



ITS

Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - RG141536

**ANALISIS KEDALAMAN SUNGAI UNTUK ALUR PELAYARAN
KAPAL BATU BARA MENGGUNAKAN MULTIBEAM
ECHOSOUNDER (STUDI KASUS : SUNGAI MAHAKAM,
KALIMANTAN TIMUR**

AHMAD AYYASH ISLAMI
NRP 033114 4000 0083

Dosen Pembimbing
Ir. Yuwono, S.T.,M.T.
Dr. Eko Yuli Handoko, S.T.,M.T.

DEPARTEMEN TEKNIK GEOMATIKA
Fakultas Teknik Sipil Lingkungan dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018



TUGAS AKHIR - RG141536

**ANALISIS KEDALAMAN SUNGAI UNTUK ALUR PELAYARAN
KAPAL BATU BARA MENGGUNAKAN MULTIBEAM
ECHOSOUNDER (STUDI KASUS : SUNGAI MAHAKAM,
KALIMANTAN TIMUR**

AHMAD AYYASH ISLAMI
NRP 033114 4000 0083

Dosen Pembimbing
Ir. Yuwono, S.T.,M.T.
Dr. Eko Yuli Handoko, S.T.,M.T.

DEPARTEMEN TEKNIK GEOMATIKA
Fakultas Teknik Sipil Lingkungan dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



FINAL ASSIGNMENT - RG141536

**SHIPPING LINE DEPTH ANALYSIS FOR BULK CARRIERS
(CASE STUDY: MAHAKAM RIVER, EAST KALIMANTAN)**

AHMAD AYYASH ISLAMI
NRP 033114 4000 0083

Supervisor
Ir. Yuwono, S.T.,M.T.
Dr. Eko Yuli Handoko, S.T.,M.T.

GEOMATICS ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Civil, Environmental and Geoengineering
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

ANALISIS KEDALAMAN SUNGAI UNTUK ALUR
PELAYARAN KAPAL BATU BARA MENGGUNAKAN
MULTIBEAM ECHOSOUNDER (STUDI KASUS : SUNGAI
MAHAKAM, KALIMANTAN TIMUR)

Nama Mahasiswa : Ahmad Ayyash Islami
NRP : 03311440000083
Jurusan : Teknik Geomatika FTSLK-ITS
Pembimbing : Ir. Yuwono, M.T.
Dr. Eko Yuli Handoko, S.T., M.T.

ABSTRAK

Kalimantan merupakan salah satu daerah penghasil tambang batu bara terbesar di Indonesia. Dengan hasil tambang yang melimpah, perusahaan tambang di Kalimantan membutuhkan media transportasi yang dapat mencakup sebagian besar daerah pertambangan. Media transportasi yang sering digunakan di Kalimantan adalah media transportasi air Sungai Mahakam. Sungai Mahakam merupakan media transportasi air utama yang digunakan untuk menghubungkan daerah yang tidak dapat dilalui melalui jalur darat di Kalimantan. Untuk mendapatkan transportasi yang aman haruslah dibuat alur pelayaran. Alur pelayaran dibuat dari survei batimetri menggunakan menggunakan Multibeam Echosounder.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk memberikan alur pelayaran yang aman bagi kapal untuk melintas Daerah Aliran Sungai Sungai Mahakam. Data batimetri yang didapat dari survei akan dibuat alur pelayarannya dengan spesifikasi Standar Nasional Indonesia dan spesifikasi dari dimensi kapal. Data yang digunakan adalah data batimetri dari PT.Seascope Surveys Indonesia. Data batimetri dikoreksi dengan parameter-parameter kesalahan survei terdiri dari koreksi pasang surut, Sound Velocity Profiler , gradien dan patch test. Kedalaman dari data

batimetri mempunyai referensi terhadap EGM96 saat pengambilan data dan Lowest Low Water Level dengan referensi EGM08 saat penyajian peta.

Dari analisa peta batimetri Sungai Mahakam, didapatkan peta batimetri dari Sungai Mahakam dan alur pelayaran yang direkomendasikan oleh kapal Katingan dan kapal Straits Pheonix.

Kata Kunci— Sungai Mahakam, Survei Batimetri, Multibeam Echosounder, Alur Pelayaran, Gradien

**SHIPPING LINE DEPTH ANALYSIS FOR BULK
CARRIERS (CASE STUDY: MAHAKAM RIVER, EAST
KALIMANTAN)**

Student : Ahmad Ayyash Islami
NRP : 03311440000083
Departement : Geomatics Engineering-Faculty of
Civil, Environmental and Geo
Engineering ITS
Advisor : Ir. Yuwono, M.T.
Dr. Eko Yuli Handoko, S.T., M.T.

ABSTRACT

Kalimantan is one of the largest coal producing regions in Indonesia. This island has abundant mining products which make mining companies in Kalimantan need transportation mode in which covers most of the mining areas. Water transportation is the answer that mining company need to transport mining products such as coal product. The Mahakam River is the main water transportation medium used to connect areas that can not be traversed by land in Kalimantan. In order to prompt a safe transportation, a shipping line must be developed carefully. The shipping line is made based on bathymetric survey using a Multibeam Echosounder.

The purpose of this study is to provide a safe shipping line along Mahakam River. Route were made based on bathymetric data. The shipping line is based on Indonesia national standard and vessel dimension. The data used in this research is provided by PT. Seascope Surveys Indonesia. Bathymetric data were corrected with tidal correction, sounds speed, water surface gradient and patch test. The depth during data acquisition refer to EGM96 however vertical reference in this research is EGM08, thus a vertical transformation datum was performed to achieve the corrected depth. The result shows the recommendation route for Katingan and Straits Phoenix bulk carriers.

**Keywords - Mahakam River, Batimetric Survey,
Multibeam Echosounder, Shipping Line, Gradient**

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS KEDALAMAN SUNGAI UNTUK ALUR PELAYARAN KAPAL BATU BARA MENGUNAKAN MULTIBEAM ECHSOSOUNDER (STUDI KASUS : SUNGAI MAHAKAM, KALIMANTAN TIMUR)

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada

Program Studi S-1 Departemen Teknik Geomatika
Fakultas Teknik Sipil Lingkungan dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

AHMAD AYYASH ISLAMI

NRP. 0331144000083

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:

Ir. Yuwono, M.T.

NIP. 19590124 198502 1 001

(*Yuwono*)

Dr. Eko Yuli Handoko, S.T., M.T.

NIP. 19740727 200003 1 001

(*Eko Yuli Handoko*)



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT atas limpahan hidayah dan rahmat-Nya, penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini yang berjudul “Analisis Kedalaman Sungai untuk Alur Pelayaran Kapal Batu Bara Menggunakan *Multibeam Echosounder* (Studi Kasus : Sungai Mahakam, Kalimantan Timur)” dengan baik.

Dalam pelaksanaan penelitian Tugas Akhir ini, banyak pihak yang memberikan bantuan dan dukungan kepada penulis baik dukungan materil maupun moral sehingga penelitian Tugas Akhir ini dapat terselesaikan dengan baik. Oleh karena itu, dalam laporan Tugas Akhir ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Kedua orang tua penulis atas doa, dukungan dan pengorbanan yang telah diberikan kepada penulis.
2. Bapak Mokhammad Nur Cahyadi, S.T., M.Sc., Ph.D., selaku Ketua Jurusan Teknik Geomatika ITS.
3. Bapak Ir. Yuwono, M.T selaku dosen pembimbing pertama penulis.
4. Bapak Dr. Eko Yuli Handoko, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing kedua penulis.
5. Bapak Dinar Guruh Pratomo, S.T., M.T., Ph.D dan bapak Khomsin, S.T., M.T. selaku dosen penguji Tugas Akhir penulis sehingga penelitian ini dapat disempurnakan menjadi lebih baik.
6. Bapak Dharu selaku penanggung jawab selama penulis mengolah data di Seascope Surveys Indonesia.
7. Mbak Intan, Mbak Bernie dan Mr. Noel Mikasen selaku pembimbing penulis selama mengolah data di Seascope Surveys Indonesia.

8. Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Teknik Geomatika ITS atas bimbingan dan ilmu yang telah diberikan selama ini kepada penulis.
9. Bapak dan Ibu karyawan dan staf Jurusan Teknik Geomatika ITS yang telah membantu kelancaran proses akademis.
10. Seluruh karyawan P.T Seascope Surveys Indonesia.
11. Teman satu jurusan saya Teknik Geomatika ITS angkatan 2014.
12. Teman-teman lab Geomarin yang membantu penulis dalam mengerjakan proses akhir penelitian
13. Serta semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan.

Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam penulisan Tugas Akhir ini. Karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran untuk memperbaiki penelitian Tugas Akhir ini agar menjadi lebih baik. Semoga laporan ini dapat bermanfaat untuk semua pihak, khususnya untuk mahasiswa Jurusan Teknik Geomatika Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Surabaya, Juli 2018

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vii
LEMBAR PENGESAHAN.....	ix
KATA PENGANTAR.....	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL	xix
DAFTAR LAMPIRAN	xxii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Tugas Akhir.....	4
1.5 Manfaat Tugas Akhir.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Survei Hidrografi.....	5
2.2 Daerah Aliran Sungai	5
2.3 Survei Batimetri	7
2.4 <i>Echosounder</i>	9

2.4.1	Multibeam Echosounder.....	9
2.4.2	<i>Singlebeam Echosounder</i>	11
2.5	<i>Sound Velocity Profiler</i>	14
2.6	Pasang Surut Sungai.....	14
2.7	Chart Datum Sungai	15
2.8	Gradien	17
2.9	Spesifikasi Alur Pelayaran	19
2.9.1	Spesifikasi Kapal Batu Bara.....	19
2.9.2	Spesifikasi Kedalaman Alur Pelayaran	21
2.9.3	Spesifikasi Lebar Alur Pelayaran	22
2.10	Kalibrasi Multibeam Echosounder	23
2.10.1	<i>Pitch</i>	23
2.10.2	<i>Roll</i>	24
2.10.3	Heading	26
2.10.4	<i>Time Delay</i>	28
2.11	Model Geoid.....	29
2.12	Klasifikasi Survei Hidrografi Menurut IHO.....	31
2.13	Ketelitian Survei Hidrografi Menurut IHO	32
2.14	Penelitian Sebelumnya	33
BAB III METODOLOGI		35
3.1	Lokasi Penelitian	35
3.2	Data dan Peralatan.....	35
3.2.1	Data	35
3.2.2	Peralatan	36

3.3	Metodologi Penelitian	36
3.3.1	Tahap Pelaksanaan Penelitian	36
3.3.2	Tahap Pengolahan Data.....	41
BAB IV HASIL DAN ANALISA.....		44
4.1	Data	45
4.1.1	Pasang Surut Sungai	46
4.1.2	Gradien	51
4.1.3	MBES	53
4.1.4	Pembuatan Alur Pelayaran	59
4.2	Analisa dan Hasil.....	64
4.2.1	Analisa Alur Pelayaran.....	64
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		71
5.1	Kesimpulan.....	71
5.2	Saran.....	73
DAFTAR PUSTAKA.....		75
LAMPIRAN		78
BIODATA PENULIS.....		111

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Geometri Gelombang Pantul Transducer	8
Gambar 2.2 Ukuran Jejak MBES versus swath	10
Gambar 2.3 Instrumen dalam pengukuran SVP	14
Gambar 2.4 Gradien	18
Gambar 2.5 Skema penentuan kedalaman alur pelayaran	21
Gambar 2.6 Lebar alur pelayaran satu arah.....	22
Gambar 2.7 Pitch.....	23
Gambar 2.8 Pitch error	24
Gambar 2.9 Koreksi pitch	24
Gambar 2.10 Roll	25
Gambar 2.11 Roll error	25
Gambar 2.12 Koreksi roll.....	26
Gambar 2.13 Heading.....	27
Gambar 2.14 Heading error.....	28
Gambar 2.15 Koreksi heading.....	28
Gambar 2.16 Time delay error	29
Gambar 2.17 Koreksi time delay.....	29
Gambar 2.18 Geoid dan elipsoid referensi	30
Gambar 3.1 Lokasi Penelitian	35
Gambar 3.2 Diagram Alir Pelaksanaan Penelitian Bagian Pertama.....	37
Gambar 3.3 Diagram Alir Pelaksanaan Penelitian Bagian Kedua.....	38
Gambar 3.4 Diagram Alir Pelaksanaan Penelitian Bagian Ketiga	39

Gambar 4.1 Lokasi Stasiun TSA Jetty, Sungai Mahakam Kalimantan Timur	46
Gambar 4.2 Pengukuran GPS pada BM JT25	47
Gambar 4.3 Perbedaan Tinggi BM Terhadap Rambu Pasut	48
Gambar 4.4 Pasang Surut TSA Jetty Selama 10 Tahun	50
Gambar 4.5 Pengukuran Gradien	52
Gambar 4.6 Grafik Gradien Sungai Mahakam.....	52
Gambar 4.7 Spike	54
Gambar 4.8 Perhitungan Patch Test	55
Gambar 4.9 DTM Setelah Dinaikkan.....	56
Gambar 4.10 Software Model EGM08	57
Gambar 4.11 Perbedaan Topografi EGM96 dan EGM08	58
Gambar 4.12 Import Data.....	63
Gambar 4.13 Alur Kapal Katingan SNI KP 0 – KP 4	64
Gambar 4.14 Alur Kapal Katingan SNI KP 4 – KP 6.....	65
Gambar 4.15 Alur Kapal Straits Phoenix SNI KP 0 – KP 4	66
Gambar 4.16 Alur Kapal Katingan tidak SNI KP 0 – KP 4	67
Gambar 4.17 Alur Kapal Katingan tidak SNI KP 4 – KP 6	68
Gambar 4.18 Alur Kapal Straits Phoenix tidak SNI KP 0 – KP 4	69
Gambar 4.19 Alur Kapal Straits Phoenix tidak SNI KP 4 – KP 6	70

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Spesifikasi MBES R2Sonic 2024.....	11
Tabel 2.2 Spesifikasi SBES Odom Echotrack MK3	12
Tabel 2.3 Perbedaan SBES dan MBES	13
Tabel 2.4 Spesifikasi Kapal Barang	20
Tabel 2.5 Klasifikasi daerah survei hidrografi	31
Tabel 2.6 Ketelitian pengukuran survei hidrografi.....	32
Tabel 2.7 Perbandingan Penelitian ini dengan Penelitian Sebelumnya.....	33
Tabel 4.1 Hasil Analisa Water Level TSA Jetty	51
Tabel 4.2 Nilai Gradien	53
Tabel 4.3 Spesifikasi Kapal Barang	60

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1. Tabel Konversi Geoid Daerah KP
- Lampiran 2. Tabel Perhitungan Ketelitian
- Lampiran 3. Peta Batimetri Sungai Mahakam
- Lampiran 4. Peta Alur Pelayaran Katingan SNI
- Lampiran 5. Peta Alur Pelayaran Katingan Spesifikasi Kapal
- Lampiran 6. Peta Alur Pelayaran Straits Phoenix SNI
- Lampiran 7. Peta Alur Pelayaran Straits Phoenix Spesifikasi Kapal
- Lampiran 8. Pengolahan data MBES

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Survei hidrografi menurut *International Hydrographic Organization (IHO)* adalah *the branch of applied sciences which deals with the measurement and description of the physical features of oceans, seas, coastal areas, lakes and rivers, as well as with the prediction of their change over time, for the primary purpose of safety of navigation and in support of all other marine activities, including economic development, security and defence, scientific research, and environmental protection (IHO 2008).*

Dalam survei hidrografi digunakan sistem akustik. Sistem akustik sangat efektif untuk mengeksplorasi kenampakan bawah laut. *The basic principle of sonar is to use sound to detect or locate objects, typically in the ocean.* Saat ini teknologi yang berperan dalam survei hidrografi adalah *Multibeam Sonar. Multibeam echo sounders, like other sonar systems, emit sound waves in the shape of a fan from directly beneath a ship's hull. These systems measure and record the time it takes for the acoustic signal to travel from the transmitter (transducer) to the seafloor (or object) and back to the receiver.* (National Oceanic and Atmosphere Administration 2017). *Multibeam echosounder* sangat efektif untuk survei kedalaman dikarenakan hasil yang diberikan cukup akurat. Peran *multibeam echosounder* cukup besar dalam penentuan alur pelayaran dikarenakan data utama yang dibutuhkan dalam pembuatan alur pelayaran adalah data kedalaman (*depth*).

Salah satu bagian dari survei hidrografi adalah survei alur pelayaran. Alur pelayaran sangatlah dibutuhkan untuk memberikan informasi alur (*line*) yang aman untuk dilewati oleh kapal. Dengan adanya alur ini, kemungkinan kapal karam

dikarenakan membentur seabed dapat dikurangi secara signifikan. Penentuan alur kapal tidak hanya dilakukan di perairan laut, namun juga dilakukan di sungai yang mempunyai peran penting dalam perputaran ekonomi Indonesia. Salah satu sungai tersebut adalah Sungai Mahakam.

Sungai Mahakam merupakan sungai terpanjang kedua di Kalimantan dan Indonesia dengan panjang 920 km. Sungai Mahakam mempunyai peran penting dalam perekonomian masyarakat Kalimantan, sungai ini digunakan sebagai alur transportasi utama di Kalimantan jika belum tersedia akses transportasi darat, hingga sekarang masih ada 100 kelotok hilir-mudik di perairan sungai mahakam (Dinas Perhubungan Samarinda 2016). Salah satu peran Sungai Mahakam sebagai alur transportasi adalah sebagai media pengiriman hasil tambang batu bara perusahaan tambang di Kalimantan.

Kalimantan merupakan salah satu penghasil tambang batu bara terbesar di Indonesia, hal ini dilihat dari Izin Usaha Pertambangan (IUP) luas area tambang batu bara yang cenderung meningkat setiap tahunnya. Dalam Provinsi Kalimantan Timur saja, tercatat 221 IUP dengan 803.855 ha luas area tambang batu bara pada tahun 2014, 219 IUP dengan 792.596 ha pada tahun 2015 dan 246 IUP dengan 944.043 ha pada tahun 2016 (Badan Pusat Statistik Provinsi Kalimantan Tengah 2017). Dengan hasil tambang batu bara yang melimpah digunakan sungai mahakam sebagai alur transportasi utama untuk mengirim hasil tambang batu bara dari satu lokasi menuju lokasi lainnya.

Dengan dibuatnya alur pelayaran Sungai Mahakam akan memudahkan navigasi kapal pengangkut batu bara untuk mencari alur pelayaran yang aman. Hal ini akan mengurangi tingkat kecelakaan lalu lintas air di Sungai Mahakam.

1.2 Rumusan Masalah

Dalam penelitian ini yang menjadi dasar permasalahan adalah bagaimana cara kita mengetahui alur yang aman untuk

dilewati kapal batu bara agar tidak terbentur dengan *riverbed*. Untuk mengetahui hal tersebut, diperlukan parameter yang tepat untuk memberikan informasi *navigability* dari alur Sungai Mahakam yang akan dilewati. Dari pernyataan diatas dapat diambil rumusan masalah sebagai berikut :

- 1) Parameter-parameter apa saja yang diperlukan untuk memberikan informasi alur pelayaran dari Sungai Mahakam?
- 2) Bagaimana alur pelayaran yang cocok untuk kapal batu bara di Sungai Mahakam?

1.3 Batasan Masalah

Agar pokok bahasan penelitian ini tidak terlalu melebar, maka dibuat batasan masalah. Batasan masalah tersebut adalah sebagai berikut :

1. Alat yang digunakan adalah *Multibeam Echosounder R2Sonic 2024* dan *Singlebeam Echosounder Odhom Echotrack MK3*.
2. Penentuan alur pelayaran dibagi menjadi dua, alur pertama sesuai dengan spesifikasi perencanaan pelabuhan (Kramadibrata 2002) untuk kedalaman dan koridor di sepanjang Sungai Mahakam dan alur kedua sesuai dengan spesifikasi kapal secara mentah.
3. Alur pelayaran yang digunakan mempunyai tipe satu alur pelayaran.
4. Wilayah penelitian adalah tengah Sungai Mahakam, Kalimantan Timur dengan cakupan area 6 km x 0.15 km. Koordinat tidak disebutkan dikarenakan data yang digunakan bersifat rahasia perusahaan.
5. Referensi kedalaman ketika pemeruman adalah model geoid EGM1996 dan penyajian peta LLWL dengan referensi EGM2008.
6. Perhitungan gradien menggunakan tinggi muka air terhadap model geoid EGM96 dan EGM2008.

7. Referensi kedalaman peta batimetri menggunakan *Lowest Low Water Level* (LLWL).
8. Perhitungan pasang surut hanya dicari nilai *Mean Water level* (MWL) dan *Lowest Low Water Level* (LLWL).
9. Jumlah rambu pasang surut yang digunakan hanya satu unit.
10. Data yang digunakan merupakan data sekunder yang sebelumnya pernah di survei oleh PT. Seascap Survei Indonesia.
11. Perhitungan akurasi kedalaman menggunakan sampel 30 titik *Digital Terrain Model* (DTM) dari MBES.

1.4 Tujuan Tugas Akhir

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Menganalisa parameter yang diperlukan dalam membuat peta alur pelayaran Sungai Mahakam.
2. Menganalisa alur pelayaran yang tepat untuk digunakan kapal batu bara.

1.5 Manfaat Tugas Akhir

Penelitian ini diharapkan dapat menjadi rujukan bagaimana cara membuat alur pelayaran sungai yang aman.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Dalam melakukan penelitian, dibutuhkan teori-teori yang mendukung untuk pelaksanaan penelitian ini. Teori-teori tersebut dijabarkan dalam tinjauan pustaka. Berikut teori-teori yang digunakan dalam penelitian ini.

2.1 Survei Hidrografi

Survei hidrografi menurut *International Hydrographic Organization* adalah *the branch of applied sciences which deals with the measurement and description of the physical features of oceans, seas, coastal areas, lakes and rivers, as well as with the prediction of their change over time, for the primary purpose of safety of navigation and in support of all other marine activities, including economic development, security and defence, scientific research, and environmental protection* (IHO 2008).

Dari penjelasan diatas, dapat disimpulkan bahwa survei hidrografi mencakup berbagai macam survei yang dilaksanakan di atas air seperti pasang surut, penentuan posisi, survei batimetri, pengamatan arus, pengamatan gelombang, sedimen, temperatur, salinitas, survei seismik, survei magnetik, serta survei gravimetri.

2.2 Daerah Aliran Sungai

DAS atau Daerah Aliran Sungai adalah suatu wilayah daratan yang menerima, menampung dan menyimpan air hujan untuk kemudian menyalurkan ke laut atau danau melalui satu sungai utama. Dengan demikian suatu DAS akan dipisahkan dari wilayah DAS lain di sekitarnya oleh batas alam (topografi) berupa punggung bukit atau gunung. Dengan demikian seluruh wilayah daratan habis berbagi ke dalam uni-

unit Daerah Aliran Sungai. Karakteristik Daerah Aliran Sungai (DAS) dikelompokkan menjadi dua kategori, yaitu: (1) Faktor lahan (*ground factor*), yang meliputi topografi, tanah, geologi, geomorfologi dan (2) Faktor vegetasi dan penggunaan lahan (Syahril 2009). Satu DAS dipisahkan dari wilayah lain disekitarnya (DAS-DAS lain) oleh pemisah alam topografi, seperti punggung perbukitan dan pegunungan.

Cakupan area DAS dapat dikelompokkan menjadi 3 (tiga) bagian kawasan pengendalian ketat, antara lain kawasan hulu, kawasan pengaliran, dan kawasan hilir. Cakupan area memiliki karakteristik yang berbeda satu sama lain. Adapun batasan cakupan area beserta karakteristik pada masing-masing kawasan dapat diuraikan sebagai berikut sesuai dengan Peraturan Pemerintah nomor 38 tahun 2011 tentang Sungai:

1. Kawasan hulu

Kawasan hulu merupakan daerah sumber mata air yang berada pada dataran tinggi dan memiliki daerah tangkapan air (*catchment area*) disekitar sumber mata air. Kawasan hulu sebagai sumber air bersih bagi penduduk disekitarnya dan sebagai sumber pengairan untuk kegiatan pertanian, industri dan kegiatan lainnya yang berada dibawahnya. Penetapan zona hulu sebagai kawasan lindung dengan kriteria sebagai berikut; kawasan hutan dengan faktor-faktor kelerengan, jenis tanah, curah hujan yang melebihi nilai skor 175, dan/atau kawasan hutan yang memiliki kelerengan 40% atau lebih, dan/atau kawasan hutan yang mempunyai ketinggian diatas permukaan laut 2.000 meter atau lebih. DAS bagian hulu didasarkan pada fungsi konservasi yang dikelola untuk mempertahankan kondisi lingkungan DAS agar tidak terdegradasi, yang antara lain dapat diindikasikan dari kondisi tutupan vegetasi lahan DAS, kualitas air, kemampuan menyimpan air (debit), dan curah hujan.

2. Kawasan tengah (pengaliran)

Kawasan tengah (pengaliran) merupakan kawasan yang berada di sepanjang aliran sungai dari hulu sampai ke muara, dengan dibatasi sisi kanan dan kirinya oleh garis sempadan sungai. DAS bagian tengah didasarkan pada fungsi pemanfaatan air sungai yang dikelola untuk dapat memberikan manfaat bagi kepentingan sosial dan ekonomi, antara lain dapat diindikasikan dari kuantitas air, kualitas air, kemampuan menyalurkan air, ketinggian muka air tanah, serta terkait pada prasarana pengairan seperti pengolahan sungai, waduk, dan danau.

3. Kawasan hilir

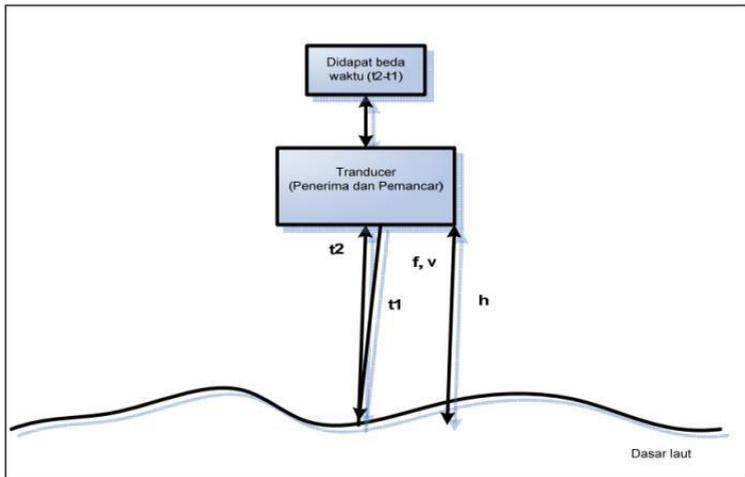
Kawasan hilir merupakan kawasan muara yang berada di tepi pantai. Pengaturan kawasan hilir mengacu pada perlindungan wilayah pantai, dengan perlindungan sempadan pantainya minimal 100 meter dari titik pasang tertinggi ke arah daratan. DAS bagian hilir didasarkan pada fungsi pemanfaatan air sungai yang dikelola untuk dapat memberikan manfaat bagi kepentingan social dan ekonomi, yang diindikasikan melalui kuantitas dan kualitas air, kemampuan menyalurkan air, ketinggian curah hujan, serta terkait untuk kebutuhan pertanian, air bersih, dan pengelolaan air limbah.

2.3 Survei Batimetri

Menurut IHO, survei batimetri adalah “*measured or charted depth of water or the measurement of such depth*”. Pengukuran kedalaman dilakukan secara bersamaan dengan pengukuran posisi horisontalnya. Kedalaman diukur dengan

instrumen gelombang akustik, sedangkan posisi diukur dengan *Global Positioning System* (GPS).

Pemeruman atau *sounding* merupakan salah satu metode penentuan kedalaman dengan menggunakan prinsip pantulan gelombang akustik (Yuwono 2005). Alat yang digunakan dalam pemeruman adalah *echosounder*. *Echosounder* sendiri terbagi menjadi *singlebeam echosounder* dan *multibeam echosounder*. Konsep dari *echosounder* adalah mengukur waktu tempuh pulsa gelombang akustik yang dipancarkan oleh *transducer* ke dasar laut dan kembali ke *transducer*.



Gambar 2.1 Geometri Gelombang Pantul Transducer (Djunarsah dan Poerbandono 2005)

Penjelasan Gambar 2.1 diatas, dimana :

t_1 : Waktu yang ditempuh oleh gelombang dari transducer ke dasar laut (s)

t_2 : Waktu yang ditempuh oleh gelombang dari dasar laut ke transducer (s)

h : Kedalaman (m)

v, f : Kecepatan suara di dalam air (± 1500 m/s)

Prinsip diatas dapat di formulasikan sebagai berikut :

$$D = \frac{1}{2} (v \cdot \Delta t) \dots \dots \dots (2.1)$$

Penjelasan persamaan 2.1 dimana :

D : kedalaman laut yang diukur (m)

v : cepat rambat gelombang akustik dalam air (m/s)

Δt : interval waktu antara gelombang yang dipancarkan dan diterima (s)

2.4 Echosounder

Echosounder dibagi menjadi dua, *Multibeam Echosounder* dan *Singlebeam Echosounder*.

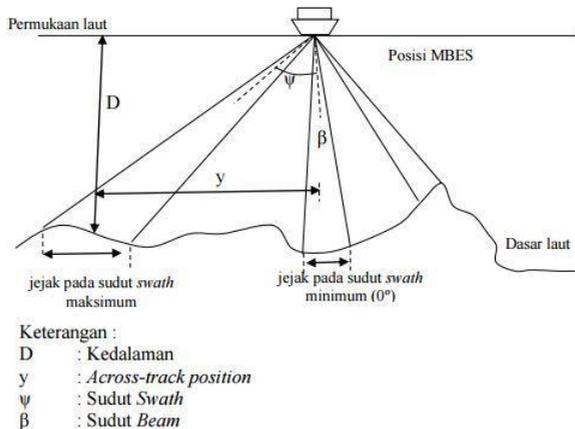
2.4.1 Multibeam Echosounder

Multibeam Echosounder merupakan alat untuk menentukan kedalaman air dengan sapuan area dasar laut yang luas. Prinsip operasi alat ini secara umum adalah berdasar pada pancaran pulsa yang dipancarkan secara langsung ke arah dasar laut dan setelah itu energi akustik dipantulkan kembali dari dasar laut (*seabed*), beberapa pancaran suara (*beam*) secara elektronik terbentuk menggunakan teknik pemrosesan sinyal sehingga diketahui sudut *beam*. *Multibeam Echosounder* dapat menghasilkan data batimetri dengan resolusi tinggi (Jong 2002).

Multibeam Echosounder mempunyai cakupan pemetaan yang luas sehingga dapat memetakan keseluruhan area yang masuk ke dalam alur survei, lalu setelah itu akan dikoreksi kembali dengan data yang dihasilkan oleh *Singlebeam Echosounder* yang memiliki akurasi lebih tinggi, namun hanya memiliki daerah cakupan yang sempit yaitu hanya pada sepanjang alur survei saja. Data yang bertampalan dari hasil survei antara *Singlebeam Echosounder* dan *Multibeam*

Echosounder akan divalidasi sehingga didapatkan data yang tingkat validitasnya tinggi. Semakin banyak data yang diperoleh, semakin akurat hasil survei yang dilakukan.

Multibeam Echosounder memiliki pola pancaran melebar dan melintang terhadap badan kapal. Transduser yang terdapat pada *Multibeam Echosounder* terdiri dari serangkaian elemen yang memancarkan pulsa suara dalam sudut yang berbeda. Biasanya hanya satu *beam* yang ditransmisikan tetapi menghasilkan banyak pantulan energi dari masing-masing pulsa suara yang ditransmisikan. Kemampuan setiap elemen transduser menerima kembali pulsa suara yang dipantulkan tergantung kepada metode kalibrasi terhadap gerak kapal yang diterapkan.



Gambar 2.2 Ukuran Jejak MBES versus swath (Jong 2002)

Multibeam Echosounder dicirikan oleh parameter berikut Frekuensi pada rentang 12 sampai 500 kHz. Cakupan sudut sapuan antara $+75^\circ$ hingga 85° . Akurasi

umumnya berkurang dengan bertambah lebarnya *swath*. Lebar sapuan 4x sampai 5x kedalaman air.

Dalam penelitian ini MBES yang digunakan adalah R2Sonic 2024. Spesifikasi dari MBES R2Sonic 2024 dapat dilihat dalam Tabel 2.1 berikut.

Tabel 2. 1 Spesifikasi MBES R2Sonic 2024

<i>Specification</i>	<i>Information</i>
<i>Frequency</i>	200kHz-400kHz
<i>Beamwidth, across track</i>	0.5°
<i>Beam width, along track</i>	1.0°
<i>Number of beams</i>	256
<i>Swath sector</i>	130°
<i>Max Range setting</i>	400m
<i>Pulse Length</i>	10 μ s-1ms
<i>Pulse Type</i>	<i>Shaped CW</i>
<i>Depth rating</i>	200m
<i>Operating Temperature</i>	0°C to 40°C
<i>Storage Temperature</i>	-30°C to 55°C

2.4.2 *Singlebeam Echosounder*

Singlebeam echosounders (SBES), atau dikenal juga sebagai depth sounders adalah instrumen yang berfungsi untuk mengukur kedalaman air dengan menggunakan jarak tempuh dari pulsa suara “ping”. Pulsa ditembakkan dari transduser yang dipasang dibawah permukaan air lalu SBES akan menerima sinyal pantul dari bawah sehingga didapatkan kedalaman dari seabed terhadap SBES.

SBES menggunakan berbagai macam frekuensi untuk mendapatkan data kedalaman. Untuk pearairan dangkal dibawah 100m digunakan frekuensi sebesar 200 kHz, sedangkan perairan dalam digunakan frekuensi sebesar 24-33 kHz. Dalam pelaksanaan survei lapangan, frekuensi yang digunakan dalam survei hidrografi sering menggunakan dual frekuensi. Dual frekuensi adalah penggunaan dua frekuensi secara bersamaan dalam satu transduser, contohnya frekuensi 33/200 kHz. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan data lebih banyak dibandingkan dengan single frekuensi, dikarenakan setiap frekuensi mempunyai kelebihan masing-masing. Pulsa frekuensi rendah dapat menembus sedimen tebal sehingga didapatkan data yang tidak bisa didapatkan oleh pulsa frekuensi tinggi.

Dalam penelitian ini SBES yang digunakan adalah Odom Echotrack MK3. Spesifikasi dari Odom Echotrack MK3 dapat dilihat pada Tabel 2.2 berikut.

Tabel 2.2 Spesifikasi SBES Odom Echotrack MK3

Spesifikasi	Keterangan
Frekuensi	<i>High band: 100kHz-1MHz</i> <i>Low band: 3.5kHz-50kHz</i>
<i>Output Power</i>	<i>High: 100kHz-1kW RMS max</i> <i>200kHz-900W RMS max, 750kHz-300W RMS</i> <i>Low: 3.5kHz-2kW RMS max, 50kHz-2kW RMS max</i>
<i>Input Power</i>	110 or 220VAC / 24 VDC 120 watts start/50 watts run
<i>Resolution</i>	0.01m / 0.10 ft.
<i>Accuracy</i>	0.01m / 0.10 ft. +/- 0.1% of depth @ 200kHz 0.10m / 0.30 ft. +/- 0.1% of depth @ 33kHz 0.18m / 0.60 ft. +/- 0.1% of depth @ 12kHz (<i>corrected for sound velocity</i>)

<i>Depth Range</i>	0.2-200m / 1.0-600 ft. @ 200kHz 0.5-1500m / 1.5-4500 ft. @ 33kHz 1.0-4000m / 3.0-13123 ft. @ 12kHz
<i>Phasing</i>	<i>Automatic scale change, 10%, 20%, 30% overlap or manual</i>

SBES merupakan instrumen yang digunakan dalam menentukan kedalaman dan merupakan salah satu dari tipe *echosounder*. *Echosounder* sendiri terbagi menjadi dua, yaitu SBES dan MBES. Masing-masing instrumen mempunyai kelebihan dan kekurangan untuk mencari kedalaman sesuai dengan kebutuhan survei. Penjelasan perbedaan SBES dan MBES dapat dilihat dalam Tabel 2.3 berikut.

Tabel 2.3 Perbedaan SBES dan MBES (Parnum dkk 2014)

No	Perbedaan	SBES	MBES	Keterangan
1	Beam	Satu	Banyak	
2	Kerapatan data	Tidak rapat	Rapat	
3	<i>Post processing</i>	Kompleks	Mudah	MBES hanya memasukkan parameter koreksi ke dalam software
4	Cakupan area	Sedikit	Banyak	SBES hanya mempunyai satu <i>beam</i> sedangkan MBES mempunyai wilayah sapuan yang luas
5	Harga	Murah	Mahal	
6	Ukuran data	Ringan	Berat	
7	Pengukuran perairan dangkal	Bagus	Tidak bagus	Data MBES tidak akurat ketika digunakan di daerah perairan dangkal dibawah 100m

8	Pemasangan alat	Mudah	Kompleks	Pemasangan alat MBES bisa membutuhkan waktu hingga satu hari
---	-----------------	-------	----------	--

2.5 Sound Velocity Profiler

Sound Velocity Profiler (SVP) merupakan perangkat yang semi-otonom dan berdiri sendiri, yang mengumpulkan data oseanografi saat kapal sedang berjalan.



Gambar 2.3 Instrumen yang digunakan dalam pengukuran SVP (www.valeport.uk)

2.6 Pasang Surut Sungai

Pasang surut sungai dibagi menjadi dua, yaitu pasang surut yang mempengaruhi muka air sungai (sungai pasang surut) dan pasang surut yang tidak mempengaruhi muka air sungai (sungai non-pasang surut). Sungai pasang surut hanya dapat ditemukan di daerah hilir sungai di mana sungai bertemu dengan air laut. Air yang berasal dari laut akan memasuki sungai pada saat pasang naik disebut dengan *flood tide*, dan akan mengalir kembali ke laut pada saat surut disebut dengan *ebb tide* (Godin 1984).

Jika di hilir sungai dipengaruhi oleh pasang surut, maka di hulu dan tengah sungai tidak dipengaruhi oleh pasang surut. Faktor yang paling mempengaruhi tinggi muka air sungai

adalah curah hujan, jika curah hujan tinggi muka air sungai akan naik sedangkan jika curah hujan rendah tinggi muka air sungai akan turun. Tinggi muka air sungai dapat disebut juga sebagai *water level*.

Water level adalah tinggi muka air yang berada di sungai. *water level* mempunyai banyak parameter yang menentukan tinggi muka air di daerah aliran sungai (DAS) seperti curah hujan, iklim dan sedimen. *Water level* berbeda dengan pasang surut dikarenakan *water level* tidak terlalu terpengaruh oleh kondisi astronomis namun dalam mengakuisisi data, *water level* tidak berbeda dengan pasang surut yaitu menggunakan rambu pasang surut.

Water level dapat digunakan sebagai acuan chart datum (CD), seperti halnya pasang surut *water level* dapat dihitung nilai MWL, HHWL, dan MWL. MWL merupakan rata rata ketinggian muka air dalam rambu pasang surut, HHWL merupakan nilai tertinggi muka air dalam rambu pasut dan LLWL merupakan nilai terendah muka air dalam rambu pasang surut. Nilai *chart datum* yang dihitung dari rambu pasang surut hanya dapat digunakan di area sekitar rambu pasang surut, jika terdapat rambu pasut baru dalam sepanjang sungai disarankan menggunakan rambu pasut tersebut untuk referensi kedalaman selanjutnya.

Dalam perhitungan prediksi muka air sungai, *water level* tidak dapat dijadikan acuan untuk memprediksi muka air (dalam pasang surut disebut sebagai prediksi pasang surut). Dalam memprediksi muka air sungai digunakan gradien (kemiringan), gradien dihitung dari perbedaan tinggi nilai muka air di dua tempat berbeda terhadap model geoid sungai.

2.7 Chart Datum Sungai

Dalam bidang geodesi, datum digunakan sebagai bidang referensi dari pengukuran. Terdapat dua jenis datum, yaitu datum vertikal dan datum horizontal. Dalam bidang rekayasa hidrografi datum vertikal yang digunakan berbeda dengan

datum vertikal yang digunakan dalam survei topografi. Apabila dalam survei topografi datum vertikal yang biasa digunakan adalah muka laut rata-rata (*mean sea level*), maka dalam bidang kerekayasa hidrografi, datum yang digunakan adalah *chart datum*. *Chart datum* merupakan datum vertikal yang digunakan pada peta laut yang dipublikasikan, dimana semua tinggi dari pengamatan dan prediksi pasang surut, serta semua pengukuran ketinggian air didefinisikan. *Chart datum* dapat juga disebut sebagai titik kedalaman nol pada survei hidrografi. *Chart datum* adalah sebuah bidang referensi yang menghubungkan kedalaman yang dipetakan (*charted depths*) dengan daerah yang kering pada saat muka air rendah (*drying heights*) (IHO 2011). *Chart datum* memiliki peranan yang sangat penting dalam survei hidrografi, terutama dalam pemetaan perairan dan penentuan posisi.

Chart datum digunakan sebagai datum vertikal dalam bidang hidrografi karena berkaitan dengan keamanan yang digunakan dalam melakukan navigasi kapal. Sehingga bidang referensi kedalaman yang digunakan pada peta laut adalah kedalaman yang paling dangkal yang dapat dicapai oleh perairan tersebut. Dengan demikian navigator dari kapal dapat mengetahui apakah perairan yang dilalui aman atau tidak dengan membandingkan kedalaman kapal dengan draft kapal. Dalam pengaplikasian kemaritiman, *chart datum* dapat dikenal juga sebagai *water level datum*. *The datum used to reckon heights or depths for marine applications is a vertical datum called a 'water level datum'* (IHO 2005).

Pada penentuan *chart datum* untuk daerah sungai, perlu diperhatikan mengenai jenis dari sungai tersebut, apakah dipengaruhi oleh pasang surut atau tidak. Nilai *chart datum* yang baik adalah nilai *chart datum* yang didapatkan melalui pengamatan pasang surut yang berada di dekat laut.

Dalam hulu dan tengah sungai yang tidak dipengaruhi oleh pasang surut, perhitungan *chart datum* tidak dapat dilakukan

secara seragam. Lintasan sungai dari hulu ke hilir, berarti terdapat gradien (kemiringan) pada dasar sungai yang ada di hulu dengan dasar sungai yang ada di hilir sungai. Hal ini menyebabkan penentuan *chart datum* dari sungai harus dilakukan per ruas sungai. *Chart datum* yang dilakukan di setiap ruas sungai ini dapat dikategorikan sebagai *chart datum* lokal. *There are a variety of local Chart Datums employed in tidal rivers as well. In the United States, Chart Datums have been derived from analyses of measurements during the low river stages over a period of time and then are held fixed for charting purposes* (IHO 2005).

2.8 Gradien

Sebuah sungai bergerak dari hulu menuju hilir, tentunya dalam pergerakan air dari hulu ke hilir menandakan bahwa sungai mempunyai kemiringan. Kemiringan ini disebut dengan gradien, perhitungan gradien dilakukan dengan menghitung nilai ketinggian dari dua koordinat pada posisi awal dan akhir. Dari dua koordinat ini akan diketahui perbedaan elevasi dan jarak kedua titik tersebut. Dari informasi tersebut dapat dihitung nilai gradien dengan menggunakan rumus berikut (Leveson 2002) :

$$\text{Tan } (\theta) = \frac{H}{L} \dots \dots \dots (2.2)$$

Dimana :

- Tan (θ) : Nilai gradien (kemiringan)
- H : Perbedaan elevasi (m)
- L : Jarak dua koordinat (m)

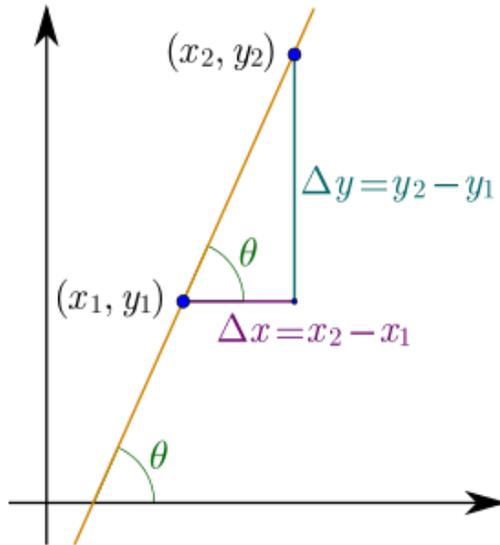
Ilustrasi dari rumus (2.2) tersebut dapat dilihat dalam Gambar 2.4 berikut. Rumus (2.2) juga dapat ditulis dalam persamaan berikut.

$$m = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \tan \theta \dots \dots \dots (2.3)$$

Dimana :

- m : Nilai gradien (kemiringan)
- Δy : Perbedaan nilai y (m)
- Δx : Perbedaan nilai x (m)
- θ : Sudut yang dibentuk

Ilustrasi dari rumus (2.3) dapat dilihat pada Gambar 2.4 berikut.



Gambar 2.4 Gradien

Gradien tidak mempunyai satuan, sebagai contoh jika nilai gradien adalah 0,5 maka berarti untuk setiap jarak 1 akan terjadi kenaikan atau penurunan sebesar 0,5. Jika ditambahkan satuan meter maka untuk setiap jarak 1 m akan terjadi kenaikan atau penurunan sebesar 0,5 m.

2.9 Spesifikasi Alur Pelayaran

Keselamatan pelayaran adalah hal yang paling diutamakan dalam kegiatan transportasi hasil batubara. Alur pelayaran di pelabuhan sungai ini tidak dapat terlepas dari pekerjaan survei hidrografi. Oleh karena itu, kedalaman, panjang, dan lebar alur pelayaran menjadi salah satu persyaratan navigasi yang penting, hal ini tentu saja dipengaruhi oleh kondisi fisik alam (kondisi sungai, iklim, cuaca, dan karakteristik sungai). Agar alur pelayaran sungai dapat berfungsi dengan baik dan aman, maka diperlukan sebuah kegiatan pemeliharaan secara berkala yang diperlukan karena kedalaman sungai cenderung berubah-ubah (Kramadibrata 2002). Spesifikasi alur pelayaran akan dijelaskan lebih lanjut dalam sub bab 2.9.2 dan sub bab 2.9.3.

Jenis pelayaran sungai yang relatif dilewati oleh kapal-kapal kecil menyebabkan spesifikasi alur ini menjadi tidak terlalu diperhatikan. Namun dikarenakan akan diadakan sebuah transportasi kapal batu bara yang mempunyai dimensi besar, spesifikasi ini menjadi penting untuk menciptakan alur pelayaran yang aman.

Hal pertama yang dilihat dalam alur pelayaran adalah jenis kapal batu bara yang akan menggunakan alur transportasi ini.

2.9.1 Spesifikasi Kapal Batu Bara

Spesifikasi kapal batu bara yang digunakan adalah kapal barang dengan mesin pendorong sendiri. Menurut Biro Klasifikasi Indonesia (BKI) spesifikasi kapal barang dapat dilihat dalam Tabel 2.4 dibawah :

Tabel 2.4 Spesifikasi Kapal Barang (BKI 2018)

Nama Kapal	<i>Dead Weight Tonnes (DWT)</i>	<i>Length Over All (LOA)</i>	B	D	F
	(ton)	(m)	(m)	(m)	(m)
Katingan (P.T. Buana Jaya Pratama)	336	30,51	12,00	2,4	0,6
Straits Phoenix (P.T. Citra Pertiwi Nusantara)	3296,90	75,70	24,50	3,30	1,10

Penjelasan Tabel 2.4 diatas, dimana:

DWT :Berat beban maksimum yang dapat ditanggung kapal (ton)

LOA :Panjang kapal (m)

B :Lebar kapal (m)

D :Bagian yang terendam saat kapal penuh beban (m)

F :Bagian yang tidak terendam saat kapal penuh beban (m)

2.9.2 Spesifikasi Kedalaman Alur Pelayaran

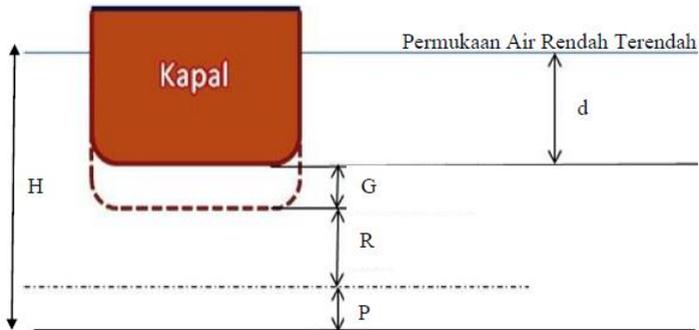
Dalam membuat alur pelayaran kedalaman air harus lebih dalam dari draft kapal dengan beban maksimum dengan referensi terhadap LLWL. Kedalaman alur pelayaran secara umum dapat ditentukan dengan rumus sebagai berikut (Kramadibrata 2002) :

$$H = d + G + R + P \dots \dots \dots (2.3)$$

Dimana :

- H (m) : Kedalaman Alur
- d (m) : Draft kapal
- G (m) : Gerak vertikal kapal karena gelombang dan squat
- R (m) : Ruang bebas bersih untuk alur sebesar 10%-15% dari draft kapal
- P (m) : Ketelitian pengukuran

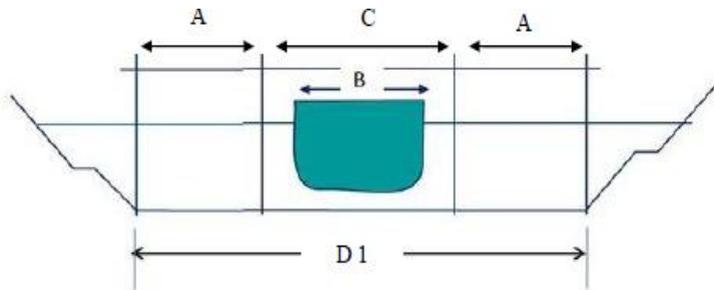
Secara grafis rumus diatas dapat digambarkan dalam Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Skema penentuan kedalaman alur pelayaran (Kramadibrata 2002)

2.9.3 Spesifikasi Lebar Alur Pelayaran

Pada dasarnya, faktor-faktor yang mempengaruhi lebar alur pelayaran agar dapat dilalui kapal laut dengan aman diantaranya adalah jenis lalu-lintas (alur pelayaran satu arah atau dua arah), ukuran kapal, dan sudut pembelokan air. Dalam penelitian ini alur pelayaran yang digunakan adalah satu arah, alur pelayaran satu arah memiliki geometri lebar alur seperti terlihat pada Gambar 2.6 (Kramadibrata 2002).



Gambar 2.6 Lebar alur pelayaran satu arah
(Kramadibrata 2002)

Keterangan :

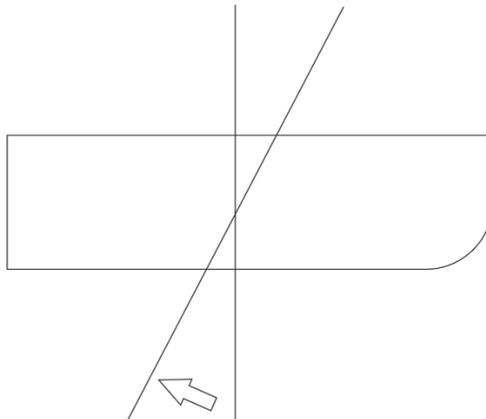
- A (m) : Faktor pengaman antara sisi alur sebesar 1.5 sampai 2 kali lebar kapal (B)
- B (m) : Lebar kapal yang direncanakan melewati alur pelayaran
- C (m) : Lebar untuk pergerakan horisontal kapal yang disebabkan alur pelayaran yang tidak searah dengan arus air, sebesar 1.6 sampai 2 kali lebar kapal (B)
- D1 (m) : Lebar total alur pelayaran satu arah sebesar 4.6 sampai 6 kali lebar kapal.

2.10 Kalibrasi Multibeam Echosounder

Kualitas data *Multibeam Echosounder* tergantung dari sensor-sensor yang terintegrasi dengannya. Oleh karena itu, diperlukan kalibrasi terhadap sistem ini untuk mendapatkan nilai koreksinya. Kalibrasi terhadap sensor di sini menggunakan metode *patch test* (EIVA 2014). *Patch test* adalah sebuah metode menggunakan *patch* atau bidang yang khusus dari dasar laut untuk menentukan kesejajaran *Swath Sounder*. Fungsi dari *patch test* ada dua, yaitu menentukan posisi (*mount angles*) *multibeam* transduser terhadap koordinat kapal dan sinkronisasi data waktu antara data *multibeam* dan data *positioning*. Sebelum melakukan kalibrasi *Multibeam Echosounder*, semua sistem tambahan sebaiknya dikalibrasi terlebih dahulu dan juga profil kecepatan suara sebaiknya diukur di area di mana *patch test* akan dilakukan. Parameter berikut ini dapat ditentukan dengan *patch test*:

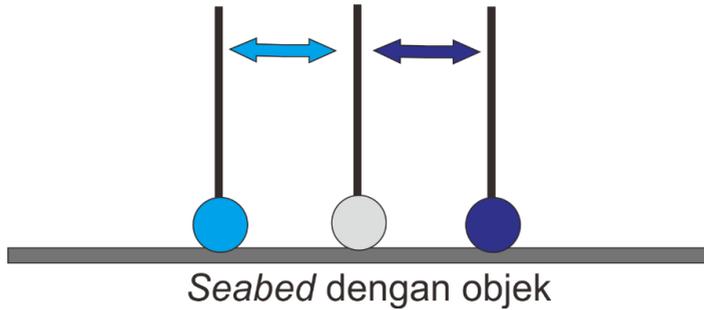
2.10.1 Pitch

Pitch adalah koreksi pergerakan kapal keatas dan kebawah, ilustrasi *pitch* dapat dilihat pada Gambar 2.7 dibawah ini.

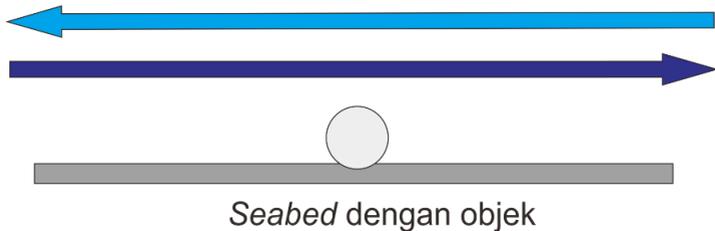


Gambar 2.7 *Pitch* (www.eiva.com)

Hal ini menyebabkan *position error* pada objek dan harus dikoreksi. Untuk mengkoreksi *pitch* digunakan satu line dengan arah berlawanan, terdapat objek yang diamati dan kecepatan sama. Ilustrasi pernyataan tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.8 dan 2.9 berikut.



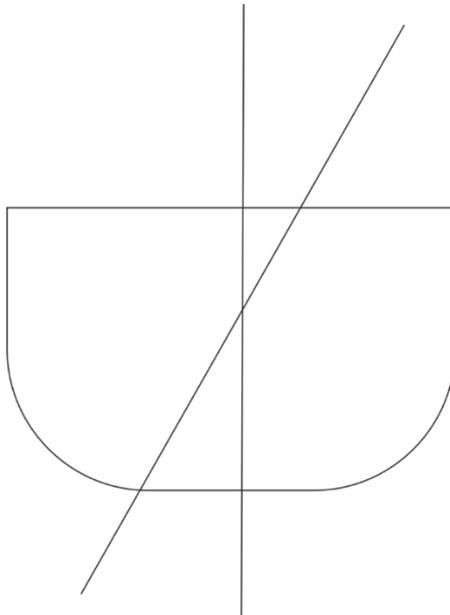
Gambar 2.8 *Pitch error* (www.eiva.com)



Gambar 2.9 Koreksi *pitch* (www.eiva.com)

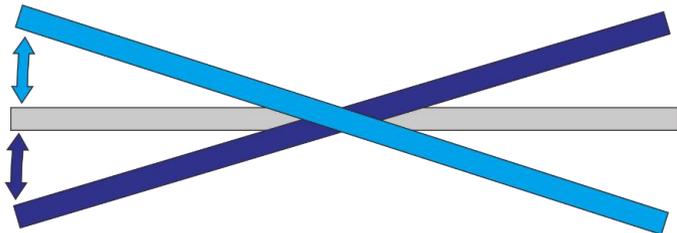
2.10.2 Roll

Roll adalah koreksi pergerakan kapal ke kanan dan ke kiri, ilustrasi *roll* dapat dilihat pada Gambar 2.10 berikut.



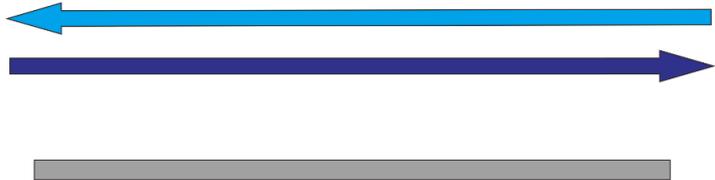
Gambar 2.10 *Roll* (www.eiva.com)

Roll menyebabkan *depth error* dan harus dikoreksi, untuk mengkoreksi *roll* kapal harus melalui satu *line* dengan kecepatan sama, permukaan rata dan berlawanan arah. Ilustrasi pernyataan tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.11 dan 2.12 berikut.



Gambar 2.11 *Roll error* (www.eiva.com)

Gambar 2.11 merupakan sudut pandang dari *cross profile* dengan poligon abu-abu merupakan *seabed*. Poligon biru muda dan biru tua adalah kemiringan yang disebabkan oleh *roll*.



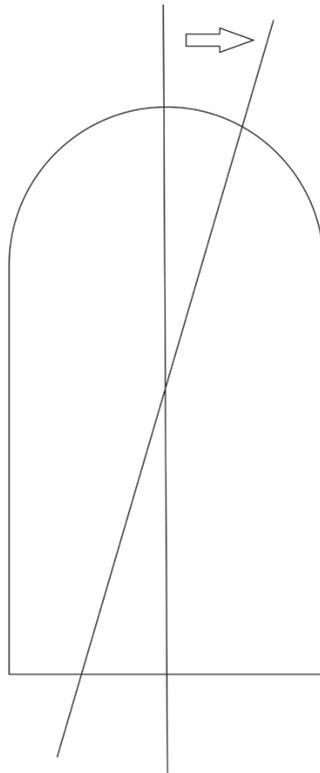
Flat Seabed

Gambar 2.12 *Koreksi roll* (www.eiva.com)

Gambar 2.12 merupakan koreksi *roll* dengan melewati daerah yang sama secara berlawanan arah.

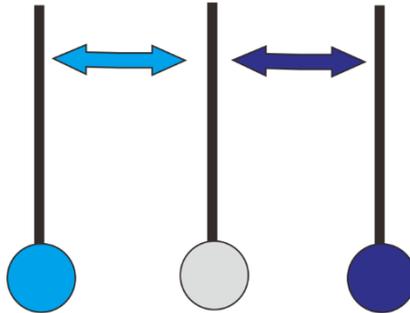
2.10.3 Heading

Heading adalah kesalahan dari arah kapal, ilustrasi heading dapat dilihat pada Gambar 2.13 berikut.

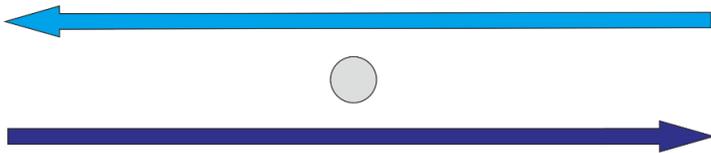


Gambar 2.13 *Heading* (www.eiva.com)

Heading menyebabkan position error dan harus dikoreksi dengan dua runline berlawanan arah, kecepatan sama dan terdapat objek yang diamati. Ilustrasi pernyataan tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.14 dan 2.15 berikut.



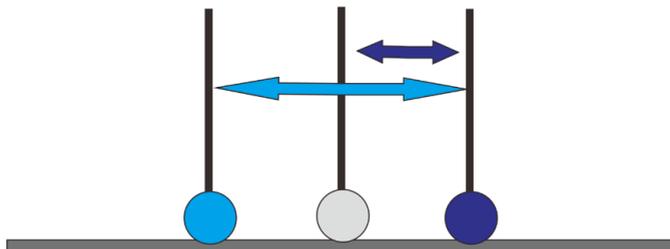
Gambar 2.14 *Heading error* (www.eiva.com)



Gambar 2.15 Koreksi *heading* (www.eiva.com)

2.10.4 Time Delay

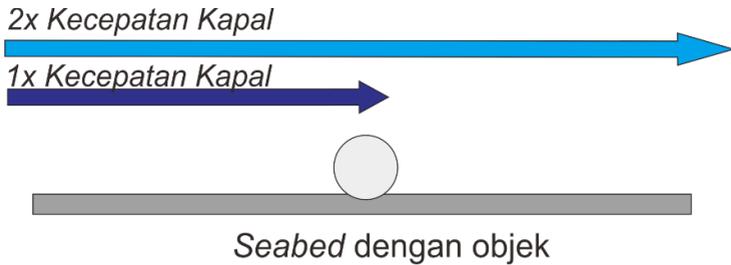
Time delay adalah kesalahan keterlambatan waktu (*delay*) antara pengukuran MBES dengan GPS. Dikarenakan keterlambatan ini maka terjadi perpindahan lokasi objek, oleh karena itu dibutuhkan sinkronisasi antar instrumen untuk mendapatkan hasil yang baik.



Seabed dengan objek

Gambar 2.16 *Time delay error* (www.eiva.com)

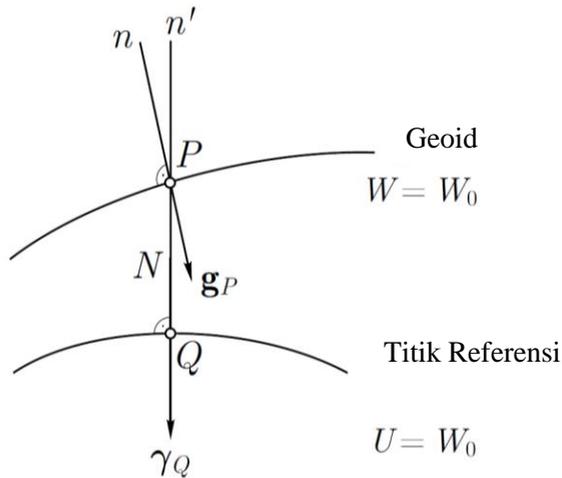
Time delay dikoreksi dengan mensurvei objek dengan arah yang sama namun kecepatan berbeda. Ilustrasi koreksi *time delay* dapat dilihat pada Gambar 2.17.



Gambar 2.17 Koreksi *time delay* (www.eiva.com)

2.11 Model Geoid

Geoid adalah permukaan equipotensial yang paling mendekati rata-rata permukaan air laut. Undulasi geoid, N didefinisikan sebagai jarak antara permukaan geoid dan referensi elipsoid yang dipilih (Heiskanen dan Moritz 2005).



Gambar 2.18 Geoid dan elipsoid referensi
(Wellenholz dan Moritz 2005)

Pada gambar tersebut diperlihatkan perhitungan medan gayaberat tergantung dari referensi elipsoid yang dipilih. Penentuan geoid adalah penentuan penyimpangan geoid atau undulasi geoid (N) dan defleksi vertikal (n) terhadap ellipsoid referensi. Jarak geoid terhadap ellipsoid disebut undulasi geoid (N). Nilai undulasi geoid inilah yang ditentukan untuk memodelkan bentuk geoid yang sebenarnya. Nilai dari undulasi geoid tidak sama di semua tempat, hal ini disebabkan ketidakseragaman sebaran densitas massa bumi.

Model geoid global yang sering digunakan di Indonesia yaitu EGM 1996 dan EGM 2008, dimana geopotensial global berperan dalam menentukan undulasi geoid. EGM 2008 ditentukan dengan menggunakan data *tracking* satelit, anomali gaya berat dan satelit altimetri. Nilai akurasi berkisar ± 0.05 m (untuk wilayah lautan) dan $\pm 0,5$ m (untuk wilayah daratan). Untuk wilayah yang cenderung datar (*flat*) akan memiliki akurasi yang lebih tinggi daripada wilayah yang kondisi topografi atau *terrain* bergunung. EGM 2008

menggunakan semua data tersebut sehingga menghasilkan akurasi yang lebih baik dari EGM 1996 yang hanya menggunakan anomali gaya berat.

2.12 Klasifikasi Survei Hidrografi Menurut IHO

Dalam survei hidrografi, terdapat acuan dasar dalam menentukan orde survei. Dalam hal ini, Indonesia diatur dan diklasifikasikan oleh Bakosurtanal dalam Standard Nasional Indonesia dengan mengacu pada IHO *Special Publication Number 44* dengan orde sebagai berikut (BSN 2010) :

Tabel 2.5 Klasifikasi daerah survei hidrografi (IHO 2008)

No	Kelas	Contoh daerah survei
1	Orde Khusus	Pelabuhan tempat sandar dan alur kritis (berbahaya) cakupan batimetri 100% dengan kedalaman hingga 40 meter dan harus dapat mendeteksi objek berdimensi 1x1x1 m.
2	Orde 1a	Area perairan dangkal, tetap diperlukan cakupan batimetri 100% namun tidak kritis, kedalaman 40 – 100 meter dan harus dapat mendeteksi objek berdimensi 2x2x2 m. Biasanya digunakan untuk alur pendekatan pelabuhan dan alur pelayaran.
3	Orde 1b	Area perairan hingga kedalaman 100 meter namun tidak diperlukan cakupan batimetri 100% karena

		karakteristik perairan tidak berbahaya.
4	Orde 2	Area perairan dengan kedalaman lebih dari 100 meter dan tidak diperlukan cakupan 100%.

2.13 Ketelitian Survei Hidrografi Menurut IHO

Dalam survei hidrografi terdapat ketelitian yang menjadi acuan apakah data survei bagus atau tidak. Berikut ringkasan standard ketelitian pengukuran pada survei hidrografi (BSN 2010):

Tabel 2.6 Ketelitian pengukuran survei hidrografi (IHO, 2008)

No	Deskripsi	Kelas			
		Orde Khusus	Orde 1a	Orde 1b	Orde 2
1	Akurasi horisontal	2 m	5 m + 5% dari kedalaman rata – rata	5 m + 5% dari kedalaman rata – rata	20 m + 5% dari kedalaman rata – rata
2	Alat bantu navigasi	2 m	2 m	2 m	5 m
3	Garis Pantai	10 m	20 m	20 m	20 m
4	Alat bantu navigasi terapung	10 m	10 m	10 m	20 m
5	Jarak maksimum line	Tidak didefinisikan	Tidak didefinisikan	2x kedalaman rata-	4 x kedalaman

K eter ang an :		survei			rata atau 25 meter	ratarata
	6	Akurasi kedalaman	a=0,25 m b=0,007 5	a=0,5 m b=0,01 3	a=0,5 m b=0,013	a=1,0 m b=0,023

1. a

dan b adalah variabel yang digunakan untuk menghitung ketelitian kedalaman.

2. Alat pemeruman dikalibrasi sebelum digunakan.

Batas toleransi kesalahan antara kedalaman titik fix perum pada lajur utama dan lajur silang dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$\sqrt{a^2 + (bxd)^2} \dots \dots \dots (2.4)$$

Dimana :

a (m) : Kesalahan independen (jumlah kesalahan yang bersifat tetap).

B (m) : Faktor kesalahan kedalaman dependen (jumlah kesalahan yang bersifat tidak tetap).

d (m) : kedalaman terukur.

Dalam menggunakan rumus diatas, koreksi didapatkan dengan memasukkan konstanta a dan b dari klasifikasi survei hidrografi dari Tabel 2.5 pada akurasi kedalaman sehingga didapatkan nilai toleransi untuk kedalaman tertentu.

2.14 Penelitian Sebelumnya

Penelitian sebelumnya dilakukan dengan membuat alur pelayaran pada Sungai Kelai Kalimantan Timur menggunakan *singlebeam echosounder* (Rosdynur 2012). Penelitian lainnya juga telah dilakukan dengan membuat alur pelayaran untuk rencana pelabuhan pada Pantai Boom, Banyuwangi (Darmawan 2016). Perbedaan kedua penelitian tersebut dengan penelitian ini dijelaskan dalam tabel berikut :

Tabel 2. 7 Perbandingan Penelitian ini dengan Penelitian Sebelumnya

No	Perbandingan	Dalam	Rosdynur	Darmawan
----	--------------	-------	----------	----------

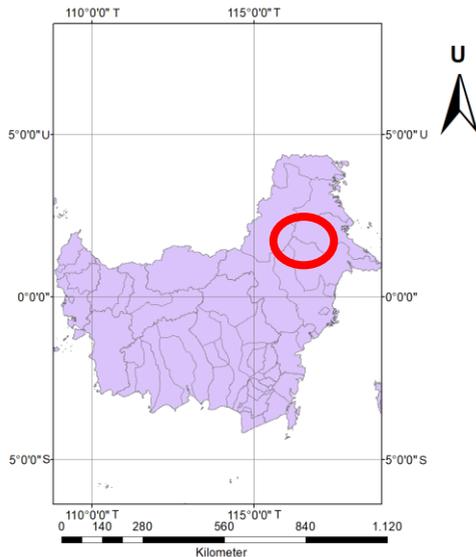
		penelitian ini	(2012)	(2016)
1	Instrumen	<i>Multibeam Echosounder</i> dan <i>Singlebeam Echosounder</i>	<i>Singlebeam Echosounder</i>	<i>Singlebeam Echosounder</i>
2	Pasang Surut	10 tahun pengukuran	29 piantan pengukuran	15 piantan pengukuran
3	Koreksi batimetri	<i>Roll Pitch Yaw</i> , koreksi kemiringan sungai, koreksi pasang surut.	Koreksi pasang surut	Koreksi pasang surut
4	Hasil akhir	Peta dengan skala 1:5000	Peta dengan skala 1:4000	Peta dengan skala 1:20000
5	Rekomendasi alur pelayaran	Ada	Ada	Ada

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB III METODOLOGI

3.1 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian Tugas Akhir ini berada pada tengah Sungai Mahakam, Kalimantan Timur. Untuk lokasi pastinya tidak bisa disebutkan untuk menjaga privasi data perusahaan PT.Seascope Survey Indonesia.



Gambar 3. 1 Lokasi Penelitian

3.2 Data dan Peralatan

3.2.1 Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Data *Multibeam Echosounder* daerah penelitian
- b. Data *Singlebeam Echosounder* daerah penelitian

- c. Data GPS kinematik daerah penelitian
- d. Data *Sound Velocity Profiler* (SVP) dan pasang surut pemeruman
- e. Data pasang surut rambu pasang surut

3.2.2 Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

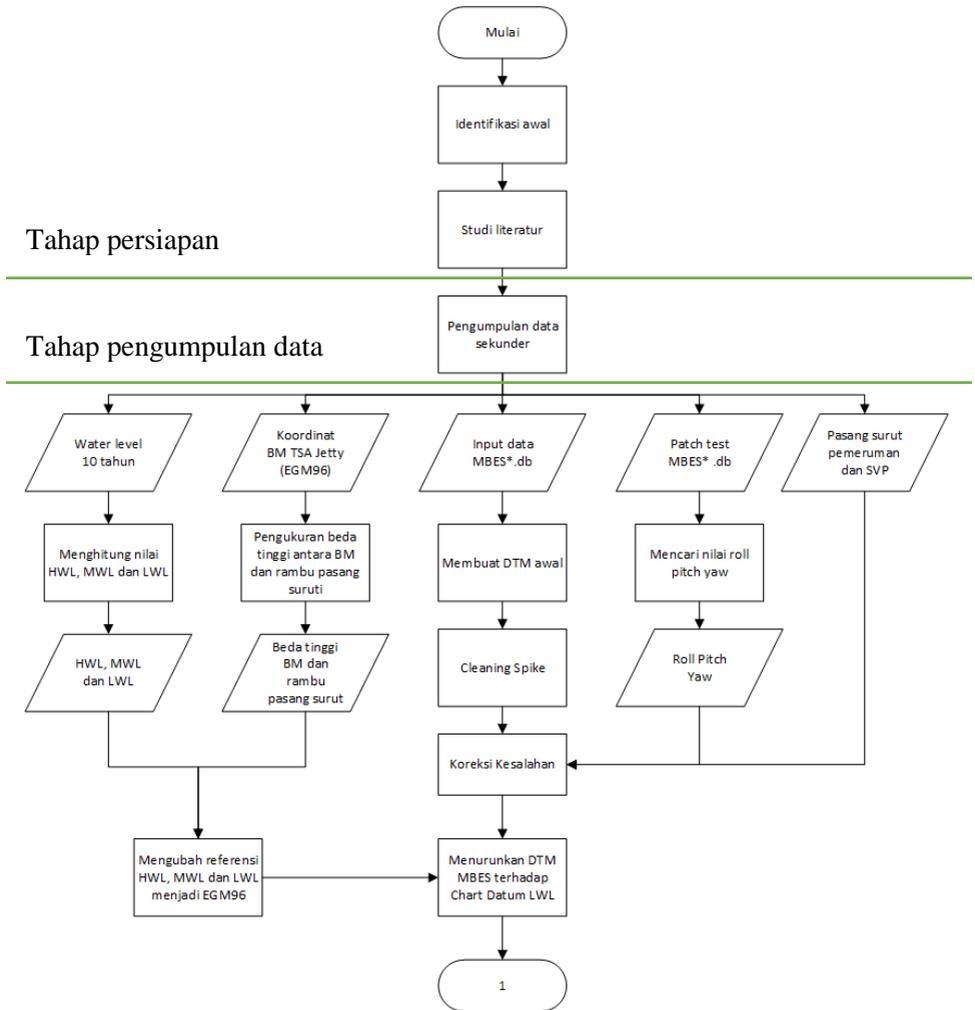
- a. Perangkat Keras (*Hardware*)
 - i. Komputer
 - ii. Printer
 - iii. Dongle EIVA Navisuite milik PT.Seascope Survey Indonesia
- b. Perangkat Lunak (*Software*)
 - i. EIVA Navisuite milik PT.Seascope Survey Indonesia terdiri dari EIVA NaviEdit dan EIVA NaviModel
 - ii. ArcMAP 10.5
 - iii. AlltransEGM2008
 - iv. NIMAEGM96
 - v. Matlab 2016b

3.3 Metodologi Penelitian

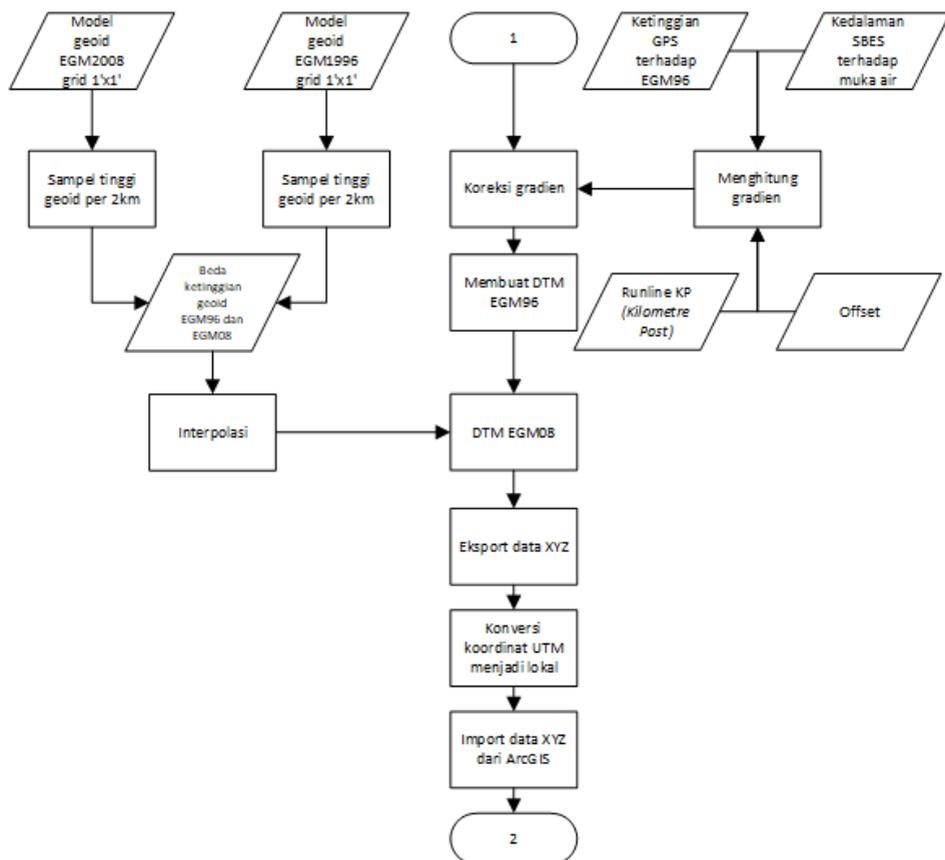
Tahapan pelaksanaan penelitian ini terbagi menjadi empat tahapan yang terdiri dari Tahap Persiapan, Tahap Pengumpulan Data, Tahap Pengolahan Data dan Analisa Data dan Tahap Akhir.

3.3.1 Tahap Pelaksanaan Penelitian

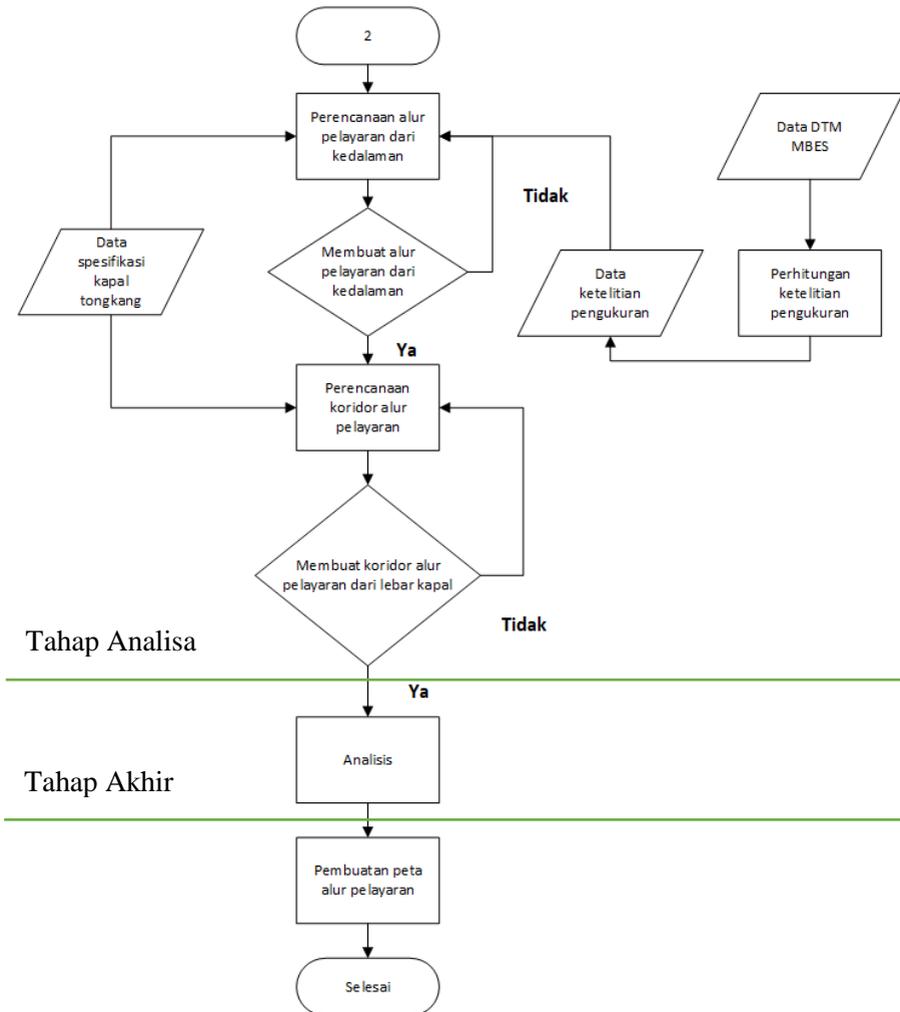
Dalam penelitian ini, diagram alir yang digunakan terdiri dari empat tahapan yaitu tahap persiapan, tahap pengumpulan data, tahap pengolahan data dan analisa dan tahap akhir. Diagram alir ini dibagi menjadi tiga bagian agar lebih jelas.



Gambar 3. 2 Diagram Alir Pelaksanaan Penelitian Bagian Pertama



Gambar 3. 3 Diagram Alir Pelaksanaan Penelitian Bagian Kedua



Gambar 3. 4 Diagram Alir Pelaksanaan Penelitian Bagian Ketiga

Penjelasan diagram alir tahap pelaksanaan penelitian adalah sebagai berikut:

a. Tahap Persiapan

Tahap persiapan merupakan tahapan pertama dalam penelitian. Tahap persiapan terdiri dari identifikasi, perumusan masalah dan studi literatur.

i. Identifikasi dan Perumusan Masalah

Identifikasi dan perumusan masalah yang diangkat dalam penelitian ini adalah analisis kedalaman sungai untuk alur pelayaran kapal batu bara menggunakan *Multibeam Echosounder*. Masalah utama yang dibahas adalah bagaimana alur kapal yang aman untuk digunakan oleh kapal batu bara melewati sungai mahakam.

ii. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan setelah identifikasi dan rumusan masalah. Dalam studi literatur didapatkan referensi yang mendukung penelitian ini. Referensi yang digunakan adalah referensi mengenai alur pelayaran, MBES, chart datum sungai dan koreksi kedalaman sungai.

b. Tahap Pengambilan Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder yang didapatkan dari PT.Seascope Survey Indonesia. Data yang digunakan adalah data MBES, SVP, pasang surut pemeruman, pasang surut rambu, SBES dan GPS. Sedangkan untuk data transformasi datum vertikal digunakan data model geoid yang diambil dari *web* .

c. Tahap Pengolahan Data dan Analisa

Tahap pengolahan data merupakan tahapan yang paling kompleks dalam penelitian ini. Tahap

pengolahan terdiri dari berbagai macam tipe pengolahan mulai dari pengolahan MBES, koreksi MBES, transformasi datum, dan pembuatan alur pelayaran. Penjelasan lebih lanjut akan dibahas dalam sub bab berikutnya.

d. Tahap akhir

Tahap akhir merupakan tahapan paling terakhir dalam penelitian ini. Pada tahapan ini akan diambil kesimpulan apakah alur pelayaran yang dibuat sudah baik atau belum. Jika dianggap sudah cukup baik, akan dibuat peta akhir berupa peta batimetri dan peta analisa alur pelayaran.

3.3.2 Tahap Pengolahan Data

a. Multibeam Echosounder

Berikut adalah cara pengolahan data MBES.

- i. Melakukan filter data MBES dari data spike (anomali akibat loncatan kedalaman yang signifikan)
- ii. Menggabungkan data DTM dari semua pengukuran menjadi satu DTM
- iii. Masukkan data SVP, patch test dan pasang surut kedalaman
- iv. Masukkan koreksi gradien
- v. Ubah referensi *chart datum* dari EGM96 menjadi LLWL yang diambil dari pengukuran pasang surut selama 10 tahun
- vi. Ubah referensi *chart datum* dari LLWL terhadap EGM96 menjadi LLWL terhadap EGM08 yang didapatkan dari perbandingan model geoid EGM96 dan EGM08
- vii. Plotting data MBES pada peta

b. Gradien

- i. Membandingkan data GPS EGM96 dengan data kedalaman SBES. Akan didapatkan data kedalaman terhadap EGM96. Data yang didapatkan diambil setiap 1 - 3 km sehingga didapatkan nilai kedalaman hingga *kilometre post* (KP) 6 dari *port*, *starboard* dan *centre* sesuai dengan alur KP
- ii. Menghitung gradien di setiap titik kedalaman
- iii. Menghitung rata-rata dari gradien dengan membandingkan nilai gradien dengan nilai sebelum dan sesudahnya
- iv. Mencari nilai KP setiap 2 km dengan interpolasi
- v. Menghitung rata-rata gradien dari KP setiap 2 km dari tiga alur
- vi. Menghitung total gradien di setiap 2 km
- vii. Membuat grafik gradien
- viii. Buat dua *digitize line* pada NaviModel sesuai dengan KP
- ix. *Digitize line* pertama masukkan ketinggian 0. *Digitize line* kedua masukkan ketinggian sesuai dengan nilai ketinggian gradien
- x. "*Grab to surface*" *digitize line* pertama
- xi. "*Match out*" *digitize line* pertama terhadap *digitize line* kedua

c. Transformasi Datum Vertikal

- i. Download software EGM model, Nima EGM96 untuk model geoid global EGM96 dan Alltrans EGM2008 untuk model geoid global EGM2008

- ii. Download model geoid grid 1'x1' dari www.earth-info.nga.mil
- iii. Masukkan koordinat dari KP setiap 2 km dan bandingkan perbedaan ketinggian geoid
- iv. Interpolasi ketinggian KP
- v. Eksport nilai koordinat. Selanjutnya data ini disebut *digitize line* pertama.
- vi. Buat *digitize line* pada NaviModel sesuai dengan KP pada NaviModel. Selanjutnya data ini disebut *digitize line* kedua
- vii. Masukkan ketinggian 0 pada nilai kedalaman *Digitize line*
- viii. "*Grab to surface*" *digitize line* kedua
- ix. Eksport koordinat dari *digitize line*
- x. Jumlahkan nilai ketinggian dari koordinat *digitize line* pertama dan *digitize line* kedua sehingga didapatkan *digitize line* ketiga
- xi. Import *digitize line* ketiga
- xii. "*Match out*" *digitize line* kedua terhadap *digitize line* ketiga

d. Pembuatan Alur Pelayaran

- i. Hitung ketelitian pengukuran dengan menggunakan 30 titik sampel
- ii. Hitung rata-rata ketelitian pengukuran
- iii. Menghitung spesifikasi kedalaman alur pelayaran
- iv. Menghitung spesifikasi lebar alur pelayaran.
- v. *Import* data DTM dari pengolahan MBES
- vi. Membuat alur pelayaran sesuai dengan spesifikasi kedalaman dan lebar alur pelayaran
- vii. *Plotting* peta

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB IV

HASIL DAN ANALISA

4.1 Data

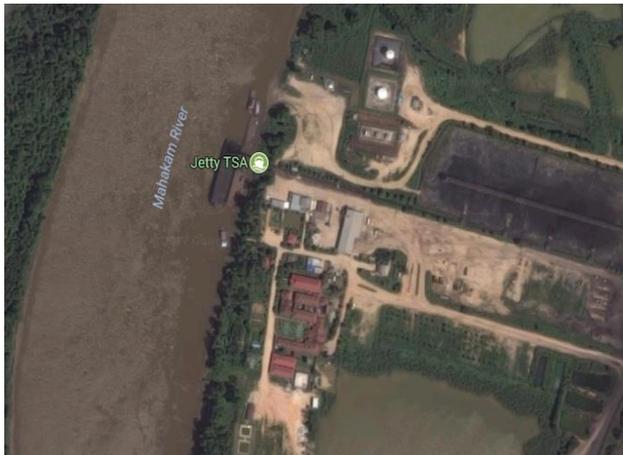
Daerah penelitian ini merupakan daerah survei dengan panjang enam kilometer dan lebar bervariasi dari 150 meter hingga 200 meter. Survei dilakukan dalam satu hari pada tanggal 8 Agustus 2018 dengan tiga alur pemeruman terdiri dari *center*, *port* dan *starboard*. Dalam survei tidak ada jalur silang dan hanya ada jalur utama dikarenakan lebar sungai yang terlalu sempit dan kedalaman yang tidak diketahui apakah kapal survei dapat melewati sungai dengan aman atau tidak. Validasi kedalaman dilakukan dengan membandingkan kedalaman satu titik yang sama antara DTM yang *overlap*.

Data MBES direferensikan terhadap geoid EGM96. Data MBES dikoreksi terhadap pasang surut pemeruman, SVP dan *Patch Test* yang terdiri dari *Roll Pitch Yaw*. Setelah dikoreksi data MBES direferensikan terhadap LLWL dari rambu pasut yang dipasang di titik mulai alur survei. Setelah direferensikan data MBES dikoreksi terhadap gradien sungai. Setelah dikoreksikan data MBES di transformasikan datum referensinya dari EGM96 menjadi EGM08. Setelah di transformasikan datum vertikalnya, sistem koordinatnya ditransformasikan dari UTM menjadi lokal. Dalam tahap ini sudah didapatkan DTM yang akan dibuat alur pelayarannya.

Alur pelayaran dibuat berdasarkan spesifikasi SNI dan dimensi kapal untuk alur kedalaman dan lebarnya. Data DTM di plot dalam ArcGIS dan dibuat alur pelayaran yang aman.

4.1.1 Pasang Surut Sungai

Dalam sungai pasang surut sangat sedikit dipengaruhi oleh benda langit. Faktor yang paling mempengaruhi naik turunnya muka air dalam sungai adalah curah hujan. Pasang surut yang sedikit dipengaruhi oleh benda langit disebut *water level*. Dalam survei ini dilakukan pengukuran *water level* di stasiun pasang surut TSA Jetty dengan rentang 10 tahun dari 2 Agustus 2006 hingga 31 Juli 2017.



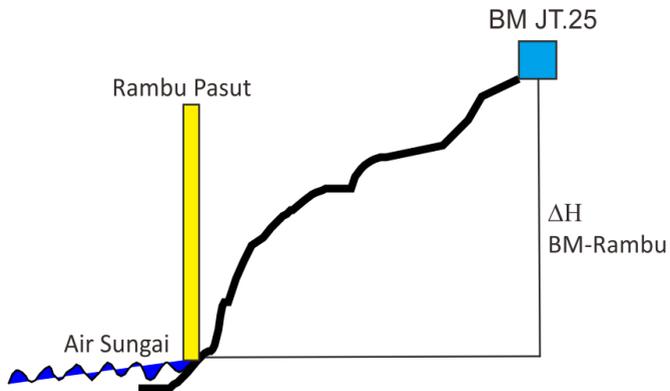
Gambar 4.1 Lokasi Stasiun TSA Jetty, Sungai Mahakam Kalimantan Timur (PT.Seascope Surveys Indonesia)

Rambu pasang surut direferensikan dengan geoid EGM96 dengan mengukur perbedaan tinggi dari rambu terhadap BM JT25. BM JT25 diukur dengan menggunakan GPS geodetik untuk didapatkan ketinggian terhadap EGM96.



Gambar 4.2 Pengukuran GPS pada BM JT25
(PT.Seascope Survey Indonesia)

Setelah didapatkan nilai ketinggian BM JT25 terhadap EGM96, perbedaan ketinggian BM JT25 dengan rambu pasut diukur menggunakan waterpass. Perbedaan ketinggian yang didapatkan antara BM JT25 dengan rambu water level pada nilai 4,3 m adalah 5,982 m. Setelah dihitung maka didapatkan ketinggian 0 m rambu pasang surut terhadap EGM adalah 2,291 m.



Gambar 4.3 Perbedaan Tinggi BM Terhadap Rambu Pasut

Setelah dilakukan pengukuran akan didapatkan perbedaan tinggi BM terhadap rambu pasut. Perbedaan tinggi ini dilakukan untuk mengubah referensi chart datum dari rambu pasut menjadi EGM96.

Dalam penelitian ini, chart datum yang digunakan adalah LLWL. LLWL didapatkan dari nilai terendah dalam pengukuran *water level* selama 10 tahun. Sehingga didapatkan referensi chart datum terhadap LLWL dengan datum vertikal EGM96. Berikut hasil pengukuran water level yang dilakukan.

Gambar 4.4 Pasang Surut TSA Jetty Selama 10 Tahun

Dalam Gambar 4.4 didapatkan nilai *water level* untuk dianalisa. Berikut hasil analisa yang didapatkan pada Gambar 4.4.

Tabel 4.1 Hasil Analisa Water Level TSA Jetty

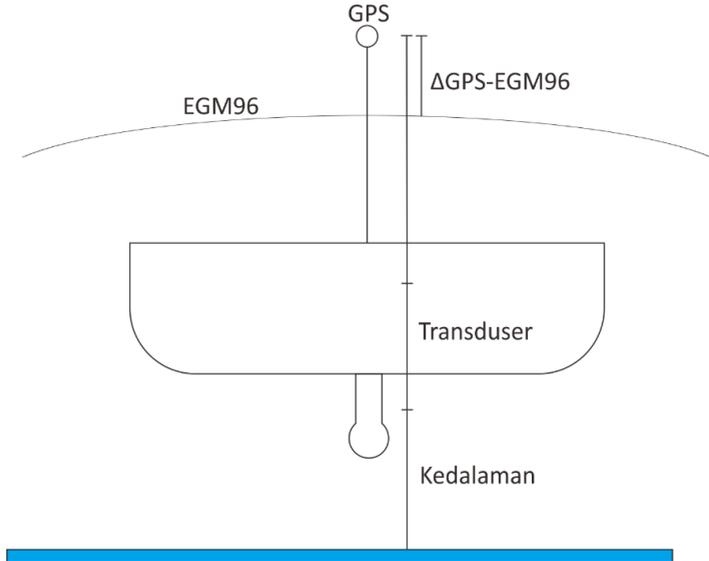
Tahun	HHWL (m)	MWL (m)	LLWL (m)
2006	8,89	3,75	1,89
2007	11,65	7,69	2,61
2008	11,32	7,47	2,61
2009	10,94	6,30	0,79
2010	11,06	8,55	4,74
2011	11,14	6,54	1,95
2012	10,42	7,25	2,64
2013	10,95	7,70	2,47
2014	10,67	5,89	2,35
2015	11,13	6,04	1,69
2016	10,91	7,51	2,46
2017	11,65	9,12	5,74

Dalam Tabel 4.1 dapat dilihat nilai ketinggian LLWL di setiap tahunnya dari 2006 – 2017. Dari Tabel 4.1 didapatkan nilai LLWL sebesar 0,79 m dari referensi EGM96. LLWL ini yang akan dijadikan referensi *chart datum* untuk pengukuran batimetri.

4.1.2 Gradien

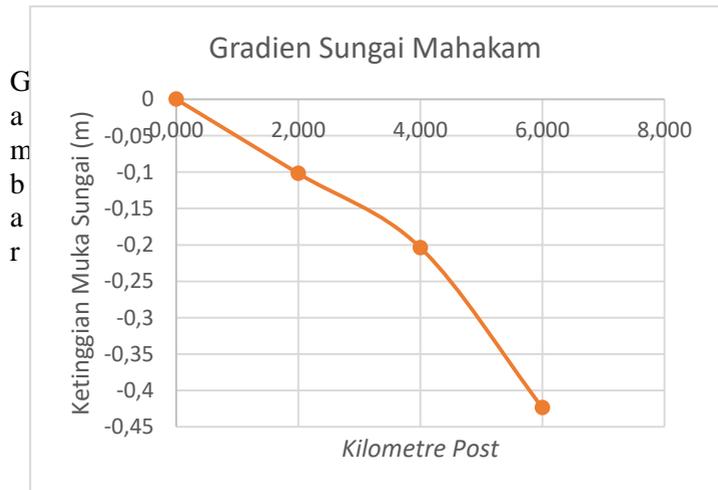
Dalam sungai terdapat kemiringan yang harus dikoreksi, koreksi kemiringan ini disebut dengan koreksi gradien. Perhitungan gradien dilakukan dengan menghitung rata-rata dari tiga alur survei *centre*, *port* dan *starboard*. Nilai gradien didapatkan berdasarkan perhitungan GPS yang direferensikan terhadap EGM96

dan SBES sehingga didapatkan nilai kedalaman terhadap EGM96. Ilustrasi pernyataan diatas dapat dilihat pada Gambar 4.5 berikut.



Gambar 4.5 Pengukuran Gradien

Nilai rata-rata dari setiap KP 2 km dihitung dan dibuat grafiknya. Berikut grafik gradien dalam penelitian ini.



4.6 Grafik Gradien Sungai Mahakam

Dalam Gambar 4.6 didapatkan nilai penurunan muka air area penelitian ini adalah 0,42 m dibawah titik awal KP 0. Dengan menggunakan rumus 2.3 didapatkan nilai gradien sebesar 0,00007. Nilai dari Gambar 4.6 dapat dilihat pada Tabel 4.2 berikut.

Tabel 4.2 Nilai Gradien

KP (km)	Penurunan Ketinggian Muka Air (m)
0,000	0
2,000	-0,102
4,000	-0,204
6,000	-0,424

Nilai pada Tabel 4.2 akan digunakan untuk koreksi data batimetri.

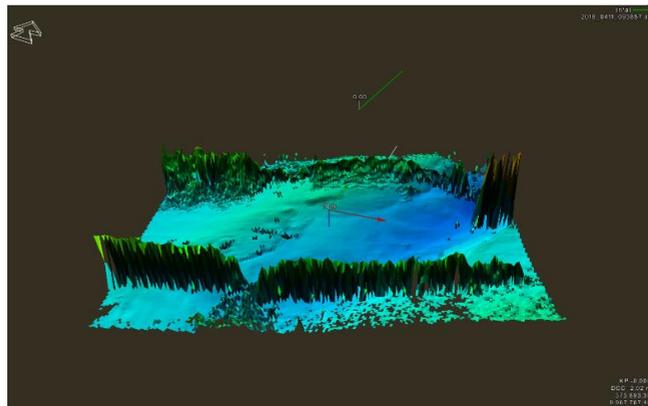
4.1.3 MBES

Data MBES didapatkan dari PT.Seascope Survey Indonesia. Data diambil pada tanggal 8 Agustus 2017 dengan tiga alur yaitu *port*, *starboard* dan *centre*. Referensi data yang didapatkan adalah EGM96 dikarenakan dengan referensi EGM96 didapatkan referensi yang stabil jika dibandingkan dengan permukaan air sungai yang dinamis. Dengan menggunakan EGM96 maka kedalaman yang diukur pada area yang sama namun jam berbeda akan menghasilkan nilai yang relatif sama jika dibandingkan dengan permukaan air. Alasan lain digunakan EGM96 sebagai referensi kedalaman adalah dikarenakan survei-survei sebelumnya yang pernah dilakukan oleh perusahaan lain menggunakan referensi EGM96, maka

hasil akuisisi survei dapat dibandingkan dengan perusahaan lain agar didapatkan data pembanding yang bagus.

Pengolahan MBES dilakukan dengan menghilangkan berbagai macam kesalahan. Kesalahan yang dimaksud terdiri dari *spike*, kalibrasi MBES terdiri dari roll, pitch dan yaw, pasang surut pemeruman dan SVP.

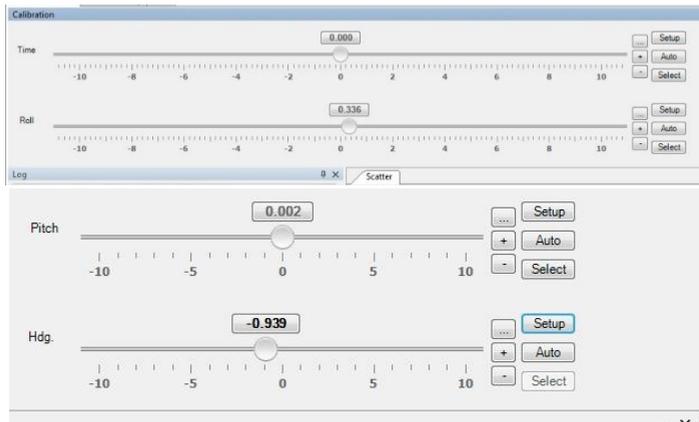
Dalam pengukuran MBES terdapat objek yang tidak diinginkan ikut terekam oleh transduser sehingga menghasilkan kesalahan data, kesalahan data ini disebut sebagai *spike*. Data ini harus dihapus sehingga dihasilkan data yang bagus.



Gambar 4.7 *Spike*

Dalam pengukuran batimetri kapal survei tidak selalu berada pada posisi statis melainkan dinamis sesuai dengan gelombang laut. Dikarenakan posisi kapal yang tidak pasti inilah harus dilakukan *patch test*. *Patch test* dilakukan untuk menentukan nilai kemiringan dari transduser MBES terhadap koordinat lokal kapal. Kemiringan ini terdiri dari

roll, *pitch* dan *yaw*. Hasil yang didapatkan dalam perhitungan *patch test* didapatkan nilai 0,336 untuk *roll*, 0,002 untuk *pitch* dan -0,939 untuk *heading*. Koreksi lain yang dilakukan adalah koreksi pasang surut pemeruman dan SVP.

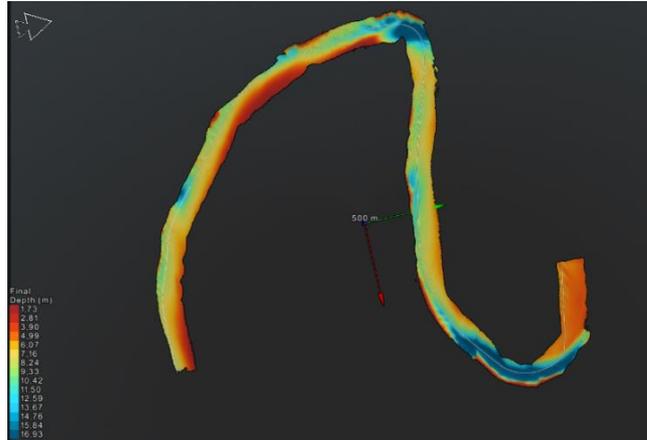


Gambar 4.8 Perhitungan *Patch Test*

Dikarenakan penelitian ini berada di area sungai mahakam, maka dibutuhkan koreksi tambahan yaitu koreksi gradien. Koreksi gradien digunakan untuk meluruskan muka air sungai sehingga sesuai dengan permukaan *chart datum*. Pencarian nilai gradien dapat dilihat pada sub Bab 4.1.2.

Data multibeam yang diolah sebelumnya mempunyai referensi terhadap geoid EGM96, dalam membuat alur pelayaran *chart datum* yang dibutuhkan adalah nilai surut terkecil dalam hal ini adalah LLWL. Untuk memindahkan referensi kedalaman dari kedalaman sementara menjadi

EGM96 dilakukan pengukuran pada BM dan rambu pasang surut. Sebelumnya telah diketahui nilai LLWL adalah 0,79 m diatas permukaan EGM96. Maka nilai DTM harus dinaikkan sebesar 0,79 m. Setelah diturunkan DTM sungai mahakam naik sebesar 0,79 m seperti gambar 4.9 berikut.

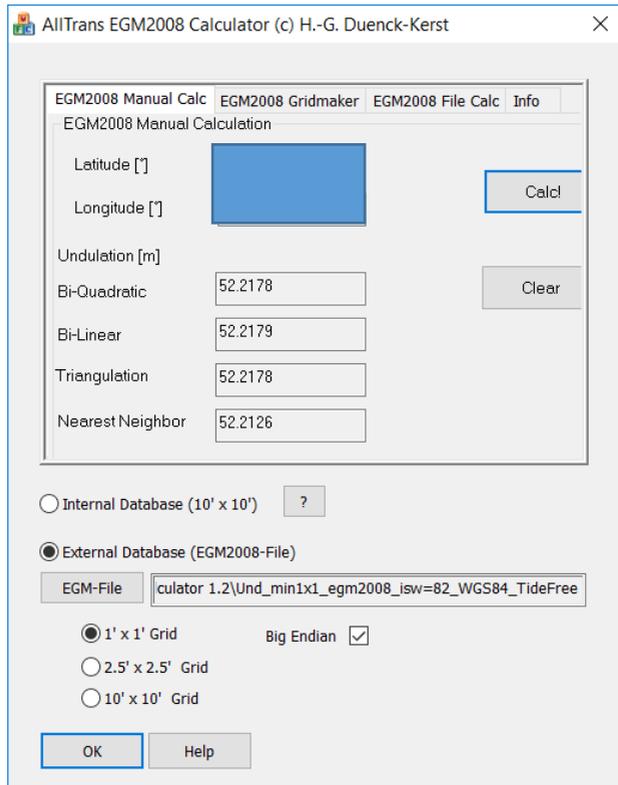


Gambar 4.9 DTM Setelah Dinaikkan

Setelah didapatkan DTM dengan referensi LLWL, untuk mendapatkan referensi geoid terbaru maka DTM di transformasikan menjadi EGM08. Dalam konversi nilai kedalaman, harus diketahui perbedaan nilai undulasi antara EGM96 dan EGM08 pada lokasi penelitian. Untuk mendapatkan nilai undulasi digunakan model geoid global. Model geoid global didapatkan dari www.earth-info.nga.mail.

Data model dibaca dalam *software* untuk koordinat yang ingin dicari nilai undulasinya. Nilai perbedaan undulasi didapatkan dari perbedaan nilai

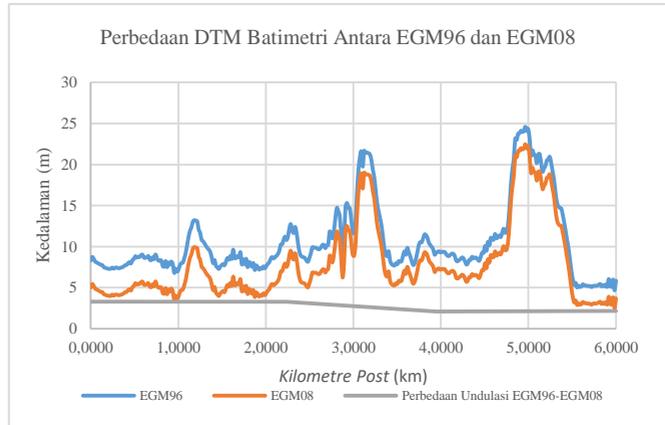
undulasi dari kedua model geoid pada titik yang sama.



Gambar 4.10 Software Model EGM08

Langkah selanjutnya adalah konversi nilai kedalaman dari EGM96 menjadi EGM08. Nilai perbedaan undulasi akan diaplikasikan untuk setiap titik pada DTM batimetri.

Perbandingan nilai kedalaman antara EGM96 dan EGM08 dapat dilihat pada Gambar 4.11 berikut.



Perbedaan Topografi EGM96 dan EGM08

Dalam Gambar 4.11 ditunjukkan bentuk topografi sepanjang garis KP di area survei, titik diambil setiap jarak 16 m. Diambil jarak 16 meter dikarenakan garis yang KP yang dibuat mempunyai koordinat di setiap jarak 16 meter. Garis biru dalam Gambar 4.11 menunjukkan bentuk topografi ketika masih menggunakan referensi EGM96 dan garis jingga menunjukkan bentuk topografi ketika masih menggunakan referensi EGM08. Untuk nilai setiap titik dalam Gambar 4.11 dapat dilihat dalam lampiran 1.

Untuk menjaga privasi perusahaan, maka peta yang dibuat haruslah mempunyai koordinat lokal. Konversi koordinat dilakukan dalam software Matlab dengan mengurangi setiap nilai X dan Y dengan nilai terkecil.

4.1.4 Pembuatan Alur Pelayaran

a. Perhitungan ketelitian

Perhitungan ketelitian digunakan untuk menentukan spesifikasi kedalaman alur pelayaran. Dalam menghitung ketelitian digunakan 30 sampel untuk membandingkan perbedaan kedalaman dari dua DTM. Perhitungan ketelitian disesuaikan dengan spesifikasi IHO-SP44 dan dalam penelitian ini digunakan spesifikasi orde satu dengan variabel $a = 0,25$ m dan $b = 0,0075$ yang dimasukkan dalam rumus perhitungan ketelitian $\sqrt{a^2 + (bxd)^2}$.

Dua titik dengan koordinat yang sama dibandingkan perbedaan kedalamannya dari dua pengukuran yang berbeda. Apabila selisih ketinggian dari dua titik kurang dari rumus ketelitian $\sqrt{a^2 + (bxd)^2}$ maka titik tersebut masuk dalam toleransi ketelitian. Dua pengukuran yang dibandingkan merupakan pengukuran batimetri MBES dimana terdapat area yang bertampalan.

Nilai ketelitian yang didapatkan kemudian dirata-rata, setelah dirata-rata nilai ketelitian yang didapatkan adalah 0,43 m. Untuk standar deviasi digunakan persamaan berikut.

$$s = \sqrt{\frac{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2}{n(n-1)}} \dots (4.1)$$

Dimana :

s = standar deviasi (simpangan baku)

x_i = nilai x ke- i

n = ukuran sampel

Sehingga didapatkan standar deviasi sebesar 0,294 m. Nilai ini yang akan digunakan sebagai variabel kedalaman alur pelayaran. Untuk lebih lengkapnya dapat dilihat dalam lampiran 2.

b. Perhitungan kedalaman alur pelayaran

Kedalaman alur pelayaran dalam penelitian ini dibagi menjadi dua, perhitungan kedalaman sesuai Standar Nasional Indonesia (SNI) dan kedalaman sesuai spesifikasi kapal. Dalam perhitungan spesifikasi kedalaman dan lebar kapal, spesifikasi kapal yang digunakan adalah sebagai berikut :

Tabel 4. 3 Spesifikasi Kapal Barang (Badan Klasifikasi

N

a
s
i
o
n
a
l
)

P

en
j
ela

Nama Kapal	<i>Dead Weight Tonnes (DWT)</i>	<i>Length Over All (LOA)</i>	B	D	F
	(ton)	(m)	(m)	(m)	(m)
Katingan (P.T. Buana Jaya Pratama)	336	30,51	12,00	2,4	0,6
Straits Phoenix (P.T. Citra Pertiwi Nusantara)	3296,90	75,70	24,50	3,30	1,10

san tabel 4.3 diatas, dimana:

DWT :Berat beban maksimum yang dapat ditanggung kapal (ton)

- LOA : Panjang kapal (m)
 B : Lebar kapal (m)
 D : Bagian yang terendam saat kapal penuh beban (m)
 F : Bagian yang tidak terendam saat kapal penuh beban (m)

1. Spesifikasi kedalaman SNI

Kedalaman alur pelayaran yang digunakan adalah pelayaran satu alur dan ditentukan dengan rumus:

$$H = d + G + R + P \dots (4.2)$$

Dimana :

- H (m) :Kedalaman Alur
 d (m) :Draft kapal
 G (m) :Gerak vertikal kapal karena gelombang dan squat
 R (m) :Ruang bebas bersih untuk alur sebesar 10%-15% dari draft kapal
 P (m) :Ketelitian pengukuran

Penjelasan spesifikasi kedalaman dibahas lebih dalam pada sub Bab 2.9.2. Alur kedalaman yang didapatkan adalah sebesar 3,593 m untuk kapal Katingan dan 5,128 m untuk kapal Straits Phoenix.

2. Spesifikasi kedalaman sesuai spesifikasi kapal

Spesifikasi kedalaman ini hanya menggunakan spesifikasi kapal untuk dihitung kedalaman minimum yang digunakan. Dalam spesifikasi ini digunakan kedalaman 2,4 m untuk kapal

Katingan dan 3,3 m untuk kapal Straits Phoenix.

c. Perhitungan lebar alur pelayaran

Seperti halnya perhitungan kedalaman, perhitungan lebar alur pelayaran dibagi menjadi spesifikasi sesuai SNI dan sesuai spesifikasi kapal. Spesifikasi kapal yang digunakan sesuai dengan Tabel 4.3.

1. Spesifikasi lebar SNI

Lebar alur pelayaran satu arah dihitung dengan menggunakan rumus $D1 = B * 4,6$. D1 adalah lebar alur kapal sedangkan B adalah lebar kapal. Berdasarkan rumus tersebut lebar alur pelayaran yang digunakan adalah 55,2 m untuk kapal Katingan dan 112,7 m untuk kapal Straits Phoenix.

2. Spesifikasi lebar sesuai spesifikasi kapal

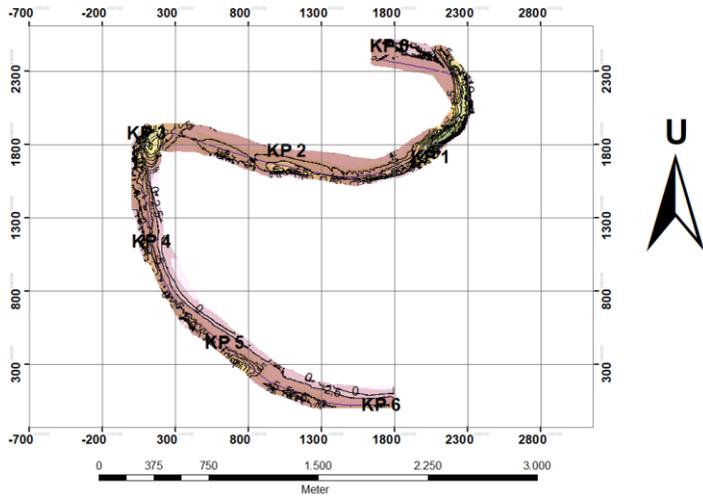
Sesuai spesifikasi kapal maka lebar alur yang digunakan adalah 12 m untuk kapal Katingan dan 24,5 m untuk kapal Straits Phoenix.

d. Pembuatan kontur

Sebelum didapatkan nilai DTM akhir yang digunakan untuk membuat alur pelayaran, dibuat kontur kedalaman terlebih dahulu. Kontur dibuat dengan grid satu meter dan interval 2,5 m. Interval kontur 2,5 m dihitung sesuai dengan rumus berikut.

$$Kontur = \frac{1}{2000} \times Skala Peta \dots \dots \dots (4.3)$$

Setelah kontur dibuat, didapatkan DTM akhir seperti pada Gambar 4.12 berikut.



Gambar 4. 12 DTM Akhir

Gambar 4.12 mempunyai panjang 6 km dan dapat dilihat dari KP 0 – KP 6. KP 0 berawal dari utara sungai hingga KP 6 di selatan sungai.

e. Pembuatan alur pelayaran

Pembuatan alur pelayaran dilakukan dengan membuat jalur yang diambil dengan memperhatikan kedalaman dan lebar minimum yang digunakan untuk menghindari kedalaman atau lebar yang terlalu rendah sehingga dihasilkan alur pelayaran yang aman.

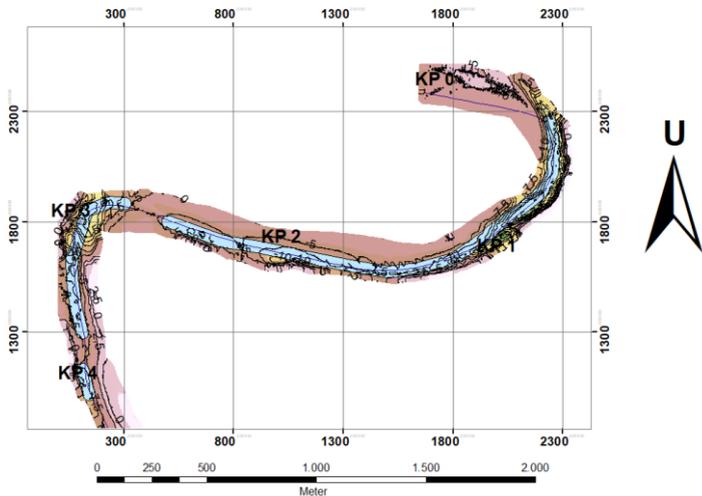
4.2 Analisa dan Hasil

4.2.1 Analisa Alur Pelayaran

Dalam penelitian ini terdapat dua analisa alur pelayaran, analisa pertama adalah sesuai dengan SNI analisa kedua adalah sesuai dengan spesifikasi kapal.

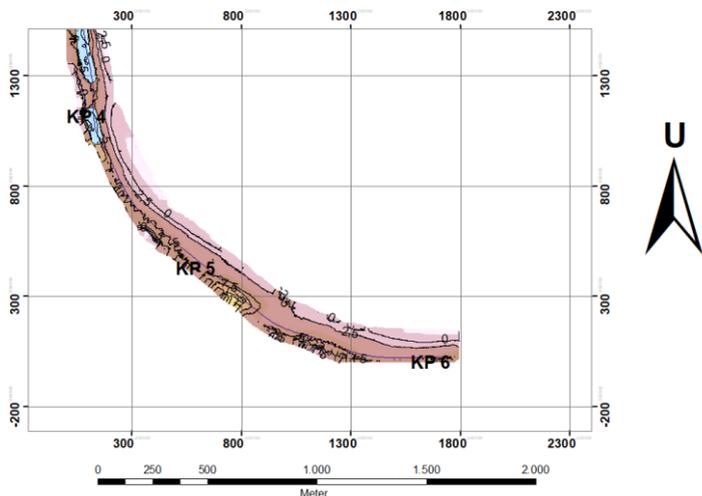
a. Spesifikasi SNI

Setelah dibuat alur pelayaran dapat dianalisa apakah alur tersebut dapat dilalui dengan aman oleh kapal atau tidak. Untuk alur pelayaran kapal Katingan, kapal tidak dapat melalui sungai mahakam dikarenakan kedalaman yang terlalu rendah sehingga kapal dikhawatirkan akan karam ketika melewati alur ini. Alur pelayaran dapat dilihat dalam Gambar 4.13 dan Gambar 4.14. Digunakan dua gambar untuk memudahkan poligon alur pelayaran agar mudah dilihat.



Gambar 4. 13 Alur Kapal Katingan SNI KP 0 – KP 4

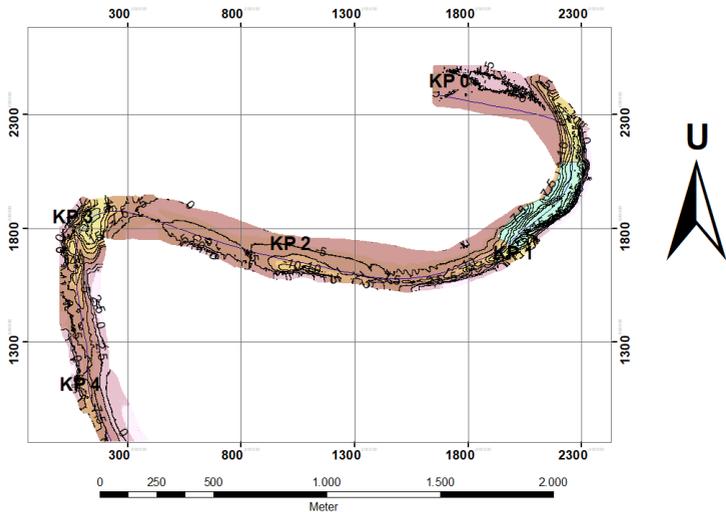
Gambar 4.13 merupakan DTM sungai dari KP 0 – KP 4. Dalam gambar 4.13 terlihat alur kapal hanya dapat melewati sebagian dari DAS Sungai Mahakam. Area poligon berwarna biru muda merupakan alur kapal katingan yang dapat dilewati, untuk area yang tidak mempunyai alur diantara dua alur pelayaran berarti area tersebut mempunyai kedalaman lebih rendah dari kedalaman minimum kapal katingan sebesar 3,593 m atau lebar lebih kecil dari lebar minimum sebesar 55,2 m dan tidak dapat dibuat alur pelayarannya. Untuk area selanjutnya dapat dilihat dalam Gambar 4.14. Gambar 4.14 menunjukkan DTM sungai dari KP 4 – KP 6. Pada Gambar 4.14 tidak terdapat alur yang memungkinkan dilalui kapal Katingan dikarenakan tidak terdapat alur yang memenuhi untuk dilalui secara aman.



Gambar 4. 14 Alur Kapal Katingan SNI KP 4 – KP 6

Dari gambar 4.13 dan 4.14 dapat dianalisa bahwa alur yang memungkinkan untuk dilewati oleh kapal Katingan adalah antara KP 0,5 – KP 2,5 awal, KP 3 – KP 3,7 dan awal dari KP 4.

Untuk kapal Straits Phoenix alur yang memungkinkan untuk dilewati hanya pada antara KP 0,5 – KP 1, alur tersebut dapat dilihat pada gambar 4.15 dalam poligon berwarna biru muda.

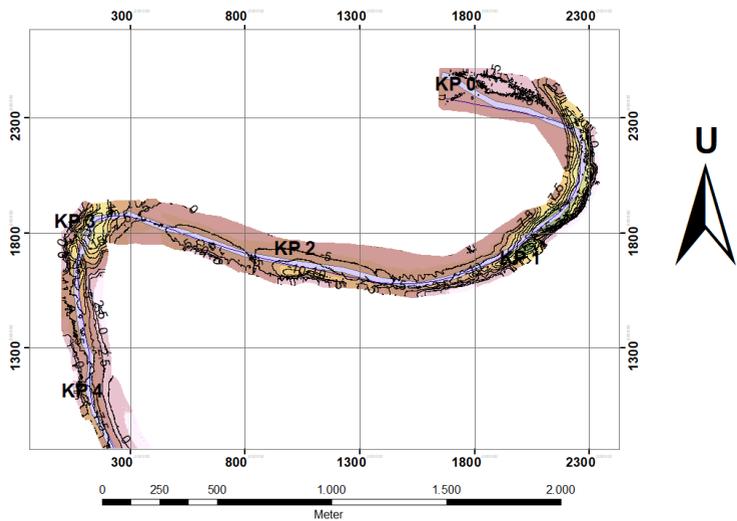


Gambar 4. 15 Alur Kapal Straits Phoenix SNI KP 0 – KP 4

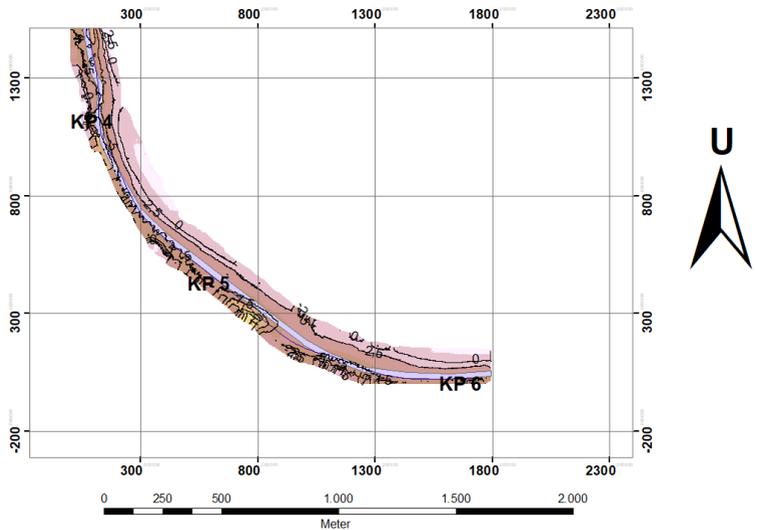
Seperti pada kasus kapal Katingan, alur kapal tidak memenuhi syarat minimum kedalaman kapal Straits Phoenix sebesar 5,128 m dan minimum lebar sebesar 112,7 m. Dari sini dapat diambil kesimpulan bahwa kapal Katingan dan kapal Straits Phoenix tidak dapat melewati Sungai Mahakam pada area penelitian ini dengan aman.

b. Spesifikasi Kapal

Alur pelayaran sesuai spesifikasi kapal dibuat dalam DAS Sungai Mahakam. Alur ini murni sesuai dengan dimensi kapal dari kapal Katingan dan kapal Straits Phoenix. Untuk kapal katingan dibuat alur pelayaran satu arah sesuai dengan gambar 4.16 dan gambar 4.17.



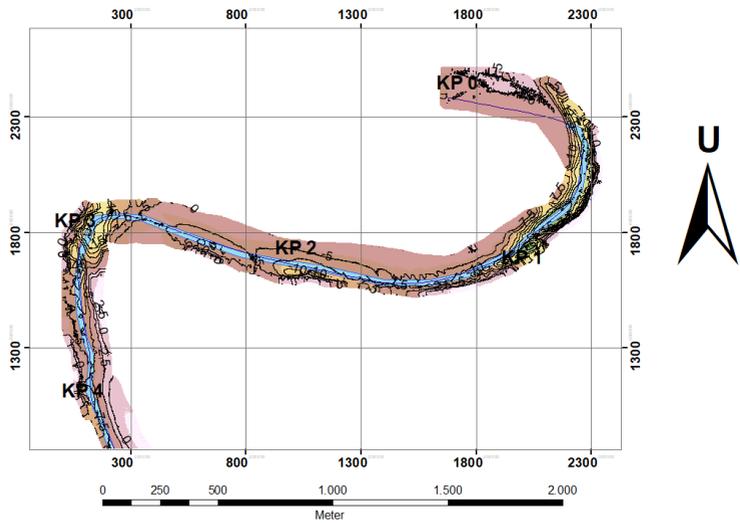
Gambar 4. 16 Alur Kapal Katingan tidak SNI KP 0 – KP 4



Gambar 4. 17 Alur Kapal Katingan tidak SNI KP 4 – KP 6

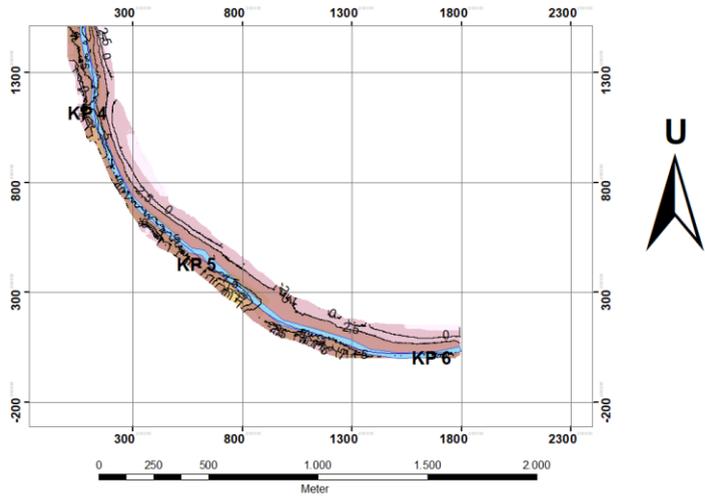
Alur ini dibuat dengan spesifikasi kedalaman sebesar 2,4 m dan spesifikasi lebar 12 m, alur ini dapat dilihat pada poligon berwarna ungu. Untuk kapal Katingan dapat diambil kesimpulan bahwa kapal katingan dapat melewati DAS Sungai Mahakam dalam penelitian ini dengan aman.

Untuk kapal Straits Phoenix dibuat dengan spesifikasi kedalaman 3,3 m dan spesifikasi lebar lebar 24,5 m. Dalam alur kapal Straits Phoenix terdapat area dengan kedalaman yang terlalu rendah sehingga tidak bisa dibuat alurnya, alur ini dapat dilihat pada poligon berwarna biru muda. Area yang terlalu rendah terletak pada area KP 0 – KP 0,5.



Gambar 4. 18 Alur Kapal Straits Phoenix tidak SNI KP 0 – KP 4

Selain area awal, DAS selanjutnya tidak terdapat halangan untuk membuat alur pelayaran sehingga dapat dibuat alur pelayaran untuk kapal Straits Phoenix.



Gambar 4. 19 Alur Kapal Straits Phoenix tidak SNI KP 4 –
KP 6

Dari alur pelayaran ini dapat diambil kesimpulan bahwa kapal Straits Phoenix tidak dapat berlayar pada DAS Sungai Mahakam pada penelitian ini.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian mengenai analisis kedalaman sungai untuk pembuatan alur pelayaran kapal batu bara ini, dapat diambil dua kesimpulan sebagai berikut :

1. Parameter yang digunakan dalam pembuatan alur kapal untuk sungai adalah :

- a. Pasang Surut Sungai

Nilai pasang surut dari rambu pasang surut digunakan untuk menentukan nilai LLWL yang menjadi acuan kedalaman dalam data batimetri. LLWL yang digunakan berada pada 1,5 m dibawah rambu pasang surut atau 0,79 m diatas geoid EGM96.

- b. Gradien

Gradien merupakan hal yang paling penting dalam koreksi data batimetri sungai dikarenakan bentuk topografi sungai yang dapat dipastikan miring. Koreksi gradien dilakukan dengan meluruskan topografi dari DTM batimetri menjadi lurus agar dapat di referensikan terhadap LLWL. Nilai Gradien sungai mulai dari KP 0 – KP 6 adalah sebesar 0,00007 dengan penurunan muka air sungai sebesar 0,424 m menurun dari KP 0.

- c. Koreksi survei batimetri

Koreksi survei terdiri dari pasang surut saat pemeruman, SVP dan kalibrasi MBES. Kalibrasi MBES terdiri dari *roll*, *pitch* dan *heading* yang dilakukan saat survei. Nilai *roll*, *pitch* dan *heading* masing-masing adalah 0,336 untuk *roll*, 0,002 untuk *pitch* dan -0,939 untuk *heading*

d. Referensi datum vertikal

Referensi kedalaman dari sungai adalah geoid global. Hal ini dilakukan karena permukaan air sungai yang dinamis maka dibutuhkan referensi kedalaman yang lebih stabil saat pengambilan data survei yaitu geoid global. Dalam penelitian ini digunakan referensi geoid EGM08 untuk pembuatan peta.

e. Ketelitian Pengukuran Survei

Ketelitian dihitung menggunakan peraturan IHO SP-44 dengan membandingkan kedalaman dari dua titik yang sama. Hasil akhir ketelitian dirata-rata untuk dimasukkan dalam perhitungan spesifikasi alur kedalaman. Nilai rata-rata ketelitian yang didapatkan adalah 0,43 m dengan standar deviasi sebesar 0,294 m.

f. Spesifikasi Kapal

Spesifikasi kapal yang ingin dibuat alur pelayarannya. Spesifikasi kapal harus memiliki DWT, *draft* kapal saat beban maksimum dan lebar kapal. Dalam penelitian ini digunakan kapal Katingan dengan lebar 12 m dan *draft* maksimum 2,4 m, kapal lainnya adalah Straits Phoenix dengan lebar 24,5 m dan *draft* maksimum 3,3 m.

g. Referensi perhitungan alur pelayaran

Referensi perhitungan alur terdiri dari referensi sesuai SNI baik spesifikasi kedalaman ataupun spesifikasi lebar alur. Referensi kedua adalah referensi berdasarkan data mentah dari spesifikasi kapal itu sendiri. Referensi kedua lebih sering digunakan oleh perusahaan komersial. Referensi kedalaman SNI yang didapatkan adalah 3,593 m untuk kapal Katingan dan 5,128 m untuk kapal Straits Phoenix. Sedangkan referensi lebar yang

didapatkan adalah 55,2 m untuk kapal Katingan dan 112,7 m untuk kapal Straits Phoenix.

2. Alur Kapal

Berdasarkan alur kapal yang sudah dibuat terdapat dua kesimpulan dalam menentukan apakah kapal dapat melewati DAS Sungai Mahakam penelitian ini atau tidak. Mengacu kepada alur pelayaran yang sesuai dengan spesifikasi SNI maka alur yang memungkinkan untuk dilewati oleh kapal Katingan adalah antara KP 0,5 – KP 2,5 awal dari KP 3 – KP 3,7 dan awal dari KP 4, untuk kapal Straits Phoenix alur yang memungkinkan untuk dilewati hanya pada antara KP 0,5 – KP 1

Jika mengacu pada spesifikasi kapal secara mentah, kapal Katingan dapat melewati DAS Sungai Mahakam dengan aman sedangkan kapal Straits Phoenix hanya dapat melewati sungai mahakam dari KP 0,5 – KP 6.

5.2 Saran

Untuk penelitian selanjutnya, aspek yang perlu diperhatikan agar penelitian ini dapat dikembangkan lebih lanjut adalah :

1. Penelitian dilakukan jika ada data pembandingan, hal ini dilakukan sebagai validasi apakah data kedalaman yang diambil sudah benar atau belum.
2. Rambu pasang surut dipasang dengan jarak yang pendek sehingga referensi kedalaman menjadi lebih akurat untuk setiap areanya.
3. Pengambilan data survei dilakukan sedekat mungkin dengan rambu pasang surut sehingga referensi kedalaman menjadi lebih akurat.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- Biro Klasifikasi Indonesia. 2018. "Ship Register". <URL: <http://armada.bki.co.id/featapp/pagedetail-38-ship-register-lang-en.html>> diakses tanggal 30 Juli 2018, jam 20.57 WIB.
- BPS Kalimantan Tengah. 2016. "Jumlah Izin Usaha Pertambangan (IUP) Produksi Menurut Jenis Barang dan Tambang Kabupaten/Kota di Provinsi Kalimantan Tengah, 2016". <URL: <http://kalteng.bps.go.id/statictable/2017/10/25/570/jumlah-izin-usaha-pertambangan-iup-produksi-menurut-jenis-barang-tambang-dan-kabupaten-kota-di-provinsi-kalimantan-tengah-2016-.html>> diakses tanggal 6 Februari 2018, jam 13.31 WIB
- BSN. 2010. Diunduh dari bakorsurtanal.web site: <URL: <http://www.bakorsurtanal.go.id/assets/download/sni/SNI/16.%20SNI%207646-2010%20Survei%20hidrografi.pdf>> diakses tanggal 6 Februari 2018, jam 13.53 WIB
- Darmawan, M.D. 2016. "Pembuatan Alur Pelayaran dalam Rencana Pelabuhan Marina Pantai Boom, Banyuwangi". Surabaya : Teknik Geomatika ITS
- Dinas Perhubungan Samarinda. 2017. "Tambangan Mahakam, Transportasi Air yang Tak Pernah Mati". <URL: <http://bappeda.samarindakota.go.id/2017/1/19/tambangan-mahakam-transportasi-air-yang-tak-pernah-mati>> diakses tanggal 6 Februari 2018, jam 13.28 WIB
- Djunarsah, E. &. Poerbandono 2005. "Survei Hidrografi". Bandung: Penerbit Refika Aditama
- Eiva. 2014. "Patch Test Calibration". Denmark.
- Godin, G. 1984. "The Tide in Rivers". Kanada : University of New Brunswick

- IHO. 2005. "Manual on Hydrography". Monaco: International Hydrographic Bureau
- IHO. 2008. "IHO Standards for Hydrographics Surveys 5th Edition Special Publication No. 44". Monaco: International Hydrographic Bureau
- IHO. 2011. "TWLGLG4/4/11B". Monaco : International Hydrographic Bureau
- Jong, D. 2002. "Hydrography" . Netherlands: Delft University Press
- Juniati, E., Aldino Rizaldy. 2017. "Konversi Datum Vertikal DSM IFSAR untuk Pemetaan Rupabumi Skala 1:25000". Bogor. Staf Pusat Pemetaan Rupabumi dan Toponim - Badan Informasi Geospasial
- Kramadibrata, S. 2002. "Perencanaan Pelabuhan". Bandung. PT Refika Aditama
- Leveson, David J. 2002. "The Concept of Gradient". <URL: <http://academic.brooklyn.cuny.edu/geology/leveson/core/linksa/gradient.html>> diakses tanggal 30 Juli 2018, Jam 14:48 WIB
- Lekkerkerk, H. J., Velden, R. V., Haycock, T., Jansen, P., Vries, R. D., Waalwijk, P. V., et al. 2006. "Handbook of Offshore Surveying Volume One: Preparation & Positioning". London: Clarkson Research Service Limited
- National Oceanic and Atmosphere Administration. 2017. "How Multibeam Sonar Works". <URL: <http://oceanexplorer.noaa.gov/explorations/09bermuda/background/multibeam/multibeam.html>> diakses tanggal 13 Maret 2018, jam 21.31 WIB
- Parnum, Iain., Paulus, J.W.S., Alexander N.G. 2014. "A Comparison of Singlebeam and Multibeam Sonar System in Seafloor Habitat Mapping". Australia. Centre for marine science and technology, curtin university, perth, Australia
- Pemerintah Republik Indonesia. 2011. "Peraturan Pemerintah No.38 Tahun 2011, Tentang Sungai". Jakarta. Kementerian Sekretariat Negara Republik Indonesia

- Rosdynur, Z.S. 2012. "Pekerjaan Survei Hidrografi dan Perencanaan Alur Pelayaran dalam Usaha Transportasi Hasil Pertambangan Batubara". Bandung : Teknik Geodesi dan Geomatika ITB
- Syahrial, R. 2009. "Analisis Peruntukan Lahan Daerah Aliran Sungai (DAS) Belawan Kaitannya Dengan Perencanaan Tata Ruang". Medan: Sekolah Pascasarjana Universitas Sumatera Utara
- Wellenhof, B.H., Helmut Moritz. 2005. "Physical Geodesy". Institut für Navigation und Satellitengeodäsie Technische Universität Graz, Graz, Austria
- Yuwono. 2005. "Buku Ajar Hidrografi-1". *Survei Hidrografi*. Surabaya: Teknik Geodesi ITS

LAMPIRAN

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN 1. Perbandingan Undulasi EGM96-EGM08 pada KP Area Penelitian

Nomor	X (m)	Y (m)	Perbedaan Undulasi EGM96-EGM08 (m)	EGM96 (m)	EGM08 (m)	KP (km)
1	1790,172	23,209	3,292	8,31	5,017	0
2	1757,786	23,67	3,292	8,73	5,437	0,016
3	1727,034	23,776	3,292	8,53	5,237	0,032
4	1697,97	23,571	3,292	8,18	4,887	0,049
5	1670,574	23,133	3,292	8,08	4,787	0,065
6	1644,822	22,539	3,292	7,97	4,677	0,082
7	1620,694	21,864	3,291	7,88	4,588	0,098
8	1598,169	21,186	3,291	7,77	4,478	0,115
9	1577,225	20,582	3,291	7,76	4,468	0,131
10	1557,84	20,129	3,291	7,5	4,208	0,147
11	1539,966	19,886	3,291	7,42	4,128	0,164
12	1523,444	19,853	3,291	7,36	4,068	0,18
13	1508,085	20,01	3,291	7,31	4,018	0,197
14	1493,702	20,341	3,291	7,27	3,978	0,213
15	1480,108	20,827	3,291	7,33	4,038	0,23
16	1467,116	21,45	3,291	7,44	4,148	0,246
17	1454,538	22,193	3,291	7,31	4,018	0,263
18	1442,187	23,037	3,291	7,43	4,138	0,279
19	1429,905	23,973	3,29	7,44	4,149	0,295
20	1417,657	25,031	3,29	7,38	4,089	0,312

Nomor	X (m)	Y (m)	Perbedaan Undulasi EGM96-EGM08 (m)	EGM96 (m)	EGM08 (m)	KP (km)
21	1405,434	26,247	3,29	7,37	4,079	0,328
22	1393,231	27,661	3,29	7,44	4,149	0,345
23	1381,04	29,31	3,29	7,49	4,199	0,361
24	1368,856	31,231	3,29	7,61	4,319	0,378
25	1356,671	33,464	3,29	7,74	4,449	0,394
26	1344,478	36,045	3,29	7,78	4,489	0,41
27	1332,271	39,001	3,29	8,01	4,719	0,427
28	1320,046	42,314	3,29	8,08	4,789	0,443
29	1307,798	45,953	3,29	7,95	4,659	0,46
30	1295,522	49,889	3,29	8,37	5,08	0,476
31	1283,213	54,09	3,289	8,5	5,21	0,493
32	1270,869	58,528	3,289	8,83	5,54	0,509
33	1258,483	63,172	3,289	8,66	5,37	0,526
34	1246,051	67,992	3,289	8,76	5,47	0,542
35	1233,571	72,954	3,289	8,74	5,45	0,558
36	1221,046	78,004	3,289	8,97	5,68	0,575
37	1208,482	83,085	3,289	9,01	5,72	0,591
38	1195,885	88,141	3,289	8,64	5,35	0,608
39	1183,26	93,114	3,289	8,63	5,34	0,624
40	1170,612	97,947	3,289	8,7	5,41	0,641

Nomor	X (m)	Y (m)	Perbedaan Undulasi EGM96-EGM08 (m)	EGM96 (m)	EGM08 (m)	KP (km)
41	1157,948	102,582	3,289	8,84	5,55	0,657
42	1145,273	106,962	3,289	8,41	5,121	0,673
43	1132,596	111,05	3,288	8,35	5,061	0,69
44	1119,938	114,886	3,288	8,7	5,411	0,706
45	1107,326	118,527	3,288	8,47	5,181	0,723
46	1094,784	122,034	3,288	9,04	5,751	0,739
47	1082,339	125,466	3,288	8,58	5,291	0,756
48	1070,015	128,881	3,288	8,28	4,991	0,772
49	1057,838	132,339	3,288	8,31	5,021	0,789
50	1045,833	135,899	3,288	8,31	5,021	0,805
51	1034,018	139,616	3,288	7,63	4,341	0,821
52	1022,383	143,536	3,288	7,57	4,281	0,838
53	1010,907	147,698	3,288	8,24	4,951	0,854
54	999,572	152,145	3,287	7,49	4,202	0,871
55	988,36	156,917	3,287	8,05	4,762	0,887
56	977,251	162,055	3,287	7,81	4,522	0,904
57	966,226	167,6	3,287	8,18	4,892	0,925
58	955,267	173,593	3,287	7,85	4,562	0,936
59	944,358	180,058	3,287	6,79	3,502	0,953
60	933,504	186,947	3,287	7,31	4,022	0,969

Nomor	X (m)	Y (m)	Perbedaan Undulasi EGM96-EGM08 (m)	EGM96 (m)	EGM08 (m)	KP (km)
61	922,711	194,196	3,287	6,96	3,672	0,986
62	911,988	201,74	3,287	7,2	3,912	1,002
63	901,34	209,515	3,287	7,78	4,492	1,019
64	890,777	217,454	3,287	7,98	4,692	1,035
65	880,304	225,495	3,287	8,06	4,772	1,052
66	869,931	233,571	3,286	8,6	5,313	1,068
67	859,662	241,631	3,286	9,26	5,973	1,084
68	849,499	249,676	3,286	10,23	6,943	1,101
69	839,444	257,717	3,286	11,23	7,943	1,117
70	829,496	265,767	3,286	11,95	8,663	1,134
71	819,656	273,84	3,286	12,38	9,093	1,15
72	809,924	281,948	3,286	13,06	9,773	1,167
73	800,3	290,104	3,286	13,22	9,933	1,183
74	790,786	298,321	3,286	13,15	9,863	1,2
75	781,377	306,605	3,286	13,08	9,793	1,216
76	772,052	314,945	3,286	12,07	8,783	1,232
77	762,785	323,32	3,285	11,69	8,404	1,249
78	753,552	331,711	3,285	10,83	7,544	1,265
79	744,327	340,1	3,285	10,66	7,374	1,282
80	735,084	348,466	3,285	10,4	7,114	1,298

Nomor	X (m)	Y (m)	Perbedaan Undulasi EGM96-EGM08 (m)	EGM96 (m)	EGM08 (m)	KP (km)
81	725,798	356,793	3,286	10,09	6,804	1,315
82	716,444	365,059	3,286	9,84	6,554	1,332
83	706,952	373,291	3,285	9,64	6,355	1,348
84	697,075	381,696	3,285	9,37	6,085	1,364
85	686,52	390,526	3,285	8,72	5,435	1,381
86	674,997	400,03	3,285	7,97	4,685	1,397
87	662,213	410,461	3,285	8,38	5,095	1,414
88	647,877	422,071	3,285	7,65	4,365	1,430
89	631,698	435,11	3,285	7,47	4,185	1,447
90	613,383	449,831	3,285	7,27	3,985	1,463
91	592,787	466,366	3,285	7,57	4,285	1,479
92	570,351	484,38	3,285	7,74	4,455	1,496
93	546,66	503,421	3,285	7,88	4,595	1,512
94	522,302	523,034	3,285	7,73	4,445	1,529
95	497,863	542,765	3,284	8,2	4,916	1,545
96	473,928	562,163	3,284	8,62	5,336	1,562
97	451,085	580,773	3,284	8,4	5,116	1,578
98	429,921	598,142	3,284	8,85	5,566	1,595
99	410,888	613,93	3,284	8,52	5,236	1,611
100	393,911	628,254	3,284	9,63	6,346	1,627

Nomor	X (m)	Y (m)	Perbedaan Undulasi EGM96-EGM08 (m)	EGM96 (m)	EGM08 (m)	KP (km)
101	378,783	641,343	3,284	8,6	5,316	1,644
102	365,293	653,426	3,284	8,62	5,336	1,660
103	353,235	664,733	3,284	8,85	5,566	1,677
104	342,399	675,494	3,284	8,72	5,436	1,693
105	332,578	685,939	3,284	9,31	6,026	1,710
106	323,563	696,297	3,284	7,83	4,546	1,726
107	315,17	706,754	3,283	8,44	5,157	1,742
108	307,313	717,326	3,283	7,86	4,577	1,759
109	299,932	727,986	3,283	8,52	5,237	1,775
110	292,964	738,705	3,283	7,5	4,217	1,792
111	286,35	749,455	3,283	8,1	4,817	1,808
112	280,026	760,208	3,283	7,95	4,667	1,825
113	273,933	770,938	3,283	7,55	4,267	1,841
114	268,009	781,615	3,283	7,99	4,707	1,858
115	262,201	792,223	3,283	7,14	3,857	1,874
116	256,498	802,789	3,283	7,69	4,407	1,890
117	250,896	813,35	3,283	7,5	4,217	1,907
118	245,39	823,943	3,282	7,19	3,908	1,923
119	239,977	834,607	3,282	7,4	4,118	1,940
120	234,654	845,38	3,282	7,3	4,018	1,956

Nomor	X (m)	Y (m)	Perbedaan Undulasi EGM96-EGM08 (m)	EGM96 (m)	EGM08 (m)	KP (km)
121	229,416	856,297	3,282	7,59	4,308	1,973
122	224,261	867,398	3,282	7,36	4,078	1,989
123	219,178	878,702	3,282	7,63	4,348	2,005
124	214,132	890,152	3,282	7,9	4,618	2,022
125	209,08	901,675	3,282	8,07	4,788	2,038
126	203,981	913,197	3,282	8,5	5,218	2,055
127	198,792	924,645	3,282	8,72	5,438	2,071
128	193,472	935,944	3,282	8,56	5,278	2,088
129	187,978	947,021	3,282	8,69	5,408	2,104
130	182,268	957,802	3,281	8,87	5,589	2,121
131	176,328	968,245	3,281	9,09	5,809	2,137
132	170,247	978,436	3,281	9,47	6,189	2,153
133	164,142	988,496	3,281	10,24	6,959	2,170
134	158,132	998,543	3,281	10,28	6,999	2,186
135	152,333	1008,697	3,281	10,8	7,519	2,203
136	146,861	1019,076	3,281	11,22	7,939	2,219
137	141,836	1029,799	3,281	10,8	7,519	2,236
138	137,373	1040,986	3,269	11,16	7,891	2,252
139	133,561	1052,725	3,258	12,21	8,952	2,268
140	130,38	1064,973	3,247	12,74	9,493	2,285

Nomor	X (m)	Y (m)	Perbedaan Undulasi EGM96-EGM08 (m)	EGM96 (m)	EGM08 (m)	KP (km)
141	127,779	1077,659	3,235	11,91	8,675	2,301
142	125,707	1090,71	3,224	11,67	8,446	2,318
143	124,116	1104,054	3,212	12,4	9,188	2,334
144	122,954	1117,617	3,201	11,69	8,489	2,351
145	122,173	1131,328	3,190	10,42	7,230	2,367
146	121,722	1145,113	3,178	9,39	6,212	2,384
147	121,544	1158,908	3,167	8,89	5,723	2,400
148	121,553	1172,68	3,155	8,76	5,605	2,416
149	121,654	1186,403	3,144	8,69	5,546	2,433
150	121,755	1200,051	3,132	8,57	5,438	2,449
151	121,762	1213,599	3,121	8,27	5,149	2,466
152	121,58	1227,021	3,110	8,16	5,050	2,482
153	121,116	1240,293	3,098	8,66	5,562	2,499
154	120,278	1253,388	3,087	9,21	6,123	2,515
155	118,992	1266,322	3,075	9,91	6,835	2,532
156	117,281	1279,275	3,064	9,86	6,796	2,548
157	115,187	1292,469	3,053	9,87	6,817	2,564
158	112,753	1306,126	3,041	9,82	6,779	2,581
159	110,023	1320,467	3,030	9,69	6,660	2,597
160	107,04	1335,713	3,018	9,69	6,672	2,614

Nomor	X (m)	Y (m)	Perbedaan Undulasi EGM96-EGM08 (m)	EGM96 (m)	EGM08 (m)	KP (km)
161	103,847	1352,086	3,007	9,93	6,923	2,630
162	100,487	1369,808	2,995	10,19	7,195	2,647
163	97,008	1388,998	2,984	10,2	7,216	2,663
164	93,473	1409,371	2,973	9,81	6,837	2,679
165	89,952	1430,541	2,961	10,14	7,179	2,696
166	86,512	1452,122	2,950	10,23	7,280	2,712
167	83,221	1473,726	2,938	11,82	8,882	2,729
168	80,148	1494,967	2,927	11,54	8,613	2,745
169	77,361	1515,459	2,915	11	8,085	2,762
170	74,928	1534,814	2,904	11,98	9,076	2,778
171	72,902	1552,752	2,893	13,46	10,567	2,795
172	71,276	1569,409	2,881	14,7	11,819	2,811
173	70,025	1585,028	2,870	14,33	11,460	2,827
174	69,126	1599,849	2,858	13,76	10,902	2,844
175	68,556	1614,114	2,847	11,52	8,673	2,860
176	68,292	1628,067	2,836	9,08	6,244	2,877
177	68,309	1641,947	2,824	10,67	7,846	2,893
178	68,585	1655,998	2,813	14,78	11,967	2,910
179	69,112	1670,397	2,801	15,31	12,509	2,926
180	69,949	1685,074	2,790	14,76	11,970	2,942

Nomor	X (m)	Y (m)	Perbedaan Undulasi EGM96-EGM08 (m)	EGM96 (m)	EGM08 (m)	KP (km)
181	71,172	1699,891	2,778	14,69	11,912	2,959
182	72,856	1714,715	2,767	13,35	10,583	2,975
183	75,075	1729,41	2,756	11,84	9,084	2,992
184	77,906	1743,84	2,744	11,61	8,866	3,008
185	81,423	1757,87	2,733	12,95	10,217	3,025
186	85,702	1771,365	2,721	16,44	13,719	3,041
187	90,798	1784,205	2,710	19,28	16,570	3,058
188	96,691	1796,329	2,699	20,83	18,131	3,074
189	103,337	1807,693	2,687	21,59	18,903	3,090
190	110,697	1818,249	2,676	19,74	17,064	3,107
191	118,73	1827,955	2,664	21,65	18,986	3,123
192	127,394	1836,763	2,653	21,44	18,787	3,140
193	136,647	1844,629	2,641	21,44	18,799	3,156
194	146,45	1851,507	2,630	21,38	18,750	3,173
195	156,757	1857,371	2,619	21,23	18,611	3,189
196	167,515	1862,27	2,607	20,57	17,963	3,205
197	178,665	1866,272	2,596	19,39	16,794	3,222
198	190,15	1869,445	2,584	18,44	15,856	3,238
199	201,912	1871,857	2,573	16,91	14,337	3,255
200	213,893	1873,577	2,562	15,33	12,768	3,271

Nomor	X (m)	Y (m)	Perbedaan Undulasi EGM96-EGM08 (m)	EGM96 (m)	EGM08 (m)	KP (km)
201	226,036	1874,672	2,550	14,34	11,790	3,288
202	238,283	1875,21	2,539	13,52	10,981	3,304
203	250,614	1875,239	2,527	12,61	10,083	3,321
204	263,163	1874,724	2,516	11,29	8,774	3,337
205	276,1	1873,61	2,504	9,84	7,336	3,353
206	289,595	1871,842	2,493	9	6,507	3,370
207	303,82	1869,363	2,482	8,84	6,358	3,386
208	318,945	1866,12	2,470	9,44	6,970	3,403
209	335,141	1862,056	2,459	8,3	5,841	3,419
210	352,579	1857,116	2,447	7,9	5,453	3,436
211	371,421	1851,262	2,436	7,75	5,314	3,452
212	391,791	1844,526	2,425	7,69	5,266	3,468
213	413,807	1836,956	2,413	7,95	5,537	3,485
214	437,584	1828,599	2,402	7,84	5,438	3,501
215	463,239	1819,504	2,390	8,23	5,840	3,518
216	490,888	1809,72	2,379	8,15	5,771	3,534
217	520,647	1799,294	2,367	8,22	5,853	3,551
218	552,632	1788,275	2,356	8,87	6,514	3,567
219	586,858	1776,736	2,345	9,42	7,075	3,584
220	622,925	1764,846	2,333	9,01	6,677	3,600

Nomor	X (m)	Y (m)	Perbedaan Undulasi EGM96-EGM08 (m)	EGM96 (m)	EGM08 (m)	KP (km)
221	660,333	1752,796	2,322	9,85	7,528	3,616
222	698,58	1740,781	2,310	9,29	6,980	3,633
223	737,166	1728,994	2,299	8,84	6,541	3,649
224	775,589	1717,627	2,287	8,25	5,963	3,666
225	813,349	1706,874	2,276	7,76	5,484	3,682
226	849,943	1696,928	2,265	7,92	5,555	3,699
227	884,978	1687,929	2,253	8,51	6,257	3,715
228	918,48	1679,805	2,242	9,32	7,078	3,732
229	950,583	1672,434	2,230	10,2	7,970	3,748
230	981,42	1665,692	2,219	10,55	8,331	3,764
231	1011,124	1659,454	2,208	10,52	8,312	3,781
232	1039,829	1653,597	2,196	11,01	8,814	3,797
233	1067,669	1647,998	2,185	11,48	9,295	3,814
234	1094,776	1642,531	2,173	11,38	9,207	3,830
235	1121,242	1637,104	2,162	11,06	8,898	3,847
236	1146,992	1631,735	2,150	10,47	8,320	3,863
237	1171,911	1626,475	2,139	10,18	8,041	3,879
238	1195,881	1621,374	2,128	9,95	7,822	3,896
239	1218,787	1616,479	2,116	9,66	7,544	3,912
240	1240,513	1611,841	2,105	9,01	6,905	3,929

Nomor	X (m)	Y (m)	Perbedaan Undulasi EGM96-EGM08 (m)	EGM96 (m)	EGM08 (m)	KP (km)
241	1260,941	1607,51	2,093	9,24	7,147	3,945
242	1279,956	1603,534	2,094	9,36	7,266	3,962
243	1297,492	1599,95	2,094	9,43	7,336	3,978
244	1313,691	1596,741	2,095	9,28	7,185	3,995
245	1328,744	1593,879	2,096	9,38	7,284	4,011
246	1342,843	1591,332	2,096	9,35	7,254	4,027
247	1356,18	1589,072	2,097	9,35	7,253	4,044
248	1368,948	1587,07	2,097	9,08	6,983	4,060
249	1381,338	1585,294	2,098	8,88	6,782	4,077
250	1393,543	1583,717	2,098	8,85	6,752	4,093
251	1405,724	1582,313	2,099	9,02	6,921	4,110
252	1417,925	1581,087	2,099	9,14	7,041	4,126
253	1430,16	1580,047	2,100	9,11	7,010	4,142
254	1442,443	1579,201	2,101	8,84	6,739	4,159
255	1454,787	1578,558	2,101	8,29	6,189	4,175
256	1467,207	1578,128	2,102	8,21	6,108	4,192
257	1479,716	1577,919	2,102	8,36	6,258	4,208
258	1492,328	1577,939	2,103	8,48	6,377	4,225
259	1505,051	1578,196	2,103	8,68	6,577	4,241
260	1517,872	1578,684	2,104	8,57	6,466	4,258

Nomor	X (m)	Y (m)	Perbedaan Undulasi EGM96-EGM08 (m)	EGM96 (m)	EGM08 (m)	KP (km)
261	1530,774	1579,399	2,104	8,23	6,126	4,274
262	1543,739	1580,334	2,105	7,82	5,715	4,290
263	1556,747	1581,483	2,105	7,95	5,845	4,307
264	1569,781	1582,839	2,106	8,38	6,274	4,323
265	1582,823	1584,396	2,107	8,38	6,273	4,340
266	1595,855	1586,148	2,107	8,75	6,643	4,356
267	1608,866	1588,095	2,108	8,58	6,472	4,373
268	1621,878	1590,255	2,108	8,65	6,542	4,389
269	1634,92	1592,656	2,109	8,64	6,531	4,405
270	1648,023	1595,321	2,109	8,41	6,301	4,422
271	1661,215	1598,278	2,110	8,27	6,160	4,438
272	1674,527	1601,55	2,110	8,74	6,630	4,455
273	1687,987	1605,165	2,111	9,26	7,149	4,471
274	1701,625	1609,146	2,112	9,24	7,128	4,488
275	1715,452	1613,501	2,112	10,08	7,968	4,504
276	1729,4	1618,157	2,113	9,47	7,357	4,521
277	1743,383	1623,021	2,113	10,56	8,447	4,537
278	1757,314	1628,002	2,114	10,15	8,036	4,553
279	1771,108	1633,006	2,114	11,07	8,956	4,570
280	1784,678	1637,943	2,115	10,9	8,785	4,586

Nomor	X (m)	Y (m)	Perbedaan Undulasi EGM96-EGM08 (m)	EGM96 (m)	EGM08 (m)	KP (km)
281	1797,937	1642,72	2,115	10,84	8,725	4,603
282	1810,8	1647,245	2,116	11,54	9,424	4,619
283	1823,249	1651,5	2,117	11,03	8,913	4,636
284	1835,55	1655,763	2,117	11,18	9,063	4,652
285	1848,04	1660,385	2,118	11,36	9,242	4,668
286	1861,052	1665,72	2,118	11,16	9,042	4,685
287	1874,923	1672,119	2,119	11,73	9,611	4,701
288	1889,988	1679,934	2,119	12,18	10,061	4,718
289	1906,583	1689,518	2,120	11,68	9,560	4,734
290	1925,043	1701,222	2,120	11,74	9,620	4,751
291	1945,553	1715,249	2,121	12,67	10,549	4,767
292	1967,701	1731,203	2,121	14,77	12,649	4,784
293	1990,922	1748,536	2,122	17,58	15,458	4,800
294	2014,653	1766,704	2,123	19,41	17,287	4,816
295	2038,331	1785,159	2,123	20,71	18,587	4,833
296	2061,391	1803,356	2,124	23,17	21,046	4,849
297	2083,271	1820,748	2,124	23	20,876	4,866
298	2103,408	1836,79	2,125	23,75	21,625	4,882
299	2121,368	1851,073	2,125	23,8	21,675	4,899
300	2137,245	1863,748	2,126	24,12	21,994	4,915

Nomor	X (m)	Y (m)	Perbedaan Undulasi EGM96-EGM08 (m)	EGM96 (m)	EGM08 (m)	KP (km)
301	2151,264	1875,104	2,126	23,96	21,834	4,932
302	2163,651	1885,428	2,127	24,09	21,963	4,948
303	2174,629	1895,011	2,128	24,6	22,472	4,964
304	2184,424	1904,14	2,128	24,08	21,952	4,981
305	2193,261	1913,104	2,129	24,33	22,201	4,997
306	2201,364	1922,193	2,129	23,15	21,021	5,014
307	2208,921	1931,642	2,130	21,08	18,950	5,030
308	2215,969	1941,483	2,130	21,73	19,600	5,047
309	2222,509	1951,694	2,131	21,23	19,099	5,063
310	2228,541	1962,254	2,131	21,1	18,969	5,079
311	2234,065	1973,142	2,132	20,17	18,038	5,096
312	2239,082	1984,336	2,132	21,23	19,098	5,112
313	2243,591	1995,816	2,133	21,27	19,137	5,129
314	2247,594	2007,559	2,134	20,2	18,066	5,145
315	2251,084	2019,559	2,134	19,13	16,996	5,162
316	2254,027	2031,864	2,135	19,54	17,405	5,178
317	2256,387	2044,535	2,135	19,82	17,685	5,195
318	2258,122	2057,634	2,136	20,51	18,374	5,211
319	2259,195	2071,224	2,136	20,63	18,494	5,227
320	2259,566	2085,365	2,137	20,95	18,813	5,244

Nomor	X (m)	Y (m)	Perbedaan Urduhasti EGM96-EGM08 (m)	EGM96 (m)	EGM08 (m)	KP (km)
321	2259,196	2100,12	2,137	20,17	18,033	5,260
322	2258,046	2115,552	2,138	19,13	16,992	5,277
323	2256,092	2131,655	2,139	18,14	16,001	5,293
324	2253,367	2148,167	2,139	16,56	14,421	5,310
325	2249,921	2164,757	2,140	15,4	13,260	5,326
326	2245,801	2181,097	2,140	14,89	12,750	5,342
327	2241,055	2196,857	2,141	14,73	12,589	5,359
328	2235,733	2211,708	2,141	14,64	12,499	5,375
329	2229,883	2225,319	2,142	13,9	11,758	5,392
330	2223,552	2237,363	2,142	12,97	10,828	5,408
331	2216,788	2247,6	2,143	11,96	9,817	5,425
332	2209,629	2256,158	2,143	10,86	8,717	5,441
333	2202,111	2263,255	2,144	9,8	7,656	5,458
334	2194,27	2269,108	2,145	8,49	6,345	5,474
335	2186,143	2273,936	2,145	7,13	4,985	5,490
336	2177,765	2277,958	2,146	6,02	3,874	5,507
337	2169,173	2281,391	2,146	5,34	3,194	5,523
338	2160,404	2284,453	2,147	5,59	3,443	5,540
339	2151,489	2287,328	2,147	5,03	2,883	5,556
340	2142,444	2290,066	2,148	5,23	3,082	5,573

Nomor	X (m)	Y (m)	Perbedaan Undulasi EGM96-EGM08 (m)	EGM96 (m)	EGM08 (m)	KP (km)
341	2133,282	2292,68	2,148	5,09	2,942	5,589
342	2124,014	2295,185	2,149	5,15	3,001	5,605
343	2114,652	2297,596	2,150	5,41	3,260	5,622
344	2105,208	2299,926	2,150	5,27	3,120	5,638
345	2095,694	2302,191	2,151	5,27	3,119	5,655
346	2086,122	2304,404	2,151	5,2	3,049	5,671
347	2076,466	2306,585	2,152	5,22	3,068	5,688
348	2066,545	2308,771	2,152	5,17	3,018	5,704
349	2056,143	2311,004	2,153	5,07	2,917	5,721
350	2045,041	2313,324	2,153	5,19	3,037	5,737
351	2033,022	2315,774	2,154	5,24	3,086	5,753
352	2019,868	2318,395	2,155	5,21	3,055	5,770
353	2005,36	2321,229	2,155	5,26	3,105	5,786
354	1989,282	2324,317	2,156	5,33	3,174	5,803
355	1971,457	2327,696	2,156	5,45	3,294	5,819
356	1951,88	2331,381	2,157	5,17	3,013	5,836
357	1930,584	2335,382	2,157	5,32	3,163	5,852
358	1907,607	2339,708	2,158	5,17	3,012	5,868
359	1882,983	2344,37	2,158	5,39	3,232	5,885
360	1856,748	2349,377	2,159	5,11	2,951	5,901

Nomor	X (m)	Y (m)	Perbedaan Undulasi EGM96-EGM08 (m)	EGM96 (m)	EGM08 (m)	KP (km)
361	1828,937	2354,74	2,159	6,06	3,901	5,918
362	1799,587	2360,468	2,160	5,19	3,030	5,934
363	1768,753	2366,565	2,161	5,13	2,969	5,951
364	1736,583	2373,011	2,161	5,99	3,829	5,967
365	1703,243	2379,779	2,162	4,67	2,508	5,984
366	1668,902	2386,842	2,162	5,85	3,688	6,000

LAMPIRAN 2. Perhitungan Ketelitian Penelitian

X (m)	Y (m)	Depth DTM MBES (m)		$\sqrt{a^2 + (b * d)^2}$ (m)	Selisih (m)	Toleransi
						Masuk (M) /Tidak Masuk (T)
565,28	454,35	-7,851	-7,783	±0,424	-0,068	M
587,12	427,05	-6,701	-6,333	±0,403	-0,368	M
610,78	403,39	-6,551	-6,151	±0,401	-0,4	M
625,34	402,48	-7,821	-7,401	±0,424	-0,42	M
628,98	415,22	-7,101	-7,163	±0,411	0,062	M
X (m)	Y (m)	Depth DTM MBES (m)		$\sqrt{a^2 + (b * d)^2}$ (m)	Selisih (m)	Toleransi
						Masuk (M) /Tidak Masuk (T)
166,7	1075,88	-6,441	-6,691	±0,398	-0,249	M
174,89	1058,59	-6,051	-6,441	±0,391	-0,389	M
180,35	1046,76	-5,638	-5,891	±0,383	-0,253	M
190,36	1044,03	-4,921	-4,811	±0,369	0,11	M
199,46	1048,58	-4,321	-3,984	±0,356	-0,337	M
210,38	1053,13	-3,542	-3,251	±0,34	-0,29	M

X (m)	Y (m)	Depth DTM MBES (m)		$\sqrt{a^2 + (b * d)^2}$ (m)	Selisih (m)	Toleransi
						Masuk (M) /Tidak Masuk (T)
1574,15	1557,25	-7,801	-7,801	±0,423	0	M
1574,15	1606,75	-60,019	-60,019	±0,981	0	M
1080,05	1626,55	-11,951	-11,951	±0,491	0	M
964,85	1637,35	-11,452	-11,452	±0,484	0	M
1071,95	1641,85	-11,134	-11,134	±0,479	0	M
944,15	1651,75	-10,031	-10,031	±0,461	0	M
X (m)	Y (m)	Depth DTM MBES (m)		$\sqrt{a^2 + (b * d)^2}$ (m)	Selisih (m)	Toleransi
						Masuk (M) /Tidak Masuk (T)
872,15	1658,05	-7,441	-7,292	±0,417	-0,149	M
941,45	1662,55	-9,583	-9,644	±0,454	0,061	M
812,75	1700,35	-6,743	-6,823	±0,404	0,08	M
889,25	1677,85	-7,487	-7,836	±0,418	0,349	M
804,65	1686,05	-7,612	-7,225	±0,42	-0,387	M
801,05	1686,85	-7,622	-7,644	±0,42	0,022	M
785,75	1692,25	-7,641	-7,414	±0,42	-0,227	M
808,25	1700,35	-7,002	-6,956	±0,409	-0,046	M
802,85	1700,35	-7,242	-7,028	±0,413	-0,214	M
774,05	1708,45	-7,543	-7,248	±0,419	-0,295	M

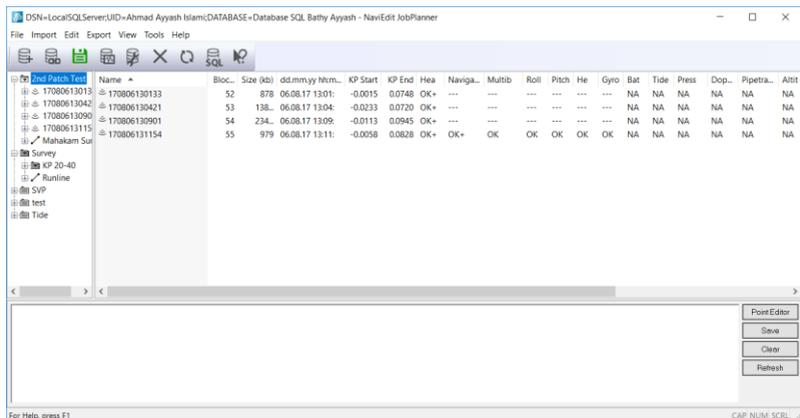
X (m)	Y (m)	Depth DTM MBES (m)		$\sqrt{a^2 + (b * d)^2}$ (m)	Selisih (m)	Toleransi
						Masuk (M) /Tidak Masuk (T)
1465,94	68,86	-5,442	-5,231	±0,379	-0,21	M
1349,7	65,78	-6,378	-6,524	±0,397	0,146	M
1323,31	80,34	-6,649	-6,887	±0,402	0,238	M

LAMPIRAN 8. Pengolahan data MBES

Data MBES didapatkan dari PT.Seascope Survey Indonesia. Data diambil pada tanggal 8 Agustus 2017 dengan tiga alur yaitu *port*, *starboard* dan *centre*. Pengolahan data dilakukan dalam software EIVA Navisuite yang terdiri dari EIVA NaviEdit dan EIVA NaviModel. Pengolahan data MBES dilakukan dengan beberapa tahapan.

1. Membuat *Database SQL Server*

Semua data dimasukkan dalam *database server*. Data-data yang akan di proses dimasukkan dalam database server EIVA NaviEdit.



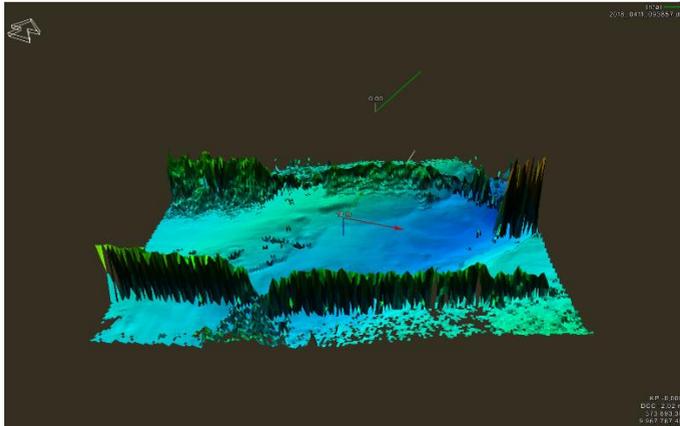
Gambar 1 *Database Server* EIVA NaviEdit

Data yang dimasukkan adalah MBES *raw data*, *patch test*, *tide* dan SVP.

2. *Cleaning Spike*

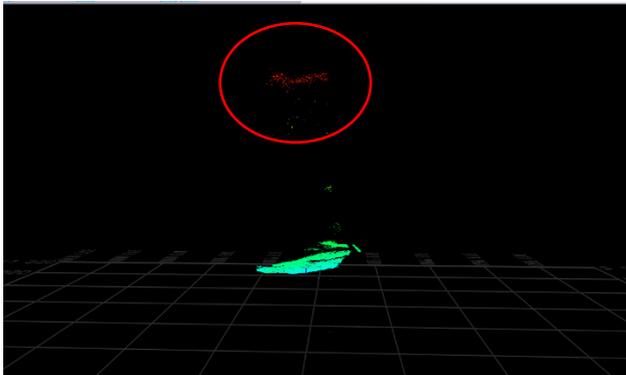
Seperti halnya pengukuran terestris, pengukuran batimetri juga mempunyai kesalahan. Kesalahan yang dimaksud

adalah kesalahan objek. Dalam pengukuran MBES terdapat objek yang tidak diinginkan ikut terekam oleh transduser sehingga menghasilkan kesalahan data, kesalahan data ini disebut sebagai *spike*. Data ini harus dihapus sehingga dihasilkan data yang bagus.



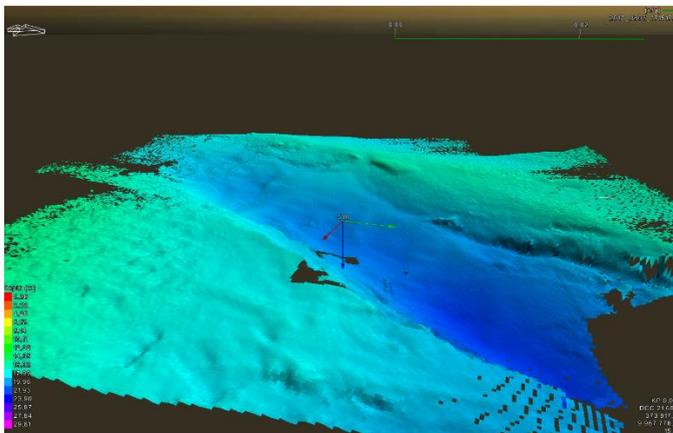
Gambar 2 *Spike*

Untuk membersihkan *spike*, data mentah dari MBES dan *patch test* harus di *import* pada NaviModel. Sebelum di *import*, *database* dari NaviEdit harus di sambungkan dengan NaviModel. Dalam NaviModel akan terlihat titik-titik yang abnormal dan ini harus dihapus.



Gambar 3 Titik Abnormal

Titik abnormal (merah) harus dihapus dalam NaviModel sehingga didapatkan model DTM yang bagus.

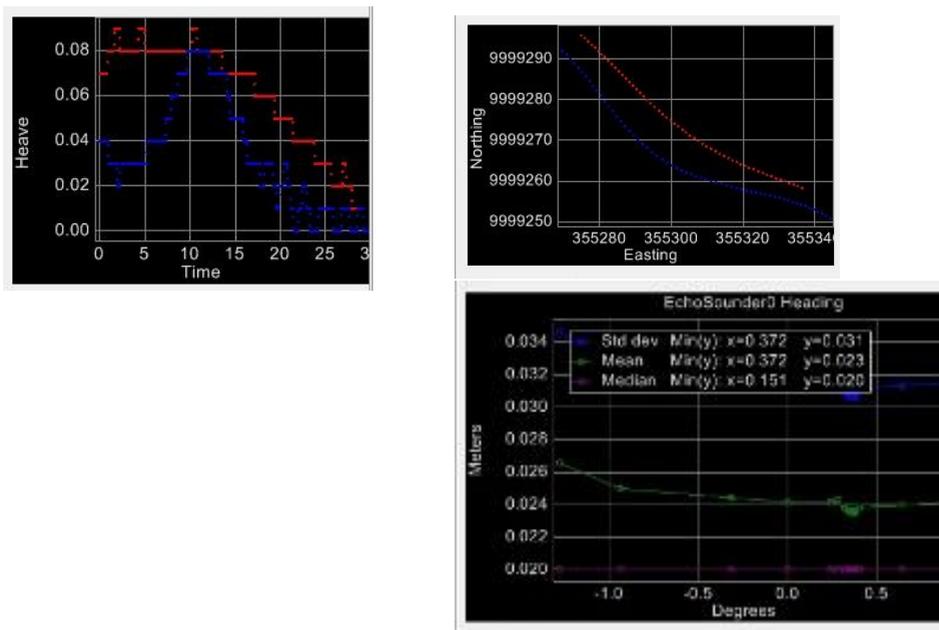


Gambar 4 DTM Bersih dari *Spike*

3. Patch Test

Dalam pengukuran batimetri terdapat kesalahan transduser. Kesalahan ini disebabkan karena keadaan transduser yang miring baik ke depan ataupun ke samping. Kesalahan ini dapat dikoreksi dengan *patch test* sehingga didapatkan nilai kemiringan yang cocok dan didapatkan DTM yang bagus.

Perhitungan *patch test* dilakukan dalam NaviModel dengan membandingkan antara satu DTM dengan DTM lainnya pada satu wilayah pengukuran. Hasil perhitungan *patch test* didapatkan nilai 0,336 untuk *roll*, 0,002 untuk *pitch* dan -0,939 untuk *heading*.

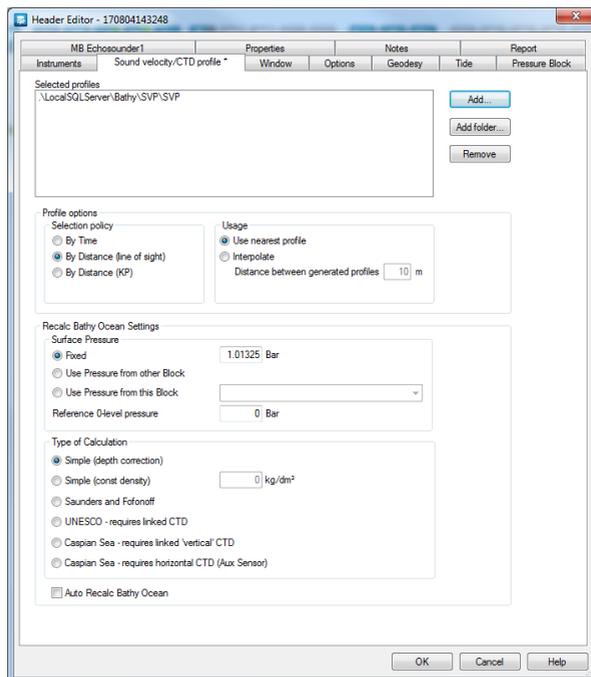


Gambar 5. Perhitungan *Patch Test*

4. Koreksi batimetri

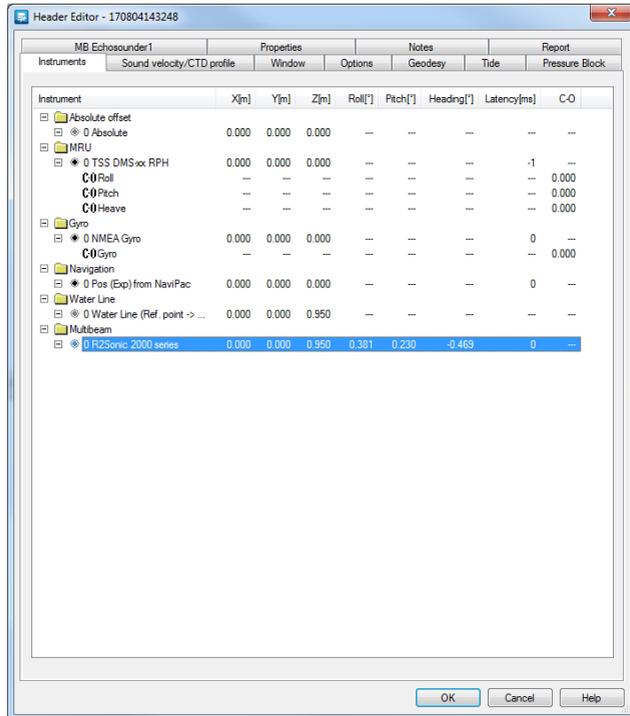
Data batimetri yang sudah dibersihkan dari *spike* akan dikoreksi dalam NaviEdit. Koreksi kesalahan yang dilakukan adalah koreksi pasang surut pemeruman, *patch test*, SVP dan gradien. Untuk koreksi gradien dilakukan dalam NaviModel.

Untuk melakukan koreksi dalam NaviEdit, DTM dari batimetri yang ingin dikoreksi akan dimasukkan nilai pengkoreksi dari pasang surut, SVP dan *patch test* dari *header editor*. Dalam header editor akan ditampilkan koreksi apa saja yang ingin dimasukkan, dengan memilih file yang sebelumnya sudah dimasukkan dalam NaviEdit data batimetri akan terkoreksi.



Gambar 6 *Header Editor*

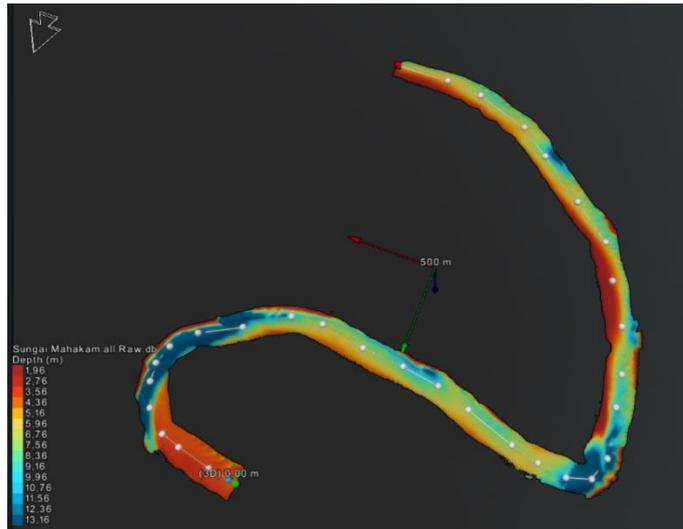
Untuk *patch test* dilakukan dalam pengaturan *offset* kapal dalam NaviEdit.



Gambar 720 Koreksi *Patch Test*

Langkah selanjutnya adalah mengkoreksi gradien. Untuk mengkoreksi gradien data batimetri yang berada di NaviEdit disambungkan dengan NaviModel. Data DTM digabung menjadi satu dan diratakan dengan *tools level out*. Setelah disambungkan dibuat dua *digitize line* sepanjang area survei. Satu *line* diletakkan tepat diatas DTM dengan *tools grab to surface* sedangkan *line* lainnya mempunyai tinggi sesuai dengan nilai gradien yang sebelumnya dihitung. Dengan

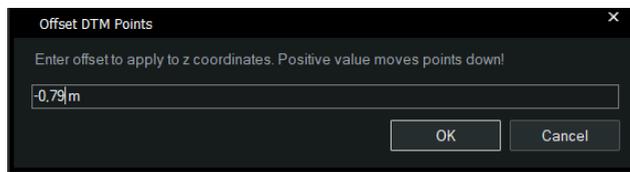
menggunakan *tools match out* maka *line* yang berada di atas DTM akan mengikuti tinggi dari *line* untuk koreksi gradien.



Gambar 8 Koreksi Gradien

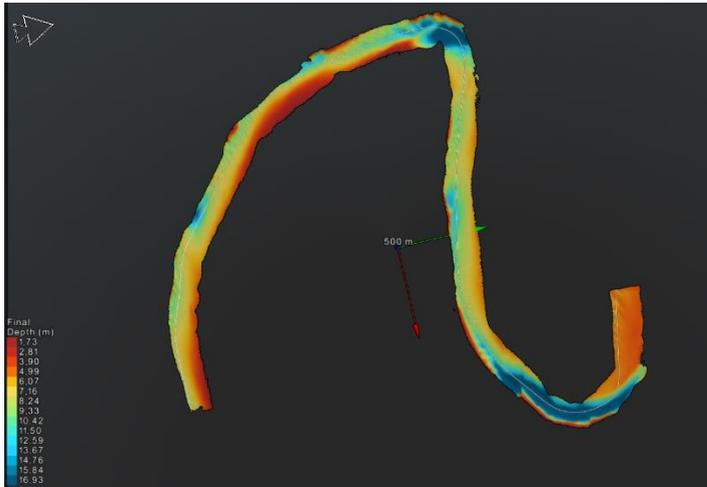
5. Merefereasikan kedalaman terhadap LLWL EGM96

Untuk memindahkan referensi kedalaman dari kedalaman sementara menjadi EGM96 dilakukan pengukuran pada BM dan rambu pasang surut. Sebelumnya telah diketahui nilai LLWL adalah 0,79 m dibawah permukaan EGM96. Maka nilai DTM harus dinaikkan sebesar 0,79 m.



Gambar 9 Penurunan DTM

Setelah diturunkan DTM sungai mahakam naik sebesar 0,79 m seperti gambar 4.16 berikut.

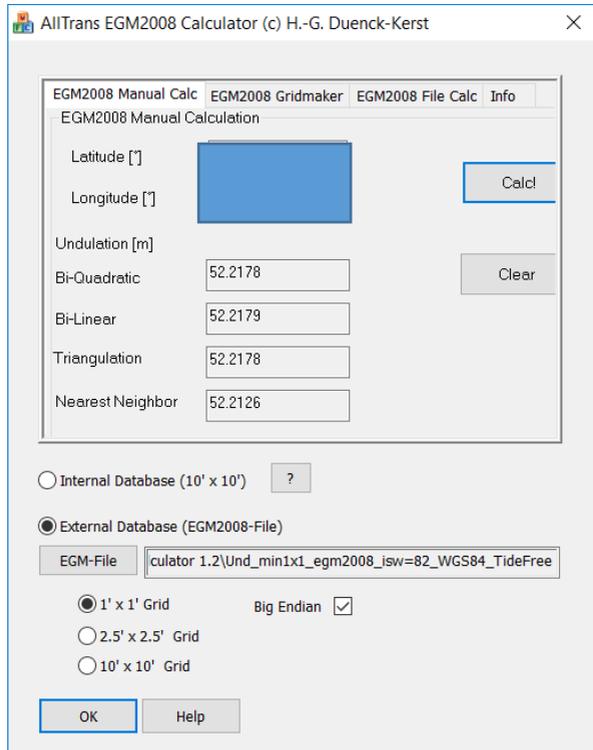


Gambar 10 DTM Setelah Dinaikkan

6. Konversi nilai kedalaman dari EGM96 menjadi EGM08

Dalam konversi nilai kedalaman, harus diketahui perbedaan nilai undulasi antara EGM96 dan EGM08 pada lokasi penelitian. Untuk mendapatkan nilai undulasi digunakan model geoid global. Model geoid global didapatkan dari www.earth-info.nga.mil.

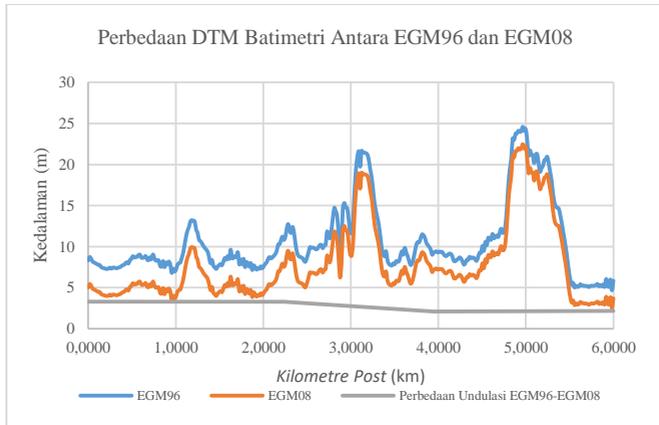
Data model dibaca dalam *software* untuk koordinat yang ingin dicari nilai undulasinya. Untuk EGM96 digunakan *software* NIMAEGM96 sedangkan EGM08 digunakan *software* Alltrans EGM2008 Calculator. Nilai perbedaan undulasi didapatkan dari perbedaan nilai undulasi dari kedua model geoid pada titik yang sama.



Gambar 11 Software Model EGM08

Langkah selanjutnya adalah konversi nilai kedalaman dari EGM96 menjadi EGM08. Konversi dilakukan dalam EIVA NaviModel. Nilai perbedaan undulasi akan diaplikasikan untuk setiap titik pada DTM batimetri.

Perbandingan nilai kedalaman antara EGM96 dan EGM08 dapat dilihat pada gambar 4.18 berikut.



Gambar 12 Perbedaan Topografi EGM96 dan EGM08

Dalam gambar 4.18 ditunjukkan bentuk topografi sepanjang garis KP di area survei, titik diambil setiap jarak 16 m. Garis biru dalam gambar 4.18 menunjukkan bentuk topografi ketika masih menggunakan referensi EGM96 dan garis jingga menunjukkan bentuk topografi ketika masih menggunakan referensi EGM08. Untuk nilai setiap titik dalam gambar 4.18 dapat dilihat di lampiran A.

7. Konversi koordinat horizontal dari UTM menjadi lokal

Koordinat UTM dirubah menjadi koordinat lokal untuk menjaga kerahasiaan data yang digunakan dalam penelitian ini dikarenakan data tersebut merupakan milik perusahaan dan tidak diperkenankan untuk disebarluaskan.

Konversi koordinat dilakukan dalam software Matlab dengan mengurangi setiap nilai X dan Y dengan nilai terkecil.

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Kecamatan Parung, Kabupaten Bogor Provinsi Jawa Barat pada tanggal 30 April 1996. Penulis adalah anak ketiga dari empat bersaudara. Riwayat pendidikan formal yang ditempuh penulis adalah TKIT Ummul Quro Bogor (2000-2002), SDIT Ummul Quro Bogor (2002-2008), SMPIT Ummul Quro Bogor (2008-2011) dan SMA Negeri 1 Parung (2011-2014), SMA Negeri 1 Parung saat ini telah berubah namanya menjadi SMA Negeri 6 Kabupaten Bogor. Setelah lulus SMA penulis melanjutkan pendidikannya di Insititut Teknologi Sepuluh Nopember Jurusan Teknik Geomatika Strata 1, Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumian dengan Nomor Registrasi Peserta (NRP) 03311440000083. Selama kuliah, penulis aktif dalam Himpunan Mahasiswa Geomatika (HIMAGE) sebagai staf divisi Geomatics Islamic Study (GIS) masa bakti 2015-2016 dan ketua divisi GIS masa bakti 2016-2017. Penulis menjalani kerja praktek di PT.Seascape Surveys Indonesia pada tahun 2017 dalam bidang survei hidrografi sebagai asisten prosesor data. Tugas Akhir ini dibuat untuk menyelesaikan studi penulis di Teknik Geomatika ITS, Tugas Akhir berjudul “Analisis Kedalaman Sungai untuk Alur Pelayaran Kapal Batu Bara Menggunakan Multibeam Echosounder” ini menggunakan data dari PT. Seascape Surveys Indonesia.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”