

Analisis Batimetri Dalam Survei Investigasi Dan Desain Alur Pelayaran (Studi Kasus: Sungai Sepaku, Kabupaten Penajam Paser Utara, Kalimantan Timur)

Muhammad Arif Rifa'i*, Mohammad Abdul Basyid

Program Studi Teknik Geodesi, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Nasional, Bandung

*Koresponden email: ariefazimuth01@gmail.com

Diterima: 28 Agustus 2025

Disetujui: 6 September 2025

Abstract

The development of Indonesia's new capital city (IKN) Nusantara in East Kalimantan demands an efficient logistics distribution system, including the utilization of inland waterways such as the Sepaku River. However, the current condition of the river-characterized by sedimentation, meandering paths, and limited depth data-hinders the navigation of large-tonnage logistics vessels. To ensure safe and efficient navigation, accurate bathymetric analysis is required to support the planning of navigable channels that meet the specifications of the vessels operating in the area. This study aims to analyze the bathymetric conditions of the Sepaku River using the Unmanned Surface Vehicle (USV) Satlab Hydroboat 1200, equipped with a Single Beam Echo Sounder (SBES) and GNSS RTK. The survey covered approximately 8.9 km of the river, with depth corrections based on Low Water Spring (LWS) tidal data. The analysis was conducted to evaluate depth suitability for the largest planned vessel (270 feet in length with a 4.5-meter draft), identify critical shallow zones, and estimate the dredging volume required to meet the planned depth specifications. The results show that the LWS value was -170 cm, and most river segments did not meet the minimum depth requirement of 5.5 to 6 meters for safe navigation. Consequently, selective dredging is necessary, with an estimated total dredging volume of approximately 627,471.75 cubic meters. This research produced updated bathymetric maps, identified key sedimentation zones, and proposed navigational routes that can serve as a technical foundation for dredging planning and logistics channel development to support IKN.

Keywords: bathymetry, usv, sepaku river, navigation channel, ibu kota nusantara

Abstrak

Pembangunan Ibu Kota Negara (IKN) Nusantara di Kalimantan Timur menuntut efisiensi sistem distribusi logistik melalui jalur air, salah satunya Sungai Sepaku. Namun, kondisi eksisting sungai yang mengalami pendangkalan, alur yang berkelok, serta keterbatasan data kedalaman menghambat pelayaran kapal logistik bertonase besar. Untuk mendukung keselamatan dan kelancaran pelayaran, diperlukan analisis batimetri yang akurat guna merencanakan alur pelayaran yang sesuai dengan spesifikasi kapal yang digunakan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kondisi batimetri Sungai Sepaku menggunakan teknologi *Unmanned Surface Vehicle* (USV) Satlab Hydroboat 1200 yang dilengkapi Single Beam Echo Sounder (SBES) dan GNSS RTK. Survei dilakukan sepanjang $\pm 8,9$ km dengan koreksi kedalaman berdasarkan data pasang surut Low Water Spring (LWS). Analisis dilakukan untuk mengevaluasi kesesuaian kedalaman terhadap draft kapal terbesar (270 feet dengan draft 4,5 meter), menentukan zona kritis, serta menghitung estimasi volume pengeringan yang diperlukan untuk mencapai kedalaman rencana. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Low Water Spring (LWS) dengan nilai -170 cm dan sebagian besar segmen sungai belum memenuhi kedalaman minimum antara 5,5 hingga 6 meter yang diperlukan untuk pelayaran aman. Oleh karena itu, dibutuhkan pengeringan selektif dengan estimasi volume total sebesar $\pm 627,471.75$ meter kubik. Penelitian ini menghasilkan peta batimetri terkini, identifikasi zona pendangkalan, serta rekomendasi alur pelayaran sebagai dasar perencanaan teknis pengeringan dan pengelolaan jalur distribusi logistik menuju IKN.

Kata Kunci: batimetri, usv, sungai sepaku, alur pelayaran, ibu kota nusantara

1. Pendahuluan

Pembangunan Ibu Kota Negara (IKN) Nusantara di Kalimantan Timur menuntut sistem transportasi logistik yang efisien. Kondisi geografis Kalimantan yang didominasi perairan menjadikan sungai sebagai jalur strategis, salah satunya Sungai Sepaku di Kabupaten Penajam Paser Utara. Pelabuhan masyarakat Desa Bumi Harapan, Kecamatan Sepaku, Kabupaten Penajam Paser Utara, Kalimantan Timur, ditunjuk

pemerintah pusat sebagai jalur khusus pengiriman material dan logistik untuk pembangunan Ibu Kota Negara atau IKN Indonesia baru bernama Nusantara. Kemudian Kementerian Perhubungan menerbitkan rekomendasi melalui Direktur Jenderal Perhubungan Laut Nomor A.399/AL.308/DJPL menyangkut pemberian izin pengoperasian pemanfaatan garis pantai untuk kegiatan bongkar muat logistik dan material pembangunan IKN Nusantara. Pelabuhan Bumi Harapan di Sepaku menjadi elemen sentral dalam jalur distribusi logistik pembangunan IKN Nusantara, yang memperkuat peran Sungai Sepaku sebagai salah satu koridor utama, baik dalam pengangkutan material via air maupun penyediaan air baku. Peran ini mendemonstrasikan pentingnya pengelolaan sungai dan infrastruktur sekitarnya sebagai bagian integral dari strategi pembangunan IKN [1].

Sungai Sepaku berpotensi menjadi jalur utama untuk distribusi material/logistik IKN. Aktivitas bongkar-muat berlangsung sejak Desember 2022, tapi terganggu pasang-surut air, namun, potensi sungai Sepaku sebagai jalur pelayaran tidak dapat dimanfaatkan secara optimal tanpa adanya informasi yang akurat terkait kedalaman dasar sungai (batimetri). Pendangkalan akibat sedimentasi menjadi salah satu isu kritis yang memengaruhi keselamatan dan kelancaran navigasi kapal. Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR) mengarahkan pemerintah desa agar melakukan alih fungsi pelabuhan masyarakat menjadi jalur khusus untuk pengiriman logistik dan material pembangunan Ibu Kota Negara (IKN) Nusantara. Langkah tersebut kemudian diperkuat oleh Kementerian Perhubungan melalui penerbitan rekomendasi resmi, yakni Surat Direktur Jenderal Perhubungan Laut Nomor A.399/AL.308/DJPL, yang memberikan izin pemanfaatan garis pantai sebagai lokasi kegiatan bongkar muat logistik dan material pendukung pembangunan IKN [2].

Pemanfaatan Sungai Sepaku sebagai jalur distribusi logistik dinilai lebih efisien dibandingkan jalur darat, meskipun menghadapi kendala teknis seperti pendangkalan akibat sedimentasi dan tikungan tajam. Kondisi ini membatasi akses kapal bertonase besar, memaksa sebagian kapal menunggu pasang atau menghadapi risiko keterlambatan distribusi. Kondisi ini menunjukkan bahwa, meskipun Sungai Sepaku memiliki potensi besar sebagai jalur logistik air untuk pembangunan IKN, diperlukan intervensi teknis yang tepat seperti penggerukan (*dredging*), normalisasi alur sungai, serta perbaikan infrastruktur pelabuhan. Upaya ini penting agar distribusi material tetap lancar dan pembangunan IKN dapat berjalan sesuai target waktu dan anggaran yang telah ditetapkan. Hal ini sejalan dengan pernyataan dari Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD) Kabupaten Penajam Paser Utara (PPU) menekankan pentingnya normalisasi sungai. Disampaikan bahwa jika kondisi pendangkalan Sungai Sepaku tidak segera diatasi, maka potensi terjadinya bencana akan semakin besar. Banjir yang kerap terjadi berisiko merusak infrastruktur serta mengganggu stabilitas kehidupan sosial dan ekonomi masyarakat sekitar. Ia menegaskan bahwa normalisasi sungai merupakan langkah strategis jangka panjang yang perlu segera direalisasikan, terutama pada bagian-bagian sungai yang mengalami penyempitan alur [3].

Pendekatan survei batimetri menjadi sangat penting dalam konteks ini. Batimetri adalah ilmu yang mempelajari topografi dasar perairan, yang bertujuan memperoleh data kedalaman dan morfologi dasar sungai atau laut. Data ini menjadi dasar perencanaan alur pelayaran, penentuan area penggerukan, serta untuk evaluasi potensi bahaya navigasi. USV adalah pilihan yang andal untuk penelitian ilmiah, misi lingkungan, eksplorasi waduk dan danau, dan eksplorasi sumber daya laut. Generasi baru kendaraan air menawarkan keuntungan yang signifikan dibandingkan metode survei tradisional, misalnya, mobilitas tinggi dan biaya rendah. Perkembangan teknologi menghadirkan Unmanned Surface Vehicle (USV) seperti Satlab Hydroboat 1200 yang terintegrasi dengan SBES dan GNSS RTK, sehingga survei dapat dilakukan lebih cepat, aman, dan efisien dibanding metode konvensional [4][5].

Single beam echosounder merupakan alat ukur kedalaman air yang menggunakan pengirim dan penerima sinyal gelombang suara tunggal. Prinsip kerja *single beam echosounder* yaitu menggunakan prinsip pengukuran selisih fase pulsa dengan cara menghitung selisih pemancaran dan penerimaan dari pulsa kustik. Gelombang akustik dipancarkan dari transduser. Transduser adalah salah satu bagian dari alat pemerlukan yaitu proses pengukuran dan perolehan data kedalaman untuk membuat model topografi atau bentuk dasar perairan, yang mengubah energi listrik menjadi energi menghasilkan mekanik gelombang kemudian akustik. Gelombang akustik tersebut kemudian merambat melalui air dengan cepat rambat yang telah diketahui, sampai menyentuh dasar laut dan kembali lagi ke transduser [6]. SBES memiliki sejumlah keunggulan, antara lain karena telah banyak digunakan secara luas dan relatif mudah dalam pengoperasiannya. Selain itu, perangkat ini juga dikenal memiliki tingkat ketelitian yang baik, baik dari segi presisi hasil pengukuran maupun resolusinya [7].

Penelitian ini berfokus pada analisis data batimetri Sungai Sepaku menggunakan teknologi Satlab Hydroboat 1200 USV. Tujuan utama penelitian adalah memetakan kedalaman sungai serta mengidentifikasi area kritis seperti pendangkalan yang berpotensi menghambat navigasi kapal. Analisis ini

difokuskan pada pemetaan batimetri dan perhitungan volume penggerukan, tanpa mencakup kajian mendalam terkait sedimentasi, arus, maupun gelombang. Pendekatan tersebut dipandang relevan karena data batimetri merupakan informasi utama dalam tahap awal perencanaan penggerukan, sekaligus menjadi solusi yang realistik mengingat keterbatasan waktu, biaya, dan ruang lingkup penelitian.

Hasil analisis batimetri diharapkan dapat mendukung perencanaan Survei Investigasi dan Desain (SID) alur pelayaran guna memastikan keamanan navigasi kapal logistik, khususnya tongkang bertonase besar. Ketidaksesuaian kedalaman sungai dengan kebutuhan kapal dapat menimbulkan risiko kandas, sehingga pemetaan morfologi dasar sungai menjadi krusial. Dengan integrasi data pasang surut, topografi dasar sungai, LiDAR, dan foto udara, penelitian ini berupaya memberikan gambaran menyeluruh mengenai kondisi Sungai Sepaku. Secara praktis, temuan ini diharapkan menjadi rekomendasi awal bagi pemerintah daerah dan pihak terkait dalam merencanakan kegiatan penggerukan yang efektif, sekaligus mendukung kelancaran distribusi logistik menuju Ibu Kota Nusantara.

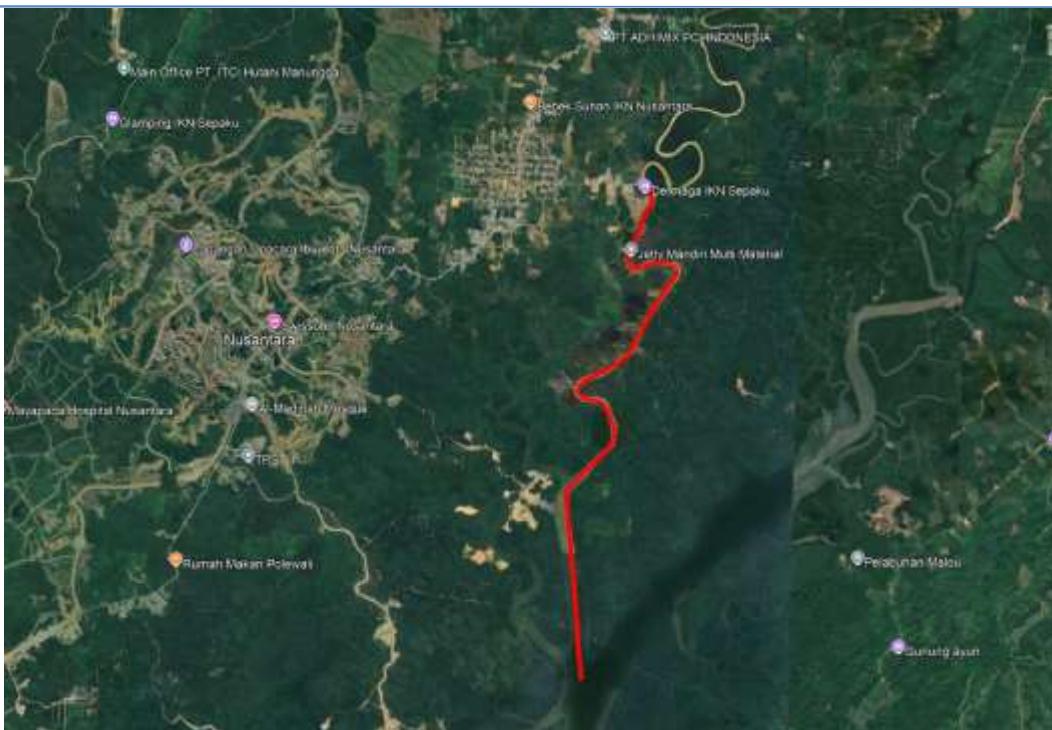
2. Metode Penelitian

Jenis penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah penelitian terapan (*applied research*) yaitu merupakan jenis penelitian yang berfokus pada penerapan dan pengembangan hasil penelitian dasar dalam konteks kehidupan nyata. Orientasi utamanya adalah menemukan solusi terhadap permasalahan praktis yang spesifik. Hasil penelitian terapan ditujukan agar dapat memberikan manfaat langsung bagi individu, kelompok, maupun kepentingan industri dan kebijakan publik, sehingga tujuan utamanya lebih pada pemecahan masalah daripada sekadar pengembangan wawasan teoretis [8]. Penelitian ini bertujuan untuk menerapkan teknologi survei batimetri menggunakan wahana *Unmanned Surface Vehicle (USV)* sebagai dasar dalam perencanaan dan penentuan alur pelayaran yang aman di Sungai Sepaku, Kabupaten Penajam Paser Utara. Studi kasus dilakukan pada segmen sungai yang menjadi jalur transportasi penting, dengan fokus untuk memperoleh data batimetri yang akurat, menginvestigasi kedalaman aktual alur pelayaran, serta menganalisis potensi hambatan navigasi akibat sedimentasi atau perubahan morfologi dasar sungai. Penelitian ini mengintegrasikan pengukuran lapangan dan pemodelan digital untuk mendukung penyusunan rekomendasi teknis dalam pengelolaan alur pelayaran sungai.

Pendekatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah pendekatan kuantitatif, karena penelitian ini melibatkan proses pengumpulan dan analisis data numerik yang diperoleh dari pengukuran kedalaman menggunakan sensor akustik berbasis *USV (Unmanned Surface Vehicle)* [9]. Data batimetri yang diperoleh kemudian diolah menggunakan perangkat lunak pengolahan data spasial untuk membentuk model permukaan dasar sungai (*Digital Terrain Model*) dan menganalisis kedalaman serta profil alur pelayaran. Pendekatan ini dipilih agar hasil yang diperoleh bersifat objektif, presisi, serta dapat dijadikan dasar dalam pengambilan keputusan teknis terkait optimalisasi dan pemeliharaan alur pelayaran sungai secara berkelanjutan.

Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan di Sungai Sepaku, Kecamatan Sepaku, Kabupaten Penajam Paser Utara, Kalimantan Timur. Segment sungai yang disurvei membentang sepanjang $\pm 8,9$ km, dari Dermaga PT. Mineral Langgeng Megatama hingga muara sungai di Teluk Balikpapan, pada koordinat $0^{\circ}57'11.42''LS$ – $1^{\circ}0'56.71''LS$ dan $116^{\circ}44'57.29''BT$ – $116^{\circ}45'20.08''BT$. Pengumpulan data lapangan dilakukan pada tahun 2024. Gambaran lokasi dapat dilihat pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Lokasi penelitian di Sungai Sepaku, Kabupaten Penajam Paser Utara

Data dan Peralatan

a. Data Primer

Data primer adalah data yang dikumpulkan secara langsung dari sumber pertama melalui kegiatan observasi lapangan, eksperimen, pengukuran, atau dokumentasi langsung yang relevan dengan objek penelitian [10]. Data primer diperoleh langsung melalui survei batimetri di Sungai Sepaku menggunakan *Unmanned Surface Vehicle* (USV) Satlab Hydroboat 1200 yang terintegrasi dengan *Single Beam Echo Sounder* (SBES) dan GNSS RTK. Survei dilakukan mengikuti lintasan grid dengan interval 5–10 m untuk menghasilkan data kedalaman dan morfologi sungai yang akurat.

b. Data Sekunder

Data sekunder adalah data yang diperoleh dari berbagai sumber dokumentasi atau publikasi yang telah tersedia sebelumnya dan disusun oleh pihak lain. Data ini bersifat lengkap dan digunakan untuk memperkuat hasil analisis penelitian.[10] Data sekunder berasal dari dokumentasi pihak lain untuk mendukung analisis dan perbandingan hasil survei. Dalam penelitian ini, data diperoleh dari PT. Mineral Langgeng Megatama dan PT. Quancons Forensik Indonesia, meliputi:

- Langkah-langkah dan PPL: Quantisasi Potensi Sungai, misalnya:

 - 1) Koordinat Benchmark (BM) untuk koreksi elevasi hasil pengukuran.
 - 2) Data Pasang Surut guna normalisasi kedalaman terhadap datum referensi.
 - 3) Data Topografi LiDAR untuk peta daratan sekitar sungai.
 - 4) Foto Udara Resolusi Tinggi untuk latar peta batimetri dan identifikasi objek permukaan.

Alat dan Perangkat Lunak

Alat dan Perangkat Lunak
Alat yang digunakan meliputi USV HydroBoat 1200 + SBES, GNSS RTK, dan Tablet SLHydro untuk akuisisi data. Data kemudian diolah dan divisualisasikan menggunakan *HydroMagic*, *ArcMap 10.8*, *AutoCAD Civil 3D*, *Ms Excel*, dan *Ms Word*.

Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data penelitian adalah metode atau cara yang digunakan untuk mengumpulkan informasi yang diperlukan dalam sebuah studi atau penelitian. Pemilihan teknik pengumpulan data sangat penting karena dapat mempengaruhi validitas dan reliabilitas hasil penelitian yang harus disesuaikan dengan tujuan penelitian, jenis data yang dibutuhkan, sumber daya yang tersedia, dan pertimbangan etis [11]. Teknik pengumpulan data dilakukan melalui observasi lapangan untuk mengidentifikasi kondisi sungai serta akuisisi data batimetri menggunakan USV HydroBoat 1200 yang dilengkapi echosounder dan GNSS RTK. Metode ini menghasilkan data kedalaman dan profil dasar sungai secara akurat guna mendukung perencanaan alur pelayaran yang aman dan efisien.

Tahapan Penelitian

- Studi Literatur : Dilakukan melalui kajian jurnal, buku, dan sumber relevan untuk memahami teori batimetri serta optimasi jalur pelayaran, sekaligus mengidentifikasi permasalahan di Sungai Sepaku.
- Persiapan Administrasi dan Teknis : Penelitian didukung oleh PT. Quancons Forensik Indonesia dan PT. Mineral Langgeng Megatama terkait administrasi, peralatan, dan teknis.
- Perencanaan : Survey batimetri direncanakan sepanjang ±8,9 km dari Dermaga PT. Mineral Langgeng Megatama hingga muara Sungai Sepaku menggunakan USV Hydroboat 1200 SatLab.
- Akuisisi Data : Data kedalaman dan elevasi dasar sungai dikumpulkan dengan USV serta data sekunder berupa benchmark GNSS, pasang surut 2024, topografi LiDAR, dan foto udara resolusi tinggi.
- Pengolahan Data : Dilakukan dengan perangkat lunak analisis batimetri dan statistik untuk mengetahui morfologi dasar sungai serta merencanakan jalur pelayaran optimal.
- Penyusunan Laporan : Hasil penelitian disusun secara sistematis berisi data, analisis, dan kesimpulan sebagai bahan pertimbangan pengambilan keputusan.

Penentuan Nilai Pasang Surut

Data sekunder pengamatan pasang surut telah dilakukan di lokasi Stasiun PT. MLM yang terletak pada koordinat $0^{\circ}50'11.44''$ LS dan $116^{\circ}45'19.28''$ BT. Pengamatan dilakukan selama 30 hari (29 Piantan), dimulai sejak tanggal awal 11 Oktober 2024 – 12 November 2024, menggunakan metode pengamatan harian dengan tolok waktu WITA (+8). Adapun data pasang surut yang diperoleh seperti **Gambar 2** berikut.

Waktu	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23		
13	-85	-87	-54	-10	33	76	116	146	137	83	0	-87	-134	-120	-82	-16	46	106	162	206	217	173	38	2	
14	-76	-92	-47	-23	28	58	95	124	126	83	10	-89	-133	-143	-104	-36	95	149	195	219	202	139	47		
15	-47	-43	-73	-32	12	48	77	101	111	92	36	-46	-117	-147	-123	-61	13	80	133	177	207	206	167	90	
16	-7	-68	-66	-36	8	43	68	92	91	82	43	-24	-95	-138	-132	-81	8	61	115	165	197	177	121		
17	34	-27	-48	-32	6	41	65	79	72	88	42	-7	-29	-110	-128	-85	-26	39	94	121	158	173	169	136	
18	49	10	-22	-18	18	42	68	63	58	50	34	1	-47	-91	-110	-81	-48	21	72	106	129	143	147	132	
19	89	43	9	3	21	46	63	59	46	36	23	2	-30	-64	-88	-75	-39	10	54	83	98	109	116	114	
20	93	83	38	29	38	55	64	57	40	23	5	-2	-21	-41	-56	-49	-23	14	46	64	71	75	80	85	
21	81	89	57	53	56	70	72	58	34	10	-6	-13	-19	-25	-28	-19	5	31	52	58	51	43	43	49	
22	58	61	63	68	88	88	86	65	31	-2	-23	-28	-24	-17	-8	9	60	73	67	45	21	8	12		
23	27	42	56	73	-92	107	105	78	78	34	-12	-41	-47	-37	-16	3	30	62	92	106	93	86	12	-18	
24	-7	16	40	86	94	118	122	97	46	-14	-67	-75	-82	-26	6	42	82	128	148	130	88	23	-28	-62	
25	-41	-14	18	51	85	116	134	117	85	6	-68	-94	-88	-48	-3	44	92	138	179	189	137	54	-28	-68	
26	-71	-44	-7	31	78	108	124	131	88	14	-63	-110	-112	-75	-21	26	91	144	187	205	171	99	-10	-46	
27	-48	-71	-34	11	51	86	124	126	107	39	46	-17	-34	-101	-46	10	31	128	188	210	207	148	58	22	
28	-88	-88	-53	-6	33	71	105	127	116	84	-88	-100	-143	-132	-78	-7	62	124	177	218	227	189	101	11	
29	-72	-92	-69	-25	18	63	84	109	113	80	10	-78	-135	-147	-187	-36	38	182	167	188	215	212	152	62	
30	-36	-78	-73	-37	5	39	65	87	98	84	34	-41	-112	-144	-128	-64	10	76	130	174	206	212	179	108	
31	51	-48	-63	-49	-2	38	51	66	78	76	46	-11	-70	-124	-125	-82	-16	58	182	142	175	193	185	137	
1	56	-7	-38	-25	-3	25	42	59	56	58	46	8	-45	-56	-108	-84	-32	27	74	99	138	159	166	146	
2	89	33	4	-11	5	26	38	39	38	38	34	16	-19	-57	-78	-76	-33	13	63	81	99	119	132	131	
3	102	83	29	16	23	35	48	24	24	19	18	12	-4	-27	-44	-42	-19	14	43	63	69	78	92	101	
4	95	76	55	43	44	58	48	34	16	2	-1	1	8	-7	-13	9	6	36	47	51	47	45	51	63	
5	72	71	85	63	66	69	62	41	12	-11	-69	-15	-6	1	9	21	40	58	66	57	38	29	16	24	
6	40	52	60	76	81	88	80	53	15	-49	-36	-33	-18	5	28	43	69	91	98	79	45	19	-10	-10	
7	7	26	44	63	65	100	95	70	24	-21	-53	-34	-2	22	54	39	113	121	113	53	18	-25	-38		
8	-34	2	22	46	76	102	110	89	39	-19	-41	-52	-53	-21	17	57	39	128	165	151	105	29	-20	-52	
9	-49	-27	6	28	68	82	112	103	76	-6	-64	-49	-71	-40	6	52	39	148	173	164	146	78	0	42	
10	-66	-47	-18	11	42	75	103	108	76	13	-47	-100	-100	-44	-11	42	83	142	184	208	183	119	35	-37	

Gambar 2. Data Pasang Surut 29 Piantan

Data hasil pengamatan kemudian diolah menggunakan metode Admiralty untuk menghitung deferensi pasut, yaitu selisih waktu pasang surut antara stasiun pasut pembantu di lokasi pengamatan dengan stasiun pasut utama terdekat yang telah memiliki data pasut jangka panjang. Berdasarkan hasil analisis pasang surut di wilayah Sungai Sepaku, diperoleh nilai datum pasang surut sebagaimana ditunjukkan pada **Tabel 1**. Mean Sea Level (MSL) berada pada elevasi +35 cm, dengan kondisi air tertinggi (HHWL) mencapai +314 cm dan air terendah (LLWL) menyentuh -244 cm.

Tabel 1. Nilai Referensi hasil pengamatan pasang surut

Simbol	Keterangan	Tinggi (cm)
HHWL	Highest High Water Level	314
HWS	High Water Spring	240
MHWS	Mean High Water Spring	178
MHWL	Mean High Water Level	159
MSL	Mean Sea Level	35
MLWL	Mean Low Water Level	-89
MLWS	Mean Low Water Spring	-108
LWS	Lowest Water Spring	-170
LLWL	Lowest Low Water Level	-244

Untuk koreksi kedalaman batimetri dan elevasi dasar pengeringan digunakan datum konservatif Lowest Water Spring (LWS) -170 cm agar pelayaran tetap aman pada pasang surut ekstrem. Analisis pasang surut menghasilkan nilai muka air rata-rata, pasang tertinggi (HWS), dan surut terendah (LWS) yang dimanfaatkan untuk:

- a. Mengoreksi data kedalaman batimetri hasil survei batimetri
- b. Membuat peta batimetri berdasarkan kondisi HWS dan LWS,
- c. Menjadi dasar dalam menentukan kedalaman rencana jalur pelayaran.

Dengan data pasang surut yang diperoleh dari 29 piantan tersebut, hasil pengolahan data kedalaman menjadi lebih akurat dan dapat menggambarkan kondisi lokasi baik pada saat pasang tertinggi maupun surut terendah, sehingga mendukung analisis jalur pelayaran dan perhitungan volume pengeringan.

Pengolahan Data Batimetri

Survei Batimetri adalah bagian dari Survei Hidrografi yang dilakukan untuk mendapatkan data kedalaman dan konfigurasi/ topografi dasar laut, termasuk lokasi dan luasan obyek-obyek tertentu. Survei Batimetri dilaksanakan di koridor survey dengan lebar bervariasi yang pelaksanaannya mengikuti Rencana Jalur Survei yang telah direncanakan sebelumnya sesuai kebutuhan [12]. Peta batimetri dalam aplikasinya memiliki banyak manfaat dalam bidang kelautan antara lain penentuan jalur pelayaran yang aman, perencanaan bangunan pinggir pantai dan lepas pantai, pendekripsi adanya potensi bencana tsunami di suatu wilayah, dan eksploitasi sumber daya perikanan [13].

Selain itu, kemunculan kendaraan tanpa awak seperti USV (Unmanned Surface Vehicle) turut merevolusi cara pengumpulan data batimetri. Inovasi ini membuat survei bisa dilakukan secara efisien di wilayah yang sulit dijangkau. Transformasi ini sangat membantu dalam menghasilkan data spasial bawah air secara cepat dan akurat. Kemampuan USV untuk melakukan tugas secara berulang tanpa campur tangan manusia juga mengurangi potensi kesalahan akibat kelelahan operator. Efisiensi ini sangat mendukung pelaksanaan proyek berbasis data di sektor kelautan yang membutuhkan akurasi dan kontinuitas tinggi.[14] Data hasil survei USV diolah melalui beberapa tahap:

- a. Koreksi Pasang Surut – Menggunakan metode Admiralty dengan stasiun pembantu dan utama untuk menyeragamkan data ke datum LWS.
- b. Prosesing RAW di HydroMagic – Data kedalaman dikoreksi pasut, sensor, dan benchmark, lalu dibersihkan dari outlier, diinterpolasi, dan dibuat model batimetri 3D.

Penyajian Data Batimetri di ArcMap 10.8

- a. Overlay Data Primer dan Sekunder

Tahap overlay menyatukan data batimetri, topografi (LIDAR), dan foto udara dalam satu sistem koordinat untuk membentuk peta kerja terpadu. Proses ini meliputi: pengecekan sistem proyeksi, impor data ke GIS, overlay dengan citra udara, pembuatan layer peta, serta verifikasi spasial. Hasilnya berupa peta tematik (kedalaman, kontur, kombinasi) yang akurat untuk analisis jalur pelayaran, penampang, dan perhitungan volume pengeringan.

- b. Penyajian dan Analisis Data Alur Pelayaran

Data hasil survei disajikan dalam peta tematik menggunakan ArcMap dan AutoCAD Civil 3D. Tahapannya meliputi: digitasi jalur pelayaran, visualisasi kedalaman (kontur, gradasi warna), analisis area kritis dan sedimentasi, pembuatan penampang memanjang dan melintang, serta layout peta lengkap dengan elemen kartografi. Hasilnya memberikan gambaran visual dan kuantitatif kondisi alur pelayaran sebagai dasar perencanaan dan pemeliharaan.

Analisis dan Perhitungan Volume Metode Long Section dan Cross Section di AutoCAD Civil 3D

Tahap analisis dan perhitungan volume bertujuan memperkirakan kebutuhan pengeringan agar jalur pelayaran sesuai kedalaman rencana. Perhitungan dilakukan dengan metode long section (memanjang) dan cross section (melintang) menggunakan AutoCAD Civil 3D untuk visualisasi detail. Langkah analisis meliputi: pembuatan 1 centerline sebagai acuan utama, 5 long section sejajar dari tepi kiri ke kanan sungai dengan interval potongan tiap 10 m, serta cross section setiap 50 m sepanjang 8,9 km. Long section menunjukkan variasi kedalaman sepanjang lintasan, sedangkan cross section menggambarkan bentuk penampang sungai dan perbandingan profil eksisting dengan rencana.

Perhitungan volume dilakukan dengan metode Average End Area (AEA) berdasarkan luas area pengeringan antar cross section. Hasilnya disajikan dalam tabel (STA, kedalaman, luas area, volume per segmen, total kumulatif) dan layout peta (*long section & cross section*). Pendekatan ini menghasilkan

gambaran detail kondisi sungai baik memanjang maupun melintang, sehingga perhitungan volume pengeringan lebih akurat dan mendukung identifikasi segmen kritis serta prioritas pengeringan.

3. Hasil dan Pembahasan

Kinerja USV Hydroboat 1200 dalam Survei Batimetri Sungai Sepaku

Survei batimetri di Sungai Sepaku dilaksanakan menggunakan *USV Hydroboat 1200*, yaitu kendaraan permukaan nirawak yang dilengkapi dengan sistem navigasi GNSS RTK dan *single-beam echo sounder*, teknik ini sangat efektif untuk perairan yang dalam dan tidak terlalu keruh. Akurasi pengukuran sangat bergantung pada faktor-faktor seperti suhu air, salinitas, dan tekanan, karena semuanya memengaruhi kecepatan gelombang suara [15]. Dalam pelaksanaan survei, USV menunjukkan performa yang sangat baik dalam kondisi sungai yang relatif dangkal, sempit, dan berbelok. Salah satu Keunggulan USV yaitu Pengujian Akurasi Data dengan Crossline, untuk memastikan kualitas data, dilakukan pengambilan lintasan silang (crossline) sebagai bagian dari prosedur uji akurasi. Hasil perbandingan data antar lintasan utama dan crossline menunjukkan kesesuaian elevasi dasar sungai yang baik, dengan deviasi dalam rentang toleransi survei (umumnya < 10 cm) atau mengacu pada standar ketelitian survei batimetri.

Untuk pengujian akurasi atau ketelitian pengukuran penelitian ini menggunakan standar SNI 7464:2010 dengan cara membandingkan data yang dari jalur crossline (simpangan jalur melintang dan memanjang) yang dilakukan selama pengambilan data kemudian disesuaikan dengan Ketelitian Pengukuran Parameter Survei Hidrografi (*IHO Standars for Hydrographic Surveys 4th Edition, Spesial Publication No. 44, 1998*) seperti **Tabel 2** dan **3**.

Tabel 2. Ketelitian Pengukuran Parameter Survei Hidrografi

Deskripsi	Kelas			
	Orde Khusus	Orde 1	Orde 2	Orde 3
Akurasi Kedalaman	$a = 0.25$ $b = 0.0075$	$a = 0.5$ $b = 0.013$	$a = 1.0$ $b = 0.023$	$a = 1.0$ $b = 0.023$

Tabel 3. Klasifikasi daerah survei hidrografi

No	Kelas	Contoh Daerah Survei
1	Orde Khusus	Pelabuhan tempat sandar dan alur kritis (yang berhubungan dengannya) di mana kedalaman air di bawah lunas minimum
2	Orde 1	- Pelabuhan, - Alur pendekat pelabuhan, - Lintasan/haluan yang dianjurkan - Daerah-daerah pantai dengan kedalaman hingga 100 meter
3	Orde 2	- Area yang tidak masuk pada orde khusus dan orde satu - Area dengan kedalaman hingga 200 meter
4	Orde 3	Daerah lepas pantai yang tidak disebut dalam orde khusus, orde satu, dan orde dua

Data diuji kualitas sesuai SNI 7646:2010 orde khusus dengan nilai $a = 0,250$ dan $b = 0,0075$. Hasil uji crossline menunjukkan selisih kedalaman $0,009\text{--}0,162$ m, masih dalam batas toleransi $\pm 0,2502\text{--}\pm 0,2845$ m. Seluruh 25 sampel (100%) memenuhi standar akurasi orde khusus. Meski kinerja USV HydroBoat 1200 sangat baik, terdapat kendala teknis seperti:

- Gangguan vegetasi tepi sungai yang mengurangi akurasi GNSS,
- Fluktuasi pasang surut cepat yang memerlukan koreksi berkala, dan
- Arus lokal serta sampah permukaan yang mengganggu sensor hingga memperpanjang waktu survei.

Dengan mitigasi melalui pemantauan operator dan penyesuaian lintasan, USV tetap terbukti efektif, efisien, dan akurat untuk survei batimetri di perairan dangkal seperti Sungai Sepaku.

Tabel 4. Uji Ketelitian Hasil Pengeruman Crossline

No	Titik Persimpangan	Kedalaman Cross Section (d1) [m]	Kedalaman Long Section (d2) [m]	Rata-rata Kedalaman (d) [m]	Selisih d1 - d2 [m]	Kelas Survei	Nilai a	Nilai b	Toleransi (\pm) [m]	Sesuai Toleransi?
1	A	4.398	4.517	4.4575	0.119	Orde Khusus	0.25	0.0075	0.252225	Ya
2	B	1.388	1.375	1.3815	0.013	Orde Khusus	0.25	0.0075	0.250215	Ya
3	C	8.843	8.993	8.918	0.15	Orde Khusus	0.25	0.0075	0.258793	Ya
4	D	4.935	5.012	4.9735	0.077	Orde Khusus	0.25	0.0075	0.252767	Ya
5	E	4.339	4.33	4.3345	0.009	Orde Khusus	0.25	0.0075	0.252105	Ya
6	F	3.877	3.991	3.934	0.114	Orde Khusus	0.25	0.0075	0.251735	Ya
7	G	4.083	4.11	4.0965	0.027	Orde Khusus	0.25	0.0075	0.251881	Ya
8	H	3.517	3.447	3.482	0.07	Orde Khusus	0.25	0.0075	0.251360	Ya
9	I	3.394	3.513	3.4535	0.119	Orde Khusus	0.25	0.0075	0.251338	Ya
10	J	3.737	3.756	3.7465	0.019	Orde Khusus	0.25	0.0075	0.251574	Ya
11	K	4.433	4.447	4.44	0.014	Orde Khusus	0.25	0.0075	0.252208	Ya
12	L	7.067	7.093	7.08	0.026	Orde Khusus	0.25	0.0075	0.255577	Ya
13	M	4.584	4.566	4.575	0.018	Orde Khusus	0.25	0.0075	0.252344	Ya
14	N	11.165	11.292	11.2285	0.127	Orde Khusus	0.25	0.0075	0.263803	Ya
15	O	6.034	6.133	6.0835	0.099	Orde Khusus	0.25	0.0075	0.254129	Ya
16	P	4.248	4.334	4.291	0.086	Orde Khusus	0.25	0.0075	0.252063	Ya
17	Q	6.002	5.914	5.958	0.088	Orde Khusus	0.25	0.0075	0.253962	Ya
18	R	4.402	4.496	4.449	0.094	Orde Khusus	0.25	0.0075	0.252217	Ya
19	S	4.237	4.201	4.219	0.036	Orde Khusus	0.25	0.0075	0.251995	Ya
20	T	6.711	6.823	6.767	0.112	Orde Khusus	0.25	0.0075	0.255100	Ya
21	U	12.334	12.487	12.4105	0.153	Orde Khusus	0.25	0.0075	0.266765	Ya
22	V	4.335	4.429	4.382	0.094	Orde Khusus	0.25	0.0075	0.252151	Ya
23	W	10.132	10.254	10.193	0.122	Orde Khusus	0.25	0.0075	0.261427	Ya
24	X	18.147	18.103	18.125	0.044	Orde Khusus	0.25	0.0075	0.284568	Ya
25	Y	5.161	5.323	5.242	0.162	Orde Khusus	0.25	0.0075	0.253072	Ya

Hasil Batimetri

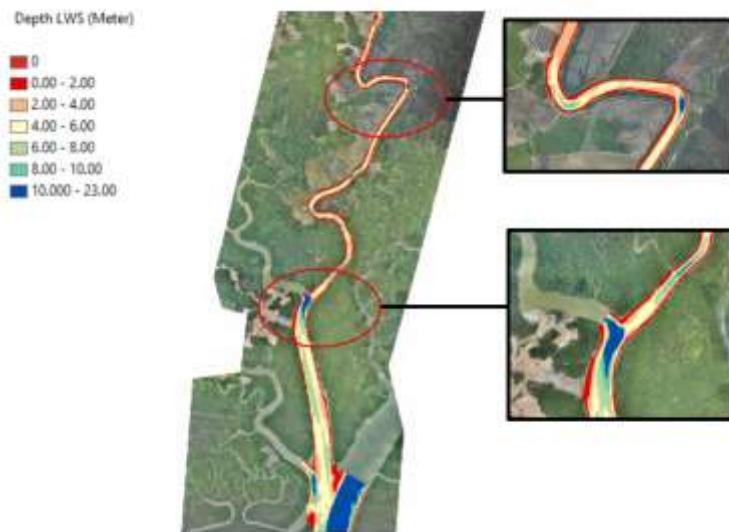
Data batimetri yang telah dikoreksi pasang surut divisualisasikan menjadi peta kontur kedalaman menggunakan HydroMagic Survey dan ArcMap 10.8. Variasi kedalaman sungai dipengaruhi morfologi, arus, serta proses sedimentasi dan erosi, dengan hasil pengukuran data batimetri didapatkan nilai kedalaman minimal, maksimal dan rata-rata sebagai berikut:

Tabel 5. Data hasil Survei Batimetri

Kedalaman	Depth_HWS	Depth_LWS	Elevation
Minimal	2.439	-1.661	-23.972
Maksimal	26.372	22.272	-0.039
Rata-Rata	8.194	4.094	-5.794

Data batimetri diolah dengan HydroMagic Survey, dikoreksi pasang surut, dan menggunakan datum Benchmark (BM) hasil pengamatan statik. Output berupa posisi (Easting, Northing), kedalaman HWS dan LWS, serta elevasi dasar sungai. Analisis peta batimetri dilakukan dengan acuan datum LWS = -1,70 m, untuk memperoleh gambaran konservatif kedalaman minimum yang penting bagi desain alur pelayaran dan keselamatan navigasi.

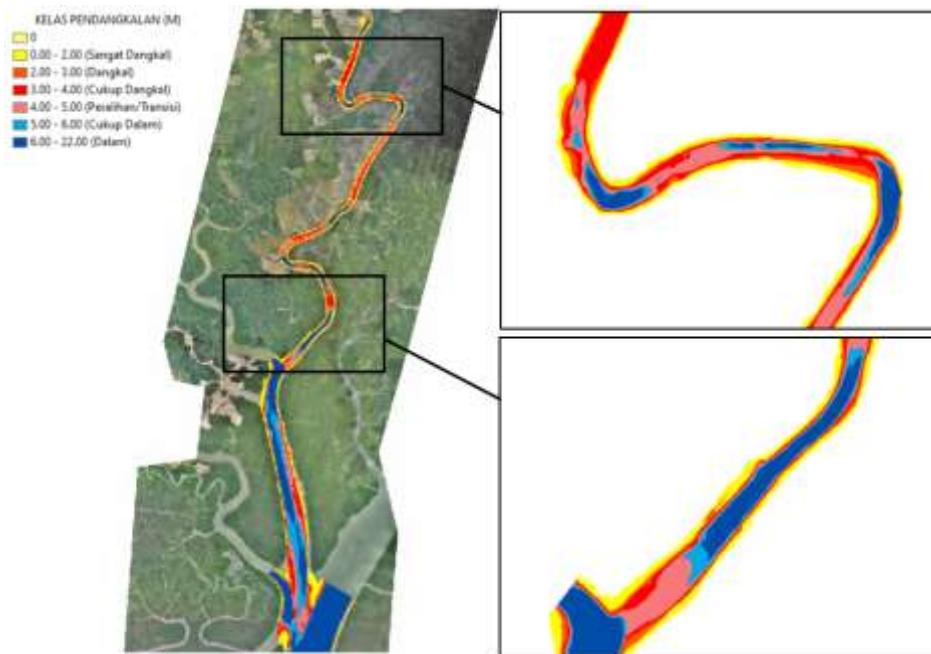
Berdasarkan hasil survei batimetri, diperoleh data kedalaman di sepanjang jalur sungai yang menunjukkan variasi cukup signifikan. Dari hasil plotting data dan pemodelan kontur batimetri, terlihat bahwa sebagian besar area memiliki kedalaman relatif dangkal, khususnya di beberapa segmen sungai yang berada dekat dengan tikungan atau area deposisi sedimen. Pada kondisi surut terendah (LWS), kedalaman rata-rata sungai berkangur signifikan. Peta kontur kedalaman pada saat LWS memperlihatkan area kritis yang menjadi lebih dangkal dan berpotensi mengganggu navigasi. Adapun visual data batimetri berdasarkan Datum LWS (*Low Water Springs*) seperti **Gambar 3**.



Gambar 3. Visual data batimetri berdasarkan Datum LWS (*Low Water Springs*)

Dari peta batimetri yang dihasilkan, tercatat bahwa kedalaman rata-rata jalur sungai berada di kisaran 4.09 meter terhadap datum LWS. Beberapa titik terendah memiliki kedalaman kurang dari 1.66 meter terhadap datum LWS, yang dapat menjadi kendala serius bagi operasional kapal, terutama saat air surut ekstrem. Bagian tengah sungai umumnya sedikit lebih dalam dibandingkan area pinggir, tetapi variasinya tidak terlalu besar.

Dari hasil analisis batimetri menggunakan datum LWS, dapat disimpulkan bahwa jalur sungai di lokasi pengamatan memiliki kondisi cukup dangkal dan memerlukan perhatian khusus, terutama untuk mendukung kelancaran aktivitas transportasi air. Untuk Penggunaan kapal tongkang 180 feet dengan DWT \pm 3.000 - 3.500 ton sampai 270 feet dengan DWT \pm 7.000 - 8.500 dengan draf tongkat kapal 270 feet dengan nilai 4.00 - 4.50 meter akan mengalami hambatan serius pada saat memasuki area yang memiliki nilai kedalaman di bawah 5.00 meter dari datum LWS.



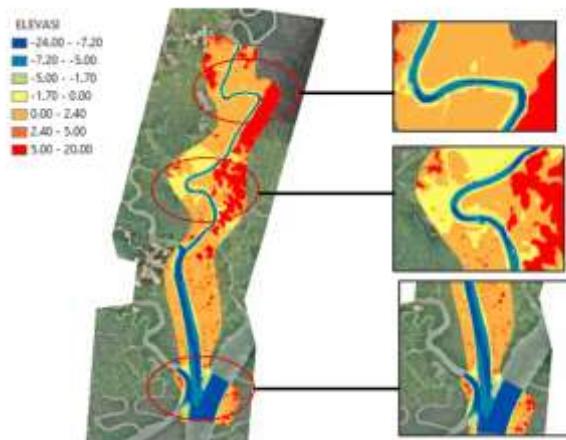
Gambar 4. Gambar Visual Kelas Pendangkalan

Analisis batimetri Sungai Sepaku menunjukkan variasi kedalaman signifikan yang dikategorikan dalam enam kelas pendangkalan, ditampilkan pada Gambar 4 dengan warna berbeda sesuai tingkat kedalaman.

Klasifikasi batimetri menunjukkan mayoritas alur Sungai Sepaku tergolong sangat dangkal (0–2 m) hingga cukup dangkal (3–4 m), terutama di hulu dan tikungan, sehingga tidak mendukung kapal besar

seperti tongkang 270 feet (draft 4,5 m). Area transisi (4–5 m) hanya sedikit, sementara kedalaman ≥ 5 m (cukup dalam-dalam) terbatas di sekitar muara. Inset peta Gambar 4.2 menyoroti area kritis dengan lebar alur ≥ 5 m yang sangat sempit atau tidak ada, berpotensi menghambat pelayaran logistik.

Secara umum, kondisi eksisting belum aman bagi kapal draft besar sehingga diperlukan pengurusan untuk mencapai kedalaman minimal 5,5 m (LWS). Visualisasi topografi dasar sungai, hasil integrasi data batimetri dan LiDAR, menunjukkan lebar 60–150 m dengan kedalaman bervariasi dan dasar sungai tidak seragam akibat sedimentasi dan erosi.

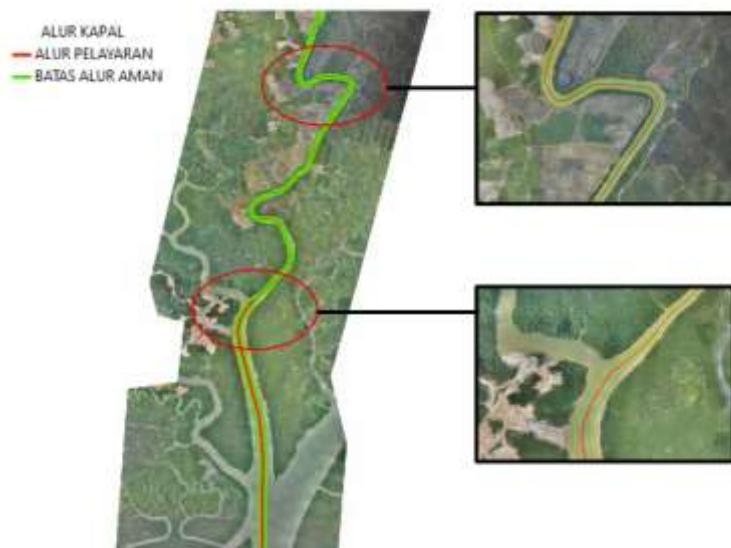


Gambar 5. Visual Model Elevasi Data Topografi

Gambar 5 menampilkan pemodelan elevasi topografi hasil integrasi data batimetri dan LiDAR, dengan kelas ketinggian dari -24 m (biru tua) hingga +20 m (merah). Area terdalam terkonsentrasi di tengah sungai dan muara, berfungsi sebagai alur utama, sedangkan area dangkal (kuning–jingga) banyak ditemukan di tepi dan tikungan, rawan sedimentasi. Bagian tinggi (> 5 m, merah) merupakan dataran tepi atau delta yang kadang tergenang saat banjir. Inset memperlihatkan: tikungan hulu dengan sedimentasi aktif, segmen tengah yang dangkal dan berpotensi menghambat navigasi, serta muara yang dalam dan stabil. Secara keseluruhan, peta elevasi menunjukkan dinamika sedimentasi dan erosi yang kompleks serta penting untuk perencanaan jalur pelayaran, dredging, dan pengelolaan sungai dengan acuan datum LWS.

Analisis Jalur Pelayaran

Alur pelayaran adalah jalur khusus yang digunakan kapal untuk masuk dan keluar, sehingga memerlukan perencanaan teknis yang mempertimbangkan berbagai aspek keselamatan, operasional, dan efisiensi navigasi.[16] Alur pelayaran juga mempermudah otoritas atau penjaga dalam melakukan pengawasan, pengendalian, dan penyelamatan jika terjadi kecelakaan. Oleh karena itu, alur pelayaran tidak hanya menjadi panduan navigasi, tetapi juga bagian integral dari keselamatan maritime.[17] Berdasarkan data lebar Sungai Sepaku aktual (60-150 meter), sebagian besar segmen memenuhi syarat, tetapi segmen di tikungan tajam perlu diperhatikan. Dalam penelitian ini hanya menganalisis hasil data batimetri tanpa merubah alur Sungai sehingga teknis perihal tikungan tajam pada Sungai penelitian dapat dilakukan penelitian lebih lanjut.



Gambar 6. Alur Pelayaran Rencana Sungai Sepaku

Analisis Estimasi Volume Pengeringan (Metode Long Section dan Cross Section)

Perhitungan volume dilakukan untuk mengetahui jumlah material yang perlu dikeruk agar kedalaman jalur pelayaran sesuai rencana (-7,20 m dari LWS / kedalaman 5,5 m).

a. Long Section

Dibuat 5 penampang memanjang sejajar sepanjang $\pm 8,936$ km dengan interval 10 m. Profil ini menunjukkan variasi elevasi dasar sungai, elevasi rencana pengeringan, serta posisi HWS, MSL, dan LWS. Hasilnya memperlihatkan variasi kedalaman signifikan yang memerlukan pengeringan. Dari data profil memanjang dibuat untuk tujuan memperjelas perubahan elevasi sepanjang lintasan. Elevasi dalam profil ini dan mencakup informasi penting seperti: Elevasi permukaan eksisting dari Section (A,B,C,D,E), Elevasi desain (Rencana Pengeringan), Muka air tertinggi (High Water Spring - HWS), Muka air rata-rata (Mean Sea Level - MSL), dan Muka air terendah (Low Water Spring - LWS). Berdasarkan data long section ini, elevasi permukaan tanah atau dasar elevasi eksisting menunjukkan variasi yang cukup signifikan sepanjang trase. Kondisi ini menunjukkan bahwa kontur tanah cukup bervariasi dan perlu dilakukan kegiatan pengeringan berdasarkan rencana untuk alur kapal dengan nilai kedalaman 5,50 meter dari LWS atau Elevasi dasar Sungai -7.20 meter

b. Cross Section

Dibuat penampang melintang setiap 50 m (± 178 penampang) dengan tiga garis utama: elevasi eksisting, elevasi rencana, dan elevasi LWS. Dari profil ini dihitung luas area yang perlu dikeruk menggunakan metode Average End Area (AEA).

Penampang melintang (Cross Section) merupakan salah satu komponen penting dalam desain pengeringan alur pelayaran ini, karena menggambarkan 72 kondisi melintang pada setiap titik trase yang telah ditentukan. Dalam penelitian ini, penampang lintang disusun berdasarkan data dari gambar teknis pada STA 0+000 sampai dengan STA 8+936, dengan interval setiap 50 meter. Setiap penampang menampilkan tiga garis utama, yaitu, Garis elevasi LWS (Low Water Spring), Garis elevasi eksisting, Garis elevasi rencana (elevasi desain). Dari data Cross Section ini didapatkan estimasi volume pengeringan dengan metode Average End Area (AEA).

Hasil perhitungan disajikan dalam bentuk tabel, memuat nomor STA, luas area pengeringan, volume per segmen, dan total kumulatif volume pengeringan. Total volume yang diperoleh menjadi rekomendasi untuk pekerjaan pengeringan guna menjaga kedalaman jalur pelayaran. Dari data cross section tersebut dihasilkan Estimasi Volume sebesar $627,471.75 \text{ M}^3$. Hasil perhitungan estimasi pengeringan dapat dilihat di tabel berikut.

Tabel 6. Rekapitulasi Estimasi Volume Penggerukan

Rekapitulasi Volume		
No.	Nama	Volume (M3)
1	STA 0+000 S/D 2+000	252,559.00
2	STA 2+025 S/D 4+000	218,698.00
3	STA 4+025 S/D 6+000	110,917.25
4	STA 6+025 S/D 8+000	19,018.50
5	STA 8+025 S/D 8+936	26,279.00
Total Volume		627,471.75

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan pengolahan data pasang surut, batimetri, dan topografi di Sungai Sepaku, dapat disimpulkan bahwa penggunaan USV Hydroboat 1200 sangat efektif dalam survei batimetri di perairan dangkal dengan tingkat akurasi sesuai standar SNI. Kondisi kedalaman sungai menunjukkan masih memungkinkan untuk dilalui kapal tongkang berukuran besar pada saat pasang, namun berisiko hambatan saat surut sehingga diperlukan penyesuaian alur pelayaran. Untuk menjamin keselamatan navigasi, kedalaman minimal yang dibutuhkan ditetapkan sebesar 5,5 meter dengan lebar jalur aman sekitar 54 meter, meski beberapa segmen sungai perlu perhatian khusus. Selain itu, estimasi volume penggerukan mencapai 627.471,75 m³ agar alur pelayaran memenuhi syarat navigasi kapal tongkang 270 feet secara berkelanjutan.

5. Saran

Saran penelitian ini menekankan pentingnya pemodelan hidrodinamika yang komprehensif, penggerukan prioritas pada area dangkal, serta pemanfaatan data batimetri sebagai dasar perencanaan infrastruktur sungai. Kajian lanjutan terkait dinamika aliran, sedimentasi, dan dampak perubahan iklim perlu dilakukan, disertai pertimbangan pengembangan jalur alternatif atau pelebaran alur untuk meningkatkan keamanan dan efisiensi pelayaran.

6. Referensi

- [1] R. Bagus Purwa, “Pelabuhan Desa Bumi Harapan Sepaku ditunjuk sebagai jalur material IKN,” *ANTARA News Kalimantan Timur*, Kalimantan Timur, Oktober 2022. Accessed: July 02, 2025. [Online]. Available: <https://kaltim.antaranews.com/berita/170401/pelabuhan-desa-bumi-harapan-sepaku-ditunjuk-sebagai-jalur-material-ikn>
- [2] Tim VOI, “IKN Nusantara Dikebut Jokowi, Pelabuhan Sepaku Sibuk Bongkar Muat Material dan Logistik,” *VOI - Waktunya Merevolusi Pemberitaan*, Penajam, Feb. 27, 2023. Accessed: Sept. 03, 2025. [Online]. Available: <https://voi.id/berita/258356/ikn-nusantara-dikebut-jokowi-pelabuhan-sepaku-sibuk-bongkar-muat-material-dan-logistik>
- [3] A. N. Hidayah, “Sungai Sepaku Mesti Dinormalisasi,” *ayokaltim.com*, June 10, 2025. Accessed: July 02, 2025. [Online]. Available: <https://www.ayokaltim.com/sungai-sepaku-mesti-dinormalisasi/>
- [4] E. D. Kusumawati, G. Handoyo, and H. Hariadi, “Pemetaan Batimetri Untuk Mendukung Alur Pelayaran Di Perairan Banjarmasin, Kalimantan Selatan,” *J. Oceanogr.*, vol. 4, no. 4, Art. no. 4, Oct. 2015.
- [5] F. Sotelo-Torres, L. V. Alvarez, and R. C. Roberts, “An Unmanned Surface Vehicle (USV): Development of an Autonomous Boat with a Sensor Integration System for Bathymetric Surveys,” *Sensors*, vol. 23, no. 9, p. 4420, Jan. 2023, doi: 10.3390/s23094420.
- [6] B. P. Putra, E. S. Kurniawan, and C. Carudin, “Purwarupa Perangkat Lunak Akuisisi Data Single Beam Echosounder yang Dilengkapi dengan Differential Global Navigation Satellite System,” *J. Hidropilar*, vol. 8, no. 1, pp. 1–14, July 2022, doi: 10.37875/hidropilar.v8i1.230.
- [7] H. H. Laily, F. O. Setyawan, M. A. Z. Fuad, and M. R. Nandika, “Analisis Tingkat Akurasi Data Batimetri Menggunakan Singlebeam Echosounder System (Sbes) dan Citra Satelit Spot-7 di Perairan Gili Ketapang, Kabupaten Probolinggo,” *J. Kelaut. Nas.*, vol. 19, no. 1, Art. no. 1, Mar. 2024, doi: 10.15578/jkn.v19i1.13381.
- [8] F. Irina, *Metode Penelitian Terapan*. Parama Ilmu, 2018. Accessed: Sept. 05, 2025. [Online]. Available: <https://repository.telkomuniversity.ac.id/pustaka/143081/metode-penelitian-terapan.html>
- [9] E. Ardyan *et al.*, *Metode Penelitian Kualitatif Dan Kuantitatif : Pendekatan Metode Kualitatif dan Kuantitatif di Berbagai Bidang*. PT. Sonpedia Publishing Indonesia, 2023.

-
- [10] U. Sulung and M. Muspawi, "Memahami Sumber Data Penelitian : Primer, Sekunder, dan Tersier," *Edu Res.*, vol. 5, no. 3, pp. 110–116, Sept. 2024, doi: 10.47827/jer.v5i3.238.
 - [11] Iba Zainuddin and Wardhana Aditya, *Teknik Pengumpulan Data Penelitian*. Purbalingga: Eureka Media Aksara, 2023. Accessed: Sept. 05, 2025. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/382060598_Teknik_Pengumpulan_Data_Penelitian
 - [12] Afika Nur, "Survei Hidrografi dan Survei Batimetri," *National Oceanographic*, 2021. Accessed: July 06, 2025. [Online]. Available: <https://www.national-oceanographic.com/article/survei-hidrografi-dan-survei-batimetri>
 - [13] Iswara, Chelsia Dwi, et al. "Batimetri Di Perairan Sekitar Muara Sungai Tondano." *Jurnal Ilmu Dan Teknologi Perikanan Tangkap* 7.1 (2022): 1-4.
 - [14] M. Specht *et al.*, "The Use of USV to Develop Navigational and Bathymetric Charts of Yacht Ports on the Example of National Sailing Centre in Gdańsk," *Remote Sens.*, vol. 12, no. 16, p. 2585, Jan. 2020, doi: 10.3390/rs12162585.
 - [15] A. A. Islami, "Analisis Kedalaman Sungai Untuk Alur Pelayaran Kapal Batu Bara Menggunakan Multibeam Echosounder (Studi Kasus: Sungai Mahakam, Kalimantan Timur)," PhD Thesis, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2018. Accessed: Sept. 05, 2025. [Online]. Available: <https://scholar.google.com/scholar?cluster=3967729605608945180&hl=en&coi=scholarr>
 - [16] A. K. Nurdianti, W. Atmodjo, and S. Saputro, "Studi Batimetri Dan Kondisi Alur Pelayaran Di Muara Sungai Kapuas Kecil, Kalimantan Barat," *J. Oceanogr.*, vol. 5, no. 4, pp. 538–545, Oct. 2016.
 - [17] E. Rustina, J. Al-Habib, D. Aulia, D. Ayu, and J. S. Sinaga, *Keselamatan Perairan Dan Pengelolaan Lalu Lintas Maritim*. Penerbit Underline, 2024.