

INTEGRASI CITRA UDARA DAN BATIMETRI UNTUK PENYUSUNAN MODEL ELEVASI BELOKAN SUNGAI WONOKROMO

*Nauval Usa Maulana¹, Andi Patriadi²

^{1,2}Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya

^{*)} Email: fasoro11@gmail.com

Received: 26 November 2025 ; Revised: 2 Desember 2025 ; Accepted: 5 Desember 2025

ABSTRACT

This study aims to develop an accurate elevation model of the meander segment of the Wonokromo River through integrating UAV-based aerial photogrammetry and bathymetric measurements. Flooding in southern Surabaya is strongly influenced by tidal backwater effects and the reduced channel capacity caused by sedimentation and geometric changes in river bends. Therefore, detailed topographic and bathymetric information is essential to support hydrological and hydraulic assessment. Data acquisition was conducted using a UAV that captured 653 images with 20 GCPs and 8 ICPs, while riverbed depths were measured using a 200 kHz echosounder. The photogrammetric workflow included photo alignment, dense cloud generation, DSM/DTM construction, and orthomosaic production, followed by integration with bathymetry corrected to orthometric height using the SRGI geoid model. Accuracy evaluation shows high spatial fidelity, with CE90 of 0.064 m and LE90 of 0.073 m, meeting Class 1 accuracy standards for 1:1,000 scale mapping. The resulting orthophoto has a ground sampling distance of 2 cm and successfully represents detailed morphological features along the river bend. The integrated topobathymetric DEM provides a seamless elevation model from land to riverbed, enabling more precise analysis of flow patterns, erosion–deposition characteristics, and morphological changes in the Wonokromo meander. These results confirm that the integrated dataset is highly suitable for hydromorphological studies and can support flood mitigation planning in the surrounding region.

Keyword: UAV photogrammetry, bathymetry, DEM, river meander, Wonokromo River

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan model elevasi yang akurat pada segmen belokan Sungai Wonokromo melalui integrasi fotogrametri udara berbasis *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) dan pengukuran batimetri. Banjir di wilayah Surabaya Selatan dipengaruhi oleh kombinasi pasang surut, penyempitan geometri sungai, serta sedimentasi pada tikungan yang menurunkan kapasitas aliran, sehingga diperlukan informasi topografi dan batimetri yang lebih detail. Akuisisi data dilakukan menggunakan *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) yang menghasilkan 653 citra dengan 20 GCP dan 8 ICP, serta survei kedalaman sungai menggunakan echosounder frekuensi 200 kHz. Alur pemrosesan meliputi penyalarsan citra, pembuatan *dense cloud*, konstruksi DSM/DTM, pembuatan ortofoto, dan integrasi data batimetri yang telah dikoreksi ke tinggi ortometrik menggunakan model geoid SRGI. Evaluasi ketelitian menunjukkan nilai CE90 sebesar 0,064 m dan LE90 sebesar 0,073 m, memenuhi standar ketelitian Kelas 1 untuk pemetaan skala 1:1.000. Ortofoto yang dihasilkan memiliki GSD 2 cm dan mampu merepresentasikan detail morfologi tikungan sungai dengan sangat baik. DEM topobatimetri yang terintegrasi menghasilkan model elevasi menyeluruh dari darat hingga dasar sungai, yang dapat dimanfaatkan untuk analisis pola aliran, identifikasi area erosi–deposisi, serta evaluasi perubahan bentuk meander Sungai Wonokromo. Hasil ini menunjukkan bahwa dataset yang dihasilkan sangat layak digunakan untuk analisis hidromorfologi dan perencanaan mitigasi banjir di kawasan tersebut.

Kata kunci: fotogrametri UAV, batimetri, DEM, belokan sungai, Sungai Wonokromo

1. PENDAHULUAN

Surabaya masih menghadapi banjir perkotaan yang disebabkan oleh kapasitas saluran terbatas, alih fungsi lahan, dan pengaruh pasang surut di hilir. Pemerintah Kota Surabaya telah menetapkan wilayah Surabaya Selatan sebagai prioritas penanganan pada tahun 2025, dengan intervensi seperti pelebaran saluran, long storage, box culvert, dan pembangunan rumah pompa yang terhubung ke bozem-bozem kota [1]. Kebijakan ini melanjutkan program normalisasi dan pembenahan drainase yang dimulai pada periode 2022–2024 di Avur Wonorejo dan normalisasi sungai di hilir [2].

Alih fungsi ruang hijau menjadi faktor pemburuk banjir yang perlu perhatian serius. Organisasi lingkungan turut menyoroti dampak dari konversi lahan ini, mendorong solusi pemulihan ruang hijau untuk mengurangi resiko banjir di masa depan [3]. Di sisi lain, BPBD Surabaya juga memetakan 10 kawasan rawan banjir rob, termasuk Wonorejo Timur, yang dapat tergenang hingga 45 cm pada puncak pasang siang hari [3]. Kondisi hidraulik ini sering menyebabkan efek backwater ketika hujan terjadi bersamaan dengan pasang, sehingga gelombang pasang merambat ke hulu dan menahan aliran, memperlambat pengeringan genangan, sebuah masalah klasik bagi kota pesisir dataran rendah seperti Surabaya [4].

Sebuah studi oleh Thapa et al. (2024) menunjukkan bahwa perubahan geometri saluran akibat sedimentasi mengurangi kapasitas aliran dan meningkatkan risiko limpasan [5]. Hal ini terutama terjadi di area dengan aktivitas

antropogenik yang tinggi. Gaya helikoidal yang mempengaruhi erosi dan sedimentasi juga berperan dalam proses ini [6]. Pada Sungai Wonokromo, meskipun terdapat tanggul, air tetap menggenang pada puncak debit tinggi yang bersamaan dengan pasang.

Citra satelit mengungkapkan adanya penyempitan saluran di sisi dalam tikungan sungai akibat sedimentasi yang terjadi. Laporan warga juga menyebutkan bahwa tanah kosong di depan teras rumah mereka mengalami erosi seiring berjalannya waktu. Fenomena ini memperburuk masalah banjir, terutama pada saat pasang.

Penelitian Patriadi et al. (2024) pada Sungai Wonokromo memperkaya pemahaman tentang interaksi antara pasang surut dan geometri sungai. Penelitian ini menunjukkan adanya variasi dalam kecepatan aliran, konsentrasi sedimen, dan salinitas yang dipengaruhi oleh pasang surut. Vegetasi mangrove berperan penting dalam menstabilkan erosi dan deposisi, yang membantu mengurangi dampak banjir [7].

Di Indonesia, pemanfaatan data geometri sungai untuk kebutuhan simulasi banjir seringkali mengandalkan data *Digital Elevation Model* (DEM) dari Badan Informasi Geospasial (BIG) yang dirilis dalam bentuk DEM Nasional. DEM Nasional dibangun dari tiga sumber data berbeda, yakni TerraSAR-X dan IFSAR (resolusi 5 meter), serta ALOS-PALSAR (resolusi 11,25 meter), dan dirilis dalam grid resolusi 0,27 arcsecond. Meskipun dianggap mampu menggantikan DEM SRTM, penelitian yang dilakukan oleh Wahyu Fakhruddin, (2019) menunjukkan bahwa akurasi vertikal DEM Nasional hanya mencapai $\pm 6,124$ meter, yang sesuai dengan standar ketelitian peta dasar skala 1:25.000 kelas 2 (mengacu pada Peraturan Kepala BIG No. 6 Tahun 2018) [8]. Hal ini menunjukkan bahwa resolusi tersebut belum cukup memadai untuk keperluan pemetaan skala kecil, seperti analisis geometri sungai di segmen belokan Sungai Wonokromo. Oleh karena itu, diperlukan metode alternatif yang mampu menghasilkan data topografi sungai dengan ketelitian lebih tinggi, seperti integrasi fotogrametri udara dan batimetri, guna menunjang akurasi dalam simulasi banjir dan pengelolaan wilayah sungai secara lebih presisi.

Temuan ini menegaskan kompleksitas dinamika hidrodinamika dan sedimentasi sungai yang dipengaruhi oleh pasang surut di Surabaya. Proses erosi dan sedimentasi yang terjadi di daerah pesisir perlu dikelola dengan lebih baik untuk mencegah kerusakan lebih lanjut pada saluran sungai dan mengurangi risiko banjir.

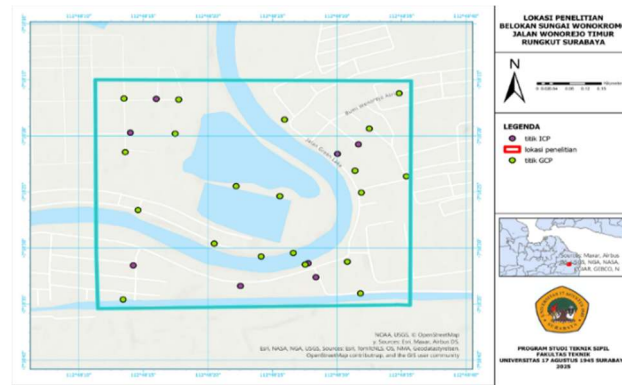
Penelitian ini bertujuan mengembangkan model DEM yang lebih akurat untuk segmen belokan Sungai Wonokromo, guna mendukung perencanaan pengelolaan sungai dan mitigasi risiko banjir. Dengan menggabungkan teknik fotogrametri UAV dan pengukuran batimetri menggunakan echosounder, penelitian ini akan memberikan data topografis yang lebih presisi untuk meningkatkan ketelitian simulasi banjir dan pengelolaan wilayah sungai.

Berdasarkan hal diatas, rumusan masalah pada penelitian ini adalah (1) Bagaimana pemodelan DEM belokan sungai menggunakan data foto udara di Kawasan Belokan Sungai Wonokromo; (2) Bagaimana tingkat akurasi data *Digital Elevation Model* (DEM) topobatimetri yang dihasilkan melalui integrasi citra udara dan citra batimetri.

2. METODE

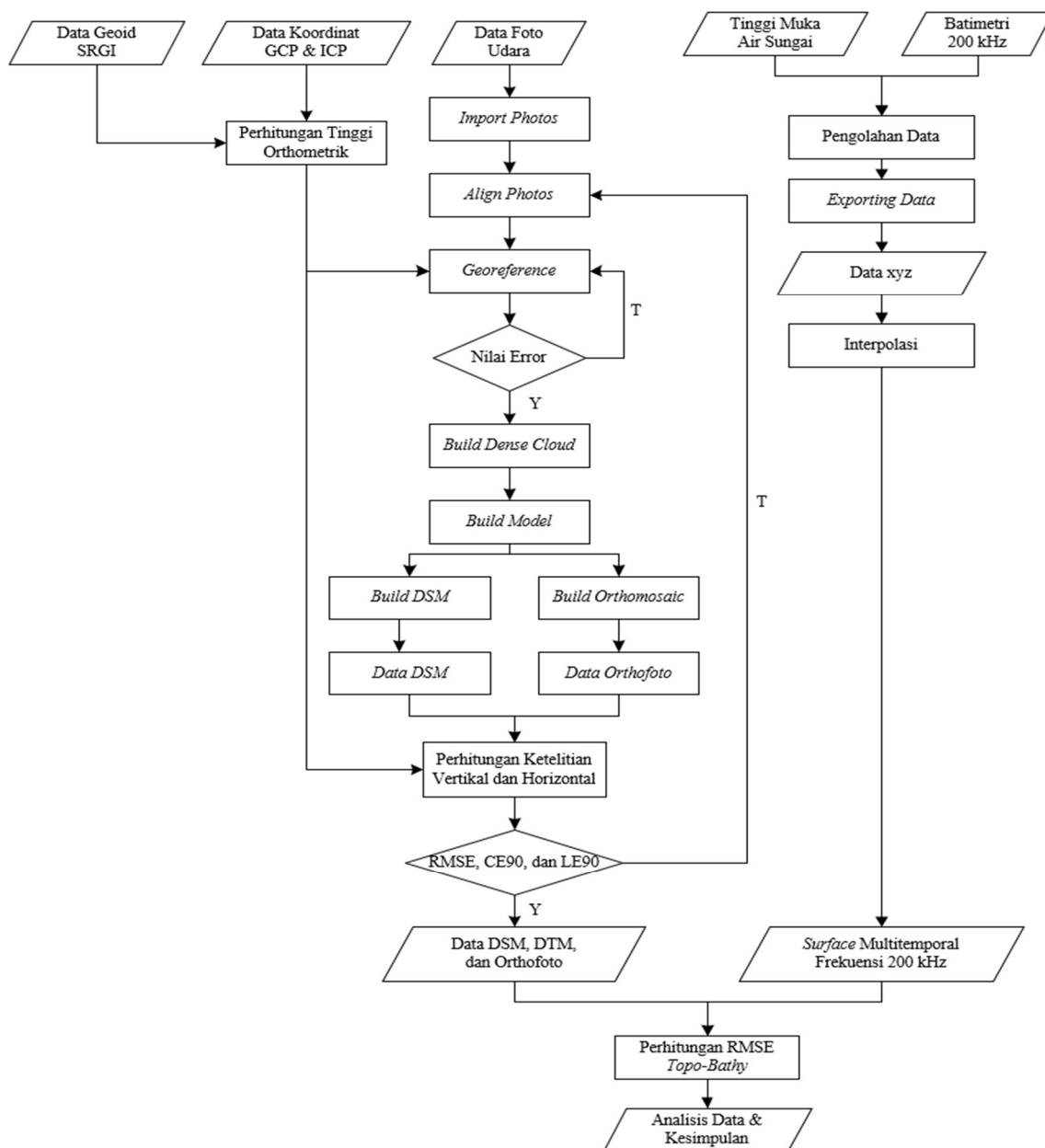
Penelitian ini dilaksanakan pada belokan Sungai Wonokromo yang berada di kawasan Jalan Wonorejo Timur, Kecamatan Rungkut, Kota Surabaya. Segmen ini dipilih karena memiliki karakteristik hidrologis yang dinamis sehingga membutuhkan pemetaan topografi dan batimetri secara rinci untuk mendukung kajian teknis serta analisis spasial pada wilayah bantaran sungai. Penentuan lokasi penelitian mengacu pada kebutuhan pemotretan udara dan survei kedalaman yang dapat dijangkau dengan peralatan penginderaan jauh dan survei lapangan.

Seluruh tahapan penelitian mengikuti alur kerja pengolahan data yang diadaptasi dari diagram prosedural pada dokumen sumber, mencakup akuisisi data udara, pengukuran titik kontrol darat, pemrosesan foto udara, pemodelan permukaan, pengolahan data batimetri, penyesuaian sistem tinggi, serta evaluasi ketelitian geometrik. Setiap tahapan dilakukan secara berurutan untuk memastikan konsistensi sistem koordinat dan integrasi data pada pemrosesan selanjutnya.



Sumber: Olahan Penulis, 2025

Gambar 23 Lokasi Penelitian



Sumber: Olahan Penulis, 2025

Gambar 24 Diagram Alir Penelitian

Akuisisi data udara dilakukan menggunakan wahana *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) dengan rencana lintasan terbang yang disesuaikan dengan bentuk geometri sungai di sekitar Wonorejo Timur. Perekaman foto dilakukan dengan mempertimbangkan nilai overlap dan sidelap agar memenuhi standar fotogrametri. Setelah proses akuisisi selesai, foto udara di-import ke perangkat lunak fotogrametri untuk melalui tahapan *alignment* dan pembentukan *sparse cloud*. Tahap *georeferencing* dilakukan menggunakan titik *Ground Control Point* (GCP) dan *Independent Check Point* (ICP) yang disebar di sekitar koridor sungai untuk memastikan koreksi posisi spasial pada model.

Tabel 10 Spesifikasi *Flight Mission*

No	Spesifikasi	Informasi
1	Ketinggian Terbang	75 meter
2	<i>Total Flying Mission</i>	4
3	<i>Flying Time Each Mission</i>	±15
4	<i>Total Flight Area</i>	60 ha
5	<i>Overlap and Sidelap</i>	70%
6	Kecepatan	10 m/s
7	<i>Angle Camera</i>	90°

Sumber: Olahan Penulis, 2025

Tahapan berikutnya meliputi pembuatan *dense cloud*, penyusunan *model mesh 3D*, serta pembentukan *Digital Surface Model* (DSM) dan *Digital Terrain Model* (DTM). Selain itu, dilakukan proses *orthomosaic building* menggunakan citra yang telah terkalibrasi secara geometrik. Keseluruhan produk awal fotogrametri ini digunakan sebagai dasar untuk integrasi data, namun pemaparan visual dan analisisnya disajikan pada bagian hasil penelitian.



Sumber: Dokumentasi Penulis, 2025

Gambar 25 Akuisisi Data Batimetri dan Pasang Surut

Pengumpulan data batimetri dilakukan menggunakan *echosounder Garmin 585 Plus* dengan *Transducer* frekuensi 200 kHz yang dioperasikan mengikuti alur sungai pada segmen penelitian. Data kedalaman direkam dalam format XYZ melalui perangkat akuisisi dan diproses kembali melalui tahapan interpolasi untuk membentuk representasi permukaan dasar sungai. Koreksi tinggi muka air sungai dicatat selama survei sebagai acuan penyesuaian vertikal.

Seluruh data kemudian diseragamkan ke sistem tinggi ortometrik melalui koreksi menggunakan model geoid SRGI. Penyesuaian ini diperlukan agar data topografi dan batimetri berada pada sistem referensi vertikal yang sama sehingga dapat dipadukan secara konsisten pada tahap integrasi.

$$CE90 = 1.5175 \times RMSEr \quad (1)$$

$$LE90 = 1.6499 \times RMSEy \quad (2)$$

Evaluasi ketelitian dilakukan melalui perhitungan RMSE horizontal dan vertikal, *Circular Error 90%* (CE90), dan *Linear Error 90%* (LE90) berdasarkan GCP dan ICP sebagai titik uji. Evaluasi tambahan berupa perhitungan RMSE integrasi juga dilakukan untuk menilai konsistensi geometrik secara internal. Analisis terhadap akurasi dan pemanfaatan model terintegrasi disajikan sepenuhnya pada bagian hasil dan pembahasan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Akuisisi Data

Pengukuran lapangan dilakukan pada bulan November 2025 menggunakan *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) dan GPS untuk mendapatkan GCP dan ICP. Sebanyak 653 citra diperoleh dari pengukuran dengan 20 GCP dan 8 ICP yang tersebar merata (lihat Gambar 6).

Karena nilai ketinggian pada data DSM dan DTM masih menggunakan referensi elipsoid, maka diperlukan konversi ke tinggi ortometrik berdasarkan model geoid. Pada penelitian ini, nilai geoid undulation rata-rata pada area studi diperoleh dari data sumber terbuka Badan Informasi Geospasial. Adapun data ketinggian GCP dan ICP yang digunakan dalam pemrosesan telah dikonversi terlebih dahulu menjadi tinggi ortometrik, sehingga tidak memerlukan penyesuaian tambahan pada tahap pengolahan.

Tabel 11 Pengukuran GCP

Label	X error (cm)	Y error (cm)	Z error (cm)	Total (cm)
gcp1	-0.0535	-0.2265	0.0233	0.2339
gcp2	0.3476	0.2963	-0.2119	0.5036
gcp3	0.0351	-0.4481	0.4555	0.6400
gcp4	0.0815	1.9104	-0.9096	2.1175
gcp5	1.5135	0.3723	-0.6301	1.6812
gcp6	-0.8014	-0.0339	0.1801	0.8221
gcp7	-0.5679	-0.0327	0.3321	0.6587
gcp8	-0.2357	-1.7945	0.1398	1.8153
gcp9	0.1326	-0.2555	0.5060	0.5822
gcp10	-0.1336	0.5154	0.2961	0.6092
gcp11	-0.2991	0.0600	-0.0976	0.3203
gcp12	-0.2076	0.1492	0.1858	0.3161
gcp13	0.9082	0.0874	-0.3600	0.9808
gcp14	0.0533	0.4326	-0.2077	0.4828
gcp15	-0.9507	-1.3234	0.3221	1.6610
gcp16	0.0316	0.4405	-0.2194	0.4932
gcp17	-1.8713	-1.3977	0.4859	2.3857
gcp18	-0.0744	1.5839	-0.4236	1.6413
gcp19	1.3432	-1.3249	-0.4452	1.9385
gcp20	0.7487	0.9893	0.5785	1.3689
Total	0.7488	0.9232	0.4062	1.2562

Sumber: Olahan Penulis, 2025

Hasil pengukuran GCP kemudian diproses secara georeferensi untuk mendapatkan galat pada setiap titik. Berdasarkan Tabel 2, galat tertinggi diperoleh dari GCP17 sebesar 2.3857 cm, sedangkan galat total yang dihasilkan sebesar 1.2562 cm.

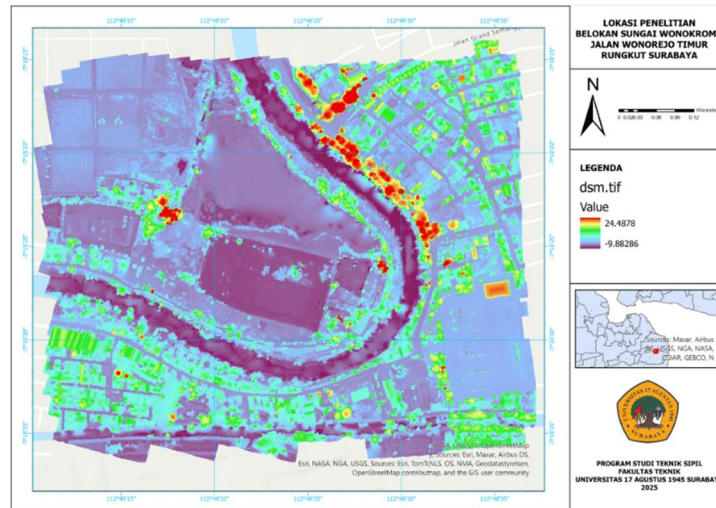
Tabel 12 Pengukuran ICP

ICP	Lintang	Bujur	Tinggi Ortometrik (m)
1	-7.309272	112.8063	1.677
2	-7.308764	112.804	1.832
3	-7.309057	112.8079	2.1
4	-7.308711	112.8077	1.096
5	-7.305768	112.8088	1.752
6	-7.306003	112.8083	2.108
7	-7.305477	112.8039	1.782
8	-7.304641	112.8044	1.706

Sumber: Olahan Penulis, 2025

Pengolahan Data Citra Udara

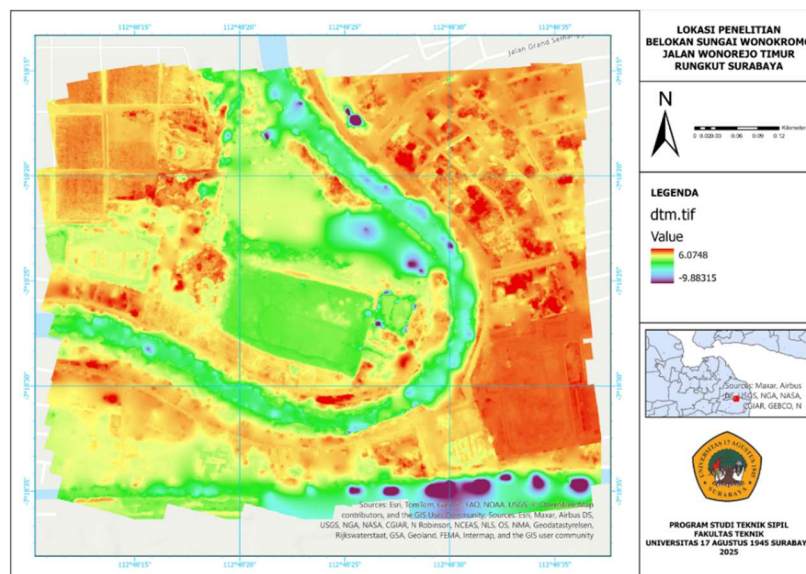
Pemrosesan data mencakup tahapan *align photos* (penyelarasan foto), georeferensi, pembuatan *dense cloud*, pembuatan *mesh*, pembuatan DEM, pembuatan data ortometrik, serta pembuatan laporan pemrosesan berdasarkan analisis akurasi ortofoto. Hasil dari tahap *align photos* dan georeferensi kemudian digunakan untuk menghasilkan *dense cloud* dengan menghitung tinggi objek pada setiap kamera dan menyusunnya menjadi satu kompilasi. Proses ini menghasilkan lebih dari 94 juta titik (*point clouds*). *Dense point cloud* tersebut selanjutnya diproses untuk memperoleh *3D model* dengan melakukan interpolasi pada setiap titik.



Sumber: Olahan Penulis, 2025

Gambar 26 Citra Udara DSM (*Digital Surface Model*)

Point cloud dari *model 3D mesh* kemudian diproses untuk menghasilkan DSM, dengan rentang nilai elevasi antara -9.882 m hingga 24.487 m. Sementara itu, *point cloud* yang mewakili permukaan tanah digunakan untuk menghasilkan DTM yang memiliki rentang elevasi antara -9.883 m hingga 6.07 m.

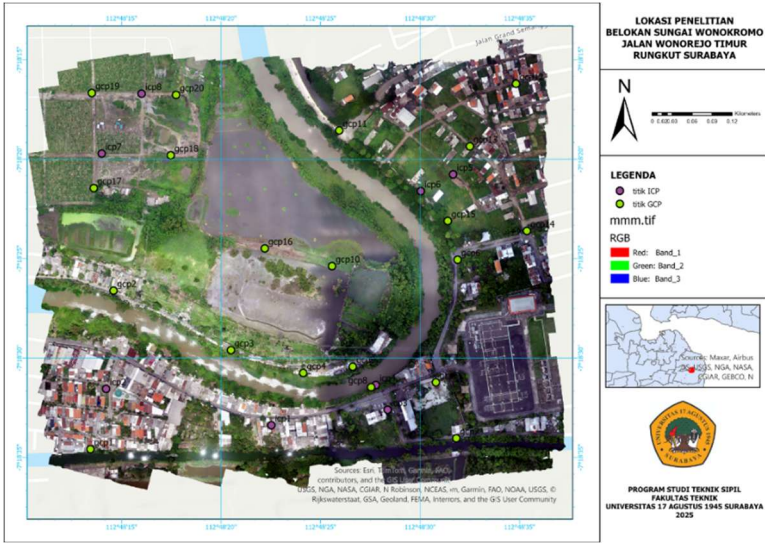


Sumber: Olahan Penulis, 2025

Gambar 27 Citra Udara DTM (*Digital Terrain Model*)

Data tersebut selanjutnya diproses melalui tahap *orthomosaic* untuk memperoleh citra yang sudah terkoreksi secara ortografis dan digabungkan, yang disebut ortofoto melalui mekanisme *relief displacement*. Ortofoto tersebut kemudian perlu dievaluasi dengan melakukan analisis akurasi menggunakan RMSe, *Circular Error 90* (CE90), *Linear Error 90* (LE90), dan *Ground Sampling Distance* (GSD), sesuai standar yang ditetapkan dalam Peraturan

Badan Informasi Geospasial Nomor 6 Tahun 2018 dan Peraturan Badan Informasi Geospasial Nomor 1 Tahun 2020 [9][10].



Sumber: Olahan Penulis, 2025

Gambar 28 Sebaran titik GCP dan ICP yang ditumpangtindihkan dengan ortofoto

Tabel 13 Perhitungan RMSE

Titik	Pengukuran GNSS			Orthofoto			$(\Delta XY)^2$	$(\Delta Z)^2$
	X (m)	Y (m)	Z (m)	X (m)	Y (m)	Z (m)		
ICP 1	699400.857	9191661.943	1.677	699400.801	9191661.938	1.719	0.00307	0.00176
ICP 2	699146.474	9191719.164	1.832	699146.452	9191719.189	1.806	0.00109	0.00068
ICP 3	699580.125	9191685.079	2.100	699580.092	9191685.087	2.096	0.00115	0.00001
ICP 4	699562.168	9191723.414	1.096	699562.157	9191723.417	1.103	0.00013	0.00005
ICP 5	699682.553	9192048.443	1.752	699682.509	9192048.428	1.710	0.00217	0.00177
ICP 6	699632.843	9192022.629	2.108	699632.898	9192022.603	2.043	0.00375	0.00427
ICP 7	699141.128	9192082.757	1.782	699141.128	9192082.741	1.854	0.00025	0.00525
ICP 8	699203.031	9192174.982	1.706	699203.008	9192174.935	1.664	0.00273	0.00174
Total							0.01434	0.01553
Rata-rata							0.00179	0.00194
RMSE (m)							0.04233	0.04406

Sumber: Olahan Penulis, 2025

Nilai *Root Mean Square Error* (RMSE) pada setiap titik ICP dihitung berdasarkan perhitungan statistik, dengan nilai galat vertikal mencapai 0.04406 m dan galat horizontal mencapai 0.04233 m. Nilai CE90 dan LE90 kemudian dihitung menggunakan Persamaan 1 dan 2. Hasilnya ditampilkan pada Tabel 5. Berdasarkan ketentuan dalam Peraturan Badan Informasi Geospasial Nomor 6 Tahun 2018 dan Peraturan Badan Informasi Geospasial Nomor 1 Tahun 2020, output data orthofoto ini telah memenuhi standar untuk peta dasar RBI skala 1:1.000 pada kelas 1.

Tabel 14 Akurasi Orthophoto

Parameters	CE90	LE90	GSD	Interval Kontur (m)	Class	Resolusi (cm)
Value	0.0642	0.073	2	0.4	1	≤ 5

Sumber: Olahan Penulis, 2025

Hasil Akuisisi Data Batimetri

Data batimetri diperoleh dengan menggunakan perangkat fishfinder/echosounder Garmin 585 Plus, yang kemudian dikorelasikan dengan data pasang surut untuk menghasilkan informasi kedalaman perairan. Pengamatan tinggi muka air dilakukan pada tanggal 2 November 2025, dengan pengukuran setiap 30 menit, dan menunjukkan adanya variasi kedalaman akibat fluktuasi muka air.

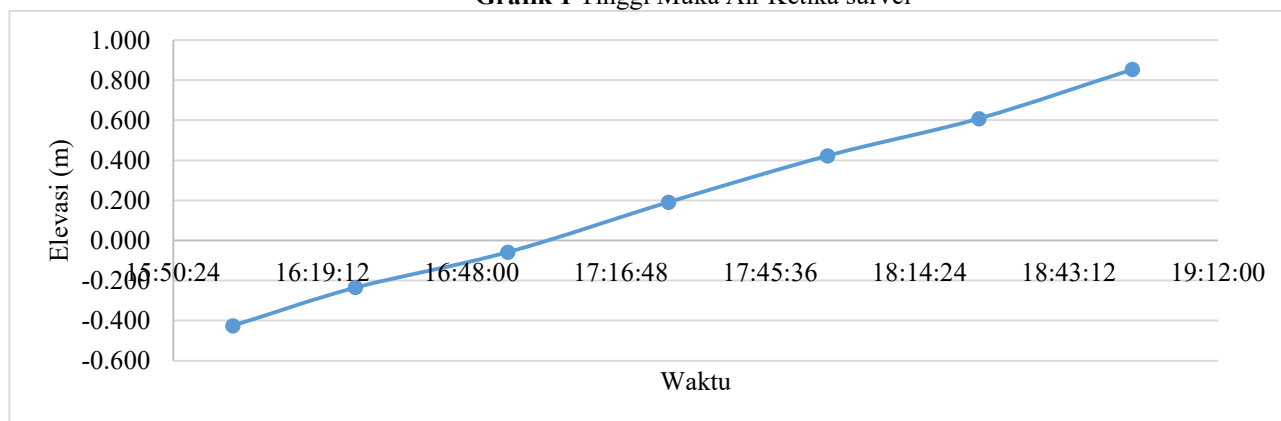
Tabel 15 Hasil Pengamatan Tinggi Muka Air

Jam	Original Altitude (Pasut)
6:55:26 PM	0.854
6:25:51 PM	0.609

Jam	Original Altitude (Pasut)
5:56:41 PM	0.424
5:26:00 PM	0.192
4:55:00 PM	-0.057
4:25:37 PM	-0.234
4:01:55 PM	-0.425

Sumber: Olahan Penulis, 2025

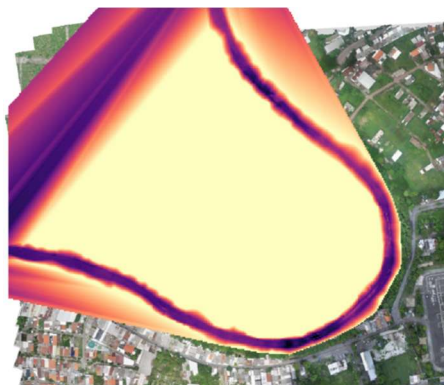
Grafik 1 Tinggi Muka Air Ketika survei



Sumber: Olahan Penulis, 2025

Integrasi Topo-Batimetri

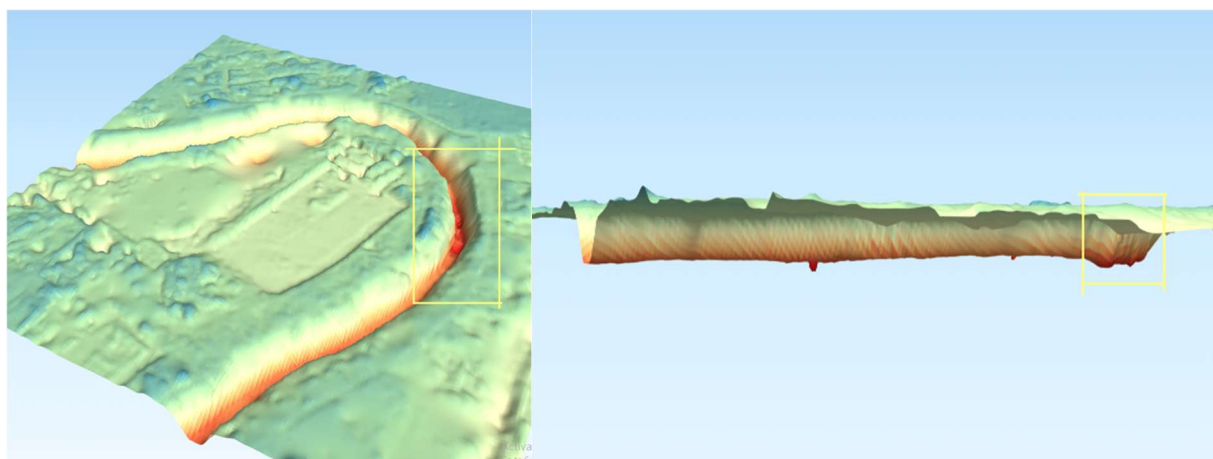
Proses integrasi topografi dan batimetri menghasilkan model elevasi permukaan yang kontinyu dari darat hingga dasar sungai. Titik batimetri yang telah terkoreksi terhadap pasang surut digabungkan dengan data topografi tepi sungai yang diperoleh dari UAV untuk menghasilkan model permukaan sungai yang akurat, dengan menggunakan metode interpolasi TIN.



Sumber: Olahan Penulis, 2025

Gambar 29 Hasil TIN Interpolation

Hasil penggabungan data DEM topo-batimetri menggambarkan morfologi sungai, Model menunjukkan perbedaan elevasi yang signifikan, terutama di sekitar tanggul yang dibangun untuk mengendalikan aliran sungai. Model ini memperlihatkan kedalaman dasar sungai yang lebih besar di sisi belokan, menggambarkan bagaimana konstruksi tanggul mempengaruhi pola kedalaman dan aliran sungai. Integrasi data topografi UAV dan data batimetri menghasilkan representasi morfologi yang lebih akurat dan komprehensif dibandingkan dengan penggunaan data topografi atau batimetri secara terpisah.



Sumber: Olahan Penulis, 2025

Gambar 30 Hasil Integrasi Data Topografi dan Batimetri

Analisis Akurasi DEM Topo-Batimetri

Perbandingan antara metode interpolasi TIN dan IDW menunjukkan bahwa metode TIN menghasilkan nilai RMSE yang lebih rendah (0.261773) dibandingkan dengan IDW (1.201526). Hal ini menandakan bahwa interpolasi TIN lebih akurat dalam menghasilkan model batimetri.

Tabel 16 Perhitungan RMSE Batimetri

No	latitude	longitude	Z actual	TIN Interpolation	IDW Interpolation	RMSE TIN	Hasil Total RMSE TIN	RMSE IDW	Hasil Total RMSE IDW
1	-7.304150	112.805950	-3.650586	-3.676909	-2.649957	0.000693	0.261773	1.001258	1.201526
2	-7.304195	112.805997	-3.571304	-3.572728	-2.552820	0.000002		1.037310	
3	-7.304203	112.806006	-3.531424	-3.572728	-2.060157	0.001706		2.164271	
4	-7.304219	112.806023	-3.601663	-3.598177	-2.604663	0.000012		0.994010	
5	-7.304243	112.806050	-3.622023	-3.614487	-2.353812	0.000057		1.608358	
6	-7.304283	112.806093	-3.312621	-3.656404	-2.906827	0.118186		0.164669	
7	-7.304317	112.806128	-3.553100	-3.554984	-2.318894	0.000004		1.523265	
8	-7.304334	112.806143	-3.813340	-3.816832	-2.465040	0.000012		1.817912	
9	-7.304361	112.806163	-3.813699	-3.793324	-2.761369	0.000415		1.107399	
10	-7.304370	112.806169	-3.883818	-3.793324	-3.048091	0.008189		0.698440	
...	
1779	-7.306668	112.808286	-4.026431	-3.878359	-3.912756	0.021925		0.012922	

Sumber: Olahan Penulis, 2025

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian integrasi data topografi dan batimetri di Sungai Wonokromo, dapat disimpulkan bahwa pemodelan Digital Elevation Model (DEM) yang menggunakan data foto udara (DSM) dan batimetri dari perangkat fishfinder/echosounder menghasilkan model permukaan yang akurat dan komprehensif. DSM memiliki rentang elevasi antara -9.882 m hingga 24.487 m, menggambarkan objek permukaan seperti bangunan dan vegetasi, sedangkan Digital Terrain Model (DTM) mencatat rentang elevasi dari -9.883 m hingga 6.07 m, berfokus pada permukaan tanah. Integrasi data topografi dan batimetri memungkinkan pembuatan DEM topo-batimetri yang menggambarkan elevasi secara kontinyu dari daratan hingga dasar sungai, memberikan gambaran lebih jelas tentang morfologi sungai, khususnya di area belokan sungai. Hasil analisis ketelitian terhadap DEM menunjukkan akurasi sangat tinggi dengan nilai RMSE horizontal 0.04233 m dan RMSE vertikal 0.04406 m, serta Circular Error 90 (CE90) 0.0642 m dan Linear Error 90 (LE90) 0.073 m, memenuhi standar Peraturan Badan Informasi Geospasial Nomor 6 Tahun 2018 dan Peraturan Badan Informasi Geospasial Nomor 1 Tahun 2020 untuk peta dasar skala 1:1000 kelas 1. Visualisasi hasil integrasi data menunjukkan perbedaan elevasi signifikan di sekitar belokan sungai, terutama di bagian yang telah dibangun tanggul. Tanggul berfungsi mengendalikan aliran sungai, namun kedalaman dasar sungai lebih besar di area tersebut, menunjukkan pengaruh konstruksi terhadap pola

kedalaman dan aliran sungai. Penelitian ini juga menyoroti pentingnya analisis morfologi untuk memahami fenomena erosi dan sedimentasi di kawasan tersebut.

5. SARAN

Berdasarkan temuan penelitian ini, beberapa saran untuk penelitian lebih lanjut dan aplikasi di masa mendatang antara lain pemantauan morfologi Sungai Wonokromo secara berkala menggunakan teknologi UAV dan batimetri untuk mendeteksi perubahan akibat faktor alamiah atau pembangunan infrastruktur, serta memperbarui peta dan model topografi untuk identifikasi risiko bencana seperti banjir dan erosi. Penggunaan perahu kecil disarankan untuk meningkatkan akurasi pengambilan data batimetri, terutama di tepian sungai yang sulit dijangkau perahu besar, serta memungkinkan pengambilan sampel data lebih terperinci. Penelitian selanjutnya sebaiknya mencakup analisis sedimen untuk memahami pola pengendapan dan erosi, serta simulasi banjir untuk memprediksi dampak perubahan morfologi dasar sungai terhadap risiko banjir, terutama terkait kedalaman di belokan sungai dan pengaruh pembangunan infrastruktur terhadap pola aliran air.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Elaine, "Pemkot Surabaya Prioritaskan Tuntaskan Banjir di Surabaya Selatan Tahun Ini." [Online]. Available: <https://www.suarasurabaya.net/kelanakota/2025/pemkot-surabaya-prioritaskan-tuntaskan-banjir-di-surabaya-selatan-tahun-ini/>
- [2] P. K. Surabaya, "Tanggulangi Genangan, Pemkot Surabaya Lanjutkan Proyek Drainase Avur Wonorejo." [Online]. Available: <https://www.surabaya.go.id/id/berita/10814/tanggulangi-genangan-pemkot-surabaya-lanjutkan-proyek-drainase-avur-wonorejo>
- [3] P. Riski, "Banjir di Surabaya, Walhi: Alih Fungsi Ruang Hijau Harus Diperhatikan." [Online]. Available: <https://mongabay.co.id/2024/04/28/banjir-di-surabaya-walhi-alih-fungsi-ruang-hijau-harus-diperhatikan/>
- [4] Kusnan, "ALTERNATIF PENGENDALI BANJIR DI WILAYAH SURABAYA SELATAN Oleh : Kusnan *)," *J. Tek.*, vol. 10, pp. 1–8, 2012.
- [5] S. Thapa, H. D. Sinclair, M. J. Creed, A. G. L. Borthwick, C. S. Watson, and M. Muthusamy, "Sediment Transport and Flood Risk: Impact of Newly Constructed Embankments on River Morphology and Flood Dynamics in Kathmandu, Nepal," *Water Resour. Res.*, vol. 60, no. 10, 2024, doi: 10.1029/2024WR037742.
- [6] V. D. F. Mudjiatko, Siswanto, "MODEL LABORATORIUM PENGARUH DEBIT TERHADAP PERUBAHAN MORFOLOGI PADA SUNGAI BERBELOK GANDA," vol. 2, no. 1, pp. 1–12, 2015.
- [7] A. Patriadi, A. H. Pattiraja, R. B. Sukmara, and M. F. Wahab, "Assessing Flow, Sediment, and Salinity Patterns in Tidal-Affected Meandering Rivers: Insights from Kali Wonokromo," *Int. J. Adv. Sci. Eng. Inf. Technol.*, vol. 14, no. 4, pp. 1488–1495, 2024, doi: 10.18517/ijaseit.14.4.20034.
- [8] A. Wahyu Fakhruddin, "Analisis Akurasi Vertikal Model Elevasi Digital Nasional," (*Skripsi Sarjana, Univ. Gadjah Mada*). *Univ. Gadjah Mada Repos.*, vol. Skripsi Sa, 2019, [Online]. Available: <https://etd.repository.ugm.ac.id/penelitian/detail/174783>
- [9] Badan Informasi Geospasial, "Peraturan Kepala BIG No 6 Tahun 2018," 2018.
- [10] Badan Informasi Geospasial, "Peraturan Kepala BIG No 1 Tahun 2020," 2020.