

## Pemetaan Bathymetri Dan Pemodelan Dasar Danau Menggunakan Single Beam Echosounder

Dani Nugroho Saputro<sup>\*1</sup>, Nor Intang Setyo Hermanto<sup>2</sup>, Heryawan Susanto<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Laboratorium Pemetaan, Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik,  
Universitas Jenderal Soedirman  
Jl. Mayjen Sungkono KM 5 Blater Purbalingga

Submitted : 17, September, 2023;

Accepted: 13, Februari, 2023

### Abstrak

Danau perlu dikelola dengan baik serta dipertahankan kegunaannya karena berperan sangat penting pada pemenuhan kebutuhan air. Pemantauan, pemeliharaan serta penilaian untuk menjaga keberlangsungan eksistensi air pada danau dengan pemantauan dan pengukuran terpola. Tujuan dari penelitian ini adalah melakukan pengukuran terpola untuk mendapatkan luas kapasitas danau, model elevasi digital, kontur topografi dasar danau secara 3D. Proses pengambilan data menggunakan dua metode, Pengambilan data di darat menggunakan metode Tachymetri dan pengukuran di air dengan metode Bathymetri dilengkapi peralatan *Single Beam Echosounder*, yang terdiri dari peralatan GPS, *Transducer* dan *Receiver* yang telah dipasang pada perahu untuk merekam koordinat dan keadaan topografi bawah danau secara akurat dan *real-time*. Proses pengolahan data menggunakan Analisis Interpolasi metode *Kriging* dikomparasi dengan metode *Inverse Distance Weighting* (IDW) dan *Natural Neighbour*. Pengolahan data kapasitas danau menggunakan *Trapezoidal rule* divalidasi dengan *Simpson's rule* dan *Simpson's 3/8 rule*. Hasil penelitian didapatkan bahwa Analisis Interpolasi dengan menggunakan metode interpolasi *Kriging* menghasilkan taksiran yang mendekati nilai sampel data yang diinterpolasi, sehingga menghasilkan interpolasi yang lebih halus dan tajam dibanding dengan metode *Inverse Distance Weighting* (IDW) dan *Natural Neighbour*. Analisis perhitungan volume didapatkan metode luas area danau sebesar 26.089,85 m<sup>2</sup> dengan kapasitas tampungan danau sebesar 55.485,48 m<sup>3</sup> dengan keesalahan relatif (*relative error*) sebesar 0.032%, Analisis perhitungan volume diukur pada elevasi 79,167 mdpl dengan maksimum kedalaman danau yaitu pada elevasi 74,2 mdpl.

**Kata Kunci :** silangit; bathymetri; *single beam*; *kriging*

### Abstract

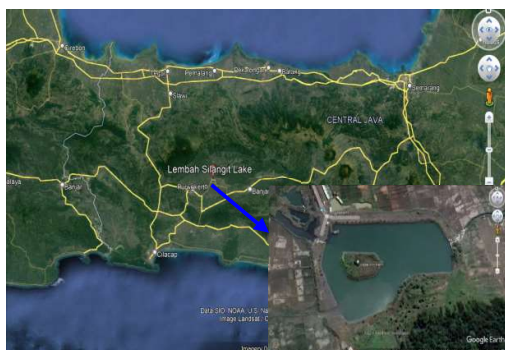
*Lakes need to be managed properly and maintain their usefulness because they play a very important role in meeting water needs. Monitoring, maintenance and assessment to maintain the sustainability of the existence of water in the lake with patterned monitoring and measurement. The purpose of this research is to carry out patterned measurements to get the lake capacity area, digital elevation model, topographic contours of the lake bottom in 3D. The data retrieval process uses two methods, Data retrieval on land using the Tachymetry method and measurements in the water using the Bathymetry method*

*equipped with Single Beam Echosounder equipment, which consists of GPS, Transducer and Receiver equipment that has been installed on the boat to record coordinates and topographical conditions under the lake. accurate and real-time. The data processing using the Kriging Interpolation Analysis method was compared with the Inverse Distance Weighting (IDW) and Natural Neighbor methods. Lake capacity data processing using Trapezoidal rule validated by Simpson's rule and Simpson's 3/8 rule. The results showed that the Interpolation Analysis using the Kriging interpolation method produced estimates that were close to the interpolated data sample values, resulting in a smoother and sharper interpolation compared to the Inverse Distance Weighting (IDW) and Natural Neighbor methods. The volume calculation analysis method obtained the lake area of 26,089.85 m<sup>2</sup> with a lake storage capacity of 55,485.48 m<sup>3</sup> with a relative error of 0.032%. The volume calculation analysis was measured at an elevation of 79.167 masl with the maximum depth of the lake at an elevation of 74.2 masl.*

**Keywords :** *silangit; bathymetric; single beam; kriging*

## A. PENDAHULUAN

Danau merupakan area perairan yang terbentuk secara alami atau buatan di tengah-tengah daratan, dengan dicirikan adanya batas-batas yang tegas diantara antara air dan daratan, dan memiliki genangan relatif dalam (Haryani, 2013). Danau merupakan sumber dasar air baku yang dibutuhkan untuk keperluan rumah tangga, industri, pertanian, perikanan dan bentuk penggunaan lain termasuk pariwisata. Air pada danau Silangit di desa Patemon, Kecamatan Bojongsari, Kabupaten Purbalingga berasal dari sungai badak yang tidak pernah kering disetiap musim yang dimanfaatkan oleh petani selama musim kemarau untuk menjamin kelangsungan kegiatan pertanian.



**Gambar 1.** Lokasi Danau Silangit

Danau dengan luas 2,6 hektar ini selain pemanfaatan untuk pertanian juga dimanfaatkan sebagai kawasan wisata daerah. Danau kecil memiliki kapasitas untuk berdampak besar pada lingkungan sekitar, secara hidrologis dan ekologis (Cantonati et al., 2020). Efek kecil danau dapat dioptimalkan untuk meningkatkan dampak negatif perubahan iklim. Danau perlu dikelola dengan baik serta dipertahankan kegunaannya karena berperan sangat penting pada pemenuhan kebutuhan air disuatu daerah dengan kondisi kekeringan (Suharti, 2004). Pemantauan, pemeliharaan serta penilaian untuk menjaga keberlangsungan eksistensi air pada danau adalah pemantauan dan pengukuran curah hujan, pengukuran laju evaporasi, pengukuran terpolo kedalaman dasar dengan pembuatan peta batimetri, sebaran sedimen, pengukuran debit air masuk serta debit keluar danau, pengukuran tinggi bagian atas air (*water level*) serta pemantauan kualitas air (Wahjono, 2015). Informasi dasar pengelolaan danau adalah tersedianya data kapasitas tampungan yang diperoleh dari data kedalaman dasar perairan atau dari data batimetri danau. Pengukuran batimetri perlu dilakukan untuk

mendapatkan data diantaranya adalah data kedalaman dan visualisasi kontur topografi dasar perairan. Pengukuran bathymetri meliputi penggambaran dasar perairan terdiri dari pengukuran, pengolahan data, dan visualisasi kontur topografi dasar perairan (Febrianto et al., 2016). Pengukuran bathimetri dilakukan dengan menggunakan *Single beam echosounder*, yang merupakan peralatan ukur kedalaman air dengan menggunakan pengirim sinyal serta penerima sinyal gelombang suara tunggal. Prinsip dari kerja *Single Beam Echosounder* adalah menggunakan pengukuran selisih fase pulsa, dengan menghitung selisih pemancaran sinyal dan penerimaan dari pulsa akustik pancaran gelombang akustik dari transduser (Snellen et al., 2011). *Transduser* adalah peralatan pemeruman dengan mengubah energi listrik menjadi energi mekanik, sehingga akan menghasilkan gelombang akustik. Gelombang akustik yang dihasilkan kemudian merambat melalui air, sampai menyentuh dasar perairan dasar (Hapsari & Cahyono, 2021). Peta batimetri danau dapat memberikan informasi tampungan atau kapasitas dari volume air yang tertampung yang nantinya dapat digunakan sebagai dasar pengelolaan sumberdaya air dan untuk merepresentasikan kondisi keadaan dasar danau (McComas, 2003).

Selain itu, untuk mendapatkan elevasi daratan penelitian ini dipadukan dengan pengukuran tachymetri, pengukuran tachymetri mempunyai keunggulan dalam hal ketepatan dan kecepatan untuk memperoleh data posisi planimetris x, y, dan ketinggian z. Penelitian ini berusaha untuk memetakan tingkat kedalaman dan pemetaan dasar danau Silangit secara 3D, dengan menggunakan metode survei batimetri dan tachymetri, hal itu untuk

menghasilkan kontur topografi dan juga menghasilkan kurva elevasi area kapasitas danau yang akan membantu memantau kapasitas maksimum tampungan.

## **B. TINJAUAN PUSTAKA**

### **1. Sistem Satelit Navigasi Global (GNSS)**

Satelit navigasi global memancarkan sinyal navigasi dengan penentuan posisi kepada pengguna yang dikendalikan dari stasiun pengendali di Bumi. Penentuan posisi navigasi dapat dilakukan berdasarkan 4 (empat) dimensi, yaitu berdasarkan garis bujur, garis lintang, ketinggian dan waktu (Bakara, 2011). Sistem satelit navigasi global (GNSS) dapat digunakan pada sistem informasi geografi seperti pembuatan peta, digunakan untuk mengukur jarak perbatasan, dan sebagai referensi pengukuran. Sistem satelit navigasi global dengan ketelitian yang tinggi dapat digunakan juga untuk memantau pergerakan tanah, baik pergerakan vulkanik ataupun tektonik, yang ordenya hanya milimeter dalam setahun (Nugroho & Gumilar, 2015).

### **2. Pengukuran dengan Perum Gema (Echosounder)**

Mengukur tingkat sedimentasi dan kapasitas danau menjadi tantangan utama dalam pengelolaan sumber daya air. Kemajuan teknologi single beam dan multi beam echosounder telah menjadi instrumen utama dalam survei batimetri (Taftazani, 2016). Sistem perambatan gelombang akustik memiliki terbukti menjadi cara yang efektif untuk survei dasar perairan untuk menghasilkan kedalaman dan jarak tempuh antara alat pemancar (*tansduser*) sampai ke dasar perairan dan *receiver* sebagai penerima gelombang akustik yang dipancarkan

(Syamsuddin et al., 2021). Rentang frekuensi dari *single beam* dengan frekuensi berkisar 100-750 kHz dan frekuensi rendah 10-50 kHz (Garmin GPSMAP 585 Plus, 2021). Persamaan untuk menganalisis interval waktu tempuh gelombang akustik menjadi nilai kedalaman pada *single beam*, sebagai berikut :

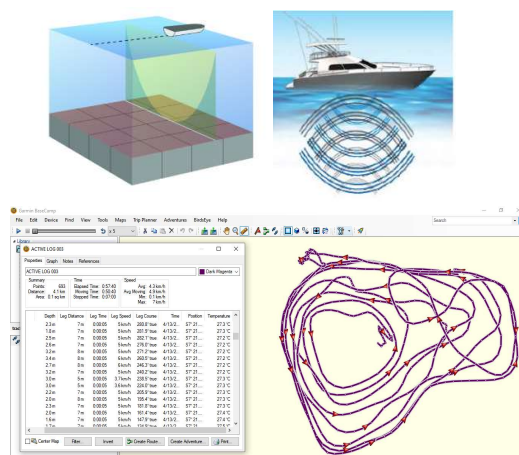
$$D = \frac{1}{2}(v \cdot \Delta t) \quad (1)$$

D : Kedalaman (m)

v : Cepat rambat gelombang akustik (m/s)

$\Delta t$  : interval waktu antara gelombang yang dipancarkan dan diterima (s)

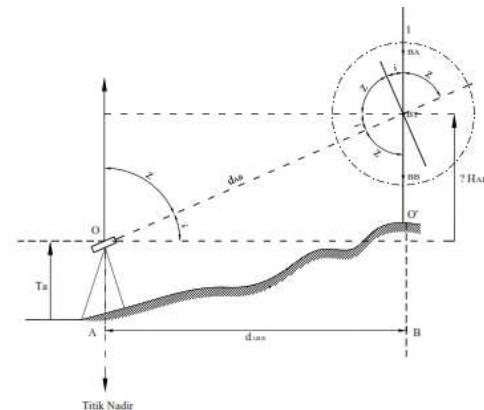
Pengukuran dasar danau Silangit bertujuan untuk menentukan nilai kedalaman dasar perairan dan memodelkan secara 3D keadaan dasar danau. Metode pengukuran kedalaman menggunakan alat perum gema (*Echosounder*) dengan mengacu pada Standar Nasional Indonesia (SNI) 8283: 2016, mengenai metode pengukuran kedalaman menggunakan alat perum gema (BSN, 2016). Data yang diperoleh dari pengukuran diantaranya adalah lokasi dan titik koordinat (x,y) dan kedalaman (z). Skema pengukuran seperti ditunjukkan pada Gambar 2 berikut.



**Gambar 2.** Skema pengukuran dengan perum gema (*Echosounder*)

### 3. Pengukuran metode Tachymetri

Pengukuran kerangka dasar vertikal akan menghasilkan tinggi titik-titik ikat dan pengukuran kerangka dasar horizontal menghasilkan titik-titik detail yang tersebar di permukaan yang menggambarkan situasi daerah pengukuran (Maulidin et al., 2016). Pengukuran titik detail ini dilakukan setelah pengukuran kerangka dasar vertikal dan pengukuran kerangka dasar horizontal. Pengukuran titik detail mempunyai orde ketelitian lebih rendah dibandingkan dengan orde pengukuran kerangka dasar. Pengukuran titik detail dengan metode tachymetri pada dasarnya dilakukan dengan menggunakan peralatan dengan teknologi lensa optis dan elektronis digital.



**Gambar 3.** Skema pengukuran Tachymetri

Data yang diperoleh dari lapangan harus diolah untuk menghilangkan kesalahan sistematis dan acak yang terjadi serta membuang kesalahan besar yang mungkin ditimbulkan. Banyaknya data atau kerapatan menentukan data yang dihasilkan akan semakin rapat dan valid. Alat yang digunakan pada pemetaan tachymetri adalah Total Station yang terintegrasi dengan komponen pengukuran jarak elektronik *Electronic Distance Meter* (EDM) untuk membaca lokasi atau titik koordinat (x,y) dan beda tinggi (z).

#### 4. Analisis Interpolasi pembuatan Grid Kontur

Analisis hasil dari pengukuran akan diolah dengan menggunakan pendekatan interpolasi dengan membandingkan hasil analisis menggunakan metode *Inverse Distance Weighting* (IDW), *Kriging* dan *Natural Neighbor*.

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

Interpolasi *Inverse Distance Weighting* (IDW) adalah pendekatan nilai yang berdekatan yang akan membentuk nilai serupa dibandingkan dengan nilai yang berjauhan. Metode IDW data yang dihasilkan sangat dipengaruhi oleh *inverse* jarak atau nilai pengukuran ("An Introduction to Applied Geostatistics, by E. H. Isaaks and R. M. Srivastava," 2010)

$$W_i = \frac{\frac{1}{dip}}{\sum_{t=1}^n \frac{1}{dip}} \quad (2)$$

$$Z_0 = \sum_{i=1}^n W_i \cdot Z_i \quad (3)$$

$Z_0$  : nilai titik yang ditaksir

$W_i$  : Faktor bobot dari titik – i

$Z_i$  : Nilai dari titik penaksir – i

$d_i$  : Jarak antara titik i dan titik yang ditaksir

$p$  : Faktor eksponen

##### b. Interpolasi *Natural Neighbor*

Interpolasi *Natural Neighbor* adalah merupakan metode dengan sifat lokal, sampel data yang digunakan adalah berdekatan atau berada disekitar hasil yang diperoleh (Etherington, 2020). Persamaan untuk estimasi nilai  $z$  (nilai yang ditaksir) dianalisis dengan menggunakan persamaan (4) (Merwade et al., 2006).

$$W_i = \frac{pi-}{pi} \quad (4)$$

$W_i$  : Faktor bobot dari titik –i

$q_i$  : Area polygon dari titik  $q_i$

$p_i$  : Area polygon dari titik  $p_i$

##### c. Interpolasi *Kriging*

Interpolasi *Kriging* dianalisis pada rata-rata jumlah data yang digunakan diketahui dan berdekatan. Metode *Kriging* merupakan pendekatan estimasi yang terregional dengan pendekatan data realistik dari variabel yang acak dari keseluruhan data dengan membentuk fungsi dengan model variogram linear. Nilai untuk menentukan nilai  $z$  digunakan persamaan sebagai berikut (Merwade et al., 2006).

$$Z(s) - m(s) = \sum_{i=1}^n \lambda_i [z(s_i) - m(s_i)] \quad (5)$$

$s, s_i$  : lokasi estimasi dan salah satu lokasi dari data yang berdekatan (i)

$m(s)$  : nilai ekspektasi dari  $Z(s)$

$m(s_i)$  : nilai ekspektasi dari  $Z(s_i)$

$\lambda$  : faktor bobot/faktor eksponen

$n$  : banyaknya data.

#### 5. Analisis Perhitungan Volume

Analisis perhitungan volume pada menggunakan *Trapezoidal rule* yang divalidasi dengan metode *Simpson's rule* dan *Simpson's 3/8 rule*. Perbedaan dalam perhitungan volume pada ketiga metode memberikan pengukuran yang kualitatif dan perhitungan volume yang akurat. Apabila ketiga metode perhitungan volume tersebut memberikan hasil yang mendekati kesamaan, hasilnya volume sebenarnya sangat mendekati hasil sesuai perhitungan. Volume bersih didapatkan dengan menghitung rerata dari ketiganya. Kesalahan relatif dari hasil perhitungan dapat diestimasi dengan membandingkan hasil ketiga metode tersebut, dan kesalahan relatif didapatkan sebagai persentase volume rerata, formulasi analisis disampaikan pada persamaan

berikut (Surfer, 2015) :

$$RE = \frac{(LR-SR)}{AVER} \times 100\% \quad (6)$$

RE : *relative error*

LR : *largest result*

SR : *smallest result*

AVER : *average*

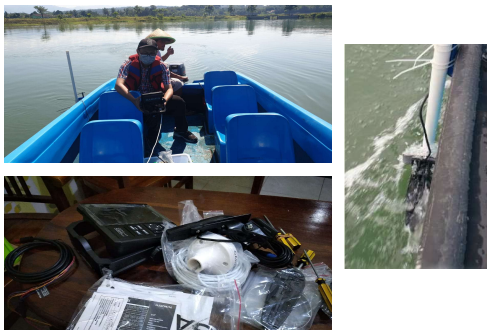
### C. METODE PENELITIAN

Proses pengambilan data dibagi menjadi 2 metode, yaitu pengambilan data di darat dengan Tachymetri dan pengambilan data di air dengan Bathymetri. Proses pengambilan data didarat dengan menggunakan metode tachymetri dengan alat bantu Total Station *Electronic Distance Meter* (EDM) untuk membaca lokasi/titik koordinat UTM (x,y) dan beda tinggi (z) ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Pengukuran Tachymetri

Proses pengambilan data pemetaan topografi bawah air dengan menggunakan peralatan *Single Beam Echosounder* terdiri dari peralatan GPS, *Transducer* dan *Receiver* yang dipasang pada perahu untuk merekam koordinat dan keadaan topografi bawah danau secara akurat dan real-time ditunjukkan pada gambar 5.



Gambar 5. Pengukuran Bathymetri

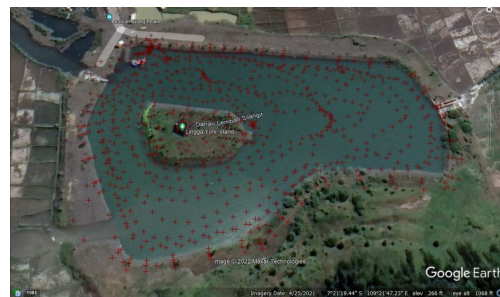
Proses pengolahan data menggunakan Analisis Interpolasi dengan menggunakan metode *Kriging* dikomparasi dengan metode *Inverse Distance Weighting* (IDW) dan *Natural Neighbour*. Pengolahan data kapasitas dan luas area danau menggunakan metode *Trapezoidal rule* divalidasi dengan metode *Simpson's rule* dan *Simpson's 3/8 rule*.

### D. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengukuran topografi dasar danau dilakukan dengan menggunakan kapal motor dengan pola lintasan mengitari bagian tubuh atau danau. Berdasarkan hasil pengukuran diketahui nilai kedalaman dasar danau 74,2 mdpl. Lintasan pengukuran kedalaman dan lintasan kapal disajikan pada Gambar 6. Integrasi dan plotting pengukuran ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 6. Jalur pengukuran Bathymetri



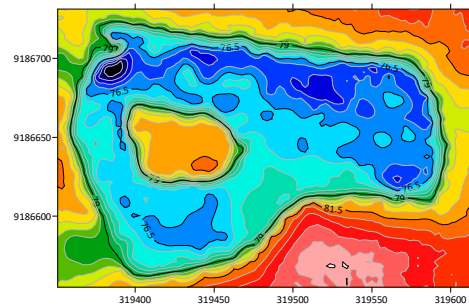
Gambar 7. Integrasi plotting data koordinat pengukuran

Hasil dari pengukuran selanjutnya dilakukan analisis interpolasi *Inverse Distance Weighting* (IDW), *Natural Neighbor* dan *Kriging* diperoleh seperti pada tabel 1 berikut :

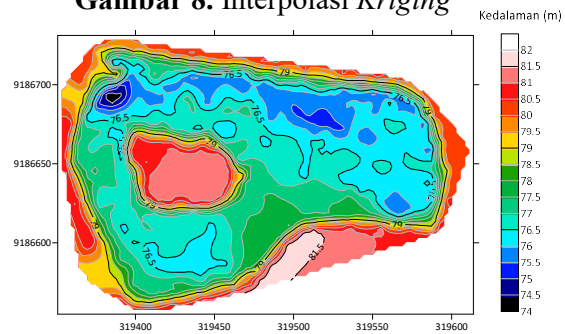
Tabel 1. Perbandingan hasil Analysis Interpolasi

| Analysis Data        | Inverse Distance Weighting (IDW) | Natural Neighbor | Kriging |
|----------------------|----------------------------------|------------------|---------|
| Variance:            | 2.796                            | 3.368            | 5.950   |
| Standard Deviation:  | 1.672                            | 1.835            | 2.439   |
| Interquartile Range: | 3.045                            | 3.163            | 4.428   |
| Range:               | 7.645                            | 7.632            | 9.926   |
| Mean Difference:     | 1.913                            | 2.049            | 2.785   |
| Med. Abs. Deviation: | 1.473                            | 1.116            | 2.218   |
| Avg. Abs. Deviation: | 1.522                            | 1.511            | 2.209   |
| Quartile Dispersion: | 0.019                            | 0.020            | 0.028   |
| Relative Mean Diff.: | 0.024                            | 0.026            | 0.035   |
| Standard Error:      | 0.030                            | 0.026            | 0.017   |
| Coef. of Variation:  | 0.021                            | 0.024            | 0.031   |
| Skewness:            | -0.045                           | 0.577            | 0.187   |
| Kurtosis:            | 1.625                            | 1.972            | 1.677   |

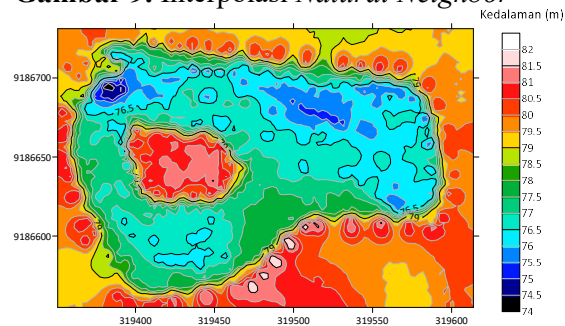
Berdasarkan analisis perhitungan didapatkan *Kriging* menghasilkan nilai yang mendekati nilai sampel data yang diinterpolasi, meskipun nilai sampel diperbesar menuju tak terhingga. Metode perhitungan ini mempertimbangkan faktor yang mempengaruhi akurasi perhitungan, diantaranya adalah banyaknya sampel, posisi sampel serta jarak antar sampel dengan titik yang diestimasi, kontinuitas spasial dari variabel yang terlibat. Metode *Kriging* ini dapat digunakan untuk mengestimasi besarnya nilai karakteristik (z) pada titik tidak tersampel berdasarkan informasi dari titik tersampel yang berada disekitarnya. Hasil analisis Interpolasi ketiga metode ditunjukkan pada Gambar 8, Gambar 9 dan Gambar 10.



Gambar 8. Interpolasi *Kriging*



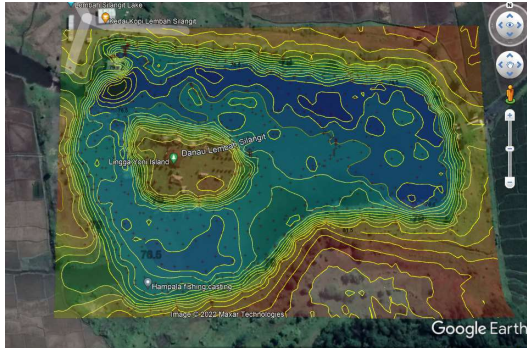
Gambar 9. Interpolasi *Natural Neighbor*



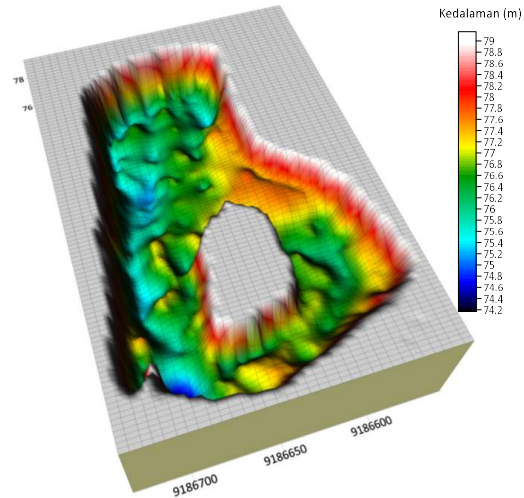
Gambar 10. Interpolasi *Inverse Distance Weighting (IDW)*

Metode *Kriging* memiliki model semi-variogram yang menggambarkan perbedaan spasial dan nilai diantara semua pasangan data. Semi-variogram digunakan untuk menentukan jarak dimana nilai data menjadi saling tidak tergantung. Semi-variogram merupakan perangkat dasar geostatistik yang digunakan untuk memperoleh visualisasi, pemodelan spasial dari variable terregionalisasi sehingga akan menghasilkan interpolasi yang lebih halus dibanding kedua metode lain (Puspita, 2013). Begitu juga dengan

metode interpolasi terdekat yaitu pada metode *Natural Neighbor*, akan tetapi pada metode *Kriging* menghasilkan kesan topografi yang lebih tajam dibandingkan dengan *Natural Neighbor*. Pada Metode IDW ada kecenderungan menghasilkan kontur berpola "*bull's-eye*" terkonsentrasi di sekitar titik data. Metode IDW didapatkan rerata dari data, sehingga nilainya tidak bisa lebih kecil dari minimal dan atau lebih besar dari data. Untuk mendapatkan hasil interpolasi yang baik, data yang digunakan direkomendasikan rapat dan saling berhubungan dengan variasi lokal. Jika data tidak merata, hasilnya kemungkinan besar tidak sesuai (Watson & Philip, 1985). Metode *Kriging* menjadi metode interpolasi dengan nilai akurasi terbaik, yang selanjutnya menjadi metode acuan untuk analisis volume dan pemodelan 3D. Hasil peta kontur Danau Silangit dan pemodelan 3D ditunjukkan pada Gambar 11 dan Gambar 12.



**Gambar 11.** Peta kontur Danau Silangit

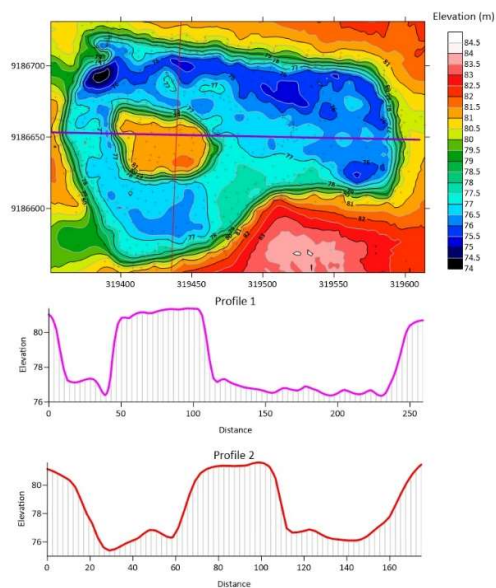


**Gambar 12.** Pemodelan 3D Danau Silangit

Hasil analisis perhitungan volume danau Silangit diambil pada batas elevasi existing atau muka tanah yaitu 79.167 mdpl. Potongan melintang danau Silangit ditunjukkan pada gambar 13. Analisis perhitungan volume menggunakan metode *Trapezoidal* dengan validasi menggunakan *Simpson's rule* dan *Simpson's 3/8 rule*. Hasil Analisis volume dengan metode *Trapezoidal rule*, *Simpson's rule* dan *Simpson's 3/8 rule* ditunjukkan pada tabel 2 berikut :

**Tabel 2.** Hasil Analisis Volume

| Metode                    | Volume (m3) |
|---------------------------|-------------|
| <i>Trapezoidal Rule</i>   | 55.485,480  |
| <i>Simpson's Rule</i>     | 55.467,765  |
| <i>Simpson's 3/8 Rule</i> | 55.470,921  |



**Gambar 13.** Potongan melintang danau Silangit

Hasil Analisis ketiga metode yaitu *Trapezoidal rule*, *Simpson's rule* dan *Simpson's 3/8 rule* diperoleh nilai *Net Volume* sebesar 55.485,48 m<sup>3</sup>, memiliki luas area 26.089,85 m<sup>2</sup> dengan keesalahan relatif analisis volume (*relative error*) sebesar 0.032%.

## E. KESIMPULAN

Metode interpolasi *Kriging* menghasilkan kontur yang mendekati nilai data yang diinterpolasi, sehingga menghasilkan interpolasi yang lebih halus dan tajam dibanding dengan metode *Inverse Distance Weighting* (IDW) dan *Natural Neighbour*. Kedalaman danau Silangit dengan lokasi terdalam 74,2 mdpl berada di sepanjang aliran sumber mata air yaitu pada sisi memanjang danau Silangit. Hasil perhitungan volume diperoleh Analisis ketiga metode yaitu *Trapezoidal rule*, *Simpson's rule* dan *Simpson's 3/8 rule* diperoleh nilai *Net Volume* sebesar

55.485,48 m<sup>3</sup>, memiliki luas area 26.089,85 m<sup>2</sup> dengan keesalahan relatif (*relative error*) sebesar 0.032%. Analisis perhitungan volume diambil pada elevasi existing yaitu pada 79.167 mdpl.

## DAFTAR PUSTAKA

- E. H. Isaaks and R. M. Srivastava (2010). *An Introduction to Applied Geostatistics*, by E. H. Isaaks and R. M. Srivastava. (2010). *Geographical Analysis*. <https://doi.org/10.1111/j.1538-4632.1994.tb00325.x>
- Bakara, J. (2011). Perkembangan Sistem Satelit Navigasi Global. *Peneliti Bidang Pengkajian Kedingrintaraan Nasional, LAPAN*.
- BSN, B. S. N. (2016). Metode Pengukuran Kedalaman Menggunakan Alat Perum Gema Untuk Menghasilkan Peta Batimetri. *Standar Nasional Indonesia (SNI) Nomor 8283*.
- Cantonati, M., Poikane, S., Pringle, C. M., Stevens, L. E., Turak, E., Heino, J., Richardson, J. S., Bolpagni, R., Borrini, A., Cid, N., Tvrtliková, M., Galassi, D. M. P., Hájek, M., Hawes, I., Levkov, Z., Naselli-Flores, L., Saber, A. A., Cicco, M. Di, Fiasca, B., ... Znachor, P. (2020). Characteristics, main impacts, and stewardship of natural and artificial freshwater environments: Consequences for biodiversity conservation. In *Water (Switzerland)*. <https://doi.org/10.3390/w12010260>
- Etherington, T. R. (2020). Discrete natural neighbour interpolation with uncertainty using cross-validation error-distance fields. *PeerJ Computer Science*. <https://doi.org/10.7717/peerj-cs.282>
- Febrianto, T., Hestirianoto, T., & Agus,

- S. B. (2016). Pemetaan Batimetri Di Perairan Dangkal Pulau Tunda, Serang, Banten Menggunakan Singlebeam Echosounder. *Jurnal Teknologi Perikanan Dan Kelautan*. <https://doi.org/10.24319/jtpk.6.139-147>
- Garmin GPSMAP 585 Plus. (2021). Garmin GPSMAP 585 Plus. In *Garmin Ltd*.
- Hapsari, W., & Cahyono, B. K. (2021). Pemodelan 3D Lapisan Dasar Laut Dan Identifikasi Ketebalan Sedimen Berdasarkan Kombinasi Data Pengukuran Sub-Bottom Profiler Dan Single Beam Echosounder (Studi Kasus: Alur Akses Timur Surabaya). *JGISE: Journal of Geospatial Information Science and Engineering*. <https://doi.org/10.22146/jgise.63756>
- Haryani, G. S. (2013). Kondisi Danau di Indonesia dan Strategi Pengelolaannya. *Prosiding Pertemuan Ilmiah Tahunan MLI I*.
- Maulidin, R. F., Handayani, H. H., & Perkasa, Y. H. (2016). Studi Perbandingan Total Station dan Terrestrial Laser Scanner dalam Penentuan Volume Obyek Beraturan dan Tidak Beraturan. *Jurnal Teknik ITS*. <https://doi.org/10.12962/j23373539.v5i2.17211>
- McComas, S. (2003). Lake and pond management guidebook. In *Lake and Pond Management Guidebook*. <https://doi.org/10.1201/9780203010082>
- Merwade, V. M., Maidment, D. R., & Goff, J. A. (2006). Anisotropic considerations while interpolating river channel bathymetry. *Journal of Hydrology*. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2006.06.018>
- Muhammad I Taftazani. (2016). Pengukuran Laju Sedimentasi Waduk Sermo Berdasarkan Analisa Data Pengukuran Bathimetri, Kandungan Tanah dalam Air Sungai, Serta Analisa Sedimen Dasar Waduk. *Surveying Enviromental*.
- Nugroho, A., & Gumilar, I. (2015). Karakteristik Deformasi Gunung Muria Periode 2010-2014. *Jurnal Pengembangan Energi Nuklir*. <https://doi.org/10.17146/jpen.2015.17.2.2504>
- Puspita, W. (2013). Analisis Data Geostatistik Menggunakan Metode Ordinary Kriging. *Universitas Pendidikan Indonesia*.
- Snellen, M., Siemes, K., & Simons, D. G. (2011). Model-based sediment classification using single-beam echosounder signals. *The Journal of the Acoustical Society of America*. <https://doi.org/10.1121/1.3569718>
- Suharti, T. (2004). Pengelolaan Sungai, Danau dan Waduk untuk Konservasi Sumberdaya Air. *Makalah Falsafah Sains*.
- Surfer, S. M. S. (2015). *Surface Mapping Software (Surfer)*.
- Syamsuddin, D., Satria Muyadi, D., & Prasetya Adi, A. (2021). Interpretasi Objek Dasar Laut Berdasarkan Nilai Hambur Balik Menggunakan Instrumen Side Scan Sonar (Studi Kasus Pipa Pertamina di Balongan). *Jurnal Chart Datum*. <https://doi.org/10.37875/chartdatum.v6i1.173>
- Wahjono, H. D. (2015). Pemantauan Kualitas Air Danau Semayang Dan Danau Melintang Di. *JAI*.
- Watson, D. F., & Philip, G. M. (1985). A refinement of inverse distance weighted interpolation. *Geo-Processing*.



© 2023 Siklus Jurnal Teknik Sipil All rights reserved. This is an open access article distributed under the terms of the CC BY License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)