



# Survei Batimetri Menggunakan Wahana USV (*Unmanned Surface Vehicle*) pada Perairan Dangkal dan Uji Kualitas Data Sesuai Standar IHO S44 Tahun 2022

## (Studi Kasus Embung Sungai Nanam, Kabupaten Solok)

Fajrin<sup>1</sup>, Afandi Haris<sup>2\*</sup>, Dwi Arini<sup>3</sup>, Aswir Premadi<sup>4</sup>

<sup>1-3</sup>Program Studi Teknik Geodesi, Fakultas Teknik Institut Teknologi Padang, Indonesia

<sup>4</sup>Program Studi Teknologi Rekayasa Instalasi Listrik, Fakultas Vokasi, Institut Teknologi Padang, Indonesia

Email: [fajringeo@gmail.com](mailto:fajringeo@gmail.com)<sup>1</sup>, [Afandi.haris24@gmail.com](mailto:Afandi.haris24@gmail.com)<sup>2\*</sup>

Alamat: Jl. Gajah Mada Kandis, Kota Padang, Sumatra Barat, 25143/ Institut Teknologi Padang Jl. DPR, Kota Padang, Sumatra Barat, 25176.

\*Penulis Korespondensi

**Abstract.** A bathymetric survey is an activity aimed at depicting the depth contour lines of a water body, encompassing measurement, data processing, and visualization stages. Conducting a bathymetric survey in shallow waters, such as reservoirs, estuaries, lakes, dams, or sedimentation areas, often presents challenges when using large vessels. One of the technologies for performing bathymetric surveys in shallow waters is the use of an Unmanned Surface Vehicle (USV), which facilitates data collection while offering flexibility, efficiency, and effectiveness. The study aims to produce a bathymetric map from bathymetric measurement data using a USV (Unmanned Surface Vehicle) corrected with real-time tidal data and to determine the data quality order according to the IHO (International Hydrographic Organization) S44 Edition-6 Standard of 2022. Bathymetric data collection was conducted at the Nanam River reservoir, Solok Regency, West Sumatra. The results from the bathymetric survey at the study site showed a depth range between -0.874 m (minimum) and -2.991 m (maximum) relative to the reservoir's water surface. Data quality analysis conducted on 10 cross-track data samples met the criteria for order 1b bathymetric measurements according to the IHO S44 Standard of 2022. Based on the data quality analysis using the Garmin GPSMap 585 Transducer sensor, it was concluded that the equipment is adequate for conducting bathymetric surveys in shallow waters.

**Keywords:** Bathymetry; IHO S44 2022; Quality Test; Shallow waters; USV Vehicle.

**Abstrak.** Survei batimetri merupakan kegiatan untuk menggambarkan garis kontur kedalaman dasar perairan, mencakup tahap pengukuran, pengolahan data, hingga pembuatan visualisasi. Melakukan survei batimetri di perairan dangkal, seperti embung, muara, danau, bendungan, atau area sedimentasi, seringkali menjadi tantangan jika menggunakan kapal besar. Salah satu teknologi untuk melakukan survei batimetri di perairan dangkal yaitu menggunakan wahana *Unmanned Surface Vehicle* (USV) untuk memudahkan dalam pengambilan data, fleksibilitas, efisiensi, dan efektivitas. Penelitian bertujuan untuk menghasilkan peta batimetri dari data pengukuran batimetri menggunakan wahana USV terkoreksi pasang surut sesaat dan menentukan orde kualitas data dengan standar IHO (*International Hydrographic Organization*) S44 Edisi-6 Tahun 2022. Pengambilan data batimetri di Embung sungai nanam, kabupaten solok, sumatera barat, hasil dari pengukuran survei batimetri di lokasi kajian dengan rentang kedalaman antara -0,874 m (minimum) hingga -2,991 m (maksimum) terhadap permukaan air embung. Analisis uji kualitas data yang dilakukan dari 10 sampel data *cross track* (bersilangan) mampu memenuhi kriteria sesuai dengan standar IHO S44 Tahun 2022 pengukuran batimetri orde 1b. Berdasarkan hasil analisis uji kualitas data yang dilakukan dengan sensor *Garmin GPSMap 585 Transduser* dinilai cukup untuk melakukan pengukuran survei batimetri pada perairan dangkal.

**Kata kunci:** Batimetri; IHO S44 2022; Perairan dangkal; Uji Kualitas; Wahana USV.

## 1. LATAR BELAKANG

Survei hidrografi adalah pengukuran untuk mendapatkan informasi tentang fenomena utama dan pergerakan badan air, yang merupakan cabang ilmu geodesi kelautan. Survei hidrografi mencakup survei embung, garis pantai, perairan pantai, dan lepas pantai, termasuk survei batimetri, SBP, pengukuran arus, pengamatan pasang-surut, dan side scan sonar (SSS) . Hasil pengukuran survei hidrografi diolah menjadi informasi geospasial yang terkait dengan lokasi di permukaan bumi (Pratiwi et al., 2022; Poltekpel Banten, 2024).

Survei batimetri di perairan sangat dangkal, seperti sungai, muara, danau, bendungan, embung, atau kawasan dengan tingkat sedimentasi tinggi, sering kali menghadapi tantangan besar. Penggunaan kapal besar menjadi kurang ideal karena kendala logistik, kesulitan operasional, serta tingginya risiko di lapangan, yang semuanya perlu diatasi dalam pelaksanaan survei di area tersebut. Wahana apung tanpa awak menjadi solusi yang efektif untuk memetakan perairan dangkal, berkat keunggulannya dalam fleksibilitas, efisiensi, dan efektivitas dalam mengatasi berbagai tantangan yang ada (Norazaruddin, Abidin, & Anuar, 2024; Nugroho, Sijabat, Chasanudin, & Subagjo, 2022).

Wahana USV (Unmanned Surface Vehicle) merupakan wahana apung tanpa awak yang ideal untuk pemetaan daerah perairan dangkal karena keunggulannya dalam hal fleksibilitas, efisiensi, dan efektivitas. Dilengkapi dengan sensor akustik (down imaging), wahana USV sangat cocok digunakan sebagai alat survei batimetri di wilayah perairan dangkal . Desain USV biasanya menggunakan sistem propulsi elektrik dan memiliki karakteristik seperti lambung katamaran yang stabil dan efisien. Selanjutnya, sistem navigasi dan sensor yang canggih seperti GPS, dan sensor akustik untuk memantau kedalaman, posisi dan arah USV .

Embung Sungai Nanam Kabupaten Solok terletak di Nagari Sungai Nanam, Kecamatan Lembah Gumanti, Kabupaten Solok, Sumatra Barat. Embung ini terletak di kawasan objek wisata bukit cambai . Disamping itu Embung Sungai Nanam juga berfungsi sebagai bangunan konservasi air berbentuk kolam yang berfungsi menampung air hujan, air limpasan, dan sumber air lainnya, yang dimanfaatkan saat musim kemarau untuk memenuhi kebutuhan masyarakat di sekitarnya .

Penelitian menggunakan wahana USV dengan instrumen sonar scan menggunakan GarminMap 585 Transduser dilakukan di Embung Sungai Nanam dikarenakan Embung Sungai Nanam termasuk perairan dangkal. Data pengukuran survei batimetri atau pemeruman akan dikoreksi kedalamannya dengan data rata-rata pasang surut air embung sesaat. Untuk melengkapi data kedalaman dari data pemeruman yang tidak dilewati wahana USV digunakan

metode interpolasi IDW (inverse distance weighting) guna mendapatkan data kedalaman area embung.

Mengetahui tingkat akurasi data batimetri sangatlah penting, karena standar akurasi dapat bervariasi sesuai dengan tujuan penggunaannya . Oleh karena itu penting dilakukan uji kualitas dari data yang dihasilkan menggunakan instrumen GarminMap 585 Transduser sesuai standar IHO S44 edisi-6 tahun 2022.

## 2. METODE PENELITIAN

Lokasi penelitian ini dilakukan di wilayah Embung Sungai Nanam, Kecamatan Lembah Gumanti, Kabupaten Solok, Sumatera Barat dengan sistem koordinat geografis  $1^{\circ} 2' 40''$  -  $1^{\circ} 2' 40''$  LS dan  $100^{\circ} 45' 28''$  -  $100^{\circ} 45' 40''$  Bujur Timur dengan elevasi embung berada di  $\pm 1,562$  m dari permukaan laut. Luas batas area of interest (AOI) embung yang dipetakan adalah  $\pm 3,66$  Ha. Lokasi penelitian dan batas AOI dapat dilihat pada Gambar 1.



**Gambar 1.** Lokasi Penelitian Embung Sungai Nanam Kabupaten Solok.

Metode penelitian dilakukan secara kuantitatif. Pengumpulan data dilakukan menggunakan instrumen pada wahana USV dan alat ukur, kemudian dianalisis secara numerik. Wahana USV yang digunakan desain kapal katamaran dengan 2 lambung untuk menjaga keseimbangan kapal dengan baik dan dilengkapi alat penggerak kapal, seperti motor beserta baling-baling, *rudder* (kemudi), sistem pendingin mesin, kelistrikan, dan sumber daya sensor akustik *transduser* menggunakan aki. Sensor akustik yang digunakan adalah Garmin 585 Transduser yang dipasang pada bagian bawah lambung tengah wahana USV.

### Pengumpulan Data

Pengumpulan data penelitian ini didapatkan melalui survei langsung ke lapangan pada tanggal 17 desember tahun 2024. Untuk mendapatkan data pemeruman embung dilakukan menggunakan wahana USV terkontrol *remote control* mengelilingi area embung secara meyeluruh hingga seluruh wilayah dari batas penelitian terlewati. Didapatkan RAW data batimetri dengan jumlah data 1,228 point. Pengukuran pasang surut air embung sesaat

berlangsung menggunakan rambu ukur selama pengukuran batimetri menggunakan wahana USV dengan interval pencatatan per 15 menit, pencatatan bacaan pasang surut dimulai dari pukul 12:00 WIB sampai pukul 16:00 WIB, didapatkan pencatatan interval bacaan pasang surut sebanyak 17 data bacaan rambu.

### Interpolasi *Inverse Distance Weighting* (IDW)

*Inverse Distance Weighting* (IDW) adalah metode interpolasi yang didasarkan pada asumsi bahwa nilai di lokasi terdekat dengan titik yang akan diestimasi memiliki pengaruh lebih besar terhadap hasil interpolasi dibandingkan dengan nilai di lokasi yang lebih jauh . Secara matematis, interpretasi IDW dinyatakan dalam bentuk persamaan berikut. (1).

$$Z^*(x_0) = \sum_{i=1}^n w_i * Z(x_i)$$

Keterangan:

- $Z^*(x_0)$  = Nilai yang dicari untuk lokasi  $x_0$   
 $Z(x_i)$  = Nilai-nilai di sekitar  $Z^*(x_0)$  yang digunakan sebagai data perhitungan  
 $w_i$  = Merupakan bobot jarak masing-masing titik terhadap nilai yang dicari  
 $n$  = Merupakan jumlah titik yang akan digunakan (*referensi*)

Jumlah nilai yang digunakan sebagai referensi bisa berjumlah tetap ataupun bervariasi .

### Uji Kualitas Data Batimetri

Pengujian kualitas adalah bagian penting dalam survei batimetri untuk memastikan standar kebutuhan terpenuhi . Dalam pemetaan batimetri, kesalahan sistematis mungkin terjadi dan perlu direduksi. Nilai kesalahan tersebut dapat diketahui dari perpotongan data batimetri pada titik-titik persilangan jalur pemeruman, dimana terdapat area dengan jalur yang saling tumpang tindih atau titik pengukuran yang berdekatan antara hasil pengukuran pada jalur memanjang dan melintang .

Data hasil pengukuran batimetri menggunakan GarminMap 585 Transduser dilakukan uji kualitas data dengan menggunakan standar IHO S44 tahun 2022 tentang Survei hidrografi orde 1b . Dengan persamaan (2) sebagai berikut.

$$TVU_{max}(d) = \sqrt{a^2 + (b \times d)^2} \quad (2)$$

Dimana  $d$  ialah besarnya nilai toleransi kesalahan,  $a$  ialah kesalahan independen yang bernilai 0,5 m,  $b$  ialah faktor kesalahan kedalaman dependen yang bernilai 0,013 dan  $d$  Adalah kedalaman rata-rata yang diukur pada suatu titik tertentu. Nilai  $a$  dan  $b$  yang digunakan dalam penelitian ini dijadikan acuan untuk pengukuran pada orde 1b.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### Hasil Pengukuran Tinggi Pasang Surut Air Embung Sesaat

Pengukuran pasang surut air Embung sesaat ini dilakukan pada tanggal 17 Desember 2024 di Embung Sungai Nanam, Kecamatan Lembah Gumanti, Kabupaten Solok, Sumatera Barat. Posisi rambu ukur untuk pengukuran pasang surut diletakkan menempel pada dinding pintu air embung yang bisa dilihat pada Gambar 2.



**Gambar 2.** Peta Jalur Pemeruman dan Letak Rambu PASUT.

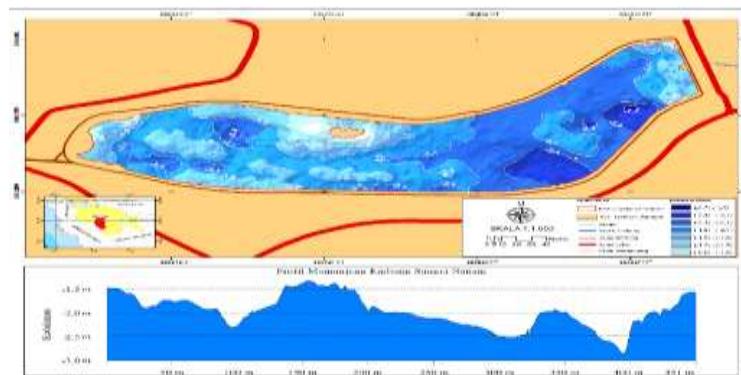
Pengukuran pasang surut dilakukan dengan cara membaca tinggi pasang surut air embung sesaat dengan interval pencatatan per 15 menit ketika pengukuran survei batimetri berlangsung. Pengukuran pasang surut dimulai dari pukul 12:00 WIB sampai pukul 16:00 WIB. Dari data pasang surut air embung sesaat, didapatkan 17 data pencatatan pasang surut air embung sesaat yang menunjukkan kestabilan data yang sama dengan nilai bacaan tiap interval 2,130 m setiap interval bacaan rambu ukur per 15 menit.

Sehingga rata-rata perubahan tinggi pasang surut air embung sesaat adalah 0,000 meter atau tidak memiliki perubahan disebabkan kondisi embung yang tenang dan tidak terpengaruh dengan arus air embung. Maka dari itu hasil dari rata-rata perubahan tinggi pasang surut air embung tidak memiliki perubahan dari data kedalaman hasil pengukuran survei batimetri tidak perlu dikurangi dengan rata-rata interval pasang surut embung sesaat.

## Hasil Pemetaan Embung

Pemetaan dilakukan pada tanggal 17 Desember 2024 di Embung Sungai Nanam, Kecamatan Lembah Gumanti, Kabupaten Solok, Sumatera Barat dengan menggunakan wahana USV. Dari pengukuran embung yang dilakukan sesuai jalur pemeruman pada Gambar 2, didapatkan data batimetri dengan rentang kedalaman antara -0,874 meter (minimum) hingga -2,991 meter (maksimum) dan rata-rata kedalaman Embung Sungai Nanam -1,8 meter terhadap permukaan air embung (kedalaman lokal).

Salah satu hasil pengolahan data pengukuran survei batimetri Embung Sungai Nanam, Kecamatan Lembah Gumanti, Kabupaten Solok, Sumatera Barat adalah peta batimetri. Dari RAW data (x,y,z) yang diperoleh kemudian di import kedalam perangkat lunak ArcMap 10.8, dibuat raster data dengan metode interpolasi (IDW) yang menghasilkan 7 class data kedalaman dan selanjutnya dibuat kontur dengan interval 0,3 m. Berikut hasil peta batimetri dan profil memanjang Embung Sungai Nanam, Kecamatan Lembah Gumanti, Kabupaten Solok, Sumatera Barat dapat dilihat pada Gambar 3.



**Gambar 3.** Peta Batimetri dan Profil Memajang Embung Sungai Nanam.

Gambar 3 pada peta batimetri didapatkan luas AOI 3,66 Ha dengan kedalaman maksimum -2,7 meter sampai -3 meter terdapat di sisi timur bagian bawah embung sungai nanam berwarna biru tua dan kedalaman minimum -0,9 meter sampai -1,2 meter dibagian tengah sisi utara berwarna biru muda tepat pada bagian embung yang bersedimen pasir dan bervegetasi rumput ilalang. Pada gambar peta batimetri embung sungai nanam terdapat bagian embung yang kosong atau tidak mempunyai data kedalaman, dikarenakan bagian tersebut bersedimen pasir dan bervegetasi rumput ilalang yang mengakibatkan wahana USV tidak dapat menjangkau area tersebut.

### Hasil Visualisasi 3D Batimetri Embung Sungai Nanam

Dari data yang dihasilkan dalam pengolahan peta batimetri Embung Sungai Nanam, Kecamatan Lembah Gumanti, Kabupaten Solok, Sumatera Barat kemudian dilanjutkan dengan membuat visualisasi 3D batimetri dengan perangkat lunak ArcScene 10.8. Hasil visualisasi 3D batimetri Embung Sungai Nanam, Kecamatan Lembah Gumanti, Kabupaten Solok, Sumatera Barat dapat dilihat pada Gambar 4 dan Gambar 5 berikut.



**Gambar 4&5.** Visualisasi 3D Batimetri Embung Sungai Nanam (Tampak sisi barat dan timur).

### Analisa Kualitas Data Batimetri

Dari hasil data pengukuran survei batimetri Embung Sungai Nanam, Kecamatan Lembah Gumanti, Kabupaten Solok, Sumatera Barat dilakukan uji kualitas data berdasarkan Standards for Hydrography Surveys (IHO) 6th Edition, Special Publication No.44, 2022. Dengan cara membandingkan data yang overlap dari jalur cross track (bersilangan) saat pengambilan data batimetri menggunakan wahana USV berlangsung. Berdasarkan identifikasi titik kedalaman yang berdekatan dalam jalur cross track (bersilangan) terdapat 10 titik sampel yang tersebar di area pengukuran batimetri, dapat dilihat pada Gambar 6.



**Gambar 6.** Hasil Data Pengukuran Survei Batimetri.

Dengan cara membandingkan data yang overlap dari jalur cross track (bersilangan) saat pengambilan data batimetri menggunakan wahana USV berlangsung. Berdasarkan identifikasi titik kedalaman yang berdekatan dalam jalur cross track (bersilangan) terdapat 10 titik sampel yang tersebar di area pengukuran batimetri, dapat dilihat pada Gambar 6.

Dari Gambar 6 terdapat 10 titik sampel yang diartikan 1 titik sampel terdiri dari 2 titik kedalaman yang bersilangan, dengan begitu dari 10 titik sampel terdapat 20 titik kedalaman. Selanjutnya Data dilakukan uji kualitas dengan nilai  $a = 0,50$  dan  $b = 0,013$ , berdasarkan Standards for Hydrographics Surveys (IHO) 6th Edition, Special Publication No.44, 2022 tentang standar orde 1b dengan rumus  $TVUmax(d) = \sqrt{(a^2 + (b \times d))^2}$ . Berikut sampel hasil perhitungan, dapat dilihat pada Tabel 1 berikut.

**Tabel 1.** Sampel Hasil Ketelitian Data *Cross Track*.

Id 1	Id 2	Dept 1	Dept 2	Rata-rata (d)	Selisih	Orde	a	B	a <sup>2</sup>	(b × d) <sup>2</sup>	a <sup>2</sup> + (b × d) <sup>2</sup>	$TVUmax(d) = \pm\sqrt{a^2 + (b \times d)^2}$	
584	1161	-1,663	-1,672	-1,668	0,009	1b	0,5	0,013	0,25	0,00047	0,2505		±0,5005
632	618	-1,848	-1,887	-1,868	0,039	1b	0,5	0,013	0,25	0,00059	0,2506		±0,5006
678	696	-2,102	-2,122	-2,112	0,020	1b	0,5	0,013	0,25	0,00075	0,2508		±0,5008
130	172	-2,258	-2,278	-2,268	0,020	1b	0,5	0,013	0,25	0,00087	0,2509		±0,5009
288	1085	-1,731	-1,780	-1,756	0,049	1b	0,5	0,013	0,25	0,00052	0,2505		±0,5005
287	1066	-1,702	-1,721	-1,712	0,019	1b	0,5	0,013	0,25	0,00050	0,2505		±0,5005
409	276	-1,204	-1,213	-1,209	0,009	1b	0,5	0,013	0,25	0,00025	0,2502		±0,5002
274	406	-1,096	-1,252	-1,174	0,156	1b	0,5	0,013	0,25	0,00023	0,2502		±0,5002
1047	375	-2,063	-2,089	-2,076	0,026	1b	0,5	0,013	0,25	0,00073	0,2507		±0,5007
846	814	-1,526	-1,545	-1,536	0,019	1b	0,5	0,013	0,25	0,00040	0,2504		±0,5004

Dari standar pengukuran survei batimetri dan hasil perhitungan sampel cross track, dapat diperoleh nilai selisih kedalaman yang overlap adalah 0,009 meter hingga 0,156 meter dan nilai  $TVUmax$  berkisar  $\pm 0,5002$  meter hingga  $\pm 0,5009$  meter seperti pada Tabel 1. Berdasarkan hasil tersebut uji kualitas menunjukkan nilai yang mampu memenuhi kriteria sesuai dengan standar IHO S44 Tahun 2022 pengukuran batimetri orde 1b. Grafik selisih nilai antara 2 titik uji sampel kedalaman yang memiliki pola yang sangat mirip, menunjukkan bahwa nilai kedalaman antara kedua kategori tersebut relatif tidak jauh berbeda dengan Sebagian besar titik sampel dapat dilihat pada grafik Gambar 7 berikut.



**Gambar 7.** Grafik Perbedaan Selisih Kedalaman Titik Sampel.

Pada titik sampel ke-8 pada Gambar 7 terdapat perbedaan yang lebih signifikan, hal ini mengindikasikan adanya kondisi atau faktor khusus seperti perbedaan jarak antar titik kedalaman pada satu sampel yang menyebabkan perbedaan nilai atau selisih yang jauh pada titik kedalaman sampel.



**Gambar 8.** Grafik Simpangan Titik Sampel Pemeruman.

Grafik Gambar 8 diatas menunjukkan bahwa selisih titik pemeruman pada setiap sampel (garis biru) selalu berada di bawah batas ambang ketelitian (garis oranye) sebesar 0,5 meter, yang menunjukkan bahwa hasil pemeruman memenuhi standar ketelitian yang telah ditentukan. Variasi nilai simpangan terlihat kecil, dengan nilai tertinggi 0,156 m pada titik sampel ke-8 , tetapi tetap berada di bawah batas ambang terlihat pada grafik Gambar 8. Hal ini menunjukkan bahwa pengukuran dilakukan dengan kualitas yang baik dan hasilnya dapat dianggap valid untuk keperluan survei batimetri.

#### 4. KESIMPULAN

Dari pengukuran pasang surut tinggi air embung sesaat Embung Sungai Nanam, Kecamatan Lembah Gumanti, Kabupaten Solok, Sumatera Barat didapatkan hasil perbedaan tinggi pasang surut sesaat sebesar 0,000 meter. Hal ini berarti pasang surut embung tidak memiliki perubahan pada saat pengukuran pasang surut embung tanggal 17 Desember 2024 dari pukul 12:00 WIB hingga pukul 16:00 WIB. Dan Telah dibuatnya Peta Batimetri dan Visualisasi 3D Batimetri Embung Sungai Nanam, Kecamatan Lembah Gumanti, Kabupaten Solok, Sumatera Barat dari hasil pengukuran survei batimetri, didapatkan data batimetri embung sungai nanam dengan rentang kedalaman antara -0,874meter (minimum) hingga -2,991meter (maksimum) terhadap permukaan air embung.

Dari 10 sampel uji kualitas data, berdasarkan data yang *overlap* dari jalur *cross track* (bersilangan). Didapatkan bahwa 10 sampel tersebut mampu memenuhi kriteria sesuai dengan standar IHO S44 Tahun 2022 pengukuran batimetri orde 1b, dengan kata lain wahana USV yang digunakan dengan sensor *Garmin GPSMap 585 Transduser* dinilai cukup untuk melakukan pengukuran survei batimetri pada perairan dangkal.

#### DAFTAR REFERENSI

- Indonesia, S. N. (2010). *Survei hidrografi menggunakan singlebeam echosounder*. Badan Standardisasi Nasional.
- Saputro, D. N., Hermanto, N. I. S., & Susanto, H. (2023). Pemetaan bathymetri dan pemodelan dasar danau menggunakan single beam echosounder. *Jurnal Teknik Sipil*, 9(1), 1–10. <https://doi.org/10.31849/siklus.v9i1.11412>
- Perbani, N. M. R., & Suwardhi, D. (2014). Pembangunan sistem penentuan posisi dan navigasi berbasiskan sistem unmanned surface vehicle (USV) untuk survei batimetri. *Jurnal Itenas Rekayasa*, 18(1), 1–22.
- Azmar, Z. B., & Perbani, N. R. C. (2016). Studi awal desain hull USV (unmanned surface vehicle) untuk pengukuran batimetri di perairan tenang. *Reka Geomatika*, 2016(1). <https://doi.org/10.26760/jrg.v2016i1.1837>
- Made, N. R. R., Suwardhi, D., Teknik, J., & Ilmu, F. (2014). Pembangunan sistem penentuan posisi dan navigasi berbasiskan sistem unmanned surface vehicle (USV) untuk survei batimetri. *Jurnal Itenas Rekayasa*, 18(1), 9–22.
- Putra, A. E., & Anwar, S. (2021). Strategi pengembangan objek wisata Bukit Cambai Kabupaten Solok. *Jurnal Buana*, 5(2), 420–433. <https://doi.org/10.58258/jisip.v5i2.2011>
- Krisnayanti, D. S., Hangge, E. E., Sir, T. M. W., Mbauth, E. N., & Damayanti, A. C. (2020). Perencanaan embung Wae Lerong untuk pemenuhan kebutuhan air irigasi di daerah irigasi Wae Lerong Ruteng Provinsi NTT. *Jurnal Irigasi*, 15(1), 15–30. <https://doi.org/10.31028/ji.v15.i1.15-30>

- US Army Corps of Engineers. (2013). *Engineering and design: Hydrographic surveying*. Department of the Army, U.S. Army Corps of Engineers.
- Armes, C. J. (2006). *Spatial prediction of soil penetration resistance using geographic information systems*. Centre of Excellence – GIS Laboratory, Lincoln University.
- Chen, F. W., & Liu, C. W. (2012). Estimation of the spatial rainfall distribution using inverse distance weighting (IDW) in the middle of Taiwan. *Paddy and Water Environment*, 10(3), 209–222. <https://doi.org/10.1007/s10333-012-0319-1>
- International Hydrographic Organization. (2008). *Standards for hydrographic surveys* (No. 44, 5th ed.). International Hydrographic Bureau.
- Poerbandono, & Djunarsjah, E. (2005). *Survei hidrografi* (R. Herlina, Ed.; Vol. 1). PT Refika Aditama.
- International Hydrographic Organization. (2022). *IHO standards for hydrographic surveys* (6th ed.; S-44). International Hydrographic Bureau. <https://ihonet.int/en/standards-and-specifications>
- Pratiwi, M., Sari, A., Nugraha, R., & Yuliani, D. (2022). Survei batimetri di perairan dangkal menggunakan wahana USV: Studi kasus Sungai Ciliwung. *Jurnal Ilmiah Geomatika*, 2(1). <https://doi.org/10.31315/imagi.v2i1.7478>
- Poltekpel Banten. (2024). Penggunaan side scan sonar (SSS) dan sub bottom profiler (SBP) dalam pemetaan posisi pipa bawah laut di Pulau Pabelokan. *Journal Marine Inside*, 6(2), 59–70. <http://ejournal.poltekpel-banten.ac.id>
- Norazaruddin, M. A., Abidin, Z. Z., & Anuar, T. A. T. (2024). Design and performance assessment of a hydrographic unmanned surface vessel for enhanced autonomous bathymetry operations in shallow water areas. *Indian Journal of Geo-Marine Sciences*, 53(4). <https://doi.org/10.56042/ijms.v53i04.10580>
- Nugroho, A., Sijabat, R., Chasanudin, A. M., & Subagjo, I. A. (2022). Multibeam bathymetric measurements for shallow seabed features mapping using unmanned surface vehicle. *Jurnal Geofisika*, 20(2). <https://doi.org/10.36435/jgf.v20i2.546>