

Kinematika Enam Derajat Kebebasan Pada Robot Bawah Air Otonom Menggunakan Pendekatan Analisa Geometri

Muhammad Indrastata Iftitana Arvi¹, Joko Endrasmono², Dimas Pristovani Riananda³, Isa Rachman⁴, Noorman Rinanto⁵, Adianto⁶, Khoirul Hasin⁷, Agus Khumaidi⁸, Ryan Yudha Adhitya⁹
e-mail: mindrastata22@student.ppns.ac.id, jokoendrasmono@ppns.ac.id, dimaspristovani@ppns.ac.id, isarachman@ppns.ac.id, noorman.rinanto@ppns.ac.id, adianto@ppns.ac.id, khoirul.hasin@ppns.ac.id, aguskhumaidi@ppns.ac.id, ryanyudhaadhitya@ppns.ac.id,

^{1,2,3,4,5,6,7,8,9} Jurusan Teknik Otomasi, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Jalan Teknik Kimia, Keputih, Sukolilo, Surabaya, Indonesia

Informasi Artikel

Riwayat Artikel

Diterima 12 Juni 2024

Direvisi 26 Juli 2024

Diterbitkan 31 Juli 2024

Kata kunci:

AUV

6-DOF

Kinematika

Geometri

Manuver Pesisir

Keywords:

AUV

6-DOF

Kinematics

Geometry

Precision Maneuvers

ABSTRAK

Seiring dengan ekspansi perairan Indonesia, teknologi maritim dan robotika telah tumbuh signifikan, menjadikannya bidang menarik dalam ilmu teknologi. *Autonomous Underwater Vehicle (AUV)* adalah robot bawah air otonom yang dapat beroperasi dan bermanuver secara mandiri berdasarkan perintah yang diberikan. AUV digunakan dalam berbagai aplikasi seperti pemantauan, pemeliharaan infrastruktur bawah laut, dan penelitian ilmiah. Untuk mengoptimalkan gerakan AUV, penelitian ini mengembangkan dan menerapkan kinematika dengan gerakan enam derajat kebebasan (6-DOF), yaitu *surge*, *heave*, *sway*, *pitch*, *roll*, dan *yaw*. Fokus penelitian ini adalah pada robot HYDROShips dari tim robotika PPNS yang menggunakan 7 motor thruster untuk mengendalikan gerakan dalam dua jenis kinematika: horizontal dan vertikal. Pendekatan geometri digunakan untuk mengintegrasikan gerakan translasi dan rotasi, menyederhanakan masukan yang diberikan kepada robot, dan memaksimalkan keluaran pada masing-masing motor. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pendekatan ini meningkatkan efisiensi dan stabilitas gerakan robot HYDROShips, memungkinkan navigasi rute bawah air yang kompleks dengan presisi tinggi. Penelitian ini diharapkan memberikan kontribusi signifikan dalam pengembangan robot bawah air otonom serta meningkatkan efisiensi dan efektivitas operasional AUV dalam berbagai aplikasi.

ABSTRACT

Along with the expansion of Indonesian waters, maritime technology and robotics have grown significantly, making it an attractive field of technology. Autonomous Underwater Vehicle (AUV) is an autonomous underwater robot that can operate and maneuver independently based on given commands. AUVs are used in a variety of applications such as environmental monitoring, underwater infrastructure maintenance, and scientific research. To optimize AUV movement, this research develops and applies kinematics with six degrees of freedom (6-DOF) movement, namely surge, heave, sway, pitch, roll and yaw. The focus of this research is on the HYDROShips robot from the PPNS robotics team which uses 7 thruster motors to control movement in two types of kinematics: horizontal and vertical. A geometric approach is used to integrate translational and rotational movements, simplify the input given to the robot, and maximize the output on each motor. The research results show that this approach improves the efficiency and stability of the HYDROShips robot's movements, enabling the navigation of complex underwater routes with high precision. This research is expected to make a significant contribution to the development of autonomous underwater robots and improve the operational efficiency and effectiveness of AUVs in various applications.

p-ISSN: 2356-0533; e-ISSN: 2355-9195



9 772356 053009

Penulis Korespondensi:

Muhammad Indrastata iftitana Arvi,
Progam Studi Teknik Otomasi,
Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya,
Jl. Teknik Kimia, Keputih, Sukolilo No. 9, Jawa Timur, Indonesia, 60111
Email: mindrastata22@student.ppons.ac.id
Nomor HP/WA aktif: +62 858-5511-1318

1. PENDAHULUAN

Seiring dengan ekspansi wilayah perairan Indonesia, kemajuan teknologi maritim dan robotika telah mengalami pertumbuhan signifikan selama beberapa dekade terakhir, menjadikannya salah satu bidang yang menarik dalam ilmu teknologi. Pengembangan teknologi digital dan kecerdasan buatan telah mempercepat inovasi dalam robotika hingga tingkat yang tak terbayangkan sebelumnya [1]. *Autonomous Underwater Vehicle* (AUV) adalah contoh robotika yang berkembang pesat. AUV adalah robot bawah air otonom yang dapat beroperasi dan bermanuver secara mandiri berdasarkan perintah yang diberikan. AUV digunakan dalam berbagai aplikasi seperti pemantauan lingkungan, pemeliharaan infrastruktur bawah laut, dan penelitian ilmiah [2].

Kemampuan AUV untuk bergerak dengan presisi tinggi sangat penting untuk keberhasilan misi-misinya. AUV sering menghadapi kendala dalam menjangkau rute bawah air yang sulit, yang dapat mempengaruhi performanya. Kendala ini berdampak negatif terhadap kemampuan robot dalam menjalankan misi yang telah ditentukan, seperti eksplorasi atau pemeliharaan infrastruktur bawah laut. Penelitian sebelumnya pada " *model kinematis ballast pada gerak Autonomous Underwater Vehicle (AUV)* " berfokus pada analisis gerakan dengan mempertimbangkan tiga derajat kebebasan: *surge*, *heave*, dan *yaw* [3]. Kendala tersebut menunjukkan perlunya pendekatan baru untuk mengoptimalkan manuver AUV dalam berbagai kondisi bawah air.

Untuk mengatasi keterbatasan tersebut, penelitian ini mengembangkan dan menerapkan kinematika dengan gerakan enam derajat kebebasan (6-DOF). Inovasi ini memperluas cakupan analisis menjadi 6-DOF yaitu *surge*, *heave*, *sway*, *pitch*, *roll*, dan *yaw*. Penerapan kinematika bertujuan untuk mengoptimalkan gerakan keseluruhan pada robot bawah air otonom. Fokus dari penelitian ini adalah pada robot HYDROShips, yang merupakan robot bawah air otonom inovasi dari tim robotika Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya (PPNS). Robot HYDROShips menggunakan 7 motor thruster untuk mengendalikan gerakan dalam dua jenis kinematika: horizontal dan vertikal [4].

Kinematika horizontal merujuk pada gerakan di sepanjang sumbu linier (X dan Y) dan rotasi di sekitar sumbu vertikal (Z), yang dikenal sebagai gerakan *surge*, *sway*, dan *yaw*. Ini berarti robot dapat bergerak maju-mundur, ke kiri-kanan, dan berputar di tempat. Kinematika vertikal mengacu pada gerakan di sepanjang sumbu vertikal (Z) dan rotasi di sekitar sumbu horizontal (X dan Y), yang dikenal sebagai gerakan *heave*, *pitch*, dan *roll*. Ini memungkinkan robot untuk naik-turun, dan memiringkan tubuhnya ke depan-belakang dan berguling ke samping [5].

Dengan menggunakan 7 motor thruster, robot HYDROShips dapat memanfaatkan enam derajat kebebasan (6-DOF) ini untuk bergerak dengan sangat presisi dan fleksibilitas tinggi di bawah air. Gerakan linier (translasi) memungkinkan robot untuk mencapai titik-titik tertentu, sementara gerakan angular (rotasi) memungkinkan robot untuk menyesuaikan orientasi dan posisi tubuhnya dengan cepat dalam berbagai kondisi lingkungan [6]. Pendekatan kinematika ini sangat penting untuk menjalankan misi-misi yang membutuhkan ketepatan tinggi dan manuver kompleks di bawah air.

Pendekatan geometri digunakan untuk mengintegrasikan gerakan translasi dan rotasi menjadi enam derajat kebebasan (6-DOF) [7]. Pemodelan kinematika pada robot HYDROShips berfungsi untuk menyederhanakan masukan yang diberikan kepada robot dan memaksimalkan keluaran pada masing-masing motor [8]. Dengan penerapan pendekatan geometri ini, robot dapat menavigasi rute bawah air yang kompleks dengan lebih efisien dan efektif. Hal ini mampu membuat robot menjalankan tugas-tugas yang lebih kompleks dengan presisi yang tinggi. Selain itu, pendekatan ini juga meningkatkan stabilitas gerakan robot di berbagai kondisi bawah air.

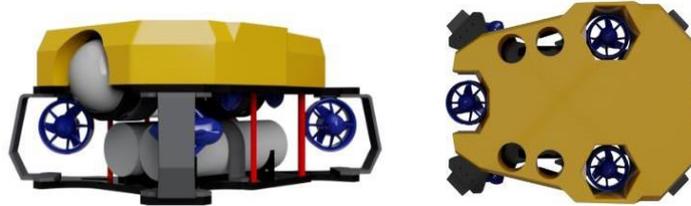


Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan kecepatan dan kestabilan gerakan robot HYDROShips dalam menjalankan misi-misinya. Diharapkan penelitian ini dapat memberikan kontribusi signifikan dalam pengembangan robot bawah air otonom, serta meningkatkan efisiensi dan efektivitas operasional AUV dalam berbagai aplikasi.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Perancangan Sistem Mekanik

Rancangan sistem mekanik robot HYDROShips terdiri dari desain prototipe robot, rancangan sistem propulsi, dan tata letak komponen pendukung.

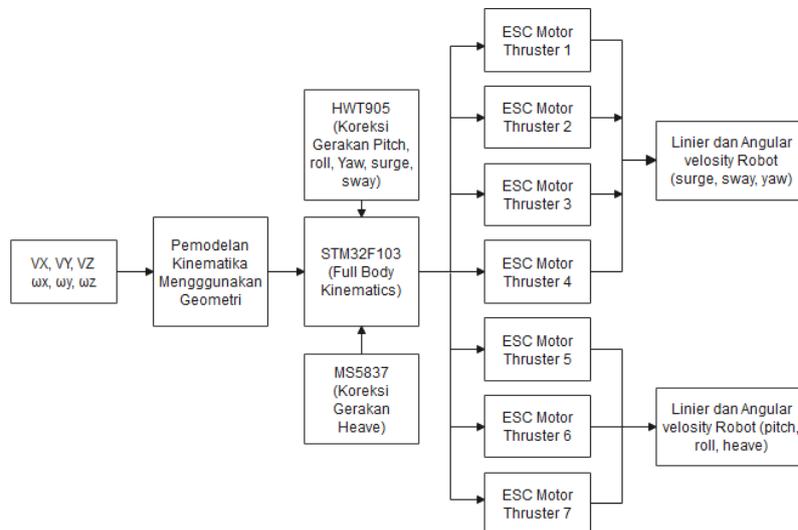


Gambar 1 Desain Robot HYDROShips

Gambar 1 menunjukkan perancangan mekanik robot HYDROShips, di mana rangka model robot menggunakan HDPE (*High-Density Polyethylene*) dengan ketebalan 12 mm yang dipotong menggunakan teknologi laser sesuai dengan desain yang telah disiapkan. Robot ini memiliki panjang 59 cm, lebar 42 cm, tinggi 28 cm, dan berat 25 kg. Selain itu, robot HYDROShips dilengkapi dengan sistem ballast tetap yang membantu robot agar dapat mengatur keseimbangan dan mengapung dengan stabil di dalam air. Dengan adanya sistem ballast ini, robot dapat diandalkan untuk beroperasi secara efisien di berbagai kondisi lingkungan air.

2.2 Diagram Blok Sistem

Mekanisme pergerakan robot HYDROShips menggunakan kinematika enam derajat kebebasan melibatkan pengendalian gerakan translasi dan rotasi yang dilakukan secara terintegrasi. Kinematika enam derajat kebebasan dari mekanisme ini akan menggabungkan kinematika dari motor thruster untuk kecepatan linear dan angular.



Gambar 2: Diagram Blok Sistem

Gambar 2 menunjukkan masukan yang akan diberikan yaitu berupa kecepatan linier (V_x, V_y, V_z) dan kecepatan angular ($\omega_x, \omega_y, \omega_z$). Masukan tersebut akan diproses oleh pemodelan kinematika menggunakan geometri untuk menghasilkan perintah gerakan yang sesuai untuk masing-masing motor thruster, sehingga robot dapat bergerak ke arah yang diinginkan. Pemodelan kinematika bertujuan untuk menghitung perubahan posisi dan orientasi robot berdasarkan kecepatan translasi dan rotasi yang diterima. Dengan menggunakan pendekatan geometris, sistem ini dapat menerjemahkan masukan kecepatan menjadi perintah untuk masing-masing motor thruster.



2.3 Kinematika

Pemodelan kinematika pada robot HYDROShips melibatkan dua aspek utama, yaitu kinematika horizontal dan kinematika vertikal. Kedua aspek ini bekerja bersama-sama untuk mengendalikan gerakan robot dengan presisi tinggi.

2.3.1 Kinematika Enam Derajat Kebebasan (6-DOF)

Kinematika enam derajat kebebasan adalah metode yang digunakan untuk menggambarkan gerakan suatu objek dengan mengintegrasikan gerakan translasi dan rotasi menjadi satu kesatuan yang utuh. Dalam konteks robot bawah air otonom, kinematika ini memungkinkan kendali gerakan dalam enam derajat kebebasan (6-DOF) yaitu translasi pada sumbu X, Y, dan Z serta rotasi pada sumbu X (*roll*), Y (*pitch*), dan Z (*yaw*) [9]. Kinematika ini menggunakan pendekatan geometri untuk menghitung perubahan posisi dan orientasi dari robot berdasarkan masukan kecepatan translasi dan rotasi. Metode ini penting untuk memastikan bahwa setiap gerakan yang dilakukan oleh robot tepat dan efisien, memungkinkan robot untuk beroperasi secara optimal dalam lingkungan bawah air yang kompleks [10].

Pada robot Hydroships, digunakan dua buah kinematika yang saling terintegrasi, yaitu kinematika horizontal dan kinematika vertikal. Kinematika horizontal menggunakan empat buah motor thruster untuk mengontrol gerakan *surge* (maju-mundur), *sway* (ke kiri-kanan), dan *yaw* (rotasi horizontal). Sementara itu, kinematika vertikal digunakan untuk mengontrol gerakan *pitch* (rotasi vertikal), *roll* (guling), dan *heave* (naik-turun).

Persamaan dasar untuk menghubungkan kecepatan translasi dan rotasi dengan kecepatan motor adalah sebagai berikut:

$$\begin{bmatrix} V_{m_1} \\ V_{m_2} \\ V_{m_3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\sin\theta_1 & \cos\theta_1 & 1 \\ -\sin\theta_1 & \cos\theta_1 & 1 \\ -\sin\theta_1 & \cos\theta_1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_x \\ V_y \\ R_\omega \end{bmatrix} \quad (1)$$

Persamaan ini diperoleh dari prinsip dasar kinematika di mana setiap motor thruster menghasilkan komponen kecepatan translasi dan rotasi yang digabungkan untuk menghasilkan gerakan enam derajat kebebasan. Berikut adalah keterangan dari variabel yang digunakan:

- V_m = kecepatan motor (rpm)
- θ = sudut pemasangan roda pada robot (°)
- V_x = kecepatan robot horizontal (m/s)
- V_y = kecepatan motor vertical (m/s)
- R_ω = kecepatan sudut (rad/s)

2.3.2 Kinematika Horizontal dan Vertikal

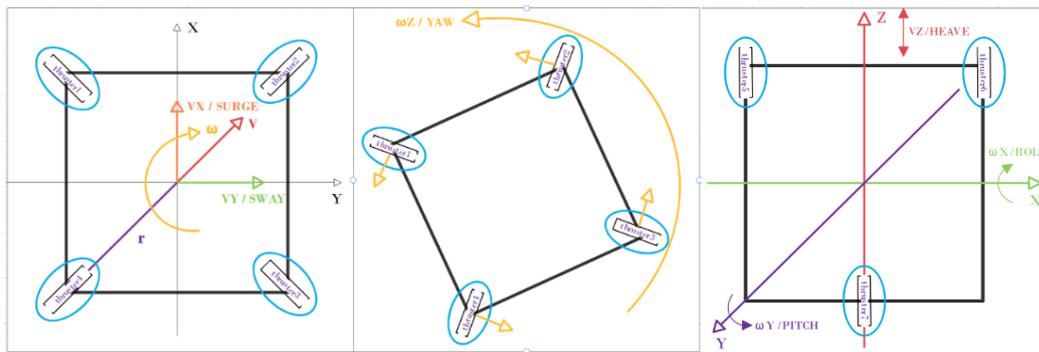
Istilah kinematika horizontal dan vertikal digunakan dari perspektif gerakan linier dan angular. Dalam kinematika horizontal, robot dapat bergerak dalam arah horizontal (sumbu X dan Y) dengan menggunakan thruster yang ditempatkan secara strategis untuk menghasilkan gerakan translasi (*surge* dan *sway*) serta rotasi pada sumbu vertikal (*yaw*). Dalam kinematika vertikal, robot dapat melakukan gerakan vertikal (sumbu Z) serta rotasi pada sumbu longitudinal (*pitch*) dan sumbu lateral (*roll*).

Pada kinematika horizontal, thruster ditempatkan pada setiap sudut robot untuk mengontrol gerakan translasi pada sumbu X dan Y serta rotasi pada sumbu Z. Gerakan translasi mampu membuat robot bergerak maju-mundur (*surge*) dan ke kiri-kanan (*sway*), serta rotasi pada sumbu vertikal (*yaw*) robot berputar di tempat. Konfigurasi ini memberikan kemampuan manuver yang tinggi, sehingga robot dapat bernavigasi dengan presisi di area yang sempit atau kompleks [11].

Kinematika vertikal melibatkan gerakan di sepanjang sumbu vertikal (*heave*) serta rotasi pada sumbu longitudinal (*pitch*) dan lateral (*roll*). Dengan menggunakan thruster yang ditempatkan secara strategis, robot dapat melakukan gerakan naik-turun, memiringkan tubuhnya ke depan-belakang, dan berguling ke samping [12]. Gerakan ini sangat penting untuk menghindari rintangan bawah air, melakukan inspeksi mendetail, dan menjaga stabilitas robot dalam berbagai kondisi arus dan kedalaman.



Berikut adalah gambar 2 yang menunjukkan gerakan translasi pada sumbu X, Y, dan Z serta rotasi pada sumbu X (*roll*), Y (*pitch*), dan Z (*yaw*):



Gambar 3. Gerak Translasi X dan Y (Kiri), Gerak Rotasi Z (Tengah), dan Gerak Translasi Z serta Rotasi X dan Y (kanan)

Berikut merupakan keterangan dari gambar 3

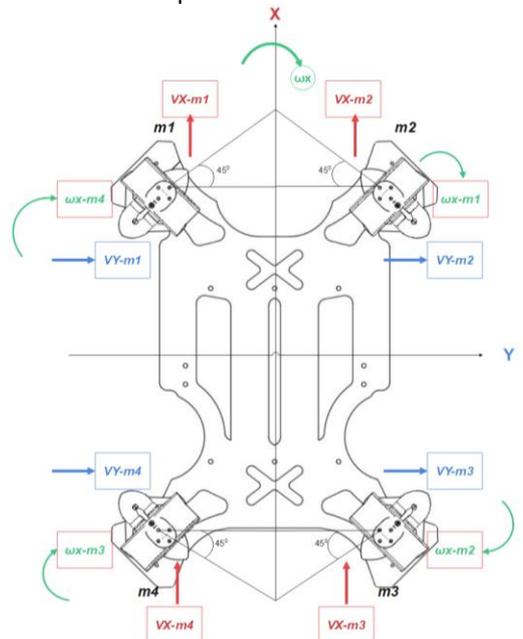
- V_x = kecepatan translasi pada sumbu X (*surge*)
- V_y = kecepatan translasi pada sumbu Y (*sway*)
- ω_z = kecepatan rotasi pada sumbu Z (*yaw*)
- r = Radius jarak antar thruster
- V_z = kecepatan translasi pada sumbu Z (*heave*)
- ω_x = kecepatan rotasi pada sumbu X (*roll*)
- ω_y = kecepatan rotasi pada sumbu Y (*pitch*)

2.4 Perancangan Kinematika

Perancangan kinematika dilakukan dengan perhitungan matematis untuk kinematika horizontal dan vertikal menggunakan pendekatan geometri.

2.4.1 Perancangan Kinematika Horizontal

Perancangan kinematika horizontal untuk mengatur gerakan Translasi X dan Y, serta rotasi Z melibatkan empat motor thruster yang beroperasi secara independen.



Gambar 4. Desain Kinematika Horizontal



Pada pemodelan kinematika horizontal, memperhitungkan gerakan translasi V_x dan V_y serta kecepatan angular ω_z . Thruster-thruster ditempatkan pada sudut 45° , yang mana sudut ini berada pada kuadran I dan IV dari lingkaran trigonometri. Menggunakan sudut 45° ($\theta = 45^\circ$), diketahui bahwa:

$$\sin(45^\circ) = \cos(45^\circ) = 0.7071$$

Berdasarkan gambar 4 di atas dengan pendekatan secara geometris dengan peletakan thruster, dihasilkan rumus berikut:

$$\begin{bmatrix} Vm_1 \\ Vm_2 \\ Vm_3 \\ Vm_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sin(45^\circ) + \sin(45^\circ) + r \\ \sin(45^\circ) - \sin(45^\circ) - r \\ -\sin(45^\circ) - \sin(45^\circ) + r \\ -\sin(45^\circ) + \sin(45^\circ) - r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_x \\ V_y \\ \omega_z \end{bmatrix} \quad (2)$$

Persamaan ini merupakan hasil dari pendekatan geometris yang memperhitungkan radius jarak antar thruster. Dihasilkan rumus dibawah ini:

$$m_1 = (0.7071 \cdot V_x) + (0.7071 \cdot V_y) + r \cdot \omega_z \quad (3)$$

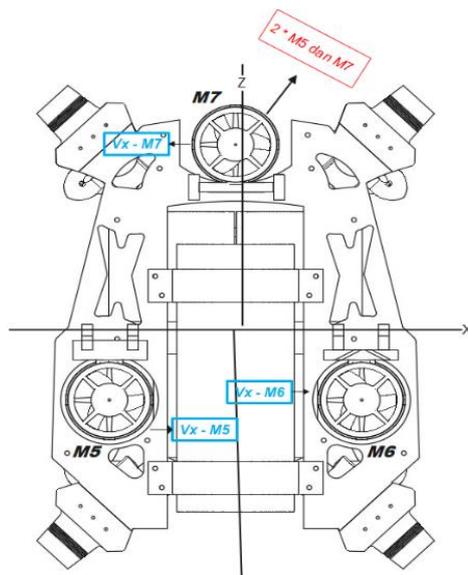
$$m_2 = (0.7071 \cdot V_x) - (0.7071 \cdot V_y) - r \cdot \omega_z \quad (4)$$

$$m_3 = (-0.7071 \cdot V_x) - (0.7071 \cdot V_y) + r \cdot \omega_z \quad (5)$$

$$m_4 = (-0.7071 \cdot V_x) + (0.7071 \cdot V_y) - r \cdot \omega_z \quad (6)$$

2.4.2 Perancangan Kinematika Vertikal

Perancangan kinematika vertikal untuk mengatur gerakan translasi X dan rotasi X dan Y melibatkan tiga motor thruster yang beroperasi secara independen.



Gambar 5. Desain Kinematika Vertikal

Pada pemodelan kinematika vertikal, kita memperhitungkan gerakan translasi V_z serta kecepatan angular ω_x dan ω_y . Perhitungan untuk mendapatkan rumus V_z , ω_x , dan ω_y adalah sebagai berikut:

Berdasarkan gambar 5 di atas dengan pendekatan secara geometri dengan peletakan thruster, dihasilkan rumus berikut:

$$\begin{bmatrix} Vm_5 \\ Vm_6 \\ Vm_7 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & -2 \\ 1 & -1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_z \\ \omega_y \\ \omega_x \end{bmatrix} \quad (7)$$



Persamaan ini merupakan hasil dari pendekatan geometris yang memperhitungkan konfigurasi peletakan thruster. Dihasilkan rumus di bawah ini:

$$m_5 = (V_z) + (\omega_y) + (\omega_x) \tag{8}$$

$$m_6 = (V_z) - (\omega_y) + (\omega_x) \tag{9}$$

$$m_7 = (V_z) - (2 \cdot \omega_x) \tag{10}$$

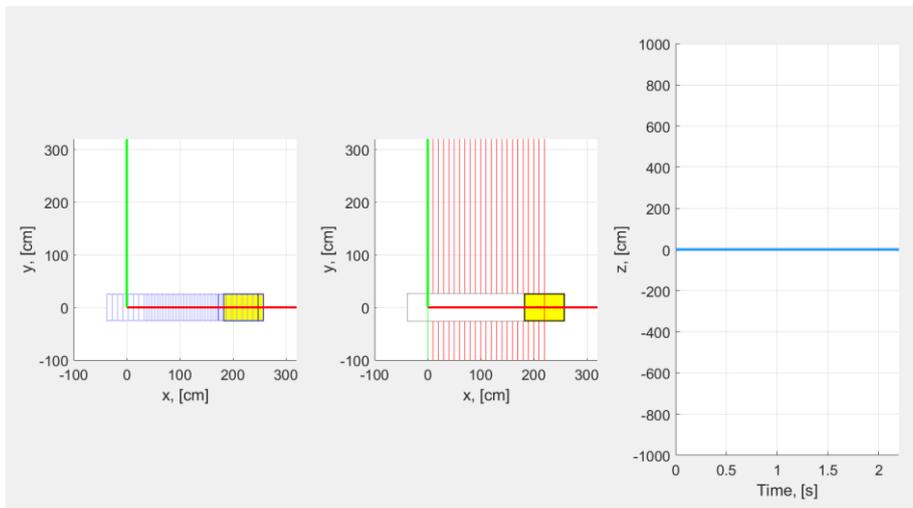
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Simulasi Kinematika Horizontal

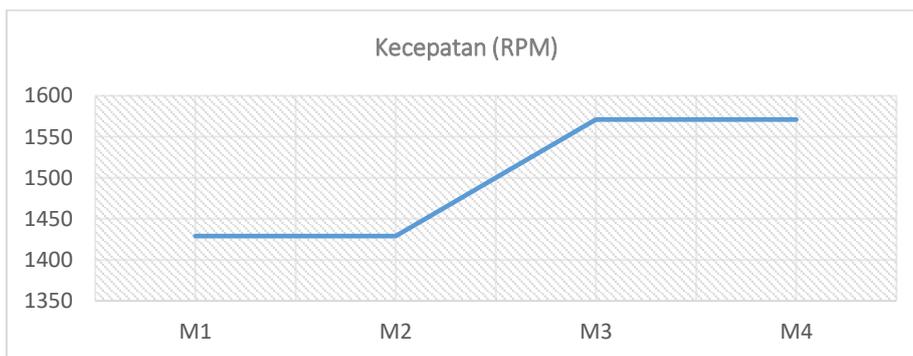
Simulasi kinematika horizontal menguji gerakan translasi pada sumbu X ($V_x/surge$) dan Y ($V_y/sway$) serta rotasi pada sumbu Z (ω_z/yaw). Pengujian dilakukan menggunakan MATLAB dengan masukan parameter sesuai dengan pengujian.

3.1.1 Gerak Tranlasi X

Pengujian pertama dilakukan dengan memberikan masukan kecepatan pada sumbu X (V_x) sebesar 100 m/s. Hasilnya, robot bergerak maju atau mundur secara konstan pada sumbu X.



Gambar 6 Hasil Pengujian Gerak Tranlasi X



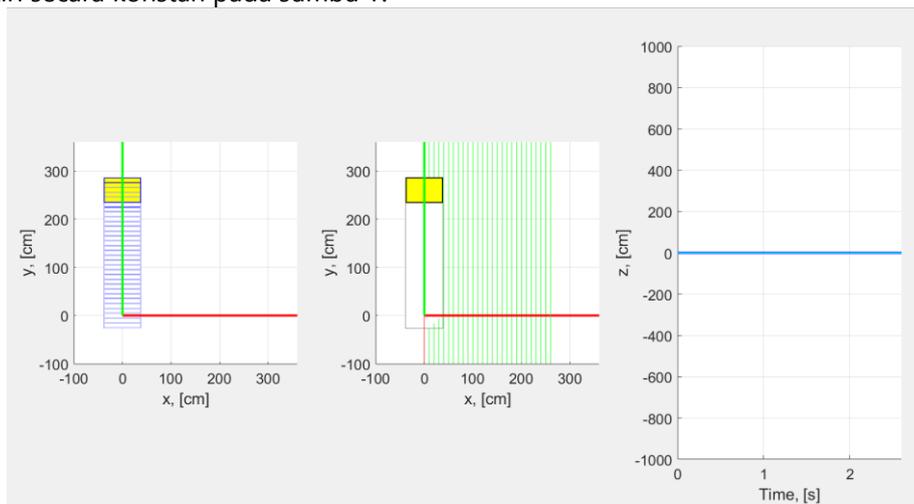
Gambar 7 Grafik output kecepatan VX 100 m/s

Grafik pada Gambar 6 menunjukkan perubahan kecepatan motor thruster seiring waktu. Garis grafik yang stabil menandakan bahwa thruster beroperasi pada kecepatan konstan selama pengujian.

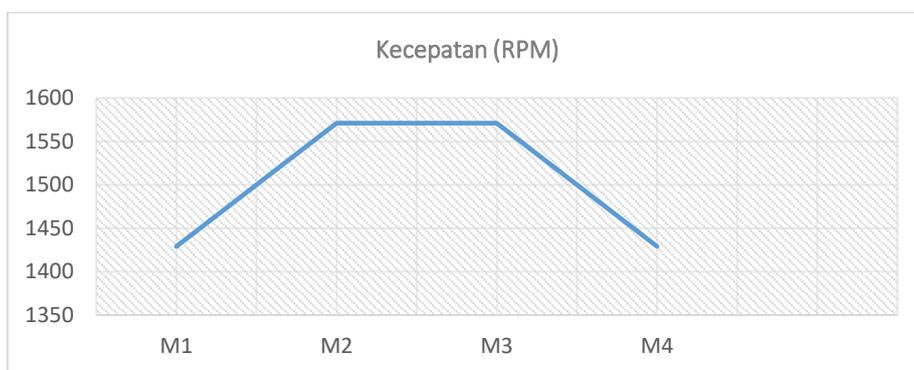
3.1.2 Gerak Translasi Y



Pada pengujian berikutnya, diberikan masukan kecepatan pada sumbu Y (V_x) sebesar 100 m/s. Hasilnya, robot geser kanan atau kiri secara konstan pada sumbu Y.



Gambar 8 Hasil Pengujian Gerak Tranlasi Y



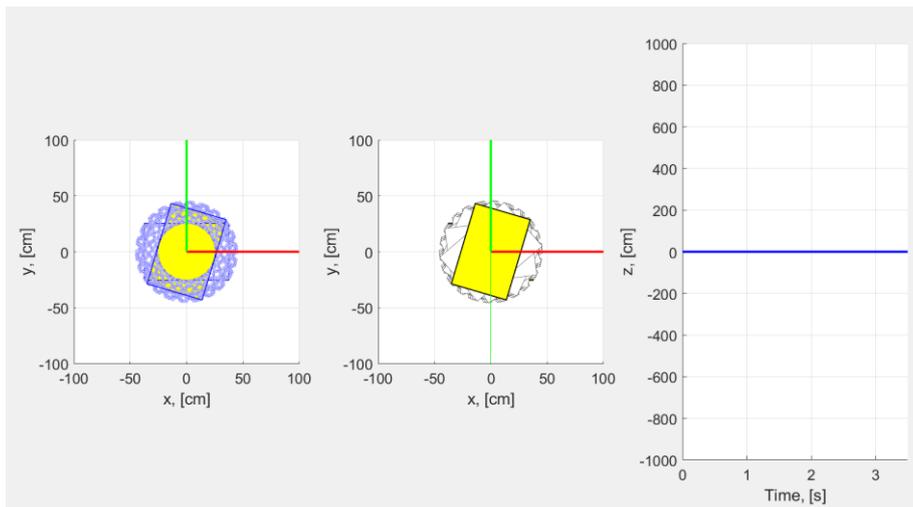
Gambar 9 Grafik output kecepatan VY 100 m/s

Grafik pada Gambar 8 menunjukkan perubahan kecepatan motor thruster seiring waktu. Garis grafik yang stabil menunjukkan bahwa kecepatan thruster tetap konstan selama pengujian.

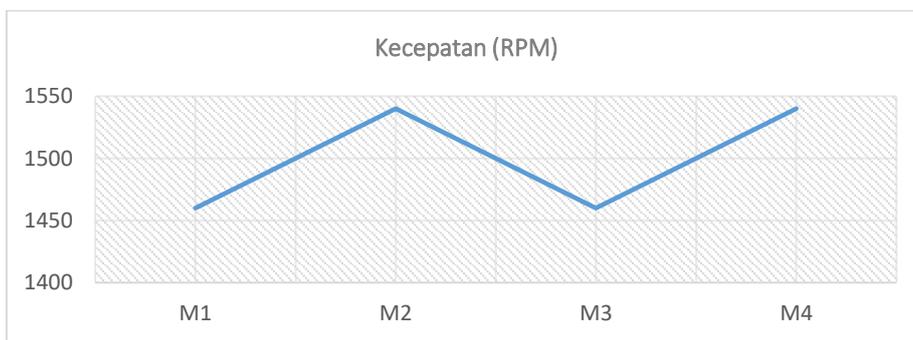
3.1.3 Gerak Rotasi Z

Pengujian gerak rotasi dilakukan dengan memberikan masukan kecepatan angular pada sumbu Z (ω_z) sebesar 50 m/s. Hasilnya, robot bergerak berputar pada tempatnya.





Gambar 10 Hasil Pengujian Gerak Rotasi Z

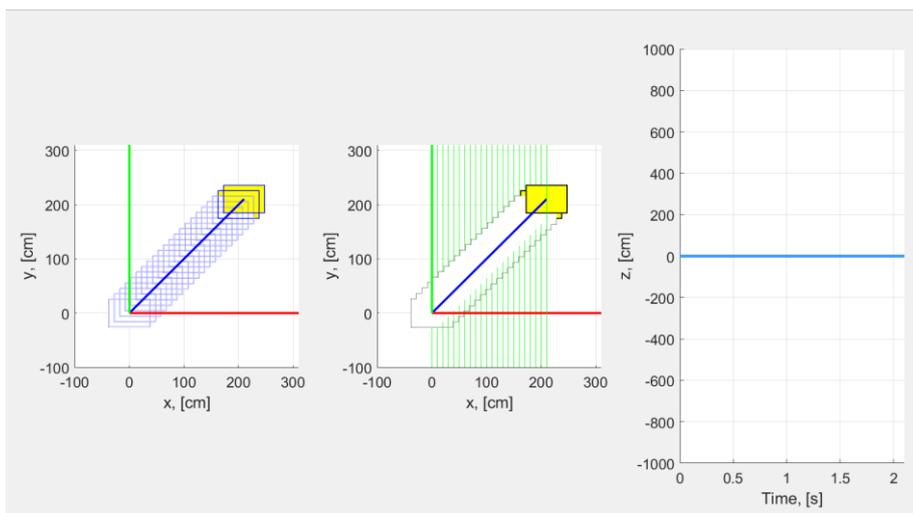


Gambar 11 Grafik output kecepatan ω_z 100 m/s

Grafik pada Gambar 10 menunjukkan perubahan kecepatan motor thruster seiring waktu. Garis grafik yang stabil menandakan konsistensi kecepatan thruster selama pengujian.

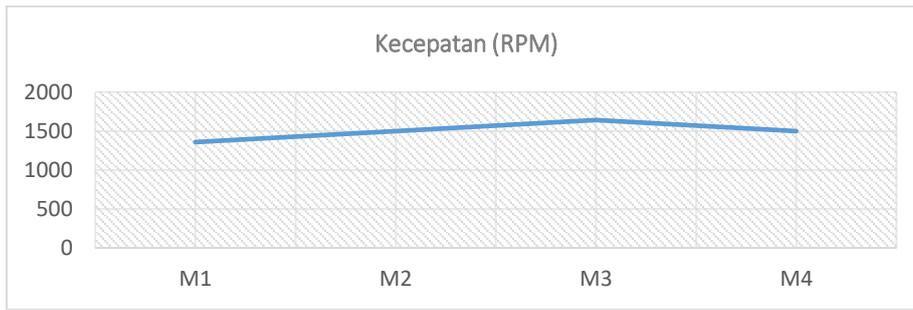
3.1.4 Gerak Translasi X,Y

Pada pengujian berikutnya, diberikan masukan kecepatan pada sumbu X (V_x) dan Y (V_y) sebesar 100 m/s. Hasilnya, robot bergerak menyilang secara konstan pada sumbu X,Y.



Gambar 12 Hasil Pengujian Gerak Translasi X,Z





Gambar 13 Grafik output kecepatan V_x dan V_y 100 m/s

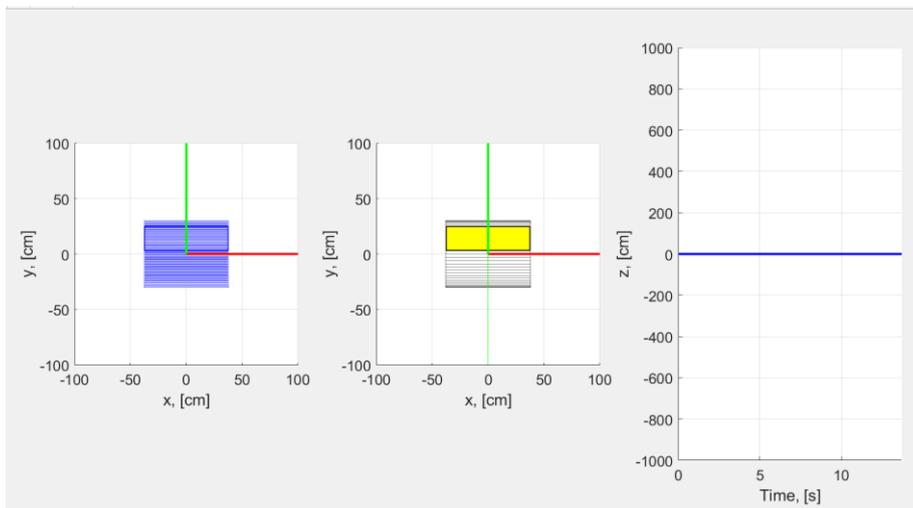
Grafik pada Gambar 13 menunjukkan perubahan kecepatan motor thruster seiring waktu. Garis grafik yang stabil menandakan kinerja thruster yang konsisten selama pengujian.

3.2 Simulasi Kinematika Vertikal

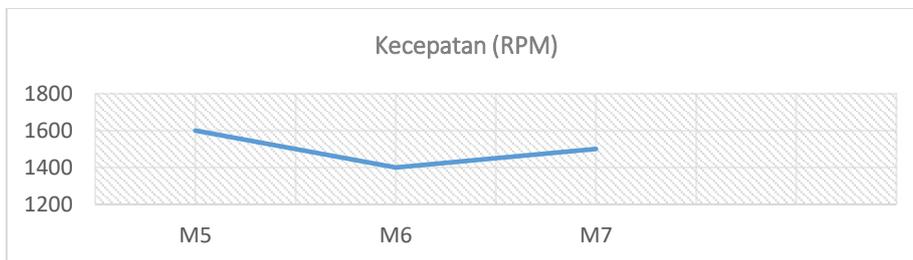
Simulasi kinematika vertikal menguji gerakan translasi pada sumbu Z (V_z / *heave*) serta rotasi pada sumbu X (ω_x / *roll*) dan Y (ω_y / *pitch*).

3.2.1 Simulasi Gerak Rotasi X

Pengujian selanjutnya adalah memberikan masukan kecepatan rotasi pada sumbu X (ω_x) sebesar 100 m/s. Hasilnya, robot berguling ke samping atau berotasi di sekitar sumbu X



Gambar 14 Hasil Pengujian Gerak Rotasi X



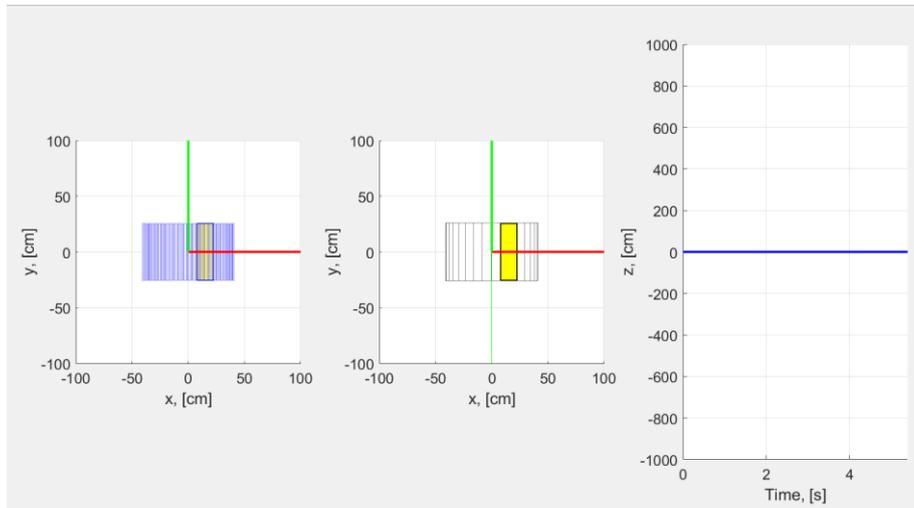
Gambar 15 Grafik output kecepatan ω_x 100 m/s

Grafik pada Gambar 15 menunjukkan perubahan kecepatan motor thruster seiring waktu. Garis grafik yang stabil menunjukkan bahwa thruster beroperasi pada kecepatan konstan selama pengujian.

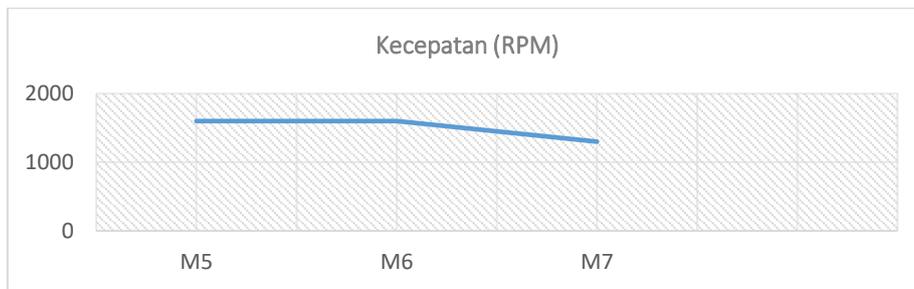


3.2.2 Simulasi Gerak Rotasi Y

Pengujian berikutnya memberikan masukan kecepatan rotasi pada sumbu Y (ω_x) sebesar 100 m/s. robot memiringkan tubuhnya ke depan-belakang atau berotasi di sekitar sumbu Y



Gambar 16 Hasil Pengujian Gerak Rotasi Y



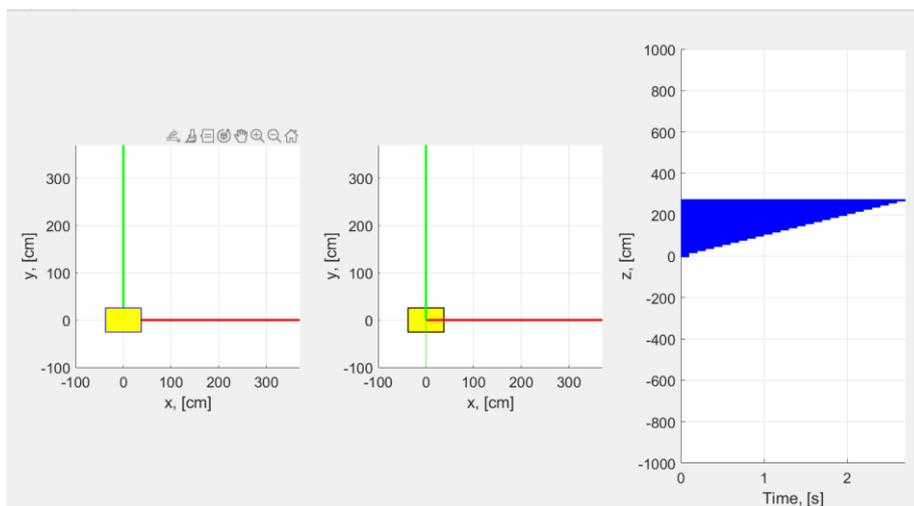
Gambar 17 Grafik output kecepatan ω_Y 100 m/s

Grafik pada Gambar 17 menunjukkan perubahan kecepatan motor thruster seiring waktu. Garis grafik yang stabil menunjukkan bahwa kecepatan thruster tetap konstan selama pengujian.

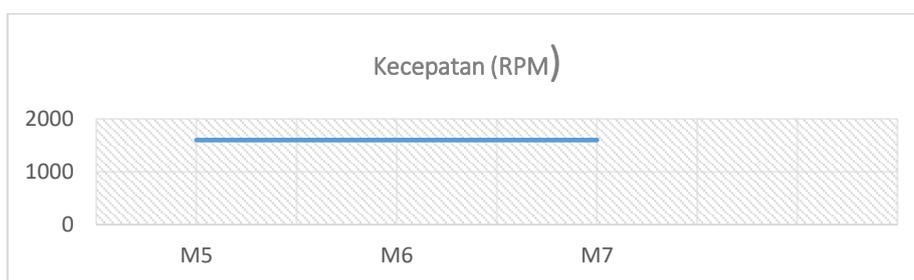
3.2.3 Simulasi Gerak Translasi Z

Pengujian pertama untuk kinematika vertikal dilakukan dengan memberikan masukan kecepatan translasi pada sumbu Z (V_x) sebesar 100 m/s. Hasilnya robot bergerak vertikal naik atau turun dengan kecepatan yang konstan sesuai masukan.





Gambar 17 Hasil Pengujian Gerak Rotasi Y



Gambar 18 Grafik output kecepatan ω_z 100 m/s

4. KESIMPULAN

Penerapan kinematika enam derajat kebebasan dengan menggunakan pendekatan geometri mampu mengoptimalkan gerakan robot HYDROShips dengan presisi tinggi, terbukti dari kemampuan robot untuk melakukan gerakan translasi dan rotasi secara efektif. Mekanisme kinematika yang melibatkan enam derajat kebebasan (6-DOF) memungkinkan robot untuk bernavigasi di rute bawah air yang kompleks dengan stabilitas yang baik. Pengujian menunjukkan bahwa robot dapat merespons perubahan arah dan kecepatan dengan cepat sesuai dengan masukan yang diberikan. Hasil simulasi menunjukkan bahwa model kinematika yang dikembangkan memberikan respon yang baik terhadap perubahan arah dan kecepatan, membuktikan bahwa pendekatan kinematika ini dapat digunakan untuk meningkatkan performa robot dalam simulasi. Selain itu, penggunaan pendekatan geometris dalam pemodelan kinematika robot terbukti dapat menyederhanakan masukan dan memaksimalkan keluaran pada masing-masing motor, sehingga robot dapat melakukan gerakan dengan lebih efisien.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih saya ucapkan kepada orang tua saya, ayah dan ibu, serta keluarga saya atas doa dan dukungannya. Saya juga berterima kasih kepada dosen pembimbing tugas akhir, dosen pembimbing robot, dosen pembina UKM robotika, tim robot HYDROShips, serta teman-teman yang telah mendukung penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Sholehudin, "Inovasi Terbaru Dalam Robotika: Tantangan Dan Peluang Di Era Digital," vol. 2, no. 4, 2022.
- [2] M. M. Nawirna 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.
- [3] C. Pramuliasari, "MODEL KINEMATIS BALLAST PADA GERAK AUTONOMOUS UNDERWATER VEHICLE (AUV)," 2019.
- [4] E. Darmawan Yudi and J. A. Yani No, "Literature Review : Implementasi Sistem Monitoring Robot Bawah Air (Underwater Robot) berbasis IoT menggunakan metode Fuzzy Logic," *J. Ilmu Data dan Kecerdasan Buatan*, vol. 1, no. 1, pp. 5–8, 2023.
- [5] T. Herlambang, H. Nurhadi, and E. B. Djatmiko, "Optimasi Model Linier 6-DOF pada Sistem Autonomous Underwater Vehicle," *Semin.*



- MASTER PPNS*, vol. 01, no. 01, pp. 69–74, 2016.
- [6] M. A. Garcia-Murillo, R. E. Sanchez-Alonso, and J. Gallardo-Alvarado, "Kinematics and dynamics of a translational parallel robot based on planar mechanisms," *Machines*, vol. 4, no. 4, pp. 1–14, 2016.
- [7] B. Utomo and Munandi, "Analisa Forward Dan Inverse Kinematics Pada Simulator Arm Robot 5 Derajat Kebebasan," *J. Tek. Mesin*, vol. 1, no. 3, pp. 11–20, 2013.
- [8] K. Oktafianto, T. Herlambang, Mardijah, and H. Nurhadi, "Design of Autonomous Underwater Vehicle motion control using Sliding Mode Control method," *ICAMIMIA 2015 - Int. Conf. Adv. Mechatronics, Intell. Manuf. Ind. Autom. Proceeding - conjunction with Ind. Mechatronics Autom. Exhib. IMAE*, vol. 2015, no. Icamimia, pp. 162–166, 2016.
- [9] O. Hassanein, S. A. Salman, S. G. Anavatti, and T. Ray, "ANFN controller based on differential evolution for Autonomous Underwater Vehicles," *Proc. 2012 1st Int. Conf. Innov. Eng. Syst. ICIES 2012*, no. December, pp. 184–189, 2012.
- [10] H. Yang and F. Zhang, "Geometric formation control for autonomous underwater vehicles," *Proc. - IEEE Int. Conf. Robot. Autom.*, pp. 4288–4293, 2010.
- [11] I. D. Nugraha, "Pendekatan Geometri untuk Perhitungan Inverse Kinematics Gerakan Lengan Robot 4 Derajat Kebebasan," *J. Tek. Mesin ITI*, vol. 5, no. 1, p. 1, 2021.
- [12] E. Dan, P. Sistem, and K. Robust, "06111750012014_Master_Thesis," 2020.

