

# Visualisasi 3D dan Estimasi Volume Data Batimetri menggunakan Metode *Trapezoidal Numerical Integration*

Zindhu Maulana Ahmad Putra<sup>1</sup>, Noorman Rinanto<sup>2</sup>, Adam Maulana<sup>3</sup>, Ryan Yudha Adhitya<sup>4</sup>, Dimas Pristovani Riananda<sup>5</sup>

e-mail: [zindhu@ppns.ac.id](mailto:zindhu@ppns.ac.id), [noorman.rinanto@ppns.ac.id](mailto:noorman.rinanto@ppns.ac.id), [adammaulana24@student.ppns.ac.id](mailto:adammaulana24@student.ppns.ac.id),  
[ryanyudhaadhitya@ppns.ac.id](mailto:ryanyudhaadhitya@ppns.ac.id), [dimaspristovani@ppns.ac.id](mailto:dimaspristovani@ppns.ac.id)

<sup>1,5</sup> Jurusan Teknik Kelistrikan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Jalan Teknik Kimia Kampus ITS, Surabaya, Indonesia  
<sup>2,3,4</sup> Jurusan Teknik Otomasi, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Jalan Teknik Kimia Kampus ITS, Surabaya, Indonesia

## Informasi Artikel

### Riwayat Artikel

Diterima 5 Juni 2024

Direvisi 20 Juli 2024

Diterbitkan 31 Juli 2024

### Kata kunci:

Survei Batimetri

Ping Sonar Echosounder

Kalman Filter

Noise Reduction

## ABSTRAK

Indonesia, dengan dua pertiga wilayahnya diliputi air, rentan terhadap banjir, terutama selama musim hujan yang intens. Survei batimetri yang akurat sangat penting untuk memahami kedalaman air dan bentuk dasar perairan, sehingga memudahkan penilaian risiko banjir di area berpotensi bahaya. Metode tradisional menggunakan kapal dengan echosounder sonar sering terkendala dalam hal manuverabilitas, yang mengakibatkan keterbatasan dalam mengumpulkan data yang detail. Untuk mengatasi tantangan ini, studi ini memperkenalkan Autonomous Surface Vehicle (ASV) yang dilengkapi sonar canggih dan sistem navigasi otomatis, yang mampu mengikuti titik-titik jalan (waypoints) untuk mengumpulkan data batimetri secara sistematis dan rinci. Data tersebut kemudian dianalisis menggunakan metode integrasi numerik trapesium (TNI) untuk mengestimasi volume dasar perairan. Uji validasi dengan kubus buatan pada kedalaman 1,120 meter dan 0,9 meter menunjukkan akurasi yang tinggi, dengan volume rata-rata 0,4073 m<sup>3</sup> dan 0,4107 m<sup>3</sup>, serta nilai Root Mean Square Error (RMSE) yang rendah, yaitu 0,0323 m<sup>3</sup> dan 0,0366 m<sup>3</sup>. Pengujian di dunia nyata, metode ASV dan TNI memberikan hasil yang konsisten, dengan volume rata-rata terukur sebesar 9,4267 m<sup>3</sup> dalam kolam uji berukuran 10 x 10 meter. Temuan ini menegaskan bahwa metode TNI adalah alat yang dapat diandalkan untuk survei batimetri yang tepat.

## ABSTRACT

Indonesia, with two-thirds of its territory covered by water, is highly vulnerable to flooding, especially during the rainy season. Accurate bathymetric surveys are essential to understand water depth and underwater topography, enabling effective flood risk assessment in high-risk areas. Traditional methods using boats equipped with echosounder sonar often face maneuverability limitations, restricting the ability to collect detailed data. To address this challenge, this study introduces an Autonomous Surface Vehicle (ASV) equipped with advanced sonar and an automatic navigation system capable of following waypoints to systematically and thoroughly gather bathymetric data. This data is then analyzed using the trapezoidal numerical integration (TNI) method to estimate the underwater volume. Validation tests with an artificial cuboid at depths of 1.120 meters and 0.9 meters showed high accuracy, with average volumes of 0.4073 m<sup>3</sup> and 0.4107 m<sup>3</sup>, and low RMSE values of 0.0323 m<sup>3</sup> and 0.0366 m<sup>3</sup>, respectively. In real-world testing, the ASV and TNI method provided consistent results, with an average measured volume of 9.4267 m<sup>3</sup> in a 10 x 10 meter test pool. These findings confirm that the TNI method is a reliable tool for precise bathymetric surveys.

### Keywords:

Bathymetric Survey

Ping Sonar Echosounder

Kalman Filter

Noise Reduction



**Penulis Korespondensi:**

Zindhu Maulana Ahmad Putra,  
 Jurusan Teknik Kelistrikan Kapal,  
 Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya,  
 Jalan Teknik Kimia Kampus ITS, Surabaya, Indonesia,  
 Email: zindhu@ppns.ac.id  
 Nomor HP/WA aktif: +6283857105060

## 1. PENDAHULUAN

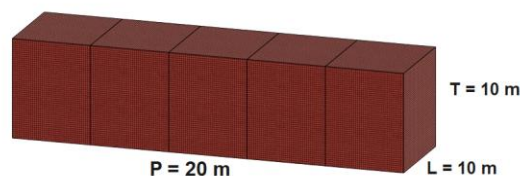
Indonesia, dengan 2/3 wilayahnya tertutup oleh air [1], menghadapi tantangan besar dalam manajemen risiko banjir, terutama selama musim hujan ketika curah hujan meningkat drastis. [2]. Banjir kerap kali disebabkan oleh meluapnya sungai dan waduk yang tidak mampu mengelola volume air yang berlebihan [3]. Survei batimetri rutin sangat penting untuk mengamati kedalaman perairan serta memahami topografi dasar air guna menentukan kebutuhan pengerukan sebagai langkah mitigasi [4]. Metode survei batimetri tradisional umumnya memanfaatkan kapal berperlengkapan echosounder sonar, namun metode ini seringkali terkendala dalam manuverabilitas di area yang sulit dijangkau [5]. Seiring perkembangan teknologi, Autonomous Surface Vehicle (ASV) dilengkapi sonar dan sistem navigasi yang mampu bergerak mengikuti titik-titik rute yang ditentukan untuk mengumpulkan data batimetri secara detail, menawarkan solusi praktis di area yang menantang. ASV memungkinkan survei yang lebih aman, efisien, dan mencakup area yang lebih luas. Data yang diperoleh kemudian dianalisis menggunakan metode integrasi numerik trapesium (TNI), yang terkenal dalam sains komputasi untuk estimasi volume yang akurat. Penggunaan TNI ini memungkinkan interpretasi data batimetri dengan presisi tinggi, yang esensial dalam mendukung keputusan operasional terkait pengerukan, mitigasi banjir, dan pemantauan lingkungan perairan di Indonesia.

## 2. METODE PENELITIAN

Bagian ini akan membahas metode yang digunakan dalam penelitian ini, termasuk tinjauan umum metode integrasi numerik trapesium dan validasi fungsinya untuk survei batimetri.

### 2.1 TRAPEZOIDAL NUMERICAL INTEGRATION METHOD

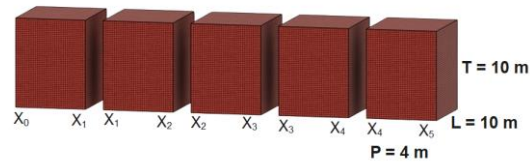
Trapezoidal Numerical Integration adalah metode integrasi numerik yang melibatkan penjumlahan segmen atau area trapesium untuk memperkirakan area di bawah kurva [6]. Metode ini berguna untuk menghitung luas daerah yang tidak beraturan dengan membagi area di bawah kurva fungsi menjadi segmen-segmen trapesium dan menjumlahkan luasnya untuk memperkirakan nilai integral. Metode Trapezoidal Numerical Integration digunakan untuk memperkirakan volume topografi atau kontur perairan dengan memanfaatkan data koordinat (bujur dan lintang) yang diperoleh dari modul GPS (Global Positioning System).



Gambar 1. Balok Full

Gambar 1 menunjukkan kubus penuh yang digunakan untuk menguji metode integrasi numerik trapesium, dengan dimensi 20 x 10 x 10 meter. Prisma ini dibagi menjadi 5 bagian dengan ukuran masing-masing 4 x 10 x 10 meter untuk memungkinkan estimasi volume dan akurasi yang lebih rinci.





Gambar 2. Ilustrasi Balok yang Telah Dibagi menjadi 5 Bagian

Volume total kubus diketahui sebesar  $2000 \text{ m}^3$ . Untuk memvalidasi metode integrasi numerik trapesium, kami menghitung volume prisma yang dibagi menjadi 5 bagian yang sama. Fungsi  $f(x)$  merepresentasikan luas penampang setiap bagian.

$$f(x) = L \times T \quad (1)$$

$$f(x) = 10 \text{ m} \times 10 \text{ m}$$

$$f(x) = 100 \text{ m}^2$$

Dengan demikian fungsi  $f(x)$  memiliki nilai di setiap bagian sebagai berikut:

$$f(x_1) = f(x_2) = f(x_3) = f(x_4) = f(x_5) = 100 \text{ m}^2$$

Langkah selanjutnya adalah menghitung volume seluruh kubus menggunakan metode integrasi numerik trapesium dengan rumus perhitungan sebagai berikut:

$$V = \frac{h}{2} (f(x_0) + f(x_n) + 2 \sum_{i=1}^{n-1} f(x_i)) \quad (2)$$

$$V = \frac{4}{2} (100 + 100 + 2(100 + 100 + 100 + 100))$$

$$\text{Volume} = 2000 \text{ m}^3$$

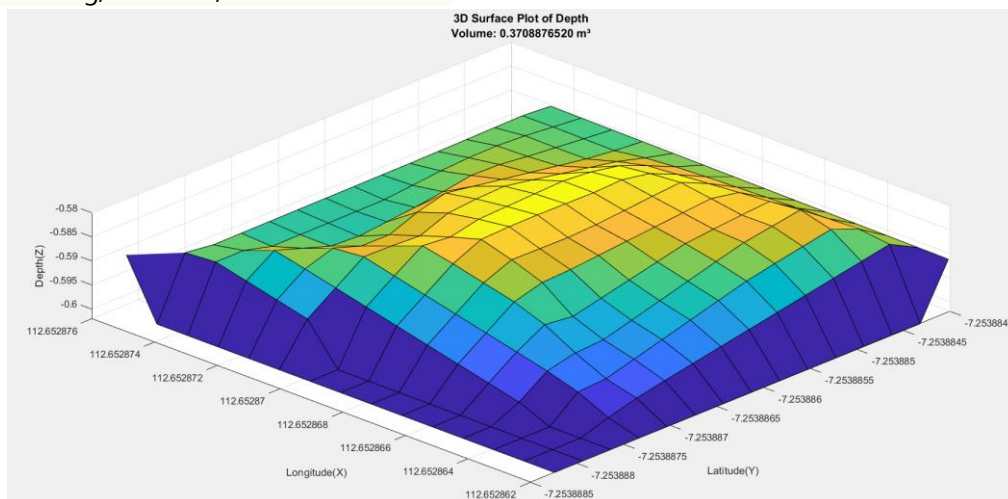
### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bagian ini akan membahas metode yang digunakan dalam penelitian ini, termasuk hasil validasi metode trapesium berdasarkan data batimetri dengan menggunakan objek buatan, serta konsistensi kinerja metode tersebut.

#### 3.1 VALIDASI METODE TNI UNTUK MENGHITUNG VOLUME OBJEK

Untuk memvalidasi metode integrasi numerik trapesium, sebuah kubus buatan dengan dimensi  $1,5 \times 0,5 \times 0,5$  meter dan volume  $0,375 \text{ m}^3$  dibuat. Kubus tersebut ditenggelamkan di kolam dengan kedalaman  $1,120$  dan  $0,9$  meter. Data lintang, bujur, dan kedalaman dikumpulkan dengan menggunakan ASV. Volume yang dihitung menggunakan metode trapesium kemudian dibandingkan dengan volume asli untuk menentukan kesalahan. Pengujian pertama dilakukan pada kedalaman kolam  $1.120$  meter dengan variasi jumlah data batimetri yang diambil dari 6 data hingga 15 data.



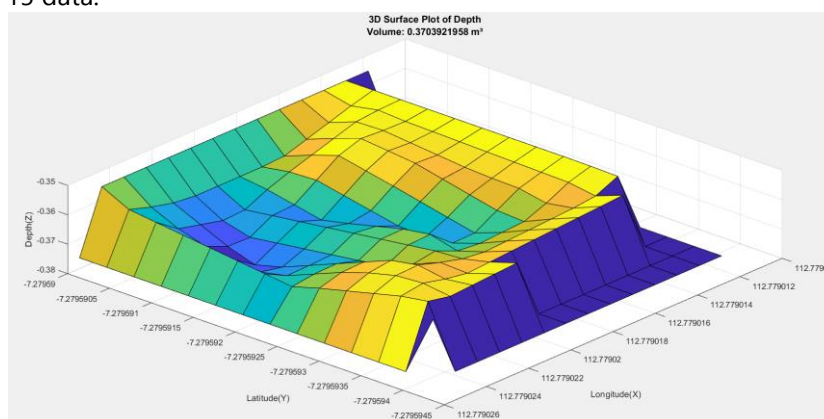


Gambar 3. Visualisasi 3D Balok pada Kedalaman 1.120 Meter

Tabel 1. Hasil Validasi Metode pada Kedalaman 1.120 meter

Number of Data	Volume Real (m <sup>3</sup> )	Volume TNI (m <sup>3</sup> )	RMSE (m <sup>3</sup> )
6	0.375	0.4566	0.0816
7	0.375	0.3917	0.0167
8	0.375	0.3351	0.0399
9	0.375	0.4320	0.0570
10	0.375	0.3556	0.0194
11	0.375	0.3928	0.0178
12	0.375	0.5495	0.1745
13	0.375	0.3922	0.0172
14	0.375	0.3970	0.022
15	0.375	0.3709	0.0041
Rata-rata Volume TNI (m <sup>3</sup> )		Rata-rata RMSE (m <sup>3</sup> )	
0.4073		0.0323	

Pengujian kedua dilakukan pada kedalaman kolom 0,9 meter dengan variasi jumlah data batimetri yang diambil dari 6 data hingga 15 data.



Gambar 4. Visualisasi 3D Balok pada Kedalaman 0.9 Meter

Tabel 2. Hasil Validasi Metode pada Kedalaman 0.9 meter

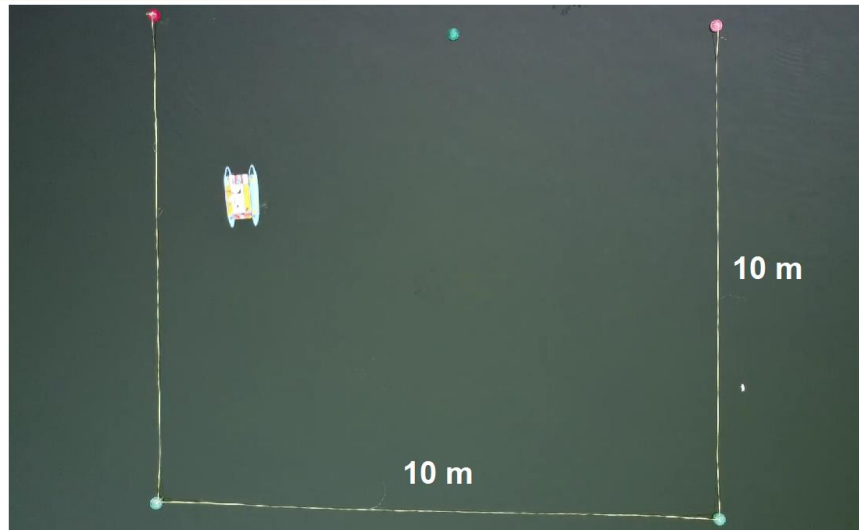
Number of Data	Volume Real (m <sup>3</sup> )	Volume TNI (m <sup>3</sup> )	RMSE (m <sup>3</sup> )
6	0.375	0.3990	0.0147
7	0.375	0.4203	0.0175
8	0.375	0.3779	0.0145
9	0.375	0.4355	0.1291
10	0.375	0.3704	0.0240
11	0.375	0.4281	0.0453
12	0.375	0.3990	0.0029
13	0.375	0.4203	0.0605
14	0.375	0.3779	0.0046
15	0.375	0.4355	0.0531
Rata-rata Volume TNI (m <sup>3</sup> )		Rata-rata RMSE (m <sup>3</sup> )	
0.4107		0.0366	

Volume benda berbentuk kubus yang diukur menggunakan metode integrasi numerik trapesium pada kedalaman 1,120 meter memiliki volume rata-rata 0,4073 m<sup>3</sup> dengan nilai RMSE 0,0323 m<sup>3</sup>. Pada kedalaman 0.9 meter memiliki volume rata-rata 0.4107 m<sup>3</sup> dengan nilai RMSE 0.0366 m<sup>3</sup>. Faktor-faktor yang mempengaruhi nilai Root Mean Square Error (RMSE) dalam estimasi volume menggunakan metode integrasi numerik trapesium (TNI) dapat meliputi resolusi data, ketepatan pengukuran kedalaman, serta akurasi peralatan yang digunakan, seperti echosounder atau sensor lainnya pada ASV. Selain itu, jumlah titik data yang diambil juga mempengaruhi hasil, karena semakin banyak titik data yang digunakan, biasanya semakin kecil nilai RMSE yang diperoleh, menunjukkan ketelitian yang lebih tinggi dalam representasi permukaan dasar air. Interpretasi dari nilai RMSE adalah sebagai indikator akurasi metode yang diterapkan; nilai RMSE yang rendah menunjukkan bahwa hasil estimasi volume mendekati nilai sebenarnya, sehingga metode tersebut dianggap layak digunakan untuk aplikasi batimetri.

### 3.2 PENGUJIAN KONSISTENSI KINERJA INTEGRASI METODE TNI DI LINGKUNGAN NYATA

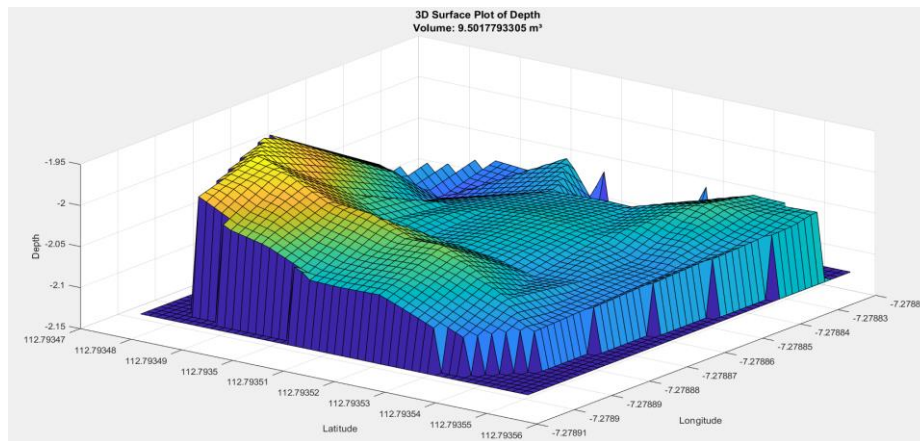
Pengujian dilakukan di kolam uji di Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya. Skenario yang diterapkan oleh peneliti adalah dengan menetapkan area operasional ASV seluas 10 meter x 10 meter.





Gambar 5. Batas Area Uji di Kolam Uji PPNS

Pengujian dilakukan sebanyak 15 kali di dalam area yang telah ditentukan, dan hasil visualisasi 3D ditunjukkan pada Gambar 6 dan hasil pengujian secara keseluruhan ditunjukkan pada Tabel 3.



Gambar 6. Visualisasi 3D Kontur Kolam Uji PPNS

Tabel 3. Hasil Pengukuran Volume Kontur Menggunakan Metode TNI

Number of Test	Measured Volume of Contour (m <sup>3</sup> )
1	9.5018
2	9.5917
3	10.9649
4	10.1333
5	9.5848
6	8.4257
7	9.6565
8	7.7787
9	7.6836
10	8.6482
11	11.0698



Number of Test	Measured Volume of Contour (m <sup>3</sup> )
12	8.6413
13	9.3866
14	11.3809
15	8.9541
Average Volume	9.4267

Hasil volume dari survei kolam uji PPNS, yang diperoleh dengan menggunakan sistem pemetaan batimetri 3D dan metode integrasi numerik trapesium dengan 15 kali pengujian, cukup konsisten, dengan volume rata-rata 9,4267 m<sup>3</sup>. Namun, bila pengujian dilakukan di laut terbuka, hasil pengukuran mungkin lebih bervariasi akibat beberapa faktor eksternal. Kondisi seperti gelombang, arus, angin, dan pasang surut dapat memengaruhi stabilitas dan posisi sensor, yang berdampak pada variasi data kedalaman dan akurasi peta batimetri. Dinamika laut terbuka juga bisa mengganggu sensor ASV (Autonomous Surface Vehicle), terutama jika tidak memiliki sistem kompensasi atau stabilisasi yang memadai. Selain itu, perbedaan suhu dan salinitas di laut terbuka memengaruhi kecepatan suara di air, sehingga memengaruhi akurasi pengukuran echosounder. Oleh karena itu, penggunaan metode integrasi numerik seperti TNI di laut terbuka perlu mempertimbangkan faktor-faktor ini untuk mencapai akurasi yang optimal.

#### 4. KESIMPULAN

Metode Trapezoidal Numerical Integration (TNI) telah berhasil divalidasi untuk estimasi volume batimetri, dengan pengujian yang menunjukkan hasil yang akurat dan konsisten, baik dalam pengujian laboratorium maupun kondisi dunia nyata. Hasil pengujian dengan kubus buatan pada kedalaman 1,120 meter dan 0,9 meter menghasilkan volume rata-rata 0,4073 m<sup>3</sup> dan 0,4107 m<sup>3</sup>, serta nilai RMSE yang rendah, yaitu 0,0323 m<sup>3</sup> dan 0,0366 m<sup>3</sup>. Selain itu, pengujian di lapangan dalam kolam uji 10 x 10 meter menunjukkan volume rata-rata 9,4267 m<sup>3</sup>. Temuan ini menegaskan bahwa metode TNI merupakan pendekatan yang andal dan akurat untuk survei batimetri. Oleh karena itu, penerapan metode TNI dalam survei batimetri skala besar atau pada area yang sulit dijangkau sangat dianjurkan, terutama di daerah-daerah rawan banjir di Indonesia. Dengan akurasi tinggi dan kemampuan untuk mengatasi kompleksitas topografi bawah air, metode ini dapat memberikan data yang lebih komprehensif dan efektif untuk mendukung upaya mitigasi risiko banjir dan perencanaan pengelolaan sumber daya air yang lebih baik.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] G. Nikawanti, "Ecoliteracy: Membangun Ketahanan Pangan Dari Kekayaan Maritim Indonesia," *Jurnal Kemaritiman: Indonesian Journal of Maritime*, vol. 2, no. 2, pp. 149–166, 2021.
- [2] D. SAFITRI, "KARAKTERISTIK ALIRAN DAN DEBIT BANJIR PADA BEBERAPA SUNGAI DI INDONESIA: KAJIAN LITERATUR," *JICE (Journal of Infrastructural in Civil Engineering)*, vol. 2, no. 02, p. 1, Aug. 2021, doi: 10.33365/jice.v2i02.1322.
- [3] R. D. V. Rut, "Rancang Bangun Peringatan Dini Banjir Berbasis Arduino Uno," *Jurnal Portal Data*, vol. 1, no. 2, 2021.
- [4] R. NUGRAHA, "SURVEI BATIMETRI DI AREA VOID PIT DENGAN MENGGUNAKAN WAHANA TELEDYNE ODOM SINGLEBEAM ECHOSOUNDER SINGLE FREQUENCY," *Prosiding Temu Profesi Tahunan PERHAPI*, pp. 191–200, 2020.
- [5] Oktafari and Daffa Naufal, "Rancang Bangun Konfigurasi Sistem Pengambilan Data Batimetri Kontur Dasar Laut dengan Unmanned Surface Vehicle (USV)," *Institut Teknologi Sepuluh November*, 2023.
- [6] F. Riyanto, M. Oktavia, and M. Marlianton, "ESTIMASI SUMBERDAYA BATUBARA TERUKUR MENGGUNAKAN METODE TRAPEZOID DI PT. TEBO PRIMA DESA KEMANTAN KELURAHAN SUNGAI BENGKAL KABUPATEN TEBO PROVINSI JAMBI," *Jurnal Mine Magazine*, vol. 1, no. 1, 2020.
- [7] Cahyadi, N. H., Endrasmono, J., Putra, Z. M. A., Khumaidi, A., Adhitiya, R. Y., & Riananda, D. P. (2024). Perancangan Sistem Attitude Holding Prototype Autonomous Surface Vehicle Menggunakan Metode ANFIS. *Jambura Journal of Electrical and Electronics Engineering*, 6(2), Juli 2024.
- [8] D. G. Pratomo, A. Rahmadiansah, M. N. Cahyadi, I. M. Anjasmara, K. Khomsin, and F. S. Adi, "Geomarine 1: Autonomous Usv (Unmanned Surface Vehicle) Untuk Mendukung Survei Hidro-Oceanografi," *Geoid*, vol. 13, no. 2, p. 200, 2018, doi: 10.12962/j24423998.v13i2.4252.
- [9] S. A. Rofiq, R. Effendie, and A. Sulisetyono, "Perancangan Sistem Pengaturan Kestabilan Autonomous Underwater (AUV) untuk Gerak Lateral Menggunakan Sliding Mode Control (SMC)," *J. Tek. ITS*, vol. 3, no. 1, pp. G19–G24, 2014.





- [10] W. Naeem, T. Xu, R. Sutton, and A. Tiano, "The design of a navigation, guidance, and control system for an unmanned surface vehicle for environmental monitoring," *Proc. Inst. Mech. Eng. Part M J. Eng. Marit. Environ.*, vol. 222, no. 2, pp. 67–79, 2008, doi: 10.1243/14750902JEME80.

