancang berdimensi kecil dan ringan. Untuk itu, digunakan sebuah *board autopilot* LISA/S. *Board* LISA/S mempunyai *Inertial Measurement Unit* (IMU), *motor driver*, *transceiver*, GPS, dan fasilitas port untuk aktuator lain dalam ukurannya yang kecil, 2x2x0.5 cm, ditambah dengan modul telemetri Superbit CYRF. LISA/S disuplai dengan baterai 1 sel. Massa keseluruhan *board* LISA/S dan modul telemetri tersebut adalah 7,05 gram.



Gambar 10 Board LISA/S Autopilot

ii. Baterai

Dalam mencapai spesifikasi ringan, 22 gram, baterai yang digunakan untuk menyuplai daya pada komponen-komponen elektrik robot haruslah baterai yang ringan. Dipilih jenis baterai *lithium-polymer* karena merupakan jenis baterai dengan kapasitas energi listrik yang besar dan mempunyai massa yang ringan. Baterai dengan kapasitas 70 mAh 1 sel adalah baterai yang digunakan untuk robot Papatong MAV dengan mempertimbangkan kapasitas yang tidak terlalu kecil dan massa baterai yang tidak besar, 2,59 gram.

iii. Motor DC

Aktuator utama untuk menggerakkan kepan sayap adalah motor DC *coreless*. Motor DC jenis *brushed coreless* tidak memakai inti besi sehingga motor ini mempunyai berat yang lebih ringan dibandingkan dengan motor DC biasa. Layaknya motor DC lainnya, motor ini memiliki hubungan linier antara arus dengan torsi. Motor yang digunakan adalah *coreless* motor dengan diameter 6 mm dan panjang 14 mm, massa 1,7 gram, 12000 rpm/V.

iv. Servo linear

Servo linear left (micronwings) digunakan sebagai aktuator penggerak *elevator* dan *rudder*. Beratnya yang ringan, 1,7 gram, dimanfaatkan

untuk memenuhi parameter massa platform FWMAV ini. *Elevator* dan *rudder* yang berperan sebagai *control surface* dihubungkan dengan servo linear oleh *linkage*. Gerakan translasi dari servo linear diubah menjadi gerakan rotasi *elevator* dan *rudder*.

IMPLEMENTASI

A. Sayap dan Mekanisme Kepakan

Sayap Papatong MAV tersusun dari bahan plastik *mylar* dengan ketebalan 5 μm dan batang karbon. Plastik *mylar* digunakan karena merupakan plastik kuat dan ringan. Batang karbon yang digunakan adalah karbon pejal berdiameter 1 mm sebagai *leading edge* dan batang karbon pejal berdiameter 0,28 mm sebagai *stiffener*. Motor DC *Coreless* sebagai aktuator utama juga dipasang pada *geardrive* dan langsung berhubungan dengan gir-gir.



Gambar 11 Sayap Papatong



(a)



(b)

Gambar 12 Mekanisme kepankan dan motor DC coreless (a) tampak belakang dengan fuselage, (b) tampak samping

B. Control Surface

Desain ekor robot Papatong MAV diimplementasikan dengan bahan *polyfoam* dengan ketebalan 3 mm. *Elevator* dan *rudder* sebagai *control surface* digerakkan dengan *servo linear* yang dihubungkan dengan *linkage* berupa kawat *email*.

C. Integrasi

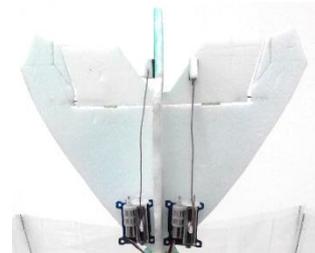
Rangka utama (*fuselage*) robot Papatong MAV berbahan karbon persegi dengan ketebalan 1,5 mm

dan panjang 100 mm. Dengan tambahan *geardrive* dan ekor, panjang kerangka robot total adalah 20 cm, dengan lebar rentang sayap adalah 280 mm. Badan robot dibuat dari bahan *Styrofoam*. Pusat massa robot berada di berada 5,1 cm dari *leading edge*.

Board LISA/S dengan GPS, baterai, dan *gearbox* diletakkan di dalam badan robot. Komponen-komponen tersebut diposisikan sedemikian rupa sehingga tercapai *center of gravity* 5,1 cm dari *leading edge*. Dua pasang sayap dipasang pada *hinge*. Massa total keseluruhan robot Papatong adalah 21,65 gr dengan rincian pada Tabel 2.

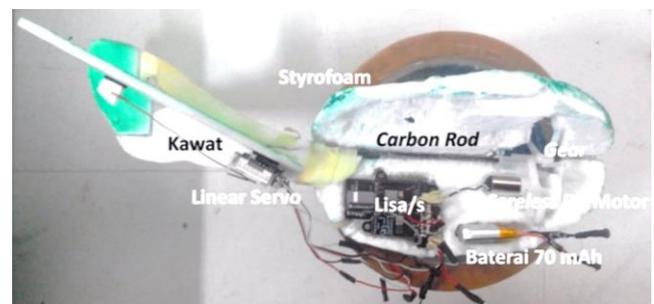


(a)

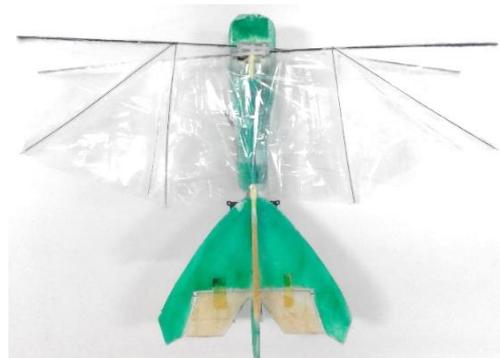


(b)

Gambar 13 Ekor robot Papatong (a) tampak samping (b) tampak bawah



Gambar 14 Penempatan komponen pada badan robot



Gambar 15 Robot Papatong MAV tampak atas

Tabel 2 Massa Komponen

No.	Komponen	Massa (g)
1.	Baterai 70mAh	2,56
2.	Sayap 1	0,78
3.	Sayap 2	0,78
4.	Gearbox + Fuselage	2,30
5.	Board Lisa/S	7,05
6.	Motor DC	2,11
7.	Body + Ekor	2,09
8.	Servo Linear 1 + batang penggerak	1,99
9.	Servo Linear 2 + batang penggerak	1,99
	TOTAL	21,65

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengujian Terbang

Pengujian terbang dilakukan dengan 2 tahap, yaitu pengujian kualitatif dan pengujian kuantitatif. Pengujian kualitatif adalah pengujian untuk melihat kemampuan terbang, sikap terbang, dan manuver terbang di udara. Sementara pengujian secara kuantitatif dilakukan pada *wind tunnel* dan timbangan elektronik untuk mengukur *thrust* dan *lift* ketika terbang dibandingkan dengan berat total robot.

Dalam pengujian kualitatif menggunakan tali, robot Papatong digantung pada *center of gravity*-nya dengan ketinggian 2,5m dari permukaan tanah dengan tali sepanjang 1,5m di dalam ruangan. Tali digunakan sebagai pengaman. Pada pengujian ini, robot Papatong saat *full throttle* dapat terbang lurus dan terangkat dengan kondisi tidak menarik tali pengaman atau dalam kondisi tali kendur. Hal ini menunjukkan bahwa *thrust* dan *lift* yang dihasilkan kepekan sayap robot melebihi gaya beratnya atau secara kualitatif dapat dikatakan bahwa robot sudah dapat terbang.

Pengujian di lapangan terbuka dilakukan untuk mengetahui kemampuan robot terbang secara bebas dan bermanuver di udara. Robot Papatong diterbangkan dengan *hand launch*. Rudder dan *elevator* pada ekor robot digunakan untuk mengubah arah gerakan. Pengujian Rudder dan Elevator ditunjukkan pada Tabel 3 dan Tabel 4.

Tabel 3 Pengujian Rudder terhadap kondisi terbang robot Papatong

No.	Posisi Tuas Rudder	Kondisi
1	Tengah	Terbang Lurus
2	50% ke kanan	Belok kanan sedikit
3	100% ke kanan	Belok kanan lebih
4	50% ke kiri	Belok kiri sedikit
5	100% ke kiri	Belok kiri lebih

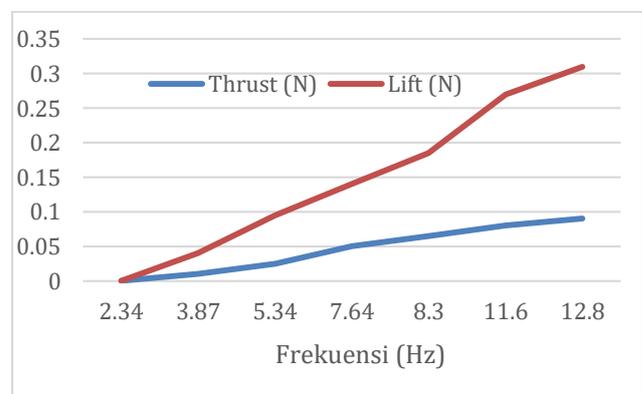
Tabel 4 Pengujian Elevator terhadap kondisi terbang robot Papatong

No.	Posisi Tuas Elevator	Kondisi
1	Tengah	Terbang Lurus
2	50% ke atas	Menukik sedikit
3	100% ke atas	Menukik lebih
4	50% ke bawah	Menanjak sedikit
5	100% ke bawah	Menanjak lebih



Gambar 16 Pengujian Terbang di Lapangan Lodaya

Untuk dapat terbang, gaya *lift* harus lebih besar dari berat robot. Pengukuran gaya *lift* dan *thrust* dilakukan pada *wind tunnel* yang dilengkapi dengan neraca ohaus. Untuk mengukur *lift* dan *thrust*, robot Papatong MAV diletakkan dengan kemiringan 90° terhadap sumbu longitudinal dengan cara dijepit pada *center of gravity* robot. Lengan penjepit terhubung dengan neraca pada *wind tunnel* sehingga neraca akan bergerak ketika terdapat pergerakan dari robot Papatong MAV dengan massa total robot adalah 21,65 gram.



Gambar 17 Pengujian Thrust dan Lift terhadap frekuensi kepekan

Berdasarkan hasil pengujian pada Gambar 17, diperoleh bahwa gaya *lift*, 0,22 N, pada saat *full throttle* dengan frekuensi 12,8 Hz lebih besar dari berat keseluruhan robot, 0,2165 N. Dengan demikian, secara kuantitatif robot Papatong dapat terbang tetapi dengan kondisi *full throttle*. Di

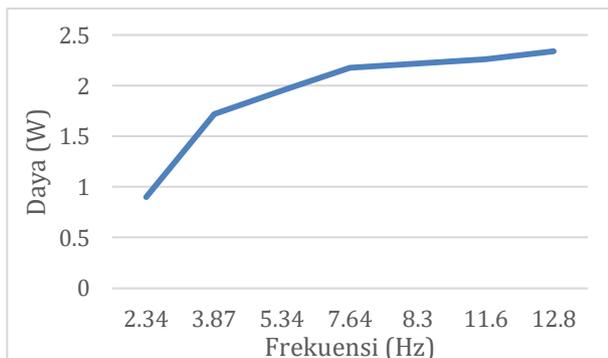
lapangan, robot *flapping wings* MAV Papatong dapat terbang maksimal selama 1,5 menit dari keadaan kapasitas baterai 100% sampai 0%.

B. Pengujian Frekuensi, Arus, dan Konsumsi Daya

Pada kondisi terbang, robot "Papatong" menggunakan baterai 70mAh yang menyuplai mikrokontroler LISA/S yang mengatur motor dan 2 servo linear. *Thrust* dan *lift* yang dihasilkan kepakan sayap robot diukur dengan neraca *ohauss* pada *wind tunnel*. Dalam rentang waktu yang sama, diukur pula konsumsi daya robot ketika mengepak. Pengukuran arus dan konsumsi daya dilakukan dengan dua multimeter, salah satu sebagai voltmeter dan lainnya sebagai amperemeter.



Gambar 18 Robot Papatong diuji dalam wind tunnel



Gambar 19 Hasil pengujian daya yang dikonsumsi terhadap frekuensi kepakan

Untuk mengukur frekuensi dengan nilai antara 10-14 Hz, digunakan metode pengukuran melalui video. Angka frekuensi yang sebenarnya adalah frekuensi ketika video diperlambat dikali dengan skala perlambatan. Pengujian dilakukan dengan skala perlambatan sebesar 9,67. Dalam pengujian ini digunakan baterai 1 sel yang mempunyai tegangan maksimum sebesar 4,12 V. Ketika pengujian, baterai tersebut terukur sebesar 3,9 V. Data-data yang terbaca digunakan untuk menentukan daya yang dikonsumsi oleh robot Papatong. Berdasarkan hasil pengujian pada Gambar 19, FWMAV Papatong mengonsumsi daya maksimal sebesar 2,34 Watt, ketika *full throttle*. Frekuensi kepakan robot

Papatong ketika *full-throttle* adalah 12,8 Hz, memenuhi syarat terbang robot FWMAV.

KESIMPULAN

Implementasi desain *flapping wings* MAV Papatong telah berhasil membuat sebuah wahana terbang kecil yang dapat terbang di udara. Robot Papatong terbang ketika *full throttle* dengan frekuensi kepakan 12,8 Hz dan memerlukan daya sebesar 2,34 Watt. Robot Papatong dapat terbang di udara dengan *thrust* yang melebihi berat robot. Desain ekor yang diadopsi dari wahana terbang *fixed-wing* berfungsi dengan baik sebagai *control surface, elevator & rudder*. Perlu penelitian lebih lanjut mengenai komponen kecil dan ringan namun tetap berperformansi tinggi, utamanya baterai, untuk menambah durasi waktu terbang robot *flapping wings* MAV ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. A. Sipahi, A. Yilmaz, A. Kaya, A. E. Cil, A. A. Demircali and H. Uvet, "Design of Flapping Wing Mini Air Vehicle with Crank-Rocker Mechanism," *2019 23rd International Conference on Mechatronics Technology (ICMT)*, SALERNO, Italy, 2019, pp. 1-5
- [2] C. Wang *et al.*, "Study on Wing Geometry for the Influence of Flapping Wing Aerodynamic Characteristics," *2019 International Conference on Intelligent Computing, Automation and Systems (ICICAS)*, Chongqing, China, 2019, pp. 879-882
- [3] D. Lentink, S. R. Jongerius dan N. L. Bradshaw, "The Scalable Design of Flapping Micro-Aerial Vehicles Inspired by Insect Flight," dalam *Flying Insects and Robots*, Springer Berlin Heidelberg, 2009, pp. 185-204.
- [4] B. Bruggeman, "Improving Flight Performance of Delfly II in Hover by Improving Wing Design and Driving Mechanism," TU Delft, Delft, 2010.
- [6] G. de Croon, M. Groen, C. De Wagter, D. Remes, R. Ruijsink dan B. van Oudheusden, "Design, Aerodynamics, and Autonomy of the Delfly," *Bioinspiration and Biomimetics*, vol. VII, no. 2, 2012.
- [7] G. de Croon, K. de Clerq, R. Ruijsink dan C. de Wagter, "Design, Aerodynamics, and Vision-based Control of Delfly," *International Journal of MAV*, vol. 1(2), pp. 71-97, 2009.