

RANCANG BANGUN MEKANISME UNTUK MENGHASILKAN GERAK UNDULATORY MENIRU GERAK SIRIP IKAN PARI

¹Maulvi Muhamadi Haekal · ²Arfie Armelia Erissonia · ³Reo Yudhono

¹Jurusan Teknik Dirgantara
Sekolah Tinggi Teknologi Kedirgantaraan
21021732@sttkd.ac.id

²Jurusan Aeronautika
Sekolah Tinggi Teknologi Kedirgantaraan
arfie.armelia@sttkd.ac.id

³Jurusan Teknik Dirgantara
Sekolah Tinggi Teknologi Kedirgantaraan
reo.yudhono@sttkd.ac.id

Article history:

Received 21th of August, 2024

Revised 23th of August, 2024

Accepted 29th of August, 2024

Abstract

Pengembangan Unmanned Underwater Vehicles (UUVs) terus mengalami kemajuan pesat seiring dengan meningkatnya kebutuhan eksplorasi bawah laut. Teknologi robotik bawah laut memegang peran penting dalam mengoptimalkan penelitian kelautan. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengembangkan mekanisme gerak undulatory yang terinspirasi dari pergerakan ikan pari air tawar (*Potamotrygon orbignyi*), serta menganalisis kinerjanya pada variasi tegangan listrik yang berbeda. Metode eksperimen digunakan untuk menguji parameter frekuensi dan amplitudo gelombang. Mekanisme dirancang dengan sistem cakram berputar yang didesain untuk mencapai amplitudo target 1,4–1,6 cm. Material sirip dipilih yang bersifat fleksibel namun cukup kaku, dengan panjang 10 cm agar tidak terjadi gangguan antar sirip. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pada tegangan 3,7 V, amplitudo berkisar antara 1,20–1,57 cm dengan frekuensi 0,057 Hz; pada 4,7 V, amplitudo sebesar 1,14–1,65 cm dengan frekuensi 0,076 Hz; dan pada 5 V, amplitudo meningkat hingga 2,23 cm dengan frekuensi 0,094 Hz. Peningkatan tegangan berbanding lurus dengan frekuensi (+0,018 Hz/volt), yang disebabkan oleh semakin cepatnya putaran RPM motor DC, sehingga menghasilkan lebih banyak gelombang dalam waktu yang lebih singkat. Sementara itu, amplitudo optimal dicapai pada rentang tegangan 3,7–4,7 V. Temuan ini menunjukkan bahwa mekanisme gerak undulasi berbasis tegangan memiliki potensi untuk diterapkan pada sistem propulsi biomimetika skala kecil hingga menengah.

Keywords: Unmanned Underwater Vehicle, Undulatory, Mekanisme Gerak, Ikan Pari, Biomimetika

Pendahuluan

UUV (Unmanned Underwater Vehicle) atau disebut dengan kendaraan bawah air tanpa awak termasuk dalam bagian perkembangan teknologi yang pesat untuk meneliti atau sebagai kendaraan bawah air. Ditambah dengan negara Indonesia adalah negara kepulauan dengan wilayah perairan laut yang sangat luas, yang melebihi dua kali luas daratannya, banyak dari kekayaan lautnya masih belum dieksplorasi secara menyeluruh dan belum dimanfaatkan untuk kemakmuran penduduknya. UUV berfungsi sebagai alat untuk memantau, melakukan survei, dan mengumpulkan data di lingkungan laut tanpa memerlukan kehadiran manusia di tempat yang berbahaya atau sulit dijangkau [1]. Teknologi robot bawah air dapat membantu mengoptimalkan hasil eksplorasi kelautan. Robot bawah air, juga dikenal sebagai "underwater robot", adalah jenis robot yang digunakan secara luas untuk melakukan kegiatan di dalam air. Dua jenis robot bawah air yang dikendalikan adalah AUV (Autonomous Underwater Vehicles) dan ROV (Remotely Operated Vehicles) [2].

AUV adalah robot bawah air yang otonom dan otomatis, dapat bergerak dan melakukan kegiatan sendiri sesuai dengan program yang telah diberikan kepada mereka, dan dilengkapi dengan berbagai sensor untuk mengumpulkan data sesuai dengan program. Mirip dengan Autonomous Underwater Vehicles (AUV), robot ikan ini dirancang untuk menggantikan manusia [3]. Saat ini, manusia diperlukan untuk mengeksplorasi laut dalam. Manusia akan terekspos pada bahaya seperti tekanan air yang tinggi dan spesies yang berbahaya saat menyelam ke laut dalam. Karena jumlah oksigen dan tekanan air yang terbatas, manusia juga hanya dapat menyelam dalam jangka waktu tertentu [2]. Robot bawah air atau seringkali disebut underwater robot adalah robot yang beroperasi dibawah permukaan air secara otomatis atau pun non otomatis. Robot ini didesain untuk kuat dan tahan kedap terhadap air. Underwater robot banyak digunakan untuk kebutuhan penelitian ataupun eksplorasi ekosistem baru yang berada di bawah permukaan air.

Mekanisme gerak yang efektif yang dapat mengatasi berbagai kondisi lingkungan bawah air merupakan tantangan utama dalam pembuatan UUV. Gerakan berputar, yang meniru gerakan alami hewan laut, menawarkan solusi menarik untuk masalah propulsi dan manuverabilitas UUV dalam situasi ini [4]. Ikan pari, dengan tubuhnya yang aerodinamis dan siripnya yang lebar, dapat bergerak secara efisien dalam air dengan meniru gerakan sayap atau sirip hewan. Mekanisme gerak undulatory sederhana untuk prototipe UUV berbentuk ikan pari menjadi sangat relevan dalam konteks ini [5].

Pendekatan biomimetika digunakan dalam penelitian ini. Pendekatan ini dilakukan untuk mendapatkan prestasi kerja dari desain yang dibuat sesuai dengan lingkungan kerjanya. Ikan secara umum telah memiliki kemampuan gerak yang sesuai untuk bekerja di dalam air. Pendekatan biomimetika sering dilakukan pada riset dan pengembangan perangkat robotika. Dalam desain robot terbang, pendekatan desain banyak dilakukan kepada bentuk burung [6] dan serangga [7] [8]. Sedangkan untuk perangkat robot air, pendekatan desain dilakukan kepada mekanisme dan bentuk dari ikan [9] [10].

Gerakan undulatory adalah pola gerakan berbentuk gelombang yang dihasilkan oleh kontraksi otot secara berurutan, menciptakan gelombang yang merambat sepanjang tubuh organisme atau robot yang menyerupai cara berenang suatu hewan laut. Gaya dorong yang dihasilkan berasal dari sirip yang berinteraksi dengan air yang dilaluinya [11]. Amplitudo pergerakan yang dihasilkan relatif sama atau seragam, dan juga gelombang melibatkan seluruh tubuh yang bergerak. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk membuat dan mengembangkan mekanisme gerak undulatory untuk UUV berbentuk ikan pari.

Metode Penelitian

Peneliti menggunakan metode eksperimen dalam penelitian ini. Eksperimen adalah jenis penelitian yang dilakukan untuk mengetahui bagaimana perlakuan tertentu yang mempengaruhi suatu benda dengan perlakuan lain. Kegiatan sering kali disebut "percobaan". Tujuan dari percobaan adalah untuk menentukan semua faktor yang dapat mempengaruhi percobaan [12]. Dalam penelitian ini mengenai rancang bangun mekanisme gerak undulatory untuk meniru gerak sirip ikan pari, analisis yang akan dilakukan diawali dengan menentukan parameter analisis yang akan diidentifikasi dan dijadikan sebuah data hasil Analisa. Parameter yang relevan dengan penelitian ini adalah dengan mengukur Gerakan atau sudut lengkungan yang dibentuk dari pergerakan sirip prototipe, perhitungan amplitude yang dihasilkan oleh sirip prototipe, berapa banyak jumlah gelombang dan frekuensi yang dihasilkan dalam fase waktu, perhitungan jumlah undulasi berdasarkan waktu yang akan ditentukan [13]. Pengumpulan data eksperimen akan dilakukan dengan cara memanfaatkan bantuan dari perangkat kamera handphone untuk mengambil rekaman video pergerakan dari sirip prototipe dan juga analisis dengan bantuan software video tracker. Analisis data yang didapat dari rekaman video akan dianalisis dengan melihat beberapa parameter seperti yang dijelaskan sebelumnya. Gerakan yang dihasilkan dan waktu yang dapat ditempuh oleh prototipe.

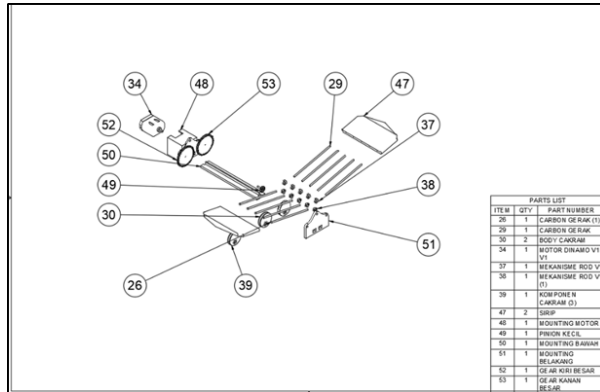
Perancangan dan Desain Prototipe



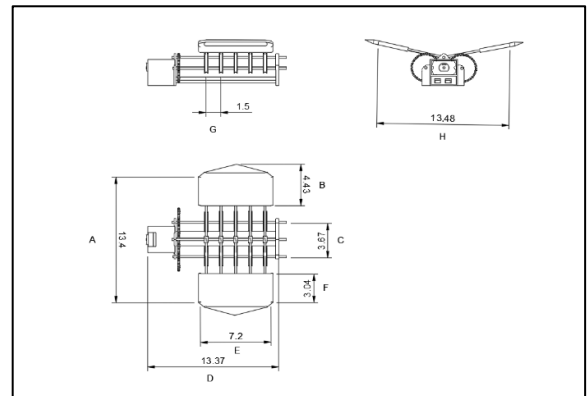
Gambar 1 . Desain Prototipe (A) Desain Menggunakan sirip , (B) Desain Tanpa Sirip

Pada penelitian ini perancangan yang dilakukan peneliti desain akan dibentuk dengan bantuan software Fusion 360, desain akan berupa gambar 3D dari prototipe ikan pari. Desain ini akan dibentuk berupa bentuk robot bawah air yang ukuran dari protoptipe ini akan menyerupai dari ikan pari jenis *Potamotrygon orbignyi* berukuran dengan umur ikan yang masih kecil, jadi ukuran tidak begitu besar. Desain prototipe memiliki ukuran panjang lempengan 13 cm dan lebar 12 cm. Desain akan dilengkapi dengan beberapa desain komponen yang digunakan sebagai pendukung prototipe seperti motor DC, gear, cakram dan juga link batangan penghubung [14].

Desain di atas adalah bentuk desain yang digunakan dalam perancangan prototipe ikan pari yang digunakan pada penelitian ini. Penjelasan pada gambar di atas sebagai berikut:



Gambar 2. Bagian-bagian Dari Prototipe

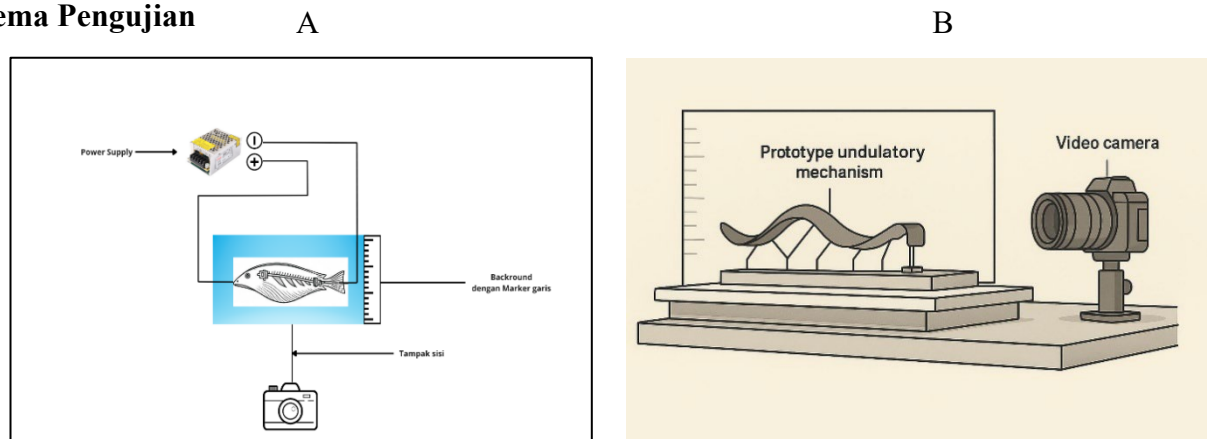


Gambar 3. Rangkaian-rangkaian Hasil dari Cetak 3D Printing

Tabel 1. Rangkaian-rangkaian Hasil dari Cetak 3D Printing

Label Gambar	Ukuran (Cm)	Keterangan
A	13,4	Lebar keseluruhan Prototipe (BW)
B	4,43	Lebar sirip (FW)
C	3,67	Lebar body (BL)
D	13,37	Panjang keseluruhan prototipe (BL)
E	7,2	Panjang sirip (FL)
F	3,4	Lebar sisi ujung sirip
G	1,5	Jarak antar roda cakram
H	13,48	Lebar Prototipe dari tampilan depan

Skema Pengujian



Gambar 4. (A) Flow skema pengujian, (B) Skema penempatan kamera dalam pengambilan data

Skema pengujian dilakukan dengan tujuan untuk memberikan gambaran dan konsep proses pengambilan data secara sistematis dan terstruktur. Metode pengujian yang digunakan adalah metode eksperimen dengan bantuan perangkat lunak Video Tracker Analysis, dimana prototipe diuji coba pada permukaan datar dan direkam melalui dokumentasi video. Tahapan pengujian meliputi persiapan perangkat, kalibrasi untuk memastikan kondisi alat berfungsi optimal, serta pengaturan parameter utama berupa frekuensi dan amplitudo. Selanjutnya dilakukan uji mekanisme gerak dengan variasi input tegangan yang berbeda, kemudian pergerakan sirip prototipe direkam dari berbagai posisi dan diubah ke format slow motion untuk mempermudah analisis. Data gerakan diolah menggunakan Video Tracker untuk menghasilkan grafik sesuai parameter penelitian, lalu dianalisis dan dicatat hasilnya. Hasil pengolahan data digunakan untuk mengevaluasi kinerja prototipe apakah gerak yang dihasilkan stabil dan sesuai dengan harapan, hingga akhirnya ditarik kesimpulan dari pengujian yang telah dilakukan.

Perhitungan Dimensi dan Desain Roda Cakram

Perancangan cakram pada prototipe ini dilakukan menggunakan software AutoCAD Fusion 360 dengan memperhatikan ukuran amplitude dan jarak antar poros gear untuk memastikan gerakan sirip sesuai dengan tujuan penelitian. Amplitude yang dibutuhkan sebesar 1,65 cm, sedangkan jarak antar poros gear kecil dan besar adalah 1,8 cm. Penempatan lubang center gear besar dengan poros shaft cakram memiliki toleransi 0,51 mm. Jarak antara poros pinion dengan rod penyangga tulang sirip ditetapkan 1 cm, dengan diameter poros 1,92 cm. Posisi lubang shaft pada cakram disesuaikan dari sisi luar lingkaran untuk memastikan pergerakan naik-turun sirip sama tinggi, dengan jarak 0,44 cm dari sisi luar ke poros. Percobaan menunjukkan bahwa peningkatan jarak antar poros menjadi 2 cm akan meningkatkan diameter cakram menjadi 3,84 cm, yang berpotensi menimbulkan tabrakan antar cakram. Oleh karena itu, jarak antar poros 1 cm dan diameter cakram 1,92 cm dipilih sebagai ukuran optimal. Mekanisme cakram mengikuti konsep camshaft, mirip dengan cam-crank slider, yang mengubah gerak putar motor menjadi gerak translasi slider. Dalam desain ini, jari-jari crank tanpa offset pin adalah 0,961 cm, sedangkan panjang connecting rod atau carbon dari pivot ke ujung sirip adalah 7 cm.

$$x(\theta) = r \cos \theta + \sqrt{L^2 - (r \sin \theta)^2} \dots (1)$$

$$\text{saat } \theta = 0^\circ \quad x(0) = r \cos 0 + \sqrt{L^2 - (r \sin 0)^2}$$

$$x(0) = 0,961 (1) + \sqrt{49 - 0}$$

$$x(0) = 0,961 + 7 = 7,961 \text{ cm}$$

$$\text{saat } \theta = 180^\circ \quad x(180) = r \cos 180 + \sqrt{L^2 - (r \sin 180)^2}$$

$$x(180) = 0,961 (-1) + \sqrt{49 - 0}$$

$$x(180) = -0,961 + 7 = 6,039 \text{ cm}$$

$$\text{stroke} = 7,961 - 6,039 = 1,922 \text{ cm} \rightarrow \text{amplitudo} \frac{1,922}{2} = 0,961 \text{ cm}$$

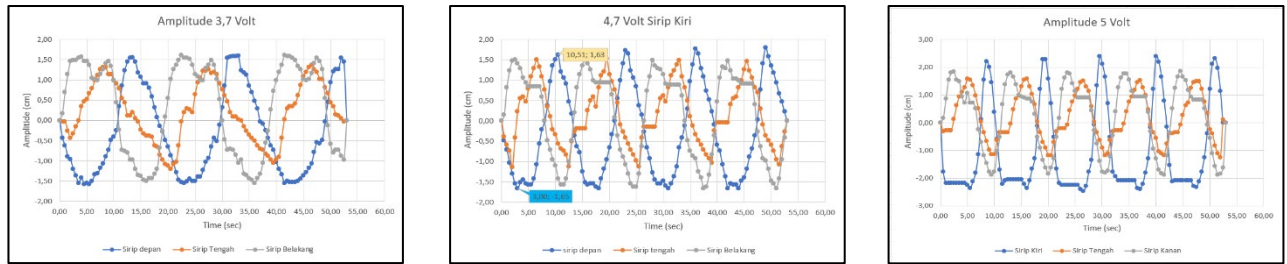
$$s = r - R = 1,6 - 0,961 = 0,639 \text{ cm}$$

Jadi roda cakram tidak akan menghasilkan gelombang yang berbeda-beda maka poros cakram diubah ke sisi tepi. Sehingga poros putar cakram diberi tambahan offset pada ujung sisi dengan berjarak 0,639 cm dari sisi.

Hasil Amplitudo

Pengujian menunjukkan bahwa variasi input voltase berpengaruh signifikan terhadap tinggi amplitude gelombang undulatory. Pada 3,7 V, amplitude maksimum berada di kisaran $\pm 1,2$ – $1,6$ cm. Pada 4,7 V, amplitude meningkat hingga $\pm 1,6$ – $1,9$ cm, dengan beberapa posisi sirip mencapai lebih dari 2 cm. Pada 5 V, amplitude tertinggi tercatat $\pm 2,2$ – $2,3$ cm. Secara umum, peningkatan voltase memperbesar amplitude dan mempercepat pembentukan gelombang, namun variasi tetap terjadi antar posisi sirip akibat perbedaan panjang

tulang sirip dan kekakuan material. Hasil ini menegaskan bahwa voltase input merupakan faktor utama yang memengaruhi stabilitas dan besarnya amplitude pada mekanisme undulatory.



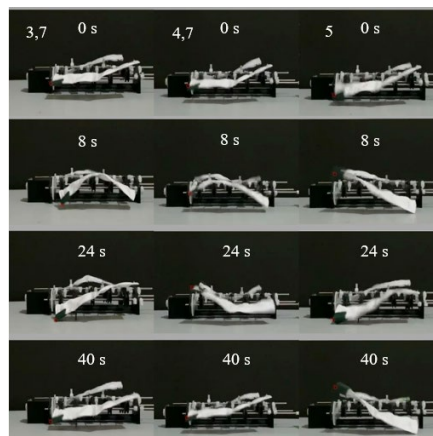
Gambar 5. (A) Amplitudo 3,7 volt , (B) Amplitudo 4,7 volt , (C) Amplitudo 5 volt

Tabel 2. Hasil amplitudo dari berbagai variasi input tegangan

Voltage (V)	Amplitudo Sirip Saat Upward (cm)			Amplitudo Sirip Saat Downward (cm)		
	Depan	Tengah	Belakang	Depan	Tengah	Belakang
3,7	1,56	1,32	1,57	-1,57	-1,20	-1,49
4,7	1,63	1,51	1,51	-1,65	-1,14	-1,57
5	2,22	1,59	1,84	-2,36	-1,14	-1,87

Hasil Frekuensi

Frekuensi gelombang mengalami peningkatan setelah kenaikan input voltase listrik, dapat dikatakan bahwa antara hubungan frekuensi dengan input tegangan listrik berbanding lurus atau linear hal tersebut dapat dikatakan linear karena hubungannya adalah terhadap putaran motor yang dihasilkan atau RPM. Semakin tinggi input pada motor membuat motor memiliki tenaga daya putar yang lebih besar sehingga motor menjadi lebih kencang dan frekuensi gelombang menjadi lebih banyak karena membutuhkan waktu yang lebih singkat [15]. Hubungan linear yang dihasilkan pun linear meningkat. Dapat dilihat dari 3,7 volt yang menghasilkan frekuensi rata-rata sebesar 0,057 Hz, kemudian naik menjadi 0,076 Hz pada tegangan 4,7 V, dan mencapai 0,094 Hz pada 5 V. Hal tersebut menunjukkan setiap volt setidaknya meningkat sebesar 0,015 – 0,019 Hz. Hal ini dapat terjadi karena perputaran motor semakin kencang yang membuat kondisi upward dan downward menjadi lebih singkat dan siklus yang dihasilkan pun banyak dalam waktu tempuh yang sedikit. Dapat dilihat pada Gambar 4.20 bahwa tinggi gelombang dan juga seberapa cepat gelombang tersebut kembali dari posisi tertinggi ke posisi terendah dengan waktu yang relatif sebentar. Pada gambar menjelaskan pergerakan gelombang dari titik tertentu ke titik lainnya dan juga Gerakan perambatan gelombang pada waktu tertentu dan juga frame sudah ditentukan.



Gambar 6. Pergerakan dan bentuk gelombang dari berbagai waktu tertentu

Kesimpulan

Perancangan prototipe mengacu pada gerakan sirip ikan pari *Potamotrygon orbignyi* yang memiliki pola undulatory. Ukuran tubuh ikan pari yang dijadikan acuan adalah panjang $12,8 \pm 0,8$ cm (DL) dan lebar $11,27 \pm 0,99$ cm (DW). Mekanisme gerak dirancang menggunakan sistem cakram berputar menyerupai camshaft, dengan jarak antar cakram 14 mm agar terbentuk gelombang. Setiap cakram memiliki lima lubang untuk menyesuaikan jumlah sambungan tulang sirip. Target amplitudo 1,4–1,6 cm ditetapkan melalui pemilihan diameter cakram 19,22 mm, panjang tulang sirip 7 cm, serta jarak poros pinion 10 mm. Sirip dibuat dari material lentur namun cukup rigid, dengan kain diperpanjang hingga 10 cm agar tidak saling menahan saat bergerak. Hasil pengujian menunjukkan amplitudo bervariasi sesuai input tegangan. Pada 3,7 V, amplitudo tercatat 1,20–1,57 cm dengan kondisi stabil. Pada 4,7 V meningkat menjadi 1,14–1,65 cm dengan pola lebih dinamis, sedangkan pada 5 V terjadi overmove hingga 2,23 cm karena sirip terdorong lebih jauh akibat putaran motor yang lebih cepat. Hal ini dipengaruhi sifat lentur material sirip sehingga pada tegangan tinggi sirip terlempar keluar dari pusat rotasi. Frekuensi juga dipengaruhi tegangan. Pada 3,7 V diperoleh 0,057 Hz (3 gelombang), pada 4,7 V sebesar 0,076 Hz (4 gelombang), dan pada 5 V mencapai 0,094 Hz (5 gelombang). Rata-rata peningkatan sekitar 0,018 Hz per volt, menunjukkan bahwa tegangan listrik dapat dijadikan kendali langsung untuk mengatur kecepatan gelombang. Nilai frekuensi yang masih di bawah 1 Hz membuat rancangan ini sesuai untuk prototipe bio-inspiratif pada skala kecil hingga menengah.

Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Bapak Reo Yudhono, S.T., M.Sc. dan Ibu Arfie Armelia Erissonia, S.T., M.Sc. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, arahan, dan motivasi dalam penyusunan penelitian ini. Ucapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada rekan-rekan yang selalu memberikan dukungan, bantuan, serta semangat selama proses penelitian berlangsung. Tidak lupa penulis menghaturkan rasa hormat dan terima kasih yang mendalam kepada kedua orang tua yang senantiasa memberikan doa, kasih sayang, serta dukungan moril maupun materil sehingga penelitian ini dapat terselesaikan dengan baik.

Daftar Pustaka

- [1] M. A. Pangestu, "Perancangan dan Pembuatan Robot Ikan Berbasis Mikrokontroler Arduino Promini.," p. 62, 2016, [Online]. Available: <http://repository.its.ac.id/1455/>
- [2] M. M. Nawirma and S. G. Zain, "Pengembangan Sistem Monitoring Pada Robot Underwater Dengan Menggunakan Kamera Webcam," *J. Embed. Syst. Secur. Intel. Syst.*, vol. 01, no. November, pp. 88–96, 2020, [Online]. Available: <http://103.76.50.195/JESSI/article/view/16119>
- [3] Yogie Junan, Vecky C. Poekoel, and Muhamad Dwisnanto Putro, "Rancang Bangun Robot," *Tek. Elektro dan Komput.*, vol. 7, no. 1, pp. 1–8, 2019.
- [4] S. Guo, J. Zhang, Y. Yang, H. Cheng, and J. Hong, "Design and experimental study of a pneumatic bionic stingray undulatory soft robot," *ICINCO 2020 - Proc. 17th Int. Conf. Informatics Control. Autom. Robot.*, no. Icinco, pp. 363–368, 2020, doi: 10.5220/0008939703630368.
- [5] G. Li, G. Liu, D. Leng, X. Fang, G. Li, and W. Wang, "Underwater Undulating Propulsion Biomimetic Robots: A Review," *Biomimetics*, vol. 8, no. 3, 2023, doi: 10.3390/biomimetics8030318.
- [6] R. Yudhono, A. A. Erissonia, "Design of a bird-like fixed-wing unmanned aerial vehicle", *Proceeding of International Conference on Engineering and Natural Sciences - Summer Session*, 2018.
- [7] Phan, HV., Park, H.C. & Floreano, D. Passive wing deployment and retraction in beetles and flapping microrobots. *Nature*, no. 632, pp. 1067–1072, 2024. doi: 10.1038/s41586-024-07755-9.
- [8] K. Nguyen, L. T. K. Au, H. V. Phan, S. H. Park, and H. C. Park, "Effects of wing kinematics, corrugation, and clap-and-fling on aerodynamic efficiency of a hovering insect-inspired flapping-wing micro air vehicle", *Aerospace Science and Technology*, vol.118, 2021, doi:10.1016/j.ast.2021.106990.
- [9] Jian, X., Zou, T. "A Review of Locomotion, Control, and Implementation of Robot Fish". *J Intell Robot Syst* 106, 37 (2022). <https://doi.org/10.1007/s10846-022-01726-w>.
- [10] S. Hidayat, R. Yudhono, and A. A. Erissonia, "Rancang Bangun Mekanisme Buka Tutup Sirip Meniru Sirip Ikan Terbang", *Teknika STTKD: Jurnal Teknik, Elektronik, Engine*, vol. 8, no. 2, pp. 355–360, 2022, doi: 10.56521/teknika.v8i2.683.
- [11] W. Zhou, Z. Hao, and N. Gravish, "Collective Synchronization of Undulatory Movement through Contact," *Phys.*

- Rev. X*, vol. 11, no. 3, pp. 31051, 2021, doi: 10.1103/PhysRevX.11.031051.
- [12] A. Khairil Fajri Rustam, A. Sahwawi, A. Sultan, D. Timur Pratama, and A. Prayogi Alimuddin, "Desain Robot Observasi Karang Autonomous dengan Sistem Artificial Intelligence," *Hasanuddin Student J.*, vol. 1, no. 2, pp. 89–95, 2017.
- [13] M.Ishaq, "GELOMBANG:Traveling Wave, Standing Wave, Superposisi Gelombang," *Modul Fis. Dasar*, vol. 1, pp. 2–6, 2002.
- [14] M. N. Fauzi, "Sistem Navigasi Pada Wahana Bawah Air Navigation System on the Underwater Robot," *ResearchGate*, 2009.
- [15] M. Jones and M. Joordens, "Design of an angular radial robotic stingray," *World Autom. Congr. Proc.*, pp. 234–239, 2014, doi: 10.1109/WAC.2014.6935817.