

Perencanaan Pengerukan Kolam Pelabuhan dengan Survei Batimetri (Studi Kasus: Pelabuhan PT Mineral Langgeng Megatama, Desa Bumi Harapan, Kabupaten Penajam Paser Utara)

Ananda Aan Pangestu Hadi Kusuma*, Mohammad Abdul Basyid

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

*Koresponden email: nandaazimuth02@gmail.com

Diterima: 30 Agustus 2025

Disetujui: 7 September 2025

Abstract

The port of PT Mineral Langgeng Megatama, located in Bumi Harapan Village, Sepaku, Penajam Paser Utara, plays an important role in the distribution of construction materials for the new capital city (IKN). However, the port basin has experienced siltation due to sedimentation, requiring appropriate dredging to maintain the operational depth for vessels. One of the crucial stages in this planning is a bathymetric survey. This study aims to map the bathymetric conditions, calculate the dredging volume, and evaluate the performance of the USV HydroBoat 1200. The method used was a bathymetric survey employing a USV equipped with a single beam echosounder and RTK-GNSS. The collected data were processed using Hydromagic Survey, ArcMap 10.8, and AutoCAD Civil 3D. The results showed that the existing depth did not meet the minimum operational requirement of 5.5 m (LWS) and required dredging of 62,833.13 m³. The basin dimensions (100 × 100 m) and river channel width (50–100 m) were deemed suitable for vessels measuring approximately 82.3 × 16 m. The use of USV proved effective and highly accurate, as indicated by a calibration RMSE of 0.043 m and crossline RMSE of 0.082 m, confirming that the obtained bathymetric data is accurate and consistent.

Keywords: *port basin, bathymetry, ibu kota nusantara, penajam paser utara, hydroboat 1200*

Abstrak

Pelabuhan PT Mineral Langgeng Megatama yang berlokasi di Desa Bumi Harapan, Sepaku, Penajam Paser Utara berperan penting dalam distribusi material pembangunan IKN. Namun, kolam pelabuhan mengalami pendangkalan akibat sedimentasi sehingga diperlukan pengerukan yang tepat guna menjaga kedalaman operasional kapal. Salah satu tahapan penting dalam perencanaan ini adalah survei batimetri. Penelitian ini bertujuan memetakan kondisi batimetri, menghitung volume material kerukan, dan mengevaluasi kinerja USV HydroBoat 1200. Metode yang digunakan adalah survei batimetri menggunakan USV dilengkapi dengan single beam echosounder dan RTK-GNSS. Data yang diperoleh diolah menggunakan perangkat lunak Hydromagic Survey, ArcMap 10.8, dan AutoCAD Civil 3D. Survei batimetri dilakukan dengan USV yang dilengkapi single beam echosounder dan RTK-GNSS, lalu diolah menggunakan Hydromagic, ArcMap 10.8, dan AutoCAD Civil 3D. Hasil menunjukkan kedalaman eksisting belum memenuhi syarat operasional 5,5 m (LWS) dan membutuhkan pengerukan sebesar 62.833,13 m³. Dimensi kolam (100 x 100 m) serta alur sungai (50–100 m) dinilai layak untuk kapal ±82,3 x 16 m. Penggunaan USV terbukti efektif dengan akurasi tinggi, ditunjukkan oleh RMSE kalibrasi 0,043 m dan crossline 0,082 m, sehingga data batimetri dinyatakan akurat dan konsisten.

Kata Kunci: *kolam pelabuhan, batimetri, ibu kota nusantara, penajam paser utara, hydroboat 1200*

1. Pendahuluan

Pelabuhan memegang peranan krusial dalam mendukung aktivitas ekonomi suatu wilayah, terutama di daerah yang kaya akan sumber daya alam seperti Kabupaten Penajam Paser Utara. Sebagai gerbang utama distribusi barang dan jasa, pelabuhan yang efisien dan aman sangat penting untuk menjaga kelancaran rantai pasok serta mendorong pertumbuhan ekonomi. Kabupaten Penajam Paser Utara saat ini mendapat sorotan nasional karena ditetapkan sebagai bagian dari lokasi Ibu Kota Nusantara (IKN). Penetapan ini berdampak besar terhadap pembangunan infrastruktur dan peningkatan mobilitas barang, sehingga keberadaan pelabuhan yang andal menjadi sangat penting dalam mendukung kelancaran logistik. Namun, tingginya frekuensi kapal yang keluar masuk pelabuhan menimbulkan permasalahan sedimentasi. Endapan lumpur dan material sedimen yang terbawa arus dapat menumpuk di dasar kolam pelabuhan, sehingga kedalaman perairan berkurang secara bertahap [1].

Kondisi ini berpotensi mengganggu operasional kapal besar, menurunkan efisiensi distribusi barang, hingga meningkatkan biaya logistik. Oleh karena itu, kegiatan pengerukan menjadi langkah penting untuk menjaga kedalaman perairan tetap sesuai standar operasional Pelabuhan [2]. Pelabuhan PT Mineral Langgeng Megatama di Desa Bumi Harapan, Kecamatan Sepaku, Kabupaten Penajam Paser Utara, merupakan salah satu pelabuhan strategis dalam mendukung kegiatan bongkar muat material untuk pembangunan IKN. Karena masih dalam tahap pembangunan, pelabuhan ini membutuhkan studi kelayakan dan perencanaan yang matang, khususnya terkait kolam pelabuhan dan dermaga. Kapal tongkang berukuran besar saat ini mengalami kesulitan berlabuh akibat kedalaman kolam yang tidak memadai. Oleh sebab itu, pengerukan menjadi solusi penting agar kedalaman kolam sesuai kebutuhan operasional. Tahap awal dalam perencanaan pengerukan adalah melakukan survei batimetri. Survei batimetri memberikan data kedalaman dan topografi dasar perairan yang sangat penting untuk menentukan kebutuhan pengerukan [3].

Meski demikian, pelaksanaan survei batimetri di area kolam pelabuhan sering menghadapi tantangan teknis, terutama di wilayah dangkal atau dengan tingkat sedimentasi tinggi. Penggunaan kapal survei konvensional tidak selalu efektif karena keterbatasan akses dan tingginya biaya operasional. Untuk menjawab tantangan tersebut, teknologi Unmanned Surface Vehicle (USV) hadir sebagai alternatif metode survei yang lebih adaptif [4]. USV dapat menjangkau area sempit, dangkal, maupun berisiko dengan lebih efisien. Sensor akustik yang terpasang, seperti single beam maupun multibeam echosounder, memungkinkan pemetaan perairan dengan resolusi tinggi [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 pemeruman 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]. Sejumlah penelitian membuktikan efektivitas USV dalam survei batimetri di wilayah sungai, muara, dan danau [7].

Namun, penelitian yang secara langsung mengintegrasikan hasil survei batimetri berbasis USV dengan perencanaan pengerukan kolam pelabuhan masih terbatas, khususnya di Indonesia. Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini dilakukan untuk menjawab kebutuhan akan metode survei yang praktis, adaptif, dan terintegrasi dengan perencanaan pengerukan kolam pelabuhan. Penelitian ini mengambil studi kasus di Pelabuhan PT Mineral Langgeng Megatama, dengan tujuan menghasilkan peta batimetri rinci yang dapat menjadi acuan resmi dalam perencanaan pengerukan, sekaligus memperkenalkan standar baru survei perairan dangkal di lingkungan pelabuhan Indonesia.

Lokasi penelitian adalah di Kolam pelabuhan PT Mineral Langgeng Megatama, Desa Bumi Harapan, Kecamatan Sepaku, Kabupaten Penajam Paser Utara, Kalimantan Timur. Survei dilakukan di sepanjang area kolam pelabuhan dengan dengan *Area of Interest (AOI)* atau area tertentu yang menjadi fokus dalam analisis atau pengolahan data (area studi) ± 2 Hektar.

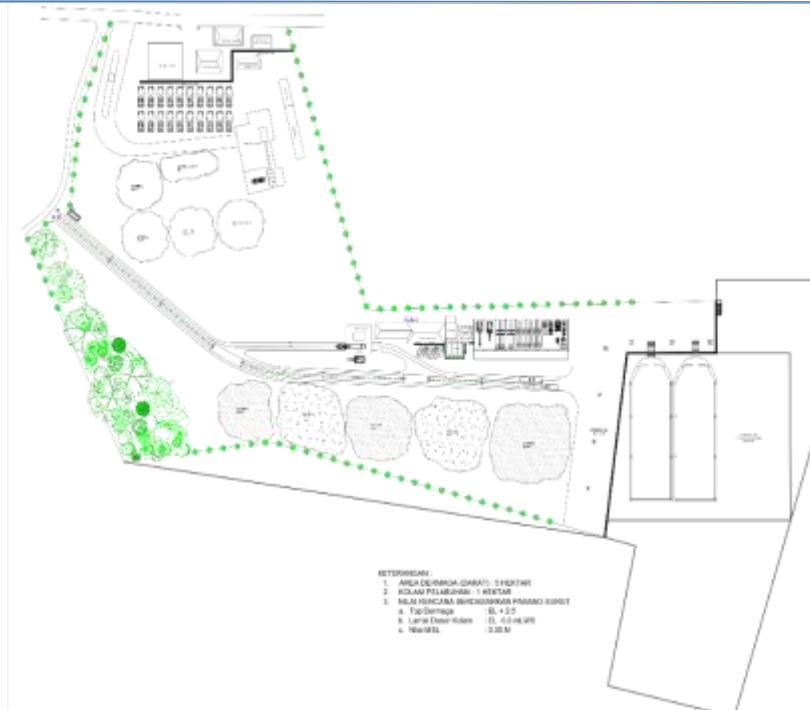
2. Metode Penelitian

Pendekatan Penelitian

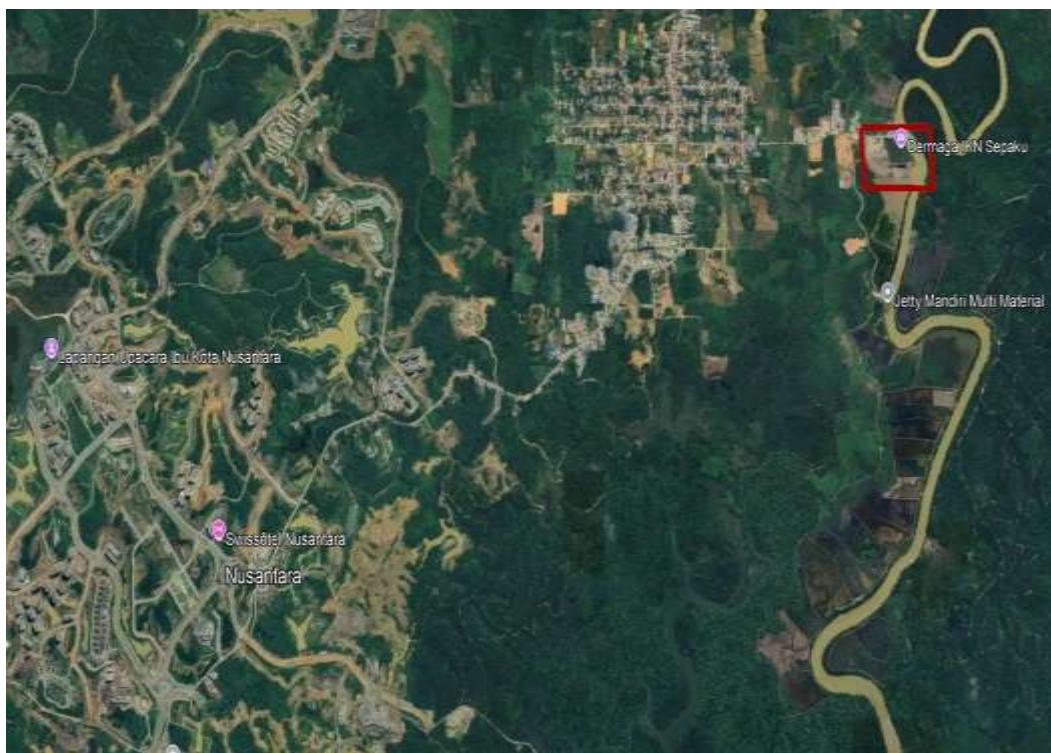
Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif deskriptif, yang bertujuan untuk memberikan gambaran secara numerik dan visual [8] mengenai kondisi eksisting dasar perairan kolam pelabuhan. Jenis penelitian yang digunakan adalah studi kasus, dengan fokus pada pelabuhan milik PT. Mineral Langgeng Megatama. Hasil penelitian ini 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 [9].

Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian adalah di Kolam pelabuhan PT Mineral Langgeng Megatama, Desa Bumi Harapan, Kecamatan Sepaku, Kabupaten Penajam Paser Utara, Kalimantan Timur. Survei dilakukan di sepanjang area kolam pelabuhan dengan dengan *Area of Interest (AOI)* atau area tertentu yang menjadi fokus dalam analisis atau pengolahan data (area studi) ± 2 Hektar.



Gambar 1. Site Plan Dermaga PTMLM



Gambar 2. Lokasi riset

Data yang digunakan

- 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 batimetri hasil akuisisi menggunakan USV HydroBoat 1200 Satlab yang dilengkapi EBES (Echo Bathymetric Echo Sounder) dan GPS RTK.
- 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 pelengkap dan digunakan untuk memperkuat hasil analisis penelitian [10]. Data tersebut meliputi: Site Plan

Pemilik Pelabuhan/Dermaga yakni Perusahaan PT. Mineral Langgeng Megatama, Data Topografi area dermaga (Darat), Foto udara Resolusi Tinggi, Data batas wilayah kolam pelabuhan dari pihak perusahaan.

Alat dan Bahan

1. Peralatan Survei
 - a. USV HydroBoat 1200 Satlab dilengkapi EBES (Echo Bathymetric Echo Sounder) dan GPS RTK (Real Time Kinematic).
 - b. GNSS/GPS RTK (Stonex) untuk Base Station.
 - c. Controller USV Tablet SLHydro.
 - d. Tab Surface untuk pengolahan data Hydromagic Survey.
 - e. Laptop Lenovo.
2. Perangkat Lunak Pengolahan
 - a. Hydromagic Survey untuk akuisisi dan pengolahan data batimetri.
 - b. ArcMap 10.8 untuk pemetaan kontur dan analisis geospasial.
 - c. AutoCAD Civil 3D untuk pengolahan profil penampang dan perhitungan Analisa estimasi volume pengerukan.
 - d. Ms. Word dan Ms. Excel untuk pelaporan.
3. Tahapan Persiapan
 - a. Pada tahap ini dilakukan identifikasi lokasi survei, persiapan logistik, serta kalibrasi alat USV Hydroboat 1200.
 - b. Dilakukan pemasangan rambu ukur pasang surut untuk pencatatan muka air laut selama 29 piantan.



Gambar 3. Pemasangan Rambu Pasang Surut

4. Tahap 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]. Pengumpulan data dilakukan melalui beberapa tahapan sebagai berikut:

- a. Pengamatan pasang surut 29 Piantan (30 Hari). Adapun data pasang surut yang diperoleh seperti Gambar 4 berikut.

Gambar 4: Data Pasang Surut 29 Piantan

- b. Data pengamatan diolah dengan metode Admiralty dan analisis harmonik pasang surut untuk memperoleh amplitudo serta konstanta utama, sebagaimana ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Nilai Referensi Basil 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

- c. Datum konservatif Lowest Water Spring (LWS) -170 cm digunakan untuk koreksi kedalaman batimetri dan elevasi dasar pengerukan guna menjamin keamanan pelayaran pada kondisi pasang surut ekstrem.
- d. Setelah melakukan pengamatan pasang surut, data batimetri dikoreksi dan divisualisasikan dalam peta kontur kedalaman sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Data hasil Survei Batimetri

No	Time	Easting	Northing	Tide Raw	Depth Raw	Depth Hws	Depth Lws	Elevation
1	4:15:06.600	472727.38	9894432.098	-0.496	5.728	8.624	4.524	-6.224
2	4:15:06.800	472727.386	9894432.095	-0.499	5.727	8.626	4.526	-6.226
3	4:15:07.000	472727.393	9894432.09	-0.501	5.727	8.628	4.528	-6.228
4	4:15:07.200	472727.402	9894432.087	-0.499	5.726	8.625	4.525	-6.225
5	4:15:07.400	472727.403	9894432.086	-0.497	5.726	8.623	4.523	-6.223
6	4:15:07.600	472727.396	9894432.086	-0.501	5.726	8.627	4.527	-6.227

No	Time	Easting	Northing	Tide Raw	Depth Raw	Depth Hws	Depth Lws	Elevation
7	4:15:07.800	472727.39	9894432.087	-0.499	5.726	8.625	4.525	-6.225
8	4:15:08.000	472727.388	9894432.087	-0.495	5.726	8.621	4.521	-6.221
9	4:15:08.200	472727.385	9894432.088	-0.495	5.726	8.621	4.521	-6.221
10	4:15:08.400	472727.38	9894432.088	-0.496	5.726	8.622	4.522	-6.222
11	4:15:08.600	472727.375	9894432.088	-0.498	5.726	8.624	4.524	-6.224
12	4:15:08.800	472727.375	9894432.091	-0.501	5.725	8.626	4.526	-6.226
13	4:15:09.000	472727.376	9894432.094	-0.499	5.725	8.624	4.524	-6.224
14	4:15:09.200	472727.375	9894432.096	-0.499	5.724	8.623	4.523	-6.223
15	4:15:09.400	472727.372	9894432.094	-0.498	5.724	8.622	4.522	-6.222

5. Tahap Pengolahan Data

- Data hasil survei batimetri yang masih berupa data mentah terlebih dahulu dikoreksi terhadap data pasut sehingga kedalaman yang diperoleh sesuai dengan datum mLWS.
- Selanjutnya dilakukan proses editing untuk menghilangkan data yang tidak valid (*spike*) dan interpolasi titik kedalaman menggunakan perangkat lunak ArcGIS.
- Dari hasil interpolasi ini kemudian dibuat peta batimetri yang merepresentasikan kondisi dasar perairan kolam pelabuhan.

6. Tahap Analisis Data

- Langkah awal Pada tahap ini ditentukan kedalaman rencana (*design depth*) berdasarkan kebutuhan operasional kapal.
- Selanjutnya Penentuan Ukuran Kolam dan Alur Putar Kapal
- Melakukan Perhitungan Volume dengan metode Cross Section dan Long Section

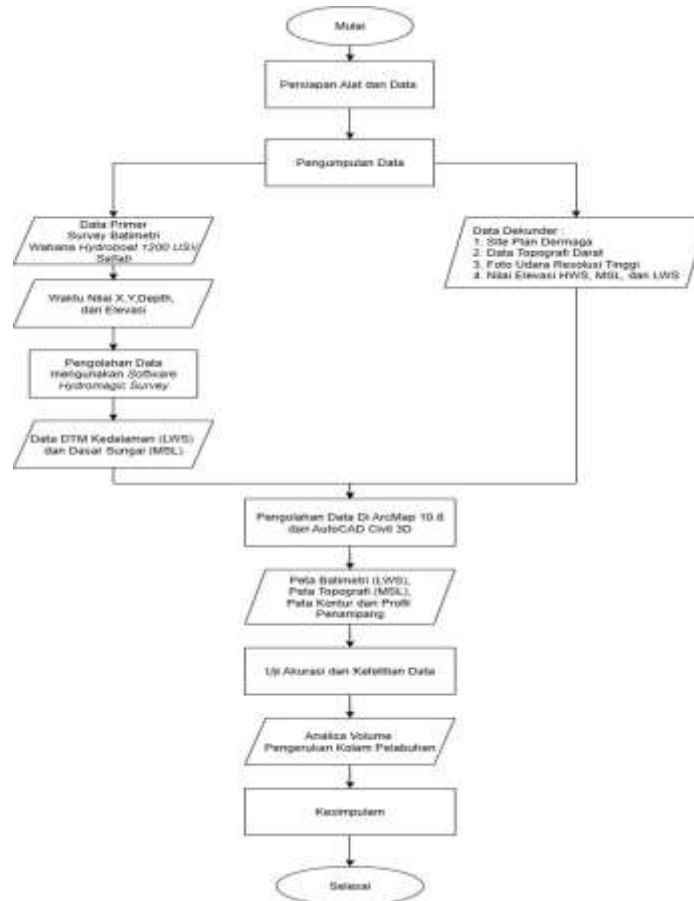
7. Tahap Validasi Data

Validasi hasil survei batimetri dilakukan dengan membandingkan nilai *Root Mean Square Error* (RMSE) terhadap standar akurasi yang ditetapkan oleh International Hydrographic Organization (IHO) S-44. Perhitungan RMSE digunakan untuk mengevaluasi tingkat ketelitian pengukuran kedalaman, sehingga dapat diketahui sejauh mana data memenuhi persyaratan kualitas. Apabila nilai RMSE masih berada dalam ambang batas toleransi sesuai standar, maka data batimetri dapat dinyatakan akurat, konsisten, dan layak dijadikan dasar dalam perencanaan pengerukan.



Gambar 5. Sebaran Lokasi Uji Crossline

Diagram Alir Penelitian



Gambar 6: Diagram Alir Penelitian

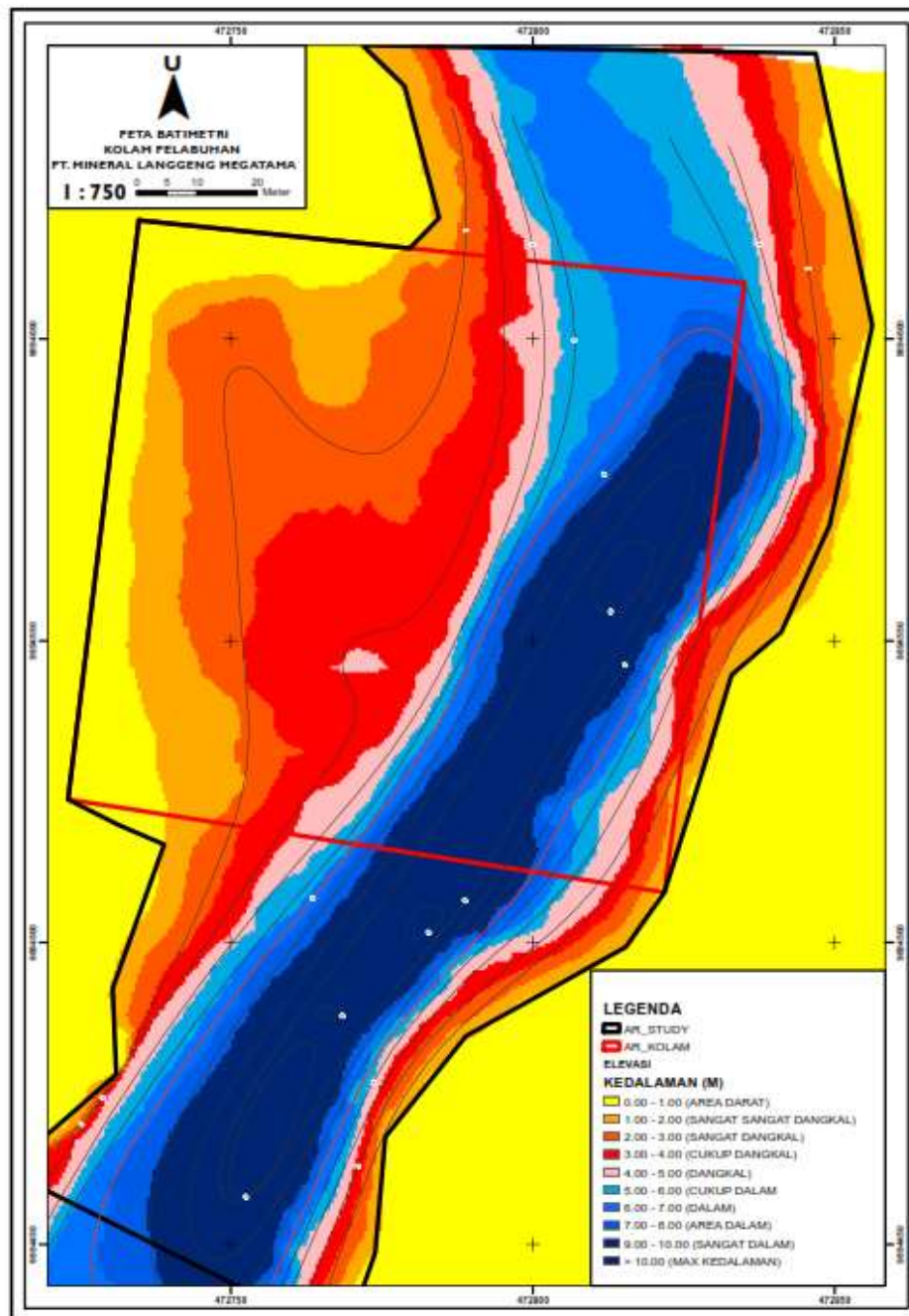
- Persiapan Alat dan Data:** Meliputi pengecekan dan kalibrasi USV HydroBoat 1200, penyiapan perlengkapan pasut, serta pengumpulan data sekunder (peta dasar, citra satelit, dan informasi teknis kapal).
- Penggumpulan Data:** Data primer diperoleh dari survei batimetri (koordinat, kedalaman, waktu), sedangkan data sekunder berupa topografi darat, elevasi muka air, dan peta dasar sebagai pendukung pengolahan.
- Pengolahan Data Batimetri:** Menggunakan Hydromagic Survey untuk koreksi pasut, pembersihan data error, interpolasi, dan menghasilkan Digital Terrain Model (DTM) kedalaman.
- Integrasi Data:** Pemrosesan lanjutan dengan ArcGIS untuk peta batimetri, kontur kedalaman, dan sebaran titik; serta AutoCAD Civil 3D untuk profil melintang, memanjang, dan dasar perhitungan volume pengerukan.
- Uji Akurasi Data:** Validasi dilakukan dengan metode Root Mean Square Error (RMSE) untuk memastikan kualitas data.

3. Hasil dan Pembahasan

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]. Survei batimetri 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. 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 [13]. Akurasi pengukuran sangat bergantung pada faktor-faktor seperti suhu air, salinitas, dan tekanan, karena semuanya memengaruhi kecepatan gelombang suara [14]. Hasil Survei batimetri menghasilkan 28.779 titik sounding yang diukur terhadap datum LWS dengan kedalaman

bervariasi dari -1,606 m hingga 9,470 m dan rata-rata 3,353 m. Jalur survei dirancang otomatis menggunakan USV dengan interval 2–5 m, menghasilkan data posisi (X,Y), waktu, dan kedalaman. Hasil interpolasi melalui ArcMap 10.8 membentuk peta batimetri yang menunjukkan sebagian besar area kolam memiliki kedalaman <4,0 m, sehingga belum memenuhi kebutuhan kapal tongkang dengan draft 3,5–4,0 m ditambah UKC 0,5 m.



Gambar 7. Peta Batimetri Kolam Pelabuhan PT MLM



Gambar 8. Peta Topografi Kontur Kolam Pelabuhan PT MLM

Hasil olahan data menunjukkan kedalaman kolam pelabuhan bervariasi antara 0,0 hingga >10,0 meter (LWS), dengan peta batimetri bertingkat yang diklasifikasikan ke dalam beberapa zona kedalaman sesuai legenda.

Tabel 3: Klasifikasi Zona Kedalaman

Kategori	Kedalaman (meter)	Keterangan Teknis
Area darat	0.00 – 1.00	Tidak dapat dilayari
Sangat sangat dangkal	1.00 – 2.00	Bahaya kandas, butuh pengerukan penuh
Sangat dangkal	2.00 – 3.00	Perlu pengerukan signifikan
Cukup dangkal	3.00 – 4.00	Masih belum layak
Dangkal	4.00 – 5.00	Hampir mendekati kedalaman rencana
Cukup dalam	5.00 – 6.00	Dapat dipertahankan dengan pengerukan ringan
Dalam–sangat dalam	6.00 – >10.00	Area potensial untuk operasi kapal langsung

Analisis Kolam Pelabuhan PT Mineral Langgeng Megatama

Perencanaan dimensi kolam dan alur masuk Pelabuhan PT Mineral Langgeng Megatama didasarkan pada kapal terbesar dengan panjang 82,3 m, draft 4,5 m, dan lebar 16 m. Kedalaman kolam ditetapkan 5,5 m LWS, panjang kolam 90,5–123,5 m (eksisting 100 m memenuhi syarat), lebar kolam 123,45–164,6 m (eksisting 100 m, direkomendasikan pelebaran), serta alur masuk 48–80 m dengan kedalaman sama 5,5 m LWS (eksisting 50–100 m layak). Perencanaan ini sesuai standar PIANC dan SNI, sehingga dinilai layak secara teknis dan operasional untuk mendukung kelancaran logistik kapal.

Kapal Rujukan:

- Kapal terbesar: panjang 270 kaki ($\pm 82,3$ m), draft 4,5 m, lebar 16 m.
- Tujuan: menjamin keamanan & kelancaran manuver kapal (sandar, bongkar muat, masuk-keluar).

Kedalaman Kolam

- Datum acuan: Lowest Water Spring (LWS).
- Perhitungan: Draft (4,5 m) + clearance (1,0 m) = 5,5 m LWS.
- Elevasi dasar kolam ditetapkan -5,5 m LWS.

Dimensi Kolam Pelabuhan (mengacu PIANC 2014 & SNI 03-2834-2002)

Panjang Kolam: $1,1 - 1,5 \times \text{LOA} \rightarrow 90,5 - 123,5$ m.

- Kondisi eksisting PT MLM: 100 m \rightarrow memenuhi syarat.

Lebar Kolam (Turning Basin): $1,5 - 2 \times \text{LOA} \rightarrow 123,45 - 164,6$ m.

- Kondisi eksisting PT MLM: 100 m \rightarrow direkomendasikan pelebaran agar sesuai standar.

Alur Masuk (Approach Channel)

- Kedalaman: sama dengan kolam, 5,5 m LWS.
- Lebar: $3 - 5 \times$ lebar kapal (beam) $\rightarrow 48 - 80$ m.
 - Kondisi di Sungai Sepaku: 50 - 100 m \rightarrow dinilai layak.

Kesimpulan Teknis

- Perencanaan sesuai standar internasional (PIANC) & nasional (SNI).
- Dimensi menjamin keamanan, efisiensi manuver, serta adaptif dengan kondisi Sungai Sepaku.
- Secara teknis & operasional \rightarrow layak untuk mendukung kegiatan logistik kapal.

Analisis Perencanaan Pengerukan Kolam Pelabuhan

Berdasarkan analisis batimetri, kedalaman rencana pelabuhan ditetapkan 5,50 m dari LWS. Volume pengerukan dihitung dengan metode Cross Section dan Long Section menggunakan AutoCAD Civil 3D, yang dianggap akurat dalam membandingkan dasar eksisting dengan rencana. Hasil perhitungan menunjukkan estimasi volume pengerukan sebesar 62.833,13 m³ sebagai rekomendasi pekerjaan pengerukan.

Tabel 4 : Perhitungan Estimasi Volume

Perhitungan Estimasi Volume						
NO	STA	CUT (Pengerukan)				KET.
		Luas Area	Rata - Rata	Jarak	Volume	
		(m ²)	(m ²)	(m)	(m ³)	
	a	b	c	d	e	f
1	SECTION A	253.370	-	-	-	
2	SECTION B	534.460	393.915	25.00	9,847.88	
3	SECTION C	381.610	458.035	25.00	11,450.88	
4	SECTION D	314.390	348.000	25.00	8,700.00	
5	SECTION E	340.200	327.295	25.00	8,182.38	
6	SECTION F	299.000	319.600	25.00	7,990.00	
7	SECTION G	277.770	288.385	25.00	7,209.63	
8	SECTION H	232.710	255.240	25.00	6,381.00	
9	SECTION I	13.000	122.855	25.00	3,071.38	
Total					62,833.13	

Validasi dan Uji Akurasi Data



Gambar 9. Peta Topografi Kontur Kolam Pelabuhan PT MLM

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 [15]. Validasi dan uji akurasi batimetri dengan USV HydroBoat 1200 dilakukan melalui kalibrasi kedalaman dan crossline check. Hasil kalibrasi menunjukkan selisih maksimal $\pm 0,043$ m, sedangkan uji crossline menghasilkan RMSE 0,082 m, masih di bawah toleransi IHO S-44 (0,251 m). Validasi dilakukan dengan dua pendekatan, yaitu pengujian akurasi lintas jalur menggunakan metode titik persilangan (*crossline*). Pada Tabel 6.

- Kalibrasi kedalaman sebelum dan sesudah survei, dapat dilihat pada Tabel 5
- Pengujian akurasi lintas jalur menggunakan metode titik persilangan (*crossline*) pada Tabel 6.

Tabel 5. Uji akurasi Kedalaman/kalibrasi kedalaman

Kode	ZA	ZB	Selisih	Selisih ²
Awal	-1.755	-1.803	0.048	0.002
Akhir	-1.789	-1.752	-0.037	0.001
			0.006	0.043
Mean Error (ME)				0.006
Root Mean Square Error (RMSE)				0.043

Selain kalibrasi, dilakukan juga uji akurasi secara spasial melalui pendekatan *crossline check*, yaitu membandingkan data kedalaman pada titik-titik persilangan antara lintasan survei memanjang dan melintang. Metode ini bertujuan untuk menilai konsistensi data pada lintasan berbeda arah. Hasil pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil Uji Akurasi Crossline

Kode	X	Y	Za	Zb	Selisih	Selisih ²
A1	472814.735	9894645.958	-5.763	-5.769	0.006	0.000
A2	472766.323	9894604.808	-1.438	-1.406	-0.032	0.001
A3	472783.971	9894601.139	-2.166	-2.226	0.060	0.004
A4	472809.025	9894596.985	-5.747	-5.762	0.015	0.000
A5	472836.900	9894592.627	-7.34	-7.388	0.048	0.002
A6	472746.867	9894571.065	-2.459	-2.49	0.031	0.001
A7	472763.341	9894566.958	-3.231	-3.257	0.026	0.001
A8	472794.588	9894559.401	-6.837	-6.643	-0.194	0.038
A9	472823.866	9894554.761	-7.534	-7.49	-0.044	0.002
A10	472750.321	9894529.889	-1.924	-2.014	0.090	0.008
A11	472761.992	9894526.218	-3.684	-3.771	0.087	0.008
A12	472774.925	9894522.410	-6.219	-6.108	-0.111	0.012
A13	472803.547	9894514.809	-7.193	-7.289	0.096	0.009
A14	472740.006	9894453.418	-8.489	-8.583	0.094	0.009
					0.012	0.082
Mean Error (Me)					0.012	
Root Mean Square Error (Rmse)					0.082	

Hal ini membuktikan data kedalaman akurat, konsisten, dan memenuhi standar internasional. Teknologi USV terbukti efektif, lebih cepat, dan konsisten dibanding metode konvensional. Estimasi margin kesalahan volume pengerukan akibat deviasi kedalaman $\pm 0,082$ m berada pada kisaran 58–1.640 m³ (AOI ± 2 ha), sesuai dengan SNI 7661:2010 dan literatur. Data ini valid dan layak digunakan sebagai dasar perencanaan teknis pengerukan kolam pelabuhan. 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]

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil survei, pengolahan data, serta analisis perencanaan pengerukan kolam pelabuhan PT Mineral Langgeng Megatama di Desa Bumi Harapan, Kecamatan Sepaku, Kabupaten Penajam Paser Utara, diperoleh beberapa kesimpulan penting. Kondisi batimetri eksisting menunjukkan bahwa kedalaman kolam pelabuhan bervariasi antara 0,5 mLWS hingga 10,0 mLWS, dengan kedalaman rata-rata 3,353 mLWS terhadap datum Lowest Water Spring (LWS). Kedalaman tersebut belum memenuhi kebutuhan draft kapal tongkang sebesar 3,5–4,5 meter ditambah dengan Under Keel Clearance (UKC) 0,5 meter, sehingga pengerukan menjadi kebutuhan mendesak. Hasil perhitungan menggunakan metode TIN Surface Difference pada AutoCAD Civil 3D memperlihatkan bahwa volume material yang harus dikeruk mencapai $\pm 62.833,13$ m³. Volume ini diperlukan agar kedalaman kolam pelabuhan mencapai 5,5 mLWS, sesuai dengan standar SNI 7661:2010 dan pedoman desain pelabuhan PIANC (2014). Estimasi volume tersebut memiliki ketidakpastian akibat error vertikal data batimetri.

Dengan nilai RMSE sebesar 0,082 meter, margin kesalahan perhitungan volume berada dalam kisaran 58 m³ hingga 1.640 m³, yang jauh lebih kecil dibandingkan total volume pengerukan. Hal ini menunjukkan bahwa margin error relatif kecil, yakni di bawah 5%, sehingga hasil perhitungan dapat diandalkan. Selain itu, validasi data batimetri menunjukkan nilai RMSE sebesar 0,082 meter, sedangkan batas toleransi akurasi berdasarkan standar IHO S-44 Special Order pada kedalaman rata-rata 3,353 meter adalah 0,251 meter. Dengan demikian, data hasil survei memenuhi standar akurasi internasional dan dapat dijadikan dasar yang kuat dalam perencanaan pengerukan kolam pelabuhan.

5. Saran

Berdasarkan hasil penelitian, disarankan agar perusahaan segera melakukan pengerukan pada area dengan kedalaman kurang dari tiga meter sesuai zonasi prioritas, serta melaksanakan survei batimetri secara berkala untuk memantau sedimentasi ulang. Penggunaan teknologi USV Satlab HydroBoat 1200 terbukti

efektif dan layak diterapkan pada survei perairan serupa. Selain itu, pengembangan dimensi kolam dan alur pelabuhan perlu dipertimbangkan guna mengantisipasi peningkatan aktivitas logistik di masa depan. Setiap kegiatan pengerukan maupun pengembangan harus tetap berkoordinasi dengan instansi terkait agar sesuai regulasi dan berwawasan lingkungan. Untuk penelitian lanjutan, dianjurkan mengintegrasikan kajian hidrooseanografi, terutama terkait pasang surut, arus, dan dinamika sedimen, guna mendukung keberlanjutan dan efisiensi pengerukan jangka panjang.

6. Referensi

- [1] S. M. Ayu, A. A. D. S. P, P. Subardjo, S. Widada, and P. Purwanto, “Pengukuran Batimetri Untuk Perencanaan Pengerukan Kolam Pelabuhan Peti Kemas Belawan Sumatera Utara,” *Indonesian Journal of Oceanography*, vol. 2, no. 3, pp. 210–224, Oct. 2020, doi: 10.14710/ijoce.v2i3.8154.
- [2] R. Z. Al Wahida, “Pemetaan Batimetri Kolam Dan Alur Pelayaran Di Pelabuhan Tanjung Emas Semarang,” Skripsi, Universitas Brawijaya, 2017. Accessed: Sept. 06, 2025. [Online]. Available: <https://repository.ub.ac.id/id/eprint/135939/>
- [3] O. Ferriska, “Survei Batimetri Di Perairan Dangkal Dengan Menggunakan Wahana Usv (Unmanned Surface Vehicle),” Tugas Akhir, Departemen Teknik Geomatika, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember., Surabaya, 2017.
- [4] 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.
- [5] H. Mousazadeh *et al.*, “Developing a navigation, guidance and obstacle avoidance algorithm for an Unmanned Surface Vehicle (USV) by algorithms fusion,” *Ocean Engineering*, vol. 159, no. 0, July 2018, Accessed: Sept. 06, 2025. [Online]. Available: <https://trid.trb.org/View/1513088>
- [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,” *Jurnal Hidropilar*, vol. 8, no. 1, pp. 1–14, July 2022, doi: 10.37875/hidropilar.v8i1.230.
- [7] Bio, A., et al. "Combining low-cost sonar and high-precision global navigation satellite system for shallow water bathymetry." *Estuaries and Coasts* 45.4 (2022): 1000-1011.
- [8] E. Ardyan *et al.*, *Metode Penelitian Kualitatif Dan Kuantitatif : Pendekatan Metode Kualitatif dan Kuantitatif di Berbagai Bidang*. PT. Sonpedia Publishing Indonesia, 2023.
- [9] F. Irina, *Metode Penelitian Terapan*. Parama Ilmu, 2018. Accessed: Sept. 05, 2025. [Online]. Available: <https://repositori.telkomuniversity.ac.id/pustaka/143081/metode-penelitian-terapan.html>
- [10] U. Sulung and M. Muspawi, “Memahami Sumber Data Penelitian : Primer, Sekunder, dan Tersier,” *Edu Research*, 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] 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,” *Jurnal Kelautan Nasional*, vol. 19, no. 1, Art. no. 1, Mar. 2024, doi: 10.15578/jkn.v19i1.13381.
- [14] 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&oi=scholar>
- [15] 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 Sensing*, vol. 12, no. 16, p. 2585, Jan. 2020, doi: 10.3390/rs12162585.