



TUGAS AKHIR - RM184831

**PENGOLAHAN DATA BATIMETRI *MULTIBEAM ECHOSOUNDER* UNTUK KESELAMATAN ALUR PELAYARAN
(STUDI KASUS : ALUR PELAYARAN PELABUHAN BELAWAN)**

FEBRY KRISNANTO
NRP 0331174000026

Dosen Pembimbing
Ir. Yuwono, M.S.
Dinar Guruh Pratomo, S.T.,M.T.,Ph.D

DEPARTEMEN TEKNIK GEOMATIKA
Fakultas Teknik Sipil Perencanaan dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2021



TUGAS AKHIR - RM184831

**PENGOLAHAN DATA BATIMETRI *MULTIBEAM ECHOSOUNDER* UNTUK KESELAMATAN ALUR PELAYARAN
(STUDI KASUS : ALUR PELAYARAN PELABUHAN BELAWAN)**

FEBRY KRISNANTO
NRP 0331174000026

Dosen Pembimbing
Ir. Yuwono, M.S.
Dinar Guruh Pratomo, S.T.,M.T.,Ph.D

DEPARTEMEN TEKNIK GEOMATIKA
Fakultas Teknik Sipil Perencanaan dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2021

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



UNDERGRADUATE THESIS - RM184831

**PROCESSING BATHYMETRIC DATA OF
MULTIBEAM ECHOSOUNDER FOR SAFETY OF
SHIP CRUISE LINE
(CASE STUDY: SHIP CRUISE LINE OF BELAWAN
PORT)**

FEBRY KRISNANTO
NRP 0331174000026

Supervisor
Ir. Yuwono, M.S.
Danar Guruh Pratomo, S.T.,M.T.,Ph.D

GEOMATICS ENGINEERING DEPARTEMENT
Faculty of Civil, Planning, and Geo Engineering
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2021

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

**PENGOLAHAN DATA BATIMETRI *MULTIBEAM*
ECHOSOUNDER UNTUK KESELAMATAN ALUR
PELAYARAN**

**(STUDI KASUS : ALUR PELAYARAN PELABUHAN
BELAWAN)**

Nama : Febry Krisnanto
NRP : 0331174000026
Departemen : Teknik Geomatika FTSPK-ITS
Pembimbing : 1. Ir. Yuwono, M.S.
2. Danar Guruh Pratomo, S.T.,M.T.,Ph.D

ABSTRAK

Alur Pelayaran Pelabuhan Belawan merupakan akses yang digunakan kapal yang akan sandar dan berlayar dari pelabuhan belawan. Pelabuhan Belawan sendiri merupakan pelabuhan terbesar yang ada di Pulau Sumatera sehingga banyak kapal dengan draft besar yang masuk pelabuhan tersebut. Dibutuhkan sebuah pemeliharaan alur pelayaran dengan cara akustik agar kedalaman dari alur tersebut tetap terjaga. Pengolahan data batimetri pada penelitian ini menggunakan perangkat lunak Qimera dan data hasil pengolahan di ekspor dalam format (.TIFF). Data tersebut selanjutnya diolah pada perangkat lunak Arc GIS untuk pembuatan peta alur pelayaran dan perhitungan volume pengerukan. Uji ketelitian data batimetri berdasarkan IHO S44 edisi ke-6 yang dihitung menggunakan microsoft excel. Datum vertikal dihitung menggunakan metode least square pada perangkat lunak MatLab. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kedalaman alur pelayaran pelabuhan belawan berada diantara -5 hingga -10,8 meter berdasarkan low water spring (LWS). Kedalaman alur yang direncanakan oleh pihak pengelola pelabuhan (PT. Pelindo I) adalah -9 m LWS. Berdasarkan

perhitungan pengerukan dengan luas area sebesar 1.330.719 m² didapatkan hasil volume pengerukan sebesar 2.309.145 m³. Uji ketelitian data batimetri menunjukkan bahwa ketelitian data pada penelitian ini tergolong dalam orde dua. Dari hasil tersebut menunjukkan bahwa pengukuran suatu kedalaman perairan menggunakan multibeam echosounder belum tentu menghasilkan data yang memiliki ketelitian orde spesial atau orde satu.

Kata kunci : Multibeam Echosounder, Alur Pelayaran, Uji Ketelitian, IHO S44

***PROCESSING BATHYMETRIC DATA OF MULTIBEAM
ECHOSOUNDER FOR SAFETY OF SHIP CRUISE LINE
(CASE STUDY: SHIP CRUISE LINE OF BELAWAN PORT)***

Name : Febry Krisnanto
NRP : 0331174000026
Departement : Teknik Geomatika FTSPK-ITS
Supervisor : 1. Ir. Yuwono, M.S.
2. Danar Guruh Pratomo, S.T.,M.T.,Ph.D

ABSTRACT

Ship cruise line of Belawan Port is the access used by ships that will dock and sail from the Belawan port. Belawan port itself is the largest port on the island of Sumatra so that many ships with large drafts enter the port. It takes maintenance of the ship cruise line by an acoustic method so that the depth of the channel is maintained. Bathymetric data processing in this study using Qimera software and the processed data is exported in (.TIFF) format. The data is then processed in the Arc GIS software for making shipping lane maps and calculating the volume of dredging. The bathymetric data accuracy test is based on the 6th edition of IHO S44 which is calculated using Microsoft Excel. The vertical datum is calculated using the least square method in MatLab software. The results showed that the depth of the Belawan port shipping lane was between -5 to -10.8 meters based on the low water spring (LWS). The depth of the channel planned by the port management (PT. Pelindo I) is - 9 m LWS. Based on the calculation of dredging with an area of 1,330,719 m², the dredging volume results in the amount

of 2,309,145 m³. The bathymetric data accuracy test shows that the accuracy of the data in this study belongs to the second order. These results indicate that measuring a depth of water using a multibeam echosounder does not necessarily produce data that has special order or first-order accuracy.

Keywords : Multibeam Echosounder, Shipping Line, Accuracy Test, IHO S44

**PENGOLAHAN DATA BATIMETRI MULTIBEAM
ECHOSOUNDER UNTUK KESELAMATAN ALUR
PELAYARAN**

**(STUDI KASUS : ALUR PELAYARAN PELABUHAN
BELAWAN)**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat

Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

Pada

Program Studi S-1 Teknik Geomatika

Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Oleh :

FEBRY KRISNANTO

NRP. 03311740000026

Disetujui Oleh Pembimbing Tugas Akhir :

Ir. Yuwono, M.S.

NIP. 19590124 198502 1 001

Danar Guruh Pratomo, S.T., M.T., Ph.D.

NIP. 19800507 200312 1 001



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena dengan rahmat dan karunia-Nya, penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir yang berjudul **“Pengolahan Data Batimetri *Multibeam Echosounder* Untuk Keselamatan Alur Pelayaran (Studi Kasus : Alur Pelayaran Pelabuhan Belawan)”** dengan baik.

Tidak lupa penulis juga mengucapkan terimakasih sebesar-besarnya kepada berbagai pihak yang telah memberikan bantuan baik secara moral maupun material sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir ini. Diantaranya :

1. Orang tua dan keluarga penulis yang selalu memberi dukungan dan masukan selama masa perkuliahan serta saat pelaksanaan Tugas Akhir;
2. Bapak Danar Guruh Pratomo, S.T., M.T., Ph.D selaku Ketua Departemen Teknik Geomatika FTSPK – ITS;
3. Bapak Ir. Yuwono, M.S. selaku pembimbing I Teknik Geomatika yang memberi arahan kepada penulis selama pelaksanaan Tugas Akhir;
4. Bapak Danar Guruh Pratomo, S.T., M.T., Ph.D selaku pembimbing II Teknik Geomatika yang memberi arahan kepada penulis selama pelaksanaan Tugas Akhir;
5. Bapak Agung Budi Cahyono, S.T., M.Sc., DEA. selaku dosen wali yang senantiasa memberikan dukungan dan masukan dari sejak awal masuk perkuliahan hingga lulus selama 4 tahun.;
6. Kakak tingkat angkatan 2010 Mbak Atika Sari yang telah membantu mencarikan data dalam penelitian ini.
7. Teman-teman angkatan 2017 yang telah menjadi keluarga dan bagian dari hidup penulis selama berkuliah di Teknik Geomatika dan selalu memberikan warna baru, dukungan, bantuan serta masukkan kepada penulis hingga saat ini;
8. Semua pihak yang tidak bisa disebutkan satu per satu, yang

telah membantu dan memberi dukungan kepada penulis dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir.

Penulis menyadari, laporan tugas akhir ini masih banyak kekurangannya. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun akan diterima dengan senang hati untuk perbaikan laporan ini. Penulis berharap keberadaan laporan ini dapat bermanfaat dan menambah wawasan bagi pembaca.

Surabaya, 13 Juli 2021

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK	v
HALAMAN PENGESAHAN	ix
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI	xiii
DATAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan	3
1.5 Manfaat	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Survei Batimetri	5
2.2 Pemeruman	5
2.3 <i>Multibeam Echosounder</i>	7
2.4 Kalibrasi Multibeam Echosounder	12
2.4.1 Patch test	12
2.4.2 Sensor Offset	16
2.5 <i>Sound Velocity Profiler (SVP)</i>	17
2.6 Penentuan Posisi Dengan GNSS	19
2.6.1 Penentuan Posisi Absolut	21
2.6.2 Sistem RTK	22
2.6.3 Penentuan Posisi Dengan GNSS	24
2.7 Pengamatan Pasang Surut	27
2.8 Uji Ketelitian Data	29

2.9 Alur Pelayaran	34
2.9.1 Kedalaman Alur Pelayaran.....	35
2.10 Penelitian Terdahulu	36
BAB III METODOLOGI	39
3.3 Lokasi Penelitian.....	39
3.4 Data dan Peralatan	39
3.4.1 Data	40
3.4.2 Peralatan	40
3.5 Metodologi Pelaksanaan Penelitian	41
3.5.1 Tahap Pelaksanaan Penelitian.....	41
3.5.2 Tahap Pengolahan data	43
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	49
4.1 Kedalaman alur pelayaran	49
4.3.1 Penampang melintang.....	50
4.3.2 Kedalaman terhadap draft kapal	52
4.2 Volume pengerukan.....	55
4.3 Uji ketelitian data batimetri	56
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	59
5.1 Kesimpulan	59
5.2 Saran	60
DAFTAR PUSTAKA	61
LAMPIRAN.....	65
BIODATA PENULIS	83

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Konfigurasi Survei Batimteri (Abidin 2005).....	5
Gambar 2.2 Lajur Pemeruman (Harmoko 2003).....	7
Gambar 2.3 Prinsip <i>Multibeam Echosounder</i> (Zwolak 2015).....	8
Gambar 2.4 Profil Kecepatan Suara dalam Air Laut.....	10
Gambar 2.5 Pengambian Data <i>Time Latency</i> (Brennan 2009)	13
Gambar 2.6 Pengambilan Data <i>Pitch</i> (Brennan 2009)	14
Gambar 2.7 Pengambian Data <i>Roll</i> (Brennan 2009).....	14
Gambar 2.8 Lajur Kalibrasi <i>Yaw</i> (Muljawan Et. Al 2017).....	15
Gambar 2.9 Offset Static terhadap IMU (Mann 1998).....	17
Gambar 2.10 Profil Kecepatan Suara (Kinsler dkk. 2000).....	18
Gambar 2.11 Valeport Mini SVP	18
Gambar 2.12 <i>Receiver</i> GNSS (Atunggal 2010)	20
Gambar 2.13 Penentuan Posisi Absolut (Cahyaputra 2013)	22
Gambar 2.14 Penentuan Posisi RTK (Cahyaputra 2013).....	23
Gambar 2.15 Penentuan Posisi Kinematik DGPS	25
Gambar 2.16 Penempatan GPS dan Tranduser di Kapal.....	27
Gambar 2.17 Nilai fungsi distribusi normal	34
Gambar 2.18 Desain Alur Pelayaran Pada Kolam Pelabuhan.....	35
Gambar 3.1 Lokasi Penelitian	39
Gambar 3.2 Diagram Alir Tahap Pelaksanaan	42
Gambar 3.3 Diagram pengolahan data	45
Gambar 4.1 Peta Alur Keselamatan Pelabuhan Belawan.....	49
Gambar 4.2 Penampang melintang <i>section</i> 3	50
Gambar 4.3 Penampang melintang <i>section</i> 12	51
Gambar 4.4 Penampang melintang <i>section</i> 30	52
Gambar 4.5 Peta Rencana Pengerukan.....	55
Gambar 4.6 Area pertampalan.....	57

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Spesifikasi MBES Teledyne Odom MB2	11
Tabel 2.2 Spesifikasi Valeport Mini SVP	18
Tabel 2.3 Orde Ketelitian Menurut IHO S44 edisi ke-6	30
Tabel 4.1 Daftar draft kapal (Ayu dkk. 2020)	53
Tabel 4.2 Perhitungan kedalaman alur terhadap draft kapal	53
Tabel 4.3 Perhitungan uji ketelitian	58

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pelabuhan Belawan adalah pelabuhan yang terletak di Kota Medan Provinsi Sumatera Utara dan merupakan pelabuhan terpenting di pulau Sumatera. Pelabuhan Belawan adalah sebuah pelabuhan kelas utama berkoordinat geografis 03° 47' 00" Lintang Utara (LU) dan 98° 42' 00" Bujur Timur (BT). Pelabuhan ini memiliki peranan penting bagi lalu lintas barang dan angkutan penumpang. Pada tahun 2020 Terminal Peti Kemas Belawan melayani bongkar muat peti kemas sebanyak 1,42 (satu koma empat dua) juta *twenty-foot equivalent unit* (TEUs). Penggunaan kapal sebagai moda transportasi barang dipilih karena memiliki kelebihan seperti dapat mengangkut barang dengan jumlah yang banyak, harga yang lebih terjangkau, dan dapat menjangkau daerah pesisir. Terdapat suatu alur pelayaran pada setiap pelabuhan yang berfungsi mengarahkan kapal yang akan bersandar dan berlayar.

Alur pelayaran adalah perairan yang dari segi kedalaman, lebar, dan hambatan pelayaran dianggap aman dan selamat untuk dilayari oleh kapal di laut, sungai atau di danau (Kementrian Perhubungan 2018). Alur pelayaran dicantumkan dalam peta laut dan buku petunjuk pelayaran serta diumumkan oleh instansi yang berwenang. Alur pelayaran Pelabuhan Belawan memiliki panjang 13,5 km dan lebar 100 m. Salah satu cara yang dilakukan untuk menjaga kedalaman alur pelayaran adalah *maintenance dredging*. *Maintenance Dredging* adalah pekerjaan pengangkatan tanah yang mengendap di dasar perairan menggunakan kapal keruk dan dilakukan berkesinambungan pada jangka waktu tertentu. Intensitas

dilakukannya pekerjaan tersebut bergantung pada besar sedimentasi yang terjadi di alur pelayaran tersebut. Sebelum dilakukan *maintenance dredging* pada alur pelayaran perlu dilakukan survei bathimetri untuk mengetahui kedalaman dan kondisi topografi dasar perairannya.

Penelitian tentang aplikasi survei batimetri menggunakan *multibeam echosounder* untuk alur pelayaran pernah dilakukan oleh (Al-Azhar 2018). Penelitian tersebut bertujuan untuk mengetahui lokasi kerangka kapal yang karam di Alur Pelayaran Barat Surabaya. Sedangkan pada penelitian ini membahas mengenai aplikasi survei batimetri menggunakan *multibeam echosounder* pada Alur Pelayaran Pelabuhan Belawan pada Tahun 2018. Beberapa pokok bahasannya adalah kedalaman alur terhadap draft kapal, perhitungan rencana pengerukan, dan uji ketelitian data batimetri.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah yang akan diangkat dalam penelitian ini yaitu :

1. Bagaimana kondisi kedalaman alur pelayaran terhadap draft kapal yang melintas ?
2. Bagaimana hasil perhitungan volume rencana pengerukan Alur Pelayaran Pelabuhan Belawan ?
3. Bagaimana ketelitian kedalaman hasil survei batimetri berdasarkan IHO S44 edisi Ke-6 ?

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini yaitu :

1. Data batimetri yang digunakan adalah data milik Badan Informasi Geospasial (BIG) yang bekerja sama dengan PT. Tellus Meridian Survey dalam survei identifikasi Alur Pelayaran Pelabuhan Belawan

Tahun 2018. Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data *Multibeam Echosounder* hasil pengukuran survei batimetri pada Tahun 2018.

2. Data acuan kedalaman rencana pengerukan alur pelayaran yang digunakan adalah data milik PT. Pelindo I (Persero) Tahun 2020.
3. Acuan perhitungan ketelitian data kedalaman menggunakan IHO S44 edisi Ke-6.

1.4 Tujuan

Adapun tujuan dalam penelitian ini yaitu :

1. Mengidentifikasi kedalaman Alur Pelayaran Pelabuhan Belawan terhadap draft kapal yang melintas.
2. Mengetahui jumlah volume rencana pengerukan Alur Pelayaran Pelabuhan Belawan.
3. Mengetahui ketelitian data kedalaman hasil survei berdasarkan IHO S44 edisi Ke-6.

1.5 Manfaat

Adapun manfaat dalam penelitian ini yaitu :

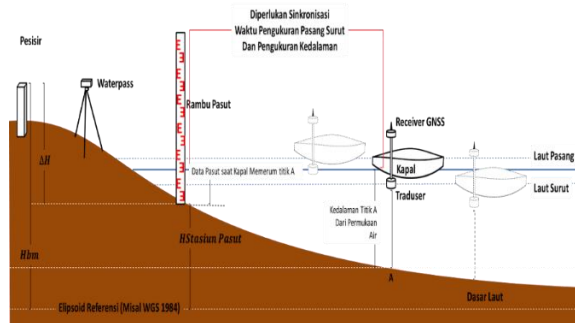
1. Dapat dijadikan bahan analisa berkala (*time series*), oleh instansi terkait tentang kedalaman, rencana volume keruk, dan ketelitian data Alur Pelayaran Pelabuhan Belawan.
2. Penelitian ini dapat dijadikan sebagai bahan referensi penelitian selanjutnya tentang pemanfaatan data batimetri *multibeam echosounder* untuk alur pelayaran..

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Survei Batimetri

Survei batimetri merupakan suatu proses pengukuran kedalaman yang ditujukan untuk memperoleh gambaran bentuk permukaan dasar perairan (*seabed surface*). Bentuk permukaan yang dimaksud hanya sebatas pada konfigurasi saja, tidak sampai pada kandungan materialnya ataupun biota yang tumbuh di atasnya, semata-mata bentuk (Poerbandono dan Djunarsjah 2005). Gambar 2.1 adalah gambar konfigurasi untuk melakukan survei batimetri.



Gambar 2.1 Konfigurasi Survei Batimetri (Abidin 2005)

2.2 Pemeruman

Pemeruman adalah pekerjaan paling dasar untuk surveyor batimetri, yang membutuhkan pengetahuan khusus tentang seperangkat alat pengukur kedalaman, sensor pelengkap untuk pengukuran pergerakan kapal dan prosedur yang sesuai dengan aturan untuk akurasi dan cakupan survei sebagaimana diatur dalam publikasi International Hydrographic Organization (IHO) S-44 Edisi ke-6.

Saat ini, sebagian besar pemeruman dilakukan dengan menggunakan metode akustik. Teknologi tersebut telah ditemukan oleh Dr. Harvey Hayes pada tahun 1919 (Hayes 1924). Beliau menciptakan alat *Sonic Depth Finder*. Alat tersebut terdiri dari komponen :

- a. *Transmitter* untuk menciptakan dan memancarkan gelombang suara ke dasar laut.
- b. *Receiver* untuk menangkap gelombang pantul dari dasar laut
- c. Pengukur waktu yang memiliki ketelitian yang baik. Pengukur waktu tersebut digunakan untuk menghitung waktu yang dibutuhkan gelombang dari *transmitter* hingga ke dasar laut dan kembali lagi ke *receiver*.

Sonic Depth Finder mulai digunakan oleh Angkatan Laut AS pada tahun 1922. Alat tersebut digunakan untuk pemeruman Selat Gibraltar. Alat perum gema menggunakan prinsip pengukuran jarak dengan memanfaatkan gelombang akustik yang dipancarkan dari transduser. Transduser adalah bagian dari alat perum gema yang mengubah energi listrik menjadi mekanik (untuk membangkitkan gelombang suara) dan sebaliknya. Gelombang akustik tersebut merambat pada medium air dengan cepat rambat yang relatif diketahui atau diprediksi hingga menyentuh dasar perairan dan dipantulkan kembali ke *receiver*. Alat ini mencatat waktu tempuh gelombang yang dipancarkan dan diterima kembali, serta menggunakan kecepatan gelombang untuk menghitung kedalamannya. Secara sederhana, kedalaman laut didapatkan dengan menggunakan persamaan berikut :

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

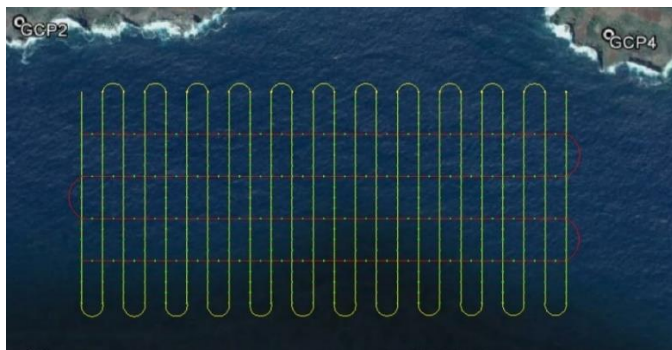
Keterangan:

D : Kedalaman laut yang terukur (m)

v : Cepat rambat gelombang akustik (m/s)

Δt : Selang waktu saat gelombang ditransmisikan dan gelombang diterima oleh alat (s)

Pemeruman dilakukan dengan membuat profil pengukuran kedalaman. Lajur-lajur perum didesain sedemikian rupa sehingga memungkinkan pendeteksian perubahan kedalaman yang lebih ekstrem. Untuk itu, desain lajur-lajur perum harus memperhatikan kecenderungan bentuk dan topografi pantai sekitar perairan yang akan disurvei. Agar alat mampu mendeteksi perubahan kedalaman yang lebih ekstrem lajur perum dipilih dengan arah yang tegak lurus terhadap kecenderungan arah garis pantai. Gambar 2.2 merupakan contoh desain lajur perum pada umumnya.



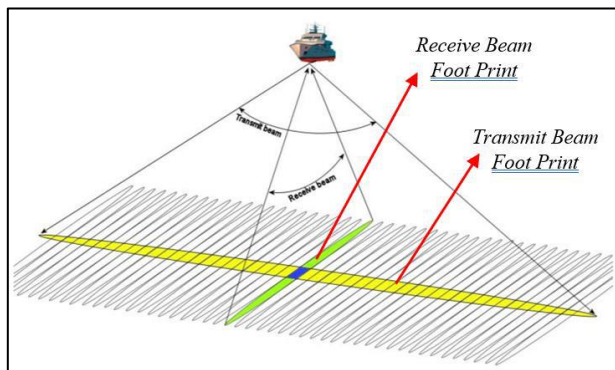
Gambar 2.2 Lajur Pemeruman (Harmoko 2003)

2.3 Multibeam Echosounder

Multibeam echosounder adalah alat yang dapat digunakan untuk mengukur banyak titik kedalaman secara

bersamaan yang didapat dari susunan transduser (*transducer array*) (Lekkerkerk dan Velden 2006).

Multibeam echosounder menggunakan prinsip yang sama dengan *singlebeam echosounder* namun jumlah *beam* yang dipancarkan adalah lebih dari satu pancaran. Pola pancarannya melebar dan melintang terhadap badan kapal. Setiap *beam* akan mendapatkan satu titik kedalaman hingga titik kedalaman tersebut dihubungkan akan membentuk profil dasar laut. Jika kapal bergerak maju hasil sapuan *multibeam echosounder* tersebut menghasilkan suatu luasan yang menggambarkan permukaan dasar laut (Moustier 1998). Pada Gambar 2.3 terdapat gambar yang mengilustrasikan prinsip *multibeam echosounder* sebagai berikut:



Gambar 2.3 Prinsip *Multibeam Echosounder* (Zwolak 2015)

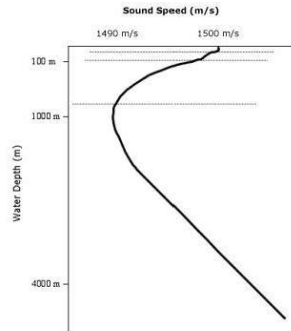
Transducer pemancar pada *multibeam echosounder* menghasilkan berkas akustik yang lebar pada bidang tegak lurus dengan unit pengukur arah dan menyempit pada bidang yang sejajar dengannya seperti yang dijelaskan pada Gambar 2.4 . *Transducer* penerima, ditempatkan secara tegak lurus dengan yang mentransmisikan, dapat menerima sinyal akustik yang dipantulkan dari permukaan dasar laut dengan sudut yang sempit dalam bidang tegak lurus dengan garis survei.

Bergantung pada modelnya, *echosounder* menghasilkan puluhan hingga ratusan *beam*. Dengan konfigurasi ini, penerimaan pulsa *single acoustic* (setelah memperhitungkan informasi tentang profil kecepatan suara di kolom air) menghasilkan perolehan sejumlah nilai kedalaman yang diatur kira-kira di sepanjang garis yang tegak lurus terhadap garis survei (Zwolak 2015).

Kalibrasi *multibeam echosounder* sangat mempengaruhi kualitas data kedalaman yang dihasilkan. Pada penelitian ini dilakukan kalibrasi cepat rambat gelombang akustik. Adanya perbedaan salinitas, suhu, dan tekanan pada setiap *layer* perairan mengakibatkan cepat rambat gelombang akustik pada tiap *layer* dalam kolom air berbeda-beda. Untuk itu dilakukan pengukuran cepat rambat gelombang akustik menggunakan *surface sound speed* dan *sound velocity profiler* (SVP).

Untuk sistem yang memiliki desain *transducer* berbentuk datar, penting bagi pengguna untuk mengetahui secara pasti kecepatan suara pada daerah di sekitar *transducer*. *Surface sound speed* (SVP) digunakan untuk mengetahui kecepatan suara yang ada di daerah sekitar *transducer* (Caris 2020). Sedangkan pada sistem kerja dari SVP adalah dengan menggunakan reflektor yang diletakkan di dasar laut yang kemudian dipantulkan sinyal akustik dari SVP yang terpasang di kapal selama selang waktu tertentu. Cepat rambat gelombang suara yang diukur dari SVP dibagi menjadi kecepatan *downward* dan *upward*. *Downward* adalah cepat rambat akustik dari SVP menuju ke reflektor dan *upward* untuk cepat rambat akustik dari reflektor menuju ke SVP yang terpasang di kapal. Cepat rambat gelombang akustik yang dihasilkan dari pengukuran ini kemudian dirata-ratakan untuk menghasilkan nilai koreksi dari cepat rambat gelombang akustik di setiap *layer* kedalaman pada kolom air pada wilayah penelitian.

Pada Gambar 2.4 digambarkan grafik profil kecepatan suara dalam air laut sebagai berikut:



Gambar 2.4 Profil Kecepatan Suara dalam Air Laut (Mike 2008)

Pada perairan, data *multibeam echosounder* yang sudah terkoreksi kedalamannya akan menghasilkan *point cloud* yang nantinya akan dilakukan proses *filtering* dan *cleaning* dari data yang dianggap *noise*. Serangkaian *filtering* dengan menggunakan algoritma yang kuat dirancang dan digunakan dalam program dengan maksud untuk mendeteksi dan menghilangkan *outliers*. Algoritma yang kuat berarti algoritma tersebut dapat menemukan perkiraan nilai nyata bahkan jika sejumlah besar *outliers* dalam sampel yang ditempatkan jauh dari nilai sebenarnya (Capena et. al 1999). Ada beberapa metode yang digunakan pada saat *filtering* data yang dianggap *noise* yaitu, *quick view*, *depth gating*, *outer beam limit*, *across-track line anomalies*, dan *along-track line anomalies* (Mahmud dan Yusof 2005).

Pada survei batimetri Alur Pelayaran Pelabuhan Belawan ini menggunakan *multibeam echosounder* Teledyne Odom MB2. Tabel 2.1 merupakan spesifikasi MBES Teledyne Odom MB2.

Tabel 2.1 Spesifikasi MBES Teledyne Odom MB2

No	Spesifikasi	Keterangan
1	<i>Frequency (KHz)</i>	<i>User Selectable, 200 - 460</i>
2	<i>Swath Width</i>	<i>User Selectable, 10° - 140°</i>
3	<i>Acoustic Beam Width</i>	<i>Along Track 1.8° x 1.8° Across Track</i>
4	<i>Range Resolution (cm)</i>	2
5	<i>Pulse Width</i>	<i>User selectable, optionally tied to range</i>
6	<i>A/D</i>	24 bit
7	<i>Maximum Ping Rate</i>	60 Hz
8	<i>Number of Beams</i>	<i>User Selectable, 10 - 256</i>
9	<i>Maximum sounding depth (Nadir)</i>	200m
10	<i>Bottom detection method</i>	<i>Amplitude & Phase</i>
11	<i>Data products</i>	<i>Bathymetry, water column backscatter, snippets, sidescan, real time uncertainty</i>
12	<i>Dimensions (Head)</i>	267mm (10.51in) L, 152mm (5.98in) W, 206mm (8.10in) H
13	<i>Dimensions (RTA)</i>	286mm (11.25in) L, 260mm (10.25in) W, 140mm (5.50in) H
14	<i>Dry Weight</i>	11.3kg/25 lbs. <i>transducer only</i> 12.5kg/27.5 lbs. <i>with Digibar V</i>
15	<i>Weight in Water</i>	4.9kg/10.8 lbs. <i>transducer only</i> 5.6kg/12.3 lbs. <i>with Digibar V attached</i>
16	<i>Power requirement</i>	12-30V DC, 15W- 30W <i>depending on the option</i>
17	<i>Environmental</i>	<i>Maximum Deployment Depth 100m</i> <i>MB2 Sonar Operating Temperature -5 to +35°C</i> <i>MB2 Sonar Storage Temperature -20 to +55°C</i> <i>RTA Operating Temperature -5 to +50°C</i> <i>RTA Storage Temperature -20 to +65°C</i>
18	<i>Extra features</i>	<i>Phase and amplitude detection</i> <i>Real time Roll stabilization</i> <i>Software included allowing setup, control, replay of raw data and full data quality monitoring</i> <i>User defined beam distribution - Equidistant or Equiangular</i> <i>Ping rates up to 60 Hz</i>

2.4 Kalibrasi *Multibeam Echosounder*

Wahana survei tidak pernah berhenti bergerak sewaktu survei dilaksanakan, baik karena faktor dinamika lautan maupun cuaca. *Multibeam Echosounder* yang terpasang pada wahana survei selalu membaca kedalaman dengan asumsi bahwa wahana survei diam sempurna, sehingga harus dilakukan kalibrasi agar nilai kedalaman tersebut valid. Menurut (Mann dan Godin 1996) proses kalibrasi yang dilakukan meliputi proses kalibrasi *offset static*, *patch test* (pitch, roll, yaw) serta kecepatan rambat akustik.

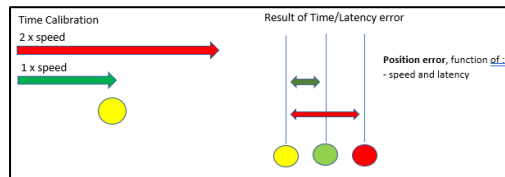
2.4.1 Patch test

Keselarasan dari sonar *multibeam echosounder* terhadap sensor gerak dan *gyro* sangat berpengaruh pada akurasi pengambilan data kedalaman. Tidak mungkin untuk pemasangan sonar tepat lurus dengan sensor gerak dan *gyro*, dibutuhkan koreksi ($x.xx^\circ$). Pengkoreksian terhadap waktu GPS juga diperlukan sewaktu pengambilan data kalibrasi. Menurut (Mann dan Godin 1996) masalah dari kalibrasi *multibeam echosounder* harus diselesaikan untuk mengukur koreksi sudut dari sonar, sensor gerak, *gyro* dan waktu yang tidak sinkron.

Patch test termasuk mengumpulkan data dari berbagai tipe permukaan dasar laut dan pemrosesan data sampai pada proses *patch test* nya. Ada dua metode untuk memproses data yang digunakan: yaitu dengan pendekatan model dan pendekatan dari permukaan berulang yang sama. Setiap metode ini mempunyai kekurangan dan kelebihan tergantung pada tipe permukaan yang disurvei. Semua perangkat lunak modern untuk pengumpulan data *multibeam echosounder* sudah memiliki fitur *patch test*. Pada perangkat lunak QPS fitur *patch test* meliputi *time latency*, *pitch*, *roll*, dan *yaw*.

a. *Time Latency* (keterlambatan waktu)

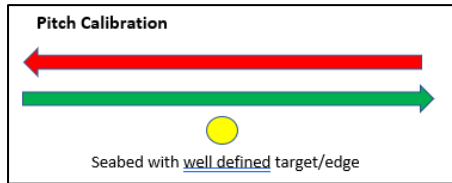
Pada kalibrasi untuk mengkoreksi keterlambatan waktu dalam pengambilan data kedalaman yaitu dengan jalur kapal yang sama, tetapi dengan kecepatan kapal yang berbeda. Dibutuhkan sebuah objek didasar laut yang mudah untuk diidentifikasi seperti batu besar atau lereng. Kemudian menjadi data pembanding untuk menentukan keterlambatan waktu sewaktu survei (Brennan 2009). Gambar 2.5 merupakan ilustrasi kesalahan *time latency*.



Gambar 2.5 Pengambilan Data Time Latency (Brennan 2009)

b. *Pitch*

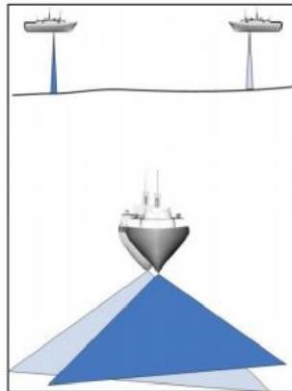
Dalam pengambilan data *pitch*, hampir sama dengan tipe permukaan dasar laut pada *latency test*. Perbedaan dengan *latency test* adalah pada kecepatan kapal. Dalam pengambilan data *pitch* kecepatan kapal sama. Kesalahan pada *pitch* ini semakin besar seiring dengan kedalaman (Brennan 2009). Gambar 2.6 merupakan ilustrasi pengambilan data untuk koreksi *Pitch*.



Gambar 2.6 Pengambilan Data Pitch (Brennan 2009)

c. Roll

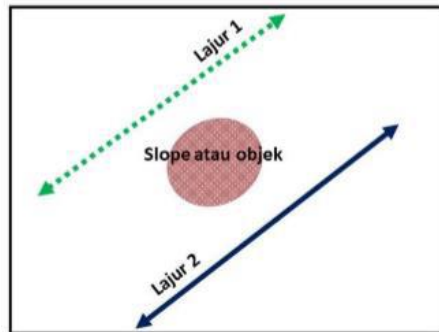
Pengambilan data untuk roll harus dipermukaan dasar laut yang relatif datar dan diambil 2 kali pulang pergi dalam satu jalur. Ketika data ditampilkan dalam potongan memanjang, maka terlihat perbedaan antara kedua permukaan. Banyak program patch test akan melakukan iterasi untuk mengukur perbedaan terkecil antara kedua permukaan ini (Brennan 2009). Gambar 2.7 merupakan ilustrasi pengambilan data untuk koreksi *Roll*.



Gambar 2.7 Pengambilan Data Roll (Brennan 2009)

d. *Yaw*

Kesalahan yaw (*yaw offset*) menyebabkan objek-objek di dasar laut tampak bergeser di sepanjang lajur survei tepat di tengah sapuan (*coverage*) MBES (Gambar 2.8). Perpindahan objek-objek sepanjang lajur survei akan meningkat dengan jarak yang jauh dari lajur survei. Yaw offset dapat dikuantifikasi dengan memeriksa data kedalaman (*sounding data*) pada area yang tumpang-tindih (*overlap*) antara dua lajur survei yang saling berdekatan. Sapuan kedua lajur survei ini dilewatkan di kedua sisi objek dasar laut dengan arah lajur survei yang berlawanan dan pada kecepatan yang sama. Bagian sapuan kanan (*starboard*) lajur 1 overlap dengan sapuan bagian kanan lajur 2, begitu juga untuk bagian sapuan kiri (*port*) (Muljawan et. al 2017). Gambar 2.8 merupakan ilustrasi pengambilan data untuk koreksi *Yaw*.



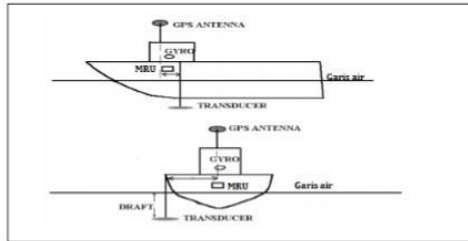
Gambar 2.8 Geometri Lajur Survei Untuk Kalibrasi *Yaw* (Muljawan Et. Al 2017)

2.4.2 Sensor Offset

Offset statis adalah suatu kegiatan penentuan letak dari masing-masing alat atau sensor yang terpasang di wahana survei dan terhadap titik referensi wahana survei. Hasil yang didapat dari offset statis adalah suatu denah dengan koordinat x, y, dan z masing-masing sensor lainnya terhadap titik referensi wahana survei yang memiliki koordinat (0; 0; 0) (Mann dan Godin 1996).

Multibeam echosounder Teledyne Odom MB2 merupakan sebuah sistem yang terintegrasi yang meliputi alat pengukur jarak atau *range (multibeam echosounder)*, alat penentuan posisi global (DGPS), alat pengukur gerakan rotasi (*roll, pitch, dan yaw*) dan translasi kapal atau *heave (Inertial Motion Unit/IMU)*, alat pengukur arah atau heading (Gyro Compas atau GPS Gyro), dan kecepatan suara dalam kolom air atau pengaruh refraksi (*Sound velocity profile (SVP) dan Sound Velocity Surface (SVS)*).

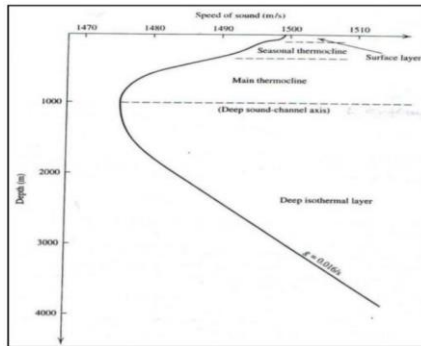
Dengan dilakukannya *offset static* kedudukan transducer *multibeam echosounder* dan alat-alat atau sensor-sensor lainnya seperti DGPS, IMU, dan Gyro Compas terhadap titik referensi dilakukan seperti ditunjukkan dalam Gambar 2.9 (Mann 1998). Pengukuran akurat lokasi sensor adalah prasyarat untuk menjaga agar data yang diperoleh sesuai dengan spesifikasi yang ditentukan. Kesalahan pengukuran kedudukan ini (*miss alignments offset static*) yang tidak terhitung dengan baik akan menghasilkan kesalahan kedalaman dan posisi. Pengukuran kedudukan *transducer* dan sensor-sensor terhadap titik referensi dilakukan dengan metode survei dimensional. Survei tersebut mengukur jarak sensor-sensor seperti DGPS dan Gyro Compas terhadap *inertial measurement unit (IMU)*. Gambar 2.9 merupakan ilustrasi letak *GPS, Gyro, dan Transducer* terhadap *IMU*.



Gambar 2.9 Offset Static terhadap IMU (Mann 1998)

2.5 Sound Velocity Profiler (SVP)

Sound velocity profile merupakan sebuah gambaran atau profil yang menggambarkan tingkat kecepatan rambat suara di perairan. Kecepatan suara sering disimbolkan dengan c . Nilai kecepatan rambat suara air laut berada antara 1.450 m/s – 1.540 m/s (Fahrulian 2012). Pengetahuan mengenai kondisi lingkungan air laut sangat penting untuk diketahui. Kecepatan suara akan meningkat dengan bertambahnya suhu, salinitas dan tekanan. Faktor-faktor tersebut memiliki hubungan yang sangat kompleks untuk dibahas. Namun variasi nilai kecepatan rambat suara ini relatif kecil. Kecepatan suara ini memiliki nilai yang bervariasi. (Kinsler dkk. 2000) Perubahan kecepatan suara secara drastis terjadi pada palung laut atau berada pada lapisan *thermocline*. Hal ini dikarenakan pada lapisan tersebut terjadi perbedaan suhu yang signifikan. Gambar 2.10 menggambarkan profil kecepatan suara yang umumnya terjadi di perairan laut.



Gambar 2.10 Profil Kecepatan Suara Air Laut (Kinsler dkk. 2000)

Dalam mengukur kecepatan rambat akustik di lokasi survei digunakan *Sound Velocity Profiler* jenis *Valeport mini*. Gambar 2.11 merupakan gambaran *SVP Valeport mini*. Sedangkan untuk tabel 2.2 merupakan spesifikasi dari *SVP Valeport mini*.



Gambar 2.11 Valeport Mini SVP

Tabel 2.2 Spesifikasi Valeport Mini SVP

No.	Spesifikasi	Keterangan
<i>Sound Velocity</i>		
1	<i>Range</i>	1375 - 1900m/s
2	<i>Resolution</i>	0,001m/s
3	<i>Accuracy</i>	$\pm 0.02\text{m/s}$

<i>Temperature</i>		
1	<i>Range</i>	-5°C - +35°C
2	<i>Resolution</i>	0.001°C
3	<i>Accuracy</i>	±0.01°C
<i>Pressure</i>		
1	<i>Range</i>	5, 10, 30, 50, 100, 300 or 600 Bar
2	<i>Resolution</i>	0.001% range
3	<i>Accuracy</i>	±0.05% range
<i>Sampling Modes</i>		
1	<i>Continuous</i>	<i>Regular output from all sensors at 1, 2, 4, 8 or 16Hz</i>
2	<i>Profile</i>	<i>Logs data as the device falls (or rises) by a defined amount through the water column.</i>
<i>Communications</i>		
1	<i>RS232</i>	Up to 200m cable, direct to serial port
2	<i>RS485</i>	Up to 1000m cable
3	<i>Baud Rate</i>	38400, 57600 or 115200
4	<i>Protocol</i>	8 data bits, 1 stop bit, No parity, No flow control
5	<i>Bluetooth</i>	Bluetooth logger and communication set available for cable free data recovery. Bluetooth module is limited to a depth rating of 500m.

2.6 Penentuan Posisi Dengan GNSS

GNSS adalah sistem satelit navigasi, penentuan posisi dan kecepatan yang dikelola oleh masing-masing negara seperti *GPS* oleh Amerika Serikat, *GLONASS* oleh Rusia, *Galileo* oleh Uni Eropa, *Beidou* oleh China, *IRNSS* oleh India, dan *QZSS* oleh Jepang. Sistem ini didesain untuk memberikan posisi dan kecepatan tiga dimensi serta informasi mengenai waktu, secara kontinyu di seluruh dunia tanpa

tergantung waktu dan cuaca, kepada banyak orang secara simultan (Poerbandono dan Djunarsjah 2005).

Dalam hal survei dan pemetaan serta penentuan posisi pada survei batimetri, *GNSS* telah digunakan untuk keperluan survei hidro-oseanografi, survei seismik, penentuan posisi rambu-rambu dan peralatan bantu navigasi serta titik-titik pengeboran minyak lepas pantai, ataupun untuk mempelajari karakteristik arus, gelombang, ataupun pasut di lepas pantai. Bahkan beberapa peneliti di Amerika Serikat juga telah menggunakan *GNSS*, dikombinasikan dengan sistem penentuan posisi akustik, untuk menentukan posisi titik-titik di dasar laut secara teliti, dalam rangka mempelajari dinamika lempeng-lempeng benua di bawah lautan. Gambar 2.12 merupakan contoh *receiver GNSS* yang umum digunakan saat survei.



Gambar 2.12 *Receiver GNSS* (Atunggal 2010)

Dalam kaitannya dengan aktivitas pemetaan batimetri, metode penentuan posisi yang digunakan umumnya adalah (Poerbandono dan Djunarsjah 2005) :

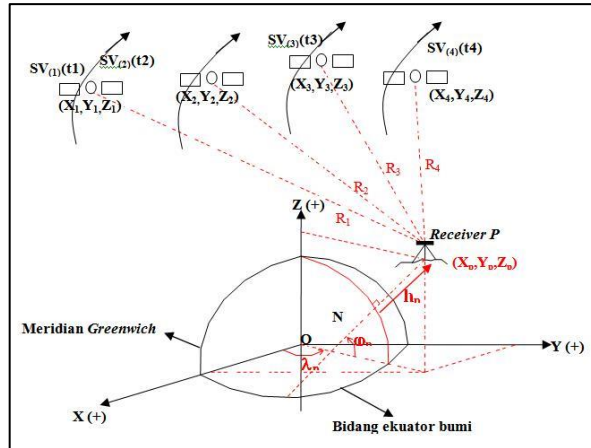
1. Metode survei *GNSS* : untuk penentuan posisi titik-titik kontrol di pantai;
2. Metode kinematik diferensial : menggunakan data pseudorange untuk aplikasi-aplikasi yang menuntut

ketelitian menengah, maupun menggunakan data fase untuk ketelitian yang lebih tinggi;

Sistem *DGPS* dan *RTK* : untuk aplikasi-aplikasi yang menuntut informasi posisi secara instan (*real-time*), dimana sistem *DGPS* umumnya digunakan untuk melayani aplikasi berketelitian menengah dan sistem *RTK* untuk aplikasi berketelitian lebih tinggi.

2.6.1 Penentuan Posisi Absolut

Penentuan posisi absolut adalah metode penentuan yang paling mendasar dari *GNSS*. Posisi suatu titik direferensikan terhadap pusat dari sistem koordinat. Aplikasi metode penentuan posisi absolut pada survei dan pemetaan terbatas untuk tahap *reconnaissance*, yang artinya hanya pada tahap survei pendahuluan untuk mengetahui posisi area survei. Pada tahap ini dilakukan pencarian data koordinat, pendekatan lokasi survei untuk keperluan perencanaan survei *GNSS* diferensial statik. Peralatan yang digunakan berupa *receiver* tipe navigasi. Penentuan posisi absolut adalah penentuan posisi suatu titik secara mandiri dengan menggunakan satu buah *receiver*. Prinsip dasar pada penentuan posisi secara *absolute* yaitu pengukuran jarak secara simultan ke beberapa satelit. Gambar 2.13 merupakan gambaran konfigurasi satelit dan *receiver* pada penentuan posisi absolut.



Gambar 2.13 Penentuan Posisi Absolut (Cahyaputra 2013)

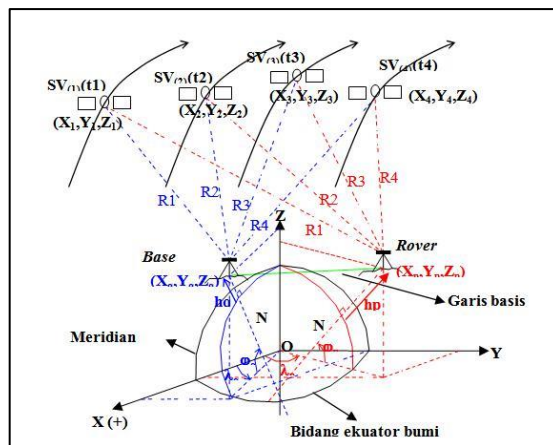
Keterangan gambar :

- O = Pusat sistem koordinat
- N = Jari-jari kelengkungan vertikal utama, titik pengamatan
- $\varphi_p, \lambda_p, h_p$ = Koordinat geodetik titik P
- X_p, Y_p, Z_p = Koordinat kartesian 3D titik P
- X_i, Y_i, Z_i = Koordinat kartesian 3D satelit ke i
- R = Jarak dari receiver ke satelit.

2.6.2 Sistem RTK

RTK merupakan kependekan dari *real time kinematic* yaitu sistem penentuan posisi dengan menggunakan prosedur differensial yang menggunakan data fase dengan ketelitian mencapai centimeter. Stasiun referensi mengirim data fase dan *pseudorange* kepada pengguna secara langsung menggunakan sistem

komunikasi tertentu (Abidin 2005). Pada penentuan posisi secara RTK, *base station* merupakan *receiver* GNSS yang berada pada lokasi tertentu dan berguna sebagai titik referensi untuk menentukan posisi dari titik-titik yang diamat oleh *receiver* GNSS yang lain (*rover*/pengguna). Dalam metode RTK ini, *base station* berfungsi untuk memancarkan sinyal koreksi, sedangkan *rover station* adalah *receiver* GNSS yang menerima koreksi RTCM dari stasiun referensi/ *base station*, yang bergerak dari lokasi satu ke lokasi lain selama pelaksanaan survei RTK (Cahyaputra 2013). Gambar 2.14 merupakan gambaran konfigurasi satelit dan receiver pada penentuan posisi RTK.



Gambar 2.14 Penentuan Posisi RTK (Cahyaputra 2013)

Ada 3 komponen penting dalam pengamatan menggunakan metode RTK yaitu stasiun referensi (*reference station*), sistem komunikasi data (*data link*) dan stasiun pengguna (*rover*) (Abidin 2005) :

1. Stasiun referensi (*reference station*), stasiun referensi berfungsi mengolah data diferensial dan menghitung koreksi *carrier phase* dengan cara membandingkan koordinat stasiun yang telah diketahui sebelumnya dengan koordinat hasil pengamatan *carrier phase*. Komponen di stasiun referensi terdiri atas *receiver* dan *antenna*.
2. Sistem hubungan data (*data link*), sistem ini berfungsi untuk mengirimkan koreksi *carrier phase* dari *base station* ke *rover* untuk pengolahan data secara *real time*. Sistem radio ini berupa radio modem UHF (*ultrahigh frequency*)/VHF (*very high frequency*)/HF (*high frequency*), modem telepon, GSM, satelit, dan internet.
3. Stasiun pengguna (*rover*), stasiun ini berfungsi untuk mengidentifikasi satelit.

2.6.3 Penentuan Posisi Dengan GNSS Pada Survei

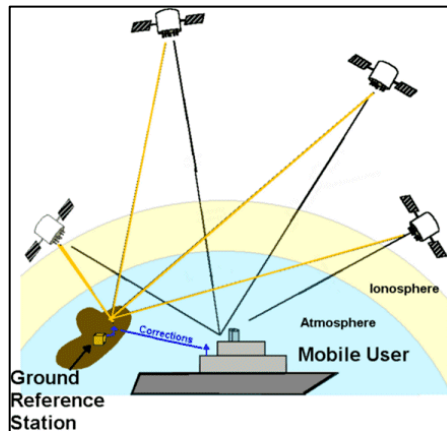
Hidrografi

Saat ini penggunaan GNSS dalam survei hidrografi utamanya terkait dengan penentuan posisi titik-titik perum, penentuan posisi titik kontrol di pantai dan navigasi kapal. Untuk menangkap sinyal dari satelit digunakan *receiver* GNSS agar dapat mengetahui posisi pengamat, maka secara sederhana dijelaskan sebagai berikut (Abidin 2005):

1. Satelit GNSS memancarkan sinyal yang pada prinsipnya “memberitahu” si pengamat sinyal tersebut tentang posisi satelit GNSS yang bersangkutan serta jaraknya dari pengamat lengkap dengan informasi waktunya.

2. Sinyal GNSS juga digunakan untuk menginformasikan kesehatan (kelayakgunaan) satelit pada pengamat.
3. Dengan mengamati satelit dalam jumlah yang cukup (minimum empat buah), si pengamat dapat menentukan posisinya serta parameter lainnya. Saat ini penggunaan GNSS dalam survei hidrografi utamanya terkait dengan :
 - Penentuan posisi titik kontrol di pantai.
 - Navigasi kapal survei.
 - Penentuan posisi titik-titik perum.

Gambar 2.15 merupakan ilustrasi penentuan posisi survei hidrografi metode kinematik DGPS.



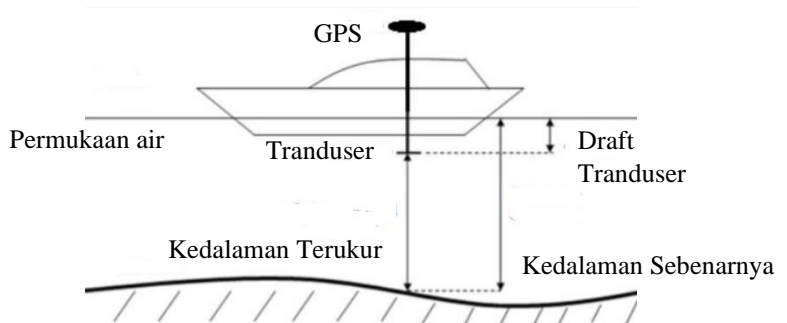
Gambar 2.15 Penentuan Posisi Kinematik DGPS
(Cahyaputra 2013)

Global Navigation Satellite System (GNSS) merupakan sistem penentuan posisi yang banyak digunakan dalam survei hidrografi. Untuk penentuan

posisi yang memerlukan ketelitian tinggi menggunakan metode *Real Time Kinematic Differential GPS* (RTK-DGPS). Pada Gambar 2.15 digambarkan mengenai konfigurasi satelit dan *receiver* pada penentuan posisi kinematic DGPS. Ketelitian yang tinggi bisa didapat dengan memenuhi kriteria berikut untuk menjaga kualitas penentuan posisi :

1. Jumlah minimal satelit aktif/terpantau hingga bisa diteruskan dengan pekerjaan pemeruman adalah 5 (lima).
2. PDOP (*Precision Dilution of Position*) tidak melebihi 6 (enam) untuk perekaman dan *sounding*, jika lebih hendaknya survei ditunda hingga dipenuhi syarat tersebut.
3. Sudut minimal untuk *elevation mask* 10° dari horison. Integritas signal GNSS harus selalu dipantau.
4. Dilakukan kalibrasi terhadap peralatan penentuan posisi yang digunakan serta dilakukan pengecekan paling sedikit seminggu sekali selama survei.
5. Pengecekan dilakukan dengan kondisi alat tetap pada posisinya.

Ketelitian posisi perum adalah ketelitian letak posisi perum pada dasar laut dalam sistim referensi geodesi yang menggunakan *Multibeam Echosounder*, ketelitian yang dimaksud adalah ketelitian posisi titik dari sistim sensor perum (Badan Standarisasi Nasional 2010). Gambar 2.16 menjelaskan tentang posisi ideal dari transduser dan GPS di kapal, yaitu tepat atas-bawah.



Gambar 2.16 Penempatan GPS dan Transduser di Kapal (Komunitas Surveyor Kelautan Universitas Diponegoro 2014)

2.7 Pengamatan Pasang Surut

Pengamatan pasut dilakukan untuk mendapatkan data ketinggian permukaan air laut di suatu lokasi. Dari hasil pengamatan tersebut akan didapatkan datum vertikal tertentu sesuai dengan keperluan tertentu pula. Pengamatan pasut dilakukan dengan mencatat atau merekam data tinggi muka air laut setiap interval waktu tertentu. Rentang waktu pengamatan pasut sebaiknya dilakukan selama selang waktu keseluruhan periodisasi benda-benda langit yang berpengaruh pada terjadinya pasut. Rentang waktu yang biasanya dilakukan untuk keperluan praktis adalah selama 15 atau 29 piantan (1 piantan = 25 jam) dengan interval yang biasa digunakan adalah 15, 30, atau 60 menit.

Dalam pengamatan pasang surut terdapat dua cara, yakni pengamatan langsung dan pengamatan tidak langsung (Ongkosongo 1989).

1. Pengamatan Langsung

Pengamatan ini dilakukan dengan membaca langsung skala pada rambu pasut yang terkena atau berimpit dengan permukaan air laut pada rambu pasut pada waktu tertentu. Pengamatan langsung ini biasanya

dilakukan pada pengamatan pasut jangka pendek, dikarenakan membutuhkan biaya yang murah. Namun untuk pengamatan pasut jangka panjang cara ini tidak mungkin untuk dilakukan karena biaya yang sangat mahal.

2. Pengamatan Tidak Langsung

Pengamatan ini dilaksanakan dengan memasang alat *automatic tide gauge* pada stasiun pasut yang ingin diketahui bacaan pasang surutnya. Pengamatan jangka panjang direkomendasikan pada pengamatan ini. Hasil pengamatan yang diperoleh bukan merupakan besaran-besaran yang langsung menunjukkan kedudukan permukaan air laut. Untuk mendapatkan besaran-besaran kedudukan permukaan air laut itu, harus dilakukan perubahan dari grafik yang diperoleh ke dalam suatu harga yang didasarkan dari pembacaan rambu pasut yang dipasang sebagai skala pembanding (standar).

Fenomena pasang surut pada setiap daerah mempunyai tipe yang berbeda. Hal tersebut disebabkan oleh perbedaan letak geografisnya. Selain itu, pasang surut juga dipengaruhi oleh frekuensi air pasang dengan surut setiap harinya dimana adanya perbedaan respon setiap lokasi terhadap gaya pembangkit pasang surut. Pada umumnya sifat pasut di suatu perairan ditentukan dengan menentukan perbandingan antara amplitudo (tinggi gelombang) unsur-unsur pasang surut tunggal utama dengan unsur-unsur pasang surut ganda utama menggunakan bilangan *Formzahl* yang dinyatakan dengan rumus sebagai berikut (Ongkosongo dan Suyarso 1989).

$$F = \frac{(O1 + K1)}{(M2 + S2)} \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana :

- F = Bilangan *formzahl*.
 O1 = Amplitudo komponen pasang surut tunggal utama yang disebabkan oleh gaya tarik bulan. (m)
 K1 = Amplitudo komponen pasang surut tunggal utama yang disebabkan oleh gayatarik matahari. (m)
 M2 = Konstanta harmonik yang di- pengaruhi oleh posisi bulan. (m)
 S2 = Amplitudo komponen pasang surut ganda utama yang disebabkan oleh gaya tarik matahari. (m)

Berdasarkan harga F ini, dapat diklasifikasikan tipe pasang surut yang terjadi di suatu perairan.

1. $0 < F \leq 0,25$: Pasang Ganda Murni
2. $0,25 < F \leq 1,5$: Pasang Campuran Ganda
3. $1.5 < F \leq 3$: Pasang Campuran Tunggal
4. $F > 3$: Pasang Tunggal Murni

2.8 Uji Ketelitian Data

Kegiatan yang dilakukan dalam survei batimetri memiliki standar resmi yang digunakan untuk menjaga kualitas data hasil pengukuran. Ketetapan internasional mengenai survei hidrografi diatur oleh *International Hydrographic Organization* (IHO) melalui *Special Publication-44* Edisi ke-6, sedangkan di indonesia sendiri memiliki standar survei hidrografi menggunakan multibeam echosounder pada SNI 7988:2014 yang isinya pun mengacu pada ketentuan dari IHO S-44 tahun 2020. Menurut IHO (2020) standar minimum dalam survei hidrografi dibagi menjadi 5 orde ketelitian. Dapat dilihat pada tabel 2.3 merupakan orde ketelitian survei hidrografi menurut IHO S44 edisi ke-6

Tabel 2.3 Orde Ketelitian Survei Hidrografi Menurut IHO S44 edisi ke-6

Orde	Orde 2	Orde 1b	Orde 1a	Orde Spesial	Orde Eksklusif
Deskripsi Area	Area di mana gambaran umum dasar laut dianggap memadai.	Area dimana kedalaman yang aman untuk kapal (<i>underkeel clearance</i>) tidak begitu dipertimbangkan.	Area dimana kedalaman yang aman untuk kapal (<i>underkeel clearance</i>) tidak begitu dipertimbangkan, tetapi terdapat fitur dasar laut yang dapat membahayakan keselamatan kapal	Area dimana kedalaman aman kapal sangat diperhitungkan.	Area dimana terdapat minimum kedalaman yang aman untuk kapal dan terdapat kriteria kemampuan manuver untuk kapal
Nilai TVU maksimum pada tingkat kepercayaan 95 %	a = 1 m b = 0,023 m	a = 0,5 m b = 0,013 m	a = 0,5 m b = 0,013 m	a = 0,25 m b = 0,0075 m	a = 0,15 m b = 0,0075 m
Pemeriksaan Dasar Laut	Tidak diperlukan	Tidak diperlukan	Diperlukan (100%)	Diperlukan (100%)	Diperlukan (200%)

Uji ketelitian data dilakukan pada daerah pertampalan dari masing-masing lajur dengan lajur di sampingnya dengan arah yang berlawanan, asumsinya titik-titik kedalaman pada lajur yang bertampalan atau berdekatan memiliki nilai kedalaman yang sama, namun kenyataan di lapangan menunjukkan bahwa nilai kedalaman pada lajur yang bertampalan atau

berdekatan bisa saja memiliki nilai kedalaman yang berbeda. Mengacu pada standar IHO S-44 edisi Ke-6, nilai toleransi kesalahan pertampalan lajur kanan dan kiri dihitung menggunakan persamaan (2) dengan tingkat kepercayaan 95%.

$$\text{Toleransi Kesalahan} = \pm \sqrt{a^2 + (b \times d)^2} \dots\dots(2.3)$$

Keterangan :

a = faktor kesalahan yang tidak bergantung pada kedalaman

b = faktor kesalahan yang bergantung pada kedalaman

d = rata –rata kedalaman ukuran (m)

Dasar teori yang digunakan dalam IHO S44 untuk menguji ketelitian data kedalaman menggunakan uji Z. Uji Z adalah salah satu uji statistika yang pengujian hipotesisnya didekati dengan distribusi normal. Menurut teori limit terpusat, data dengan ukuran sampel yang besar akan berdistribusi normal. Oleh karena itu, uji Z dapat digunakan untuk menguji data yang sampelnya berukuran besar. Jumlah sampel 30 atau lebih dianggap sampel berukuran besar. Selain itu, uji Z dipakai untuk menganalisis data yang varians populasinya diketahui. Namun, bila varians populasi tidak diketahui, maka varians dari sampel dapat digunakan sebagai penggantinya. Berikut merupakan penurunan persamaan dari uji Z

Persamaan Uji Z

$$Z = \frac{\bar{X} - \mu}{\sigma\sqrt{n}} \dots\dots\dots(2.4)$$

$$P \left[-z < \frac{\bar{X} - \mu}{\sigma\sqrt{n}} < z \right] = 2\Phi(z) - 1 \dots\dots\dots(2.5)$$

$$P \left[-z < \frac{\bar{X} - \mu}{\sigma\sqrt{n}} < z \right] = 2\Phi(z) - 1 \dots\dots\dots(2.6)$$

Dimana :

μ = rata-rata populasi

\bar{X} = rata-rata sampel

σ = standar deviasi

z = nilai fungsi distribusi normal

Suatu data akan dianggap sebuah distribusi normal jika data tersebut terletak diantara $\bar{X} - \frac{z\sigma}{\sqrt{n}}$ dan $\bar{X} + \frac{z\sigma}{\sqrt{n}}$

$$0,95 = 2\Phi(z) - 1 \dots\dots\dots(2.7)$$

Nilai 0,95 didapatkan dari nilai kepercayaan 95% yang terdapat pada IHO S44 edisi ke-6 untuk menguji ketelitian data kedalamannya.

$$1,95 = 2\Phi(z) \dots\dots\dots(2.8)$$

$$0,975 = \Phi(z) \dots\dots\dots(2.9)$$

$$1,96 = z \dots\dots\dots(2.10)$$

Nilai 1,96 didapatkan dari tabel nilai fungsi distribusi normal. Sehingga terbukti uji ketelitian data pada IHO S44 menggunakan distribusi normal uji Z. Gambar 2.17 merupakan nilai fungsi distribusi normal.

*p

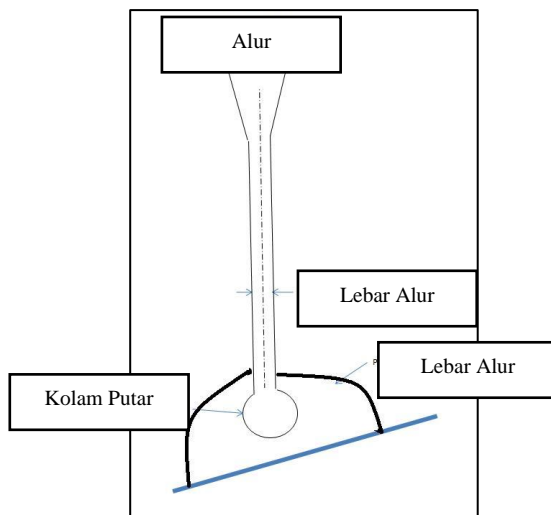
z	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
-3.	.0013	.0010	.0007	.0005	.0003	.0002	.0002	.0001	.0001	.0000
-2.9	.0019	.0018	.0017	.0017	.0016	.0016	.0015	.0015	.0014	.0014
-2.8	.0026	.0025	.0024	.0023	.0023	.0022	.0021	.0021	.0020	.0019
-2.7	.0035	.0034	.0033	.0032	.0031	.0030	.0029	.0028	.0027	.0026
-2.6	.0047	.0045	.0044	.0043	.0041	.0040	.0039	.0038	.0037	.0036
-2.5	.0062	.0060	.0059	.0057	.0055	.0054	.0052	.0051	.0049	.0048
-2.4	.0082	.0080	.0078	.0075	.0073	.0071	.0069	.0068	.0066	.0064
-2.3	.0107	.0104	.0102	.0099	.0096	.0094	.0091	.0089	.0087	.0084
-2.2	.0139	.0136	.0132	.0129	.0126	.0122	.0119	.0116	.0113	.0110
-2.1	.0179	.0174	.0170	.0166	.0162	.0158	.0154	.0150	.0146	.0143
-2.0	.0228	.0222	.0217	.0212	.0207	.0202	.0197	.0192	.0188	.0183
-1.9	.0287	.0281	.0274	.0268	.0262	.0256	.0250	.0244	.0238	.0233
-1.8	.0359	.0352	.0344	.0336	.0329	.0322	.0314	.0307	.0300	.0294
-1.7	.0446	.0436	.0427	.0418	.0409	.0401	.0392	.0384	.0375	.0367
-1.6	.0548	.0537	.0526	.0516	.0505	.0495	.0485	.0475	.0465	.0455
-1.5	.0668	.0655	.0643	.0630	.0618	.0606	.0594	.0582	.0570	.0559
-1.4	.0808	.0793	.0778	.0764	.0749	.0735	.0722	.0708	.0694	.0681
-1.3	.0968	.0951	.0934	.0918	.0901	.0885	.0869	.0853	.0838	.0823
-1.2	.1151	.1131	.1112	.1093	.1075	.1056	.1038	.1020	.1003	.0985
-1.1	.1357	.1335	.1314	.1292	.1271	.1251	.1230	.1210	.1190	.1170
-1.7	.0446	.0436	.0427	.0418	.0409	.0401	.0392	.0384	.0375	.0367
-1.6	.0548	.0537	.0526	.0516	.0505	.0495	.0485	.0475	.0465	.0455
-1.5	.0668	.0655	.0643	.0630	.0618	.0606	.0594	.0582	.0570	.0559
-1.4	.0808	.0793	.0778	.0764	.0749	.0735	.0722	.0708	.0694	.0681
-1.3	.0968	.0951	.0934	.0918	.0901	.0885	.0869	.0853	.0838	.0823
-1.2	.1151	.1131	.1112	.1093	.1075	.1056	.1038	.1020	.1003	.0985
-1.1	.1357	.1335	.1314	.1292	.1271	.1251	.1230	.1210	.1190	.1170
-1.0	.1587	.1562	.1539	.1515	.1492	.1469	.1446	.1423	.1401	.1379
- .9	.1841	.1814	.1788	.1762	.1736	.1711	.1685	.1660	.1635	.1611
- .8	.2119	.2090	.2061	.2033	.2005	.1977	.1949	.1922	.1894	.1867
- .7	.2420	.2389	.2358	.2327	.2297	.2266	.2236	.2206	.2177	.2148
- .6	.2743	.2709	.2676	.2643	.2611	.2578	.2546	.2514	.2483	.2451
- .5	.3085	.3050	.3015	.2981	.2946	.2912	.2877	.2843	.2810	.2776
- .4	.3446	.3409	.3372	.3336	.3300	.3264	.3228	.3192	.3156	.3121
- .3	.3821	.3783	.3745	.3707	.3669	.3632	.3594	.3557	.3520	.3483
- .2	.4207	.4168	.4129	.4090	.4052	.4013	.3974	.3936	.3897	.3859
- .1	.4602	.4562	.4522	.4483	.4443	.4404	.4364	.4325	.4286	.4247
- .0	.5000	.4960	.4920	.4880	.4840	.4801	.4761	.4721	.4681	.4641

z	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
.0	.5000	.5040	.5080	.5120	.5160	.5199	.5239	.5279	.5319	.5359
.1	.5398	.5438	.5478	.5517	.5557	.5596	.5636	.5675	.5714	.5753
.2	.5793	.5832	.5871	.5910	.5948	.5987	.6026	.6064	.6103	.6141
.3	.6179	.6217	.6255	.6293	.6331	.6368	.6406	.6443	.6480	.6517
.4	.6554	.6591	.6628	.6664	.6700	.6736	.6772	.6808	.6844	.6879
.5	.6915	.6950	.6985	.7019	.7054	.7088	.7123	.7157	.7190	.7224
.6	.7257	.7291	.7324	.7357	.7389	.7422	.7454	.7486	.7517	.7549
.7	.7580	.7611	.7642	.7673	.7703	.7734	.7764	.7794	.7823	.7852
.8	.7881	.7910	.7939	.7967	.7995	.8023	.8051	.8078	.8106	.8133
.9	.8159	.8186	.8212	.8238	.8264	.8289	.8315	.8340	.8365	.8389
1.0	.8413	.8438	.8461	.8485	.8508	.8531	.8554	.8577	.8599	.8621
1.1	.8643	.8665	.8686	.8708	.8729	.8749	.8770	.8790	.8810	.8830
1.2	.8849	.8869	.8888	.8907	.8925	.8944	.8962	.8980	.8997	.9015
1.3	.9032	.9049	.9066	.9082	.9099	.9115	.9131	.9147	.9162	.9177
1.4	.9192	.9207	.9222	.9236	.9251	.9265	.9278	.9292	.9306	.9319
1.5	.9332	.9345	.9357	.9370	.9382	.9394	.9406	.9418	.9430	.9441
1.6	.9452	.9463	.9474	.9484	.9495	.9505	.9515	.9525	.9535	.9545
1.7	.9554	.9564	.9573	.9582	.9591	.9599	.9608	.9616	.9625	.9633
1.8	.9641	.9648	.9656	.9664	.9671	.9678	.9686	.9693	.9700	.9706
1.9	.9713	.9719	.9726	.9732	.9738	.9744	.9750	.9756	.9762	.9767
2.0	.9772	.9778	.9783	.9788	.9793	.9798	.9803	.9808	.9812	.9817
2.1	.9821	.9826	.9830	.9834	.9838	.9842	.9846	.9850	.9854	.9857
2.2	.9861	.9864	.9868	.9871	.9874	.9878	.9881	.9884	.9887	.9890
2.3	.9893	.9896	.9898	.9901	.9904	.9906	.9909	.9911	.9913	.9916
2.4	.9918	.9920	.9922	.9925	.9927	.9929	.9931	.9932	.9934	.9936
2.5	.9938	.9940	.9941	.9943	.9945	.9946	.9948	.9949	.9951	.9952
2.6	.9953	.9955	.9956	.9957	.9959	.9960	.9961	.9962	.9963	.9964
2.7	.9965	.9966	.9967	.9968	.9969	.9970	.9971	.9972	.9973	.9974
2.8	.9974	.9975	.9976	.9977	.9977	.9978	.9979	.9979	.9980	.9981
2.9	.9981	.9982	.9982	.9983	.9984	.9984	.9985	.9985	.9986	.9986
3.	.9987	.9990	.9993	.9995	.9997	.9998	.9998	.9999	.9999	1.0000

Gambar 2.17 Nilai fungsi distribusi normal

2.9 Alur Pelayaran

Alur pelayaran adalah perairan yang dari segi kedalaman, lebar, dan bebas hambatan pelayaran lainnya dianggap aman dan selamat untuk dilayari oleh kapal di laut, sungai atau danau. Alur pelayaran dicantumkan dalam peta laut dan buku petunjuk-pelayaran serta diumumkan oleh instansi yang berwenang. Alur pelayaran digunakan untuk mengarahkan kapal masuk ke kolam pelabuhan, oleh karena itu harus melalui suatu perairan yang tenang terhadap gelombang dan arus yang tidak terlalu kuat. Gambar 2.18 merupakan contoh desain alur pelayaran pada kolam pelabuhan.



Gambar 2.18 Desain Alur Pelayaran Pada Kolam Pelabuhan

Alur pelayaran di dalam pelabuhan bertujuan sebagai penghubung antara daerah tempat kapal melempar sauh (kapal menunggu biasanya di luar *breakwater* apabila ada) dengan daerah perairan dekat dermaga (biasanya di dalam *breakwater*, kolam pelabuhan). Perencanaan alur pelayaran tentunya memiliki peraturan sendiri terkait kedalaman yang akan disampaikan pada sub bab 2.9.1.

2.9.1 Kedalaman Alur Pelayaran

Kedalaman alur pelayaran di Indonesia bervariasi, sesuai dengan jenis pelabuhan atau dermaganya. Akan tetapi pemerintah Indonesia melalui Direktorat Jenderal Perhubungan Laut memiliki ketentuan agar suatu pelayaran dapat dilalui oleh kapal dengan mudah dan aman.

Berikut ini adalah persamaan untuk menentukan kedalaman alur pelayaran menurut (Direktorat Jenderal Perhubungan Laut 2006) :

$$d \geq 1,1 D \quad \dots\dots\dots(2.11)$$

Keterangan :

D = draft kapal maksimum (m)

d = desain kedalaman kolam (mLWS)

2.10 Penelitian Terdahulu

Penelitian mengenai aplikasi survei batimetri *multibeam echosounder* untuk alur pelayaran juga pernah dilakukan oleh (Yuwono, Pratomo dan Al-Azhar 2018). Pada penelitian tersebut bertujuan untuk memperoleh informasi mengenai lokasi keberadaan kerangka kapal di dasar perairan Alur Pelayaran Barat Surabaya dari hasil pengolahan data *multibeam echosounder*. Kemudian, dilakukan analisis posisi kerangka kapal terhadap keselamatan alur pelayaran. Metode yang digunakan adalah dengan melakukan survei batimetri dengan menggunakan *Multibeam Echosounder*, *Automatic Tide Gauge*, *Sound Velocity Profiler*, dan *Receiver GNSS*. Kemudian dilakukan pengolahan data dan interpretasi topografi dasar perairan. Berdasarkan hasil interpretasi terdapat kerangka kapal dengan nama “Tongkang Utama 9” yang ditemukan di wilayah alur pelayaran. Nilai kedalaman kerangka kapal tersebut masih aman bagi kapal (dengan nilai draft hingga 8,3 meter) yang berlayar di atasnya. Namun, lokasi kerangka kapal tersebut hanya berjarak 10 meter dari as alur pelayaran, sehingga jenis lalu lintas alur pelayaran di wilayah Alur Pelayaran Barat Surabaya harus mengalami perubahan menjadi sistem rute satu arah demi kepentingan bersama.

Penelitian lain mengenai aplikasi survei batimetri *multibeam echosounder* untuk alur pelayaran juga pernah dilakukan oleh (Yusuf, Khomsin, dan Handoko 2019). Penelitian tersebut bertujuan untuk menganalisa selisih perhitungan volume rencana pengerukan sedimen pada Alur Pelayaran Barat Surabaya. Dimana alur tersebut memiliki peran sebagai penggerak pertumbuhan perekonomian di bidang angkutan laut. Sehingga perlu dilakukan *maintenance dredging* agar kedalaman dan lebar APBS tetap ideal untuk dilalui oleh kapal. Metode perhitungan volume yang digunakan adalah penampang rata-rata dengan membagi perhitungannya per-*section*. Total nilai volume yang didapat dari perhitungan AutoCAD Civil 3D sebesar 5.921.745 m³, Hypack sebesar 5.952.881,83 m³, hitungan manual sebesar 5.326.096,17 m³, dan perhitungan menggunakan metode composite sebesar 5.881.819,17 m³. Hitungan RMSE pada AutoCAD Civil 3D terhadap hitungan manual dan metode composite adalah 354,78 m³ dan 171,27 m³, sedangkan nilai RMSE Hypack terhadap hitungan manual dan metode composite adalah 480,64 m³ dan 264,76 m³. AutoCAD Civil 3D adalah hitungan yang paling mendekati hasil hitungan manual dan metode composite sebagai pembandingan.

Pada penelitian ini dibahas mengenai aplikasi survei batimetri *multibeam echosounder* untuk alur pelayaran. Beberapa data yang digunakan adalah survei batimetri menggunakan *multibeam echosounder*, *sound velocity profiler*, data *patch test* dan pengamatan pasang surut menggunakan *automatic tide gauge* selama 29 piantan di area penelitian. Setelah didapatkan hasil kedalaman berdasarkan datum *Low Water Spring* (LWS) akan dilakukan analisa kedalaman alur terhadap draft kapal yang melintas. Perhitungan volume pengerukan sedimen berdasarkan kedalaman alur pelayaran yang telah direncanakan. Dilakukan uji ketelitian data pemeruman hasil

survei batimetri berdasarkan IHO S-44 edisi Ke-6. IHO S-44 merupakan standar atau acuan kualitas hasil pemetaan batimetri yang disetujui oleh semua negara di dunia. Sehingga penting dilakukannya pengujian ketelitian data survei batimetri agar data yang dihasilkan dapat merepresentasikan kondisi lautan dengan baik.

BAB III METODOLOGI

3.3 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian pada Tugas Akhir ini dilakukan di wilayah Alur Pelayaran Pelabuhan Belawan dengan sistem koordinat geografis $3^{\circ} 46' 29,9''$ - $3^{\circ} 52' 3,04''$ LU dan $98^{\circ} 38' 9,64''$ - $98^{\circ} 48' 13,59''$ BT. Dimana lokasi tersebut dapat dilihat pada gambar 3.1 berikut ini:



Gambar 3.1 Lokasi Penelitian

3.4 Data dan Peralatan

Data yang digunakan dalam penelitian ini berupa data sekunder. Sedangkan untuk peralatan yang digunakan terdiri dari perangkat lunak dan perangkat keras.

3.4.1 Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

- (1) Data *Multibeam Echosounder* hasil pengukuran survei batimetri di wilayah Perairan Alur Pelayaran Pelabuhan Belawan pada Tahun 2018 yang didapatkan dari Badan Informasi Geospasial (BIG).
- (2) Data pengamatan pasang surut air laut selama 29 piantan di wilayah Perairan Alur Pelayaran Pelabuhan Belawan pada Tahun 2018 yang didapatkan dari Badan Informasi Geospasial (BIG).
- (3) Data *Sound Velocity Profile* di wilayah Perairan Alur Pelayaran Pelabuhan Belawan pada Tahun 2018 yang didapatkan dari Badan Informasi Geospasial (BIG).
- (4) Data *Patch Test* di wilayah Perairan Alur Pelayaran Pelabuhan Belawan pada Tahun 2018 yang didapatkan dari Badan Informasi Geospasial (BIG).

3.4.2 Peralatan

Adapun peralatan yang digunakan dalam penelitian Tugas Akhir ini adalah :

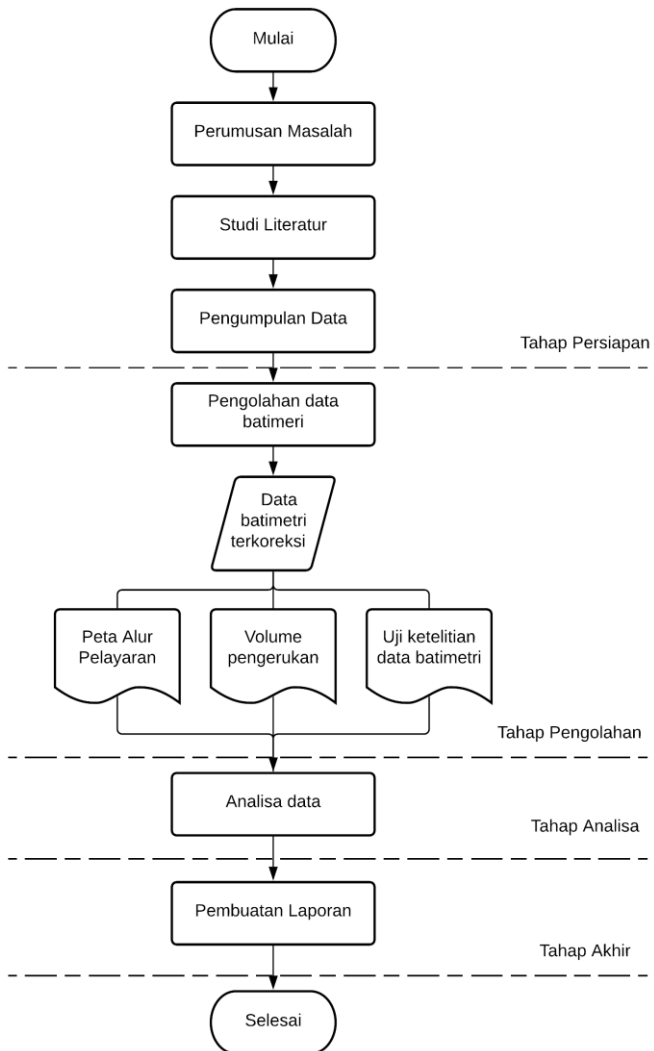
- (1) Perangkat lunak *QPS Qimera* untuk pengolahan data *multibeam echosounder*.
- (2) Perangkat lunak *Teledyne PDS* untuk mengubah format *raw data multibeam echosounder*
- (3) Perangkat lunak *ArcGIS* untuk pembuatan peta alur pelayaran, membuat penampang melintang, dan perhitungan volume.
- (4) Perangkat lunak *MatLab* untuk mengetahui vertikal datum dari pengolahan data pasang surut.
- (5) Perangkat lunak *Microsoft Office 365* untuk pembuatan laporan.

3.5 Metodologi Pelaksanaan Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan berdasarkan beberapa tahap yaitu tahap persiapan, pengolahan data, analisis hasil, dan tahap akhir berupa pembuatan laporan. Keempat tahap tersebut dijelaskan pada Gambar 3.2, sedangkan proses pengolahan data secara lebih rinci akan dijelaskan oleh diagram alir Gambar 3.3 yaitu pada sub-bab Tahap Pengolahan Data diagram alir Gambar 3.4 yaitu pada sub-bab Tahap Pengolahan Data.

3.5.1 Tahap Pelaksanaan Penelitian

Adapun diagram alir dari tahap pelaksanaan dalam penelitian ini dapat dilihat pada gambar 3.2 berikut ini:



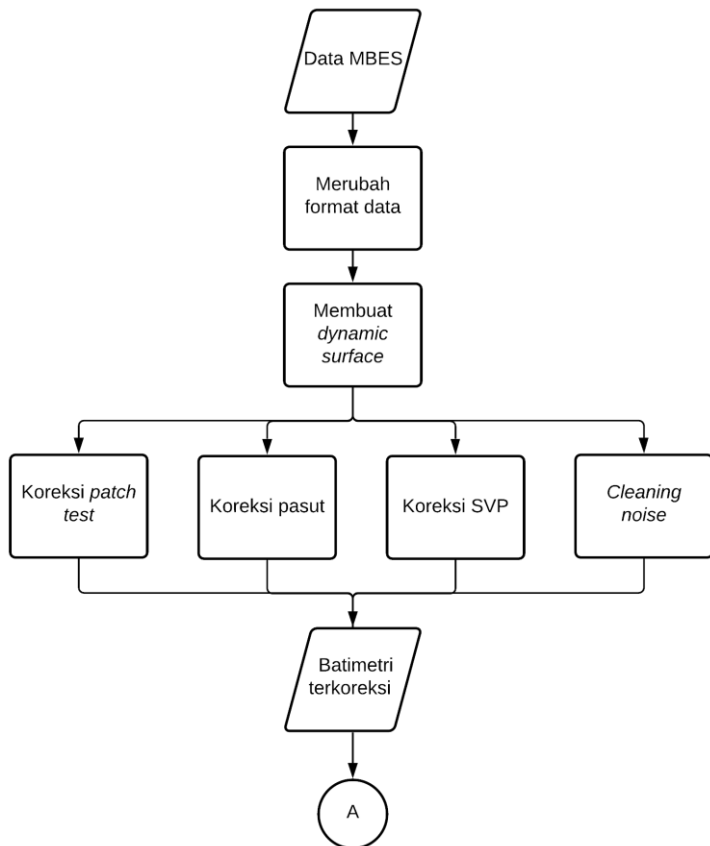
Gambar 3.2 Diagram Alir Tahap Pelaksanaan

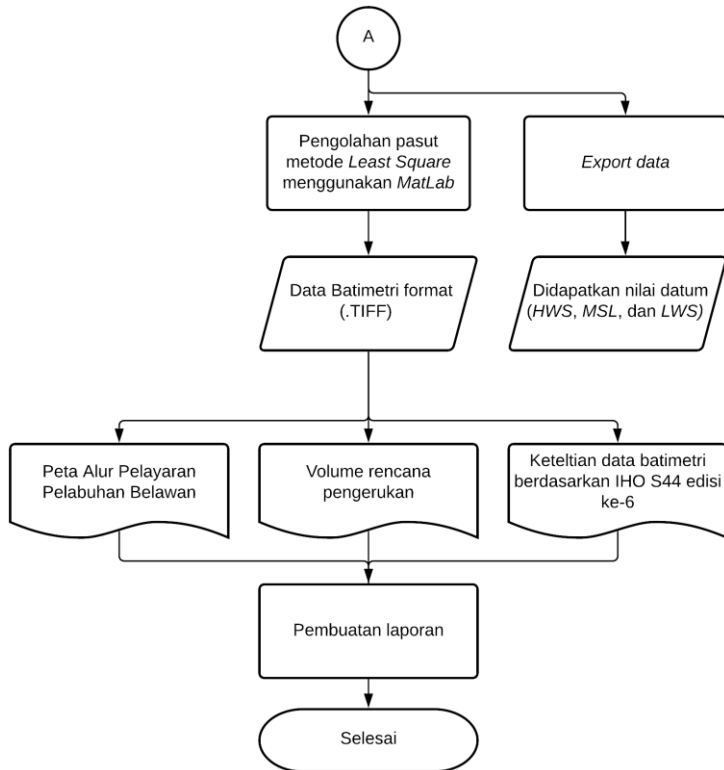
Penjelasan tahapan pelaksanaan adalah sebagai berikut :

- a. Pelaksanaan penelitian ini dimulai dari tahap persiapan. Tahap persiapan meliputi kegiatan perumusan masalah untuk merumuskan tujuan dari penelitian dan ditunjang dengan studi literatur untuk memahami dasar-dasar teori yang terkait dengan penelitian. Kemudian dilakukan pengumpulan data berupa data *Multibeam Echosounder*, data *pengamatan pasang surut*, data *Sound Velocity Profiler* dan data *Patch Test* hasil pengukuran survei batimetri pada tahun 2018 di wilayah Perairan Alur Pelayaran Pelabuhan Belawan. Data tersebut didapatkan dari Badan Informasi Geospasial (BIG)
- b. Tahap kedua yaitu pengolahan data, yang akan dijelaskan secara lebih rinci pada sub-bab 3.3.2.
- c. Pada tahap ketiga dilakukan analisa terhadap kedalaman alur pelayaran terhadap kedalaman yang telah direkomendasikan oleh pihak pengelola pelabuhan, perhitungan volume rencana pengerukan dan uji ketelitian data batimetri berdasarkan IHO S44.
- d. Pada tahap akhir, semua dasar teori, proses hingga hasil akhir penelitian akan ditulis pada laporan tugas yang sistematis, sesuai dengan kaidah penulisan dan dapat dipertanggungjawabkan.

3.5.2 Tahap Pengolahan data

Adapun diagram alir dari tahap pengolahan data dalam penelitian ini dapat dilihat pada gambar 3.3 berikut ini:





Gambar 3.3 Diagram pengolahan data

Penjelasan tahapan pengolahan data adalah sebagai berikut:

a. Merubah format data

Format *raw data* batimetri yang didapatkan dari Badan Informasi Geospasial adalah (.pds). Format tersebut termasuk dalam '*point processed file*' dimana

terdapat keterbatasan ketika melakukan pengolahan. Menggunakan perangkat lunak *Teledyne PDS* untuk merubah format data dari (.pds) menjadi (.s7k). Format (.s7k) termasuk dalam kategori '*raw sonar file*' sehingga ketika melakukan pengelolaan bisa menggunakan semua fitur yang ada di *Qimera*.

- b. Membuat *dynamic surface*
Sebelum data batimetri dapat dilakukan pengolahan di *Qimera*, dibutuhkan pembuatan *dynamic surface* dari data '*raw sonar file*' yang telah dimasukkan sebelumnya. *Dynamic surface* merupakan visualisasi dari data batimetri baik dua dimensi atau tiga dimensi. Pada proses pembuatan *dynamic surface* perangkat lunak akan memberikan saran ukuran piksel atau grid dari visualisasi data yang akan dibuat. Saran tersebut didasarkan dari kualitas *raw data* batimetri yang telah dimasukkan sebelumnya. Pada penelitian ini digunakan ukuran piksel atau grid sebesar 0,25 meter.
- c. Pengolahan data *patch test*
Pengolahan *patch test* pada *Qimera* menggunakan fitur *patch test tool*. Pada fitur tersebut *Qimera* memudahkan pengguna dalam memilih jalur survei kapal. Dilakukan koreksi *roll*, *pitch*, *heading*, dan *time latency*.
- d. Pengolahan data pasang surut
Pada *Qimera* pengelolaan pasut menggunakan *mean sea level* (MSL) sebagai referensi *default* nya. Setelah data pasut tersebut dimasukkan, selanjutnya mengubah *vertical referencing method* menjadi *tide*.

Pada penelitian ini data batimetri menggunakan datum *low water spring* (LWS). Dilakukan pengolahan data pasang surut menggunakan perangkat lunak *MatLab* untuk mengetahui nilai dari *high water spring* (HWS), *mean sea level* (MSL), dan *low water spring* (LWS). Nilai selisih antara MSL dan LWS selanjutnya digunakan untuk mengurangi nilai data batimetri hasil pengolahan. Dihasilkan data batimetri hasil pengolahan *Qimera* akan bereferensi datum LWS.

e. Pengolahan data *sound velocity profiler*

Pada perangkat lunak *Qimera* digunakan fitur *Import ASCII SVP* untuk menerapkan data kecepatan suara pada data hasil *sounding*. Terdapat pilihan sistem koordinat untuk lokasi pengambilan data kecepatan suara. Data kecepatan suara yang telah dimasukkan selanjutnya dilakukan pemrosesan menggunakan fitur *Sound Velocity Strategy*. Selanjutnya pada fitur tersebut dirubah pengaturannya dari “*fixed velocity from surface sensor*” menjadi “*specific sound velocity profiler*” dan memilih data yang telah dimasukkan sebelumnya.

f. Membersihkan data batimetri dari *noise*

Data batimetri yang telah menjadi *dynamic surface* selanjutnya dilakukan pembersihan *noise* menggunakan fitur *Slice Editor* dimana fitur tersebut dapat membersihkan data *sounding* per *swath*. Jika terdapat titik *sounding* yang berupa *noise* atau *outlier* dilakukan *reject selection* agar data tersebut tidak diikutkan dalam pemrosesan. Sehingga data batimetri

yang dihasilkan dapat mempresentasikan kondisi di dasar alur pelayaran dengan baik.

- g. Batimetri terkoreksi
Merupakan data batimetri yang telah dilakukan pengolahan koreksi pasut, koreksi *patch test*, koreksi SVP dan *cleaning noise*. Format data dari *merged data* adalah (.qpd) atau berbentuk *dynamic surface*. Semua perubahan akibat pengolahan seperti merubah koreksi nilai *patch test* dll. akan otomatis merubah nilai dari *dynamic surface*.
- h. *Export data*
Data batimetri yang telah telah dilakukan koreksi pasut, koreksi SVP, koreksi *patch test* dan pembersihan *noise* selanjutnya akan di *export* dalam dua format yaitu (.TIFF). Data tersebut digunakan untuk pembuatan peta alur pelayaran, perhitungan volume pengerukan alur pelayaran, dan uji ketelitian data batimetri. Format tersebut dipilih karena ukuran data yang relatif kecil dan memudahkan dalam proses pengolahan. Dalam perangkat lunak *Qimera* fitur untuk *export data* adalah '*export data*' kemudian memilih data *dynamic surface* untuk data yang akan di *export*.
- i. Pembuatan laporan
Semua kegiatan terkait penelitian tugas akhir seperti latar belakang penelitian, rumusan masalah, tujuan penelitian, dasar teori hingga kesimpulan akan dituliskan dalam bentuk laporan yang sesuai dengan Ejaan Bahasa Indonesia (EBI).

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Kedalaman alur pelayaran



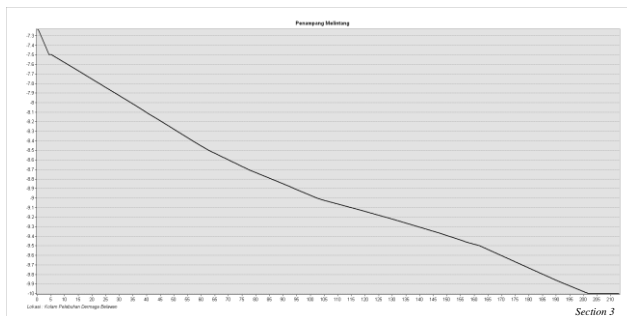
Gambar 4.1 Peta Alur Keselamatan Pelabuhan Belawan

Berdasarkan gambar 4.1 Alur Pelayaran Pelabuhan Belawan memiliki kedalaman -5 m LWS hingga -10,8 m LWS. Alur pelayaran tersebut terbagi menjadi dua bagian yaitu kolam pelabuhan dan alur pelayaran. Secara umum

kedalaman alur pelayarannya adalah -6 m LWS hingga -7 m LWS dan pada bagian kolam pelabuhan memiliki kedalaman -7 m LWS hingga -9 m LWS. Peta Alur Pelayaran Pelabuhan Belawan menggunakan datum vertikal *low water spring* (LWS) dengan nilai datumnya sebesar 0,84 meter. Elevasi pasang surut dihitung berdasarkan pengamatan pasang surut pada Stasiun Pasut Belawan selama 29 piantan. Didapatkan juga datum vertikal yang lain yaitu *mean sea level* (MSL) sebesar 1,86 meter, dan *high water spring* (HWS) sebesar 2,87 meter. Pengolahan pasang surut menggunakan metode *least square* dan diolah menggunakan perangkat lunak *MatLab*.

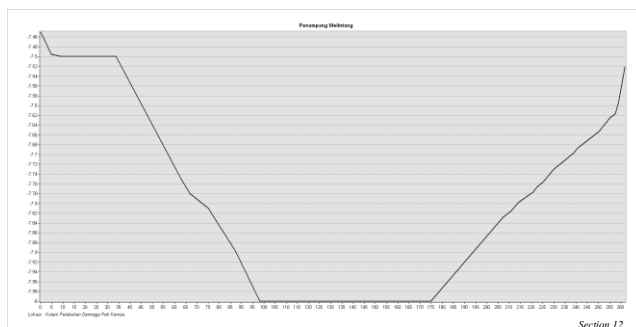
Kedalaman yang direncanakan oleh pihak instansi pengelola Pelabuhan Belawan yaitu PT. Pelindo 1 dalam pemeliharaan alur pelayaran adalah -9 m LWS. Berdasarkan hasil pengolahan penampang melintang (*cross section*) kedalaman alur pelayaran pelabuhan belawan perlu dilakukan pengerukan. Penampang melintang tersebut diolah dengan jarak 250 meter antar penampangnya dan dihasilkan 32 *section*.

4.3.1 Penampang melintang



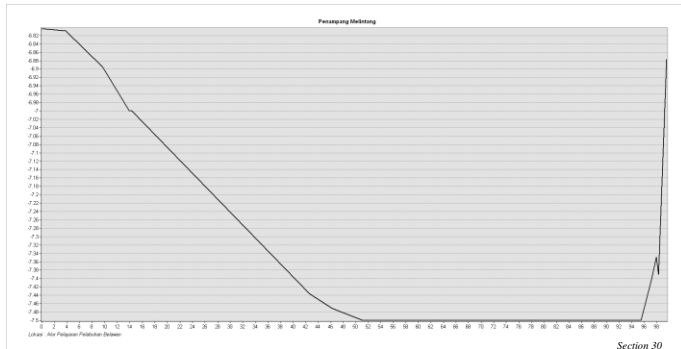
Gambar 4.2 Penampang melintang *section 3*

Gambar 4.2 merupakan penampang melintang *section 3* yang berada pada area Kolam Pelabuhan Dermaga Belawan. Pada kolam pelabuhan dermaga belawan sebagian area memiliki kedalaman lebih dari -9 m LWS dan sebagian area memiliki kedalaman kurang dari -9 m LWS. Kedalaman pada kolam tersebut antara -7 m LWS hingga -10 m LWS. Berdasarkan kedalaman yang direkomendasikan oleh pihak pengelola pelabuhan (PT. Pelindo I) yaitu -9 m LWS, kedalaman kolam pelabuhan dermaga belawan perlu dilakukan pengerukan.



Gambar 4.3 Penampang melintang *section 12*

Sedangkan pada dermaga peti kemas kedalamannya antara -6 m LWS hingga -8 m LWS. Kedalaman tersebut perlu dilakukan pengerukan karena kedalaman yang direncanakan oleh pihak pengelola pelabuhan (PT Pelindo I) yaitu -9 m LWS. Berdasarkan gambar 4.3 Titik terdalam pada penampang melintang tersebut adalah -8 m LWS dan terdangkal adalah -7,4 m LWS.



Gambar 4.4 Penampang melintang *section 30*

Pada bagian alur pelayaran menuju kolam pelabuhan juga menunjukkan bahwa kedalaman alur tersebut perlu dilakukan pengerukan. Gambar 4.4 merupakan penampang melintang yang berlokasi di alur pelayaran menuju kolam kolam pelabuhan. Titik terdalam pada penampang melintang tersebut adalah $-7,5$ m LWS dan terdangkal adalah $-6,8$ m LWS. Berdasarkan kedalaman yang direkomendasikan oleh pihak pengelola pelabuhan (PT. Pelindo I) yaitu -9 m LWS, kedalaman pada alur pelayaran perlu dilakukan pengerukan.

4.3.2 Kedalaman terhadap draft kapal

Berdasarkan data draft kapal yang didapatkan dari survei lapangan di Pelabuhan Belawan oleh (Ayu dkk. 2020) pada Tahun 2020 didapatkan 10 data kapal yang memasuki Pelabuhan Belawan. Tabel 4.1 merupakan data draft kapal yang memasuki Pelabuhan Belawan dan data tersebut didapatkan dari survei di lapangan oleh (Ayu dkk. 2020)

Tabel 4.1 Daftar draft kapal (Ayu dkk. 2020)

No	Nama Kapal	Draft (m)
1	Morotai	-9,8
2	Wan Hai	-9,6
3	Horai Bridge	-9,3
4	Kota Hadiah	-9,1
5	Kestrel	-8,4
6	Sinar Bintang	-8,2
7	Sunshine Bandama	-8
8	Ctp Fortune	-8
9	Msc Maria Pia	-7,8
10	Cape Franklin	-6,9

Mengacu pada rumus 2.11 Alur Pelayaran Pelabuhan Belawan hanya dapat dilewati oleh Kapal Cape Franklin pada keadaan pasang tertinggi atau *high water spring* (HWS). Dan waktu melintasnya adalah pukul 22.00 – 02.00 WIT. Dapat dilihat pada tabel 4.2 merupakan tabel perhitungan kedalaman alur yang aman untuk dilalui terhadap draft kapal kapal yang melintas :

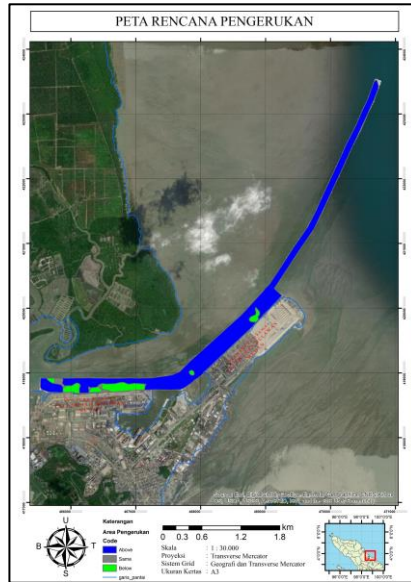
Tabel 4.2 Perhitungan kedalaman alur terhadap draft kapal

Keadaan pasut	Kedalaman minimal alur (meter)	Draft maksimal kapal (meter) $d \geq 1,1D$	Nama Kapal yang dapat melintas	Waktu melintas
<i>High Water Spring</i> (HWS)	-8,2	-7,5	Cape franklin	22.00 – 02.00 WIT

Keadaan pasut	Kedalaman minimal alur (meter)	Draft maksimal kapal (meter) $d \geq 1,1D$	Nama Kapal yang dapat melintas	Waktu melintas
<i>Mean Sea Level (MSL)</i>	-6,9	-6,3	-	20.00-22.00 WIT dan 02.00-04.00 WIT
<i>Low Water Spring (LWS)</i>	-5,6	-5,1	-	18.00 – 20.00 WIT dan 04.00 – 06.00 WIT

Berdasarkan Tabel 4.2 dapat diketahui kapal yang dapat melintas dengan aman di Alur Pelayaran Pelabuhan Belawan adalah Kapal *Cape Franklin*. Kapal tersebut dapat melintas ketika pasut sedang berada pada *high water spring (HWS)*. Akan tetapi kapal dengan draft yang lebih besar daripada Kapal *Cape Franklin* tetap dapat melintas dengan muatan hanya 50 % dari daya angkutnya. Menurut (Pelindo I 2020) kapal dengan draft besar yang memasuki Pelabuhan Belawan hanya membawa muatan sebanyak 50 % saja dikarenakan keterbatasan kedalaman alur pelayaran.

4.2 Volume pengerukan



Gambar 4.5 Peta Rencana Pengerukan

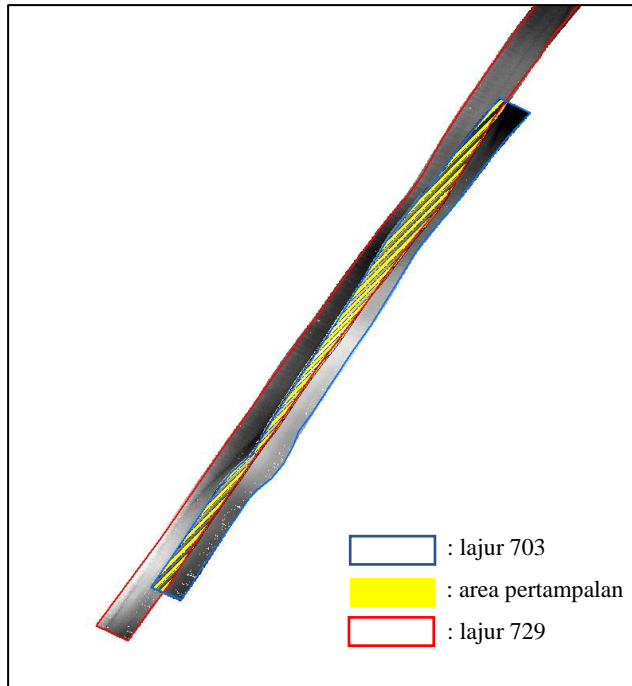
Berdasarkan gambar 4.5 area kolam pelabuhan dermaga belawan, kolam pelabuhan petikemas dan alur pelayaran menuju kolam pelabuhan perlu dilakukan pengerukan. Pada peta tersebut perhitungan dasar rencana pengerukan mengacu pada kedalaman yang direkomendasikan oleh pihak pengelola pelabuhan (PT. Pelindo 1) yaitu -9 m LWS. Daerah yang berwarna biru dan pada legenda peta disebutkan dengan kata *Above* merupakan area yang memiliki kedalaman lebih dangkal dari -9 m LWS. Untuk daerah berwarna hijau dan pada legenda peta disebutkan dengan kata *Below* merupakan daerah yang memiliki kedalaman lebih dalam dari -9 m LWS. Sedangkan untuk daerah dengan

warna abu-abu dan pada legenda peta disebutkan dengan kata *Same* merupakan area dengan kedalaman sama dengan -9 m LWS. Fokus area dalam pengerukan sedimen alur pelayaran adalah area dengan kedalaman yang lebih dangkal dari pada -9 m LWS yang mana pada peta disimbolkan dengan area warna biru. Luas area yang bewarna biru adalah $1.330.719 \text{ m}^2$

Perhitungan volume pengerukan pada penelitian ini menggunakan perangkat lunak *Arc GIS 10.5* dengan metode *difference surface*. Metode tersebut menghitung selisih dua permukaan *triangulated irregular network* (TIN) dari ‘*surface* kedalaman yang direncanakan’ dan ‘*surface* kedalaman hasil survei’. Dari metode tersebut didapatkan hasil area yang berada di atas, di bawah dan setara dengan ‘*surface* kedalaman yang direncanakan’. Sehingga dapat diketahui jumlah meter kubik sedimen yang harus dikeruk. Berdasarkan hasil pengolahan perhitungan volume rencana pengerukan didapatkan hasil sebesar $2.309.145 \text{ m}^3$.

4.3 Uji ketelitian data batimetri

Uji ketelitian data batimetri berfungsi untuk mengetahui kualitas dari data pengukuran kedalaman di laut. Acuan yang digunakan untuk uji ketelitian data batimetri adalah IHO S44 edisi ke 6. Dapat dilihat pada persamaan 2.3 merupakan rumus uji ketelitian menurut IHO S44 edisi ke-6. Rumus tersebut menggunakan level kepercayaan 95 %. Cara untuk menguji ketelitian data batimetri *multibeam echosounder* yaitu dengan mendapatkan nilai kedalaman suatu titik dari dua lajur pemeruman yang berbeda. Daerah tersebut merupakan daerah pertampalan. Dapat dilihat pada gambar 4.6 merupakan area pertampalan hasil pemeruman lajur 703 dan lajur 729.



Gambar 4.6 Area pertampalan

Pada gambar 4.6 menunjukkan uji ketelitian datanya menggunakan titik uji sebanyak 122. Pengolahan data uji ketelitiannya menggunakan perangkat lunak *Qimera* untuk mencari daerah yang bertampalan. Sedangkan perangkat lunak *Arc GIS* digunakan untuk menentukan titik dengan lokasi yang sama, tetapi dengan nilai kedalaman yang bergantung pada lajur masing-masing. Selanjutnya nilai kedalaman tersebut dihitung menggunakan perangkat lunak *Microsoft Excel* untuk menghitung ketelitiannya. Dapat dilihat pada tabel 4.3 merupakan hasil perhitungan uji ketelitian data batimetri terhadap IHO S44 edisi ke-6.

Tabel 4.3 Perhitungan uji ketelitian

Easting (m)	Northing (m)	Kedalaman lajur 703 (m)	Kedalaman lajur 729 (m)	Rata-rata kedalaman (m)	Selisih kedalaman lajur 703 dan lajur 729 (m)	Toleransi (m)
471590,4	428241,5	-7,868	-8,245	-8,056	0,377	1,017024
471594,4	428241,5	-7,805	-8,246	-8,025	0,441	1,016894
471598,4	428241,5	-7,836	-8,282	-8,059	0,446	1,017035
471602,4	428241,5	-7,794	-8,234	-8,014	0,440	1,016845
471586,4	428231,5	-7,950	-8,220	-8,085	0,270	1,017145
471590,4	428231,5	-7,900	-8,170	-8,035	0,270	1,016935
471594,4	428231,5	-7,825	-8,126	-7,975	0,300	1,016686
471598,4	428231,5	-7,821	-8,163	-7,992	0,341	1,016755
471602,4	428231,5	-7,845	-8,165	-8,005	0,320	1,01681
471586,4	428221,5	-8,104	-8,213	-8,158	0,109	1,017455
471590,4	428221,5	-8,109	-8,085	-8,097	0,023	1,017193
471594,4	428221,5	-8,076	-8,122	-8,099	0,047	1,017202
471598,4	428221,5	-8,093	-8,090	-8,091	0,001	1,017172
471586,4	428211,5	-8,313	-8,134	-8,223	0,178	1,017732
471590,4	428211,5	-8,274	-8,075	-8,174	0,199	1,017522

Berdasarkan tabel 4.3 didapatkan hasil bahwa data batimetri *multibeam echosounder* pada Alur Pelayaran Pelabuhan Belawan masuk ketelitian IHO S44 edisi ke-6 orde 2. Dengan nilai faktor kesalahan yang bergantung pada kedalaman (a) sebesar 1 meter dan nilai faktor kesalahan yang tidak bergantung pada kedalaman (b) sebesar 0,023 meter. Dari hasil tersebut juga dapat diambil kesimpulan bahwa pengukuran suatu kedalaman perairan menggunakan *multibeam echosounder* belum tentu menghasilkan data yang memiliki ketelitian orde spesial atau orde 1.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Pada penelitian pengolahan data batimetri *multibeam echosounder* untuk keselamatan Alur Pelayaran Pelabuhan Belawan didapatkan beberapa kesimpulan yaitu:

1. Kedalaman Alur Pelayaran Pelabuhan Belawan memiliki kedalaman -5 m LWS hingga -10,8 m LWS. Alur pelayaran tersebut terbagi menjadi dua bagian yaitu kolam pelabuhan dan alur pelayaran. Secara umum kedalaman alur pelayarannya adalah -6 m LWS hingga -7 m LWS dan pada bagian kolam pelabuhan memiliki kedalaman -7 m LWS hingga -9 m LWS. Berdasarkan data draft kapal oleh (Ayu dkk 2020) dan aturan kedalaman alur pelayaran oleh (Direktorat Jenderal Perhubungan Laut 2006) hanya Kapal Cape Franklin yang dapat melintasi alur tersebut. Waktu melintas dari kapal tersebut ketika *high water spring* (HWS) atau pasang tertinggi yang terjadi pada pukul 22.00 – 02.00 WIT.
2. Perhitungan volume rencana pengerukan alur pelayaran terhadap kedalaman yang direncanakan oleh pihak pengelola pelabuhan (PT Pelindo I) yaitu -9 m LWS didapatkan volume sebesar 2.309.145 m^3 . Volume tersebut dihitung berdasarkan luasan area sebesar 1.330.719 m^2
3. Uji ketelitian data batimetri hasil survei berdasarkan IHO S44 edisi ke 6 menunjukkan sesuai dengan ketelitian orde dua. Dari hasil tersebut menunjukkan bahwa pengukuran suatu kedalaman perairan menggunakan *multibeam echosounder* belum tentu menghasilkan data yang memiliki ketelitian orde spesial atau orde 1.

5.2 Saran

Adapaun saran dari penelitian ini antara lain:

1. Menggunakan komputer dengan spesifikasi yang tinggi. dikarenakan data yang diolah pada penelitian ini termasuk data yang cukup besar.
2. Mengolah data batimetri alur dan data draft kapal yang disurvei pada tahun yang sama. Agar dihasilkan analisa yang dapat mewakilkan keadaan yang ada di lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, Z. (2005). Penentuan Posisi Dengan *Receiver GPS* Satu Frekuensi, Status dan Permasalahannya. Bandung: ITB.
- Alfian, P.S., Sasmito, B., dan Fauzi, J.A. (2019). Analisis Pengaruh Data SVP (*Sound Velocity Profiler*) Pada Hasil Pengolahan Data *Multibeam Echosounder* Menggunakan Perangkat Lunak *Eiva* (Studi Kasus : Marine Station Teluk Awur, Jepara). Semarang: Universitas Diponegoro.
- Al-Azhar, M.I.F., Pratomo, D.G., dan Yuwono. (2018). Analisis Posisi Kerangka Kapal Terhadap Keselamatan Alur Pelayaran Menggunakan Data *Multibeam Echosounder* (Studi Kasus: Alur Pelayaran Barat Surabaya). Jurnal GEOID ITS.
- Atunggal, D. (2010). Pembuatan Sistem Pemantauan Pergerakan Titik Hasil Penentuan Posisi Metode *NTRIP RTK* Menggunakan Komunikasi Data Berbasis *TCP-IP*. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.
- Brammadi, S.N. (2017). Analisis Pengolahan Data *Multibeam Echosounder* Menggunakan Perangkat Lunak *Mb-System Dan Caris Hips And Sips* Berdasarkan Standar S-44 IHO 2008. Jurnal Geodesi UNDIP.
- Brennan, C.W. (2009). *Multibeam Calibration: The Patch test*. R2Sonic LLC. USA
- Cahyaputra, J. (2013). Pemetaan Bathymetri Di Area Perairan Sangkuriang, Kalimantan Timur. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.
- Capena, G., Bergem, O. dan Pace, N.G. (1999). *Trismap: A Fast way to Deal With New Multibeam Sonar Data*. *Sea Technology*, Vol. 40, No. 10, October 1999, pp. 49-52.

- Caris, T. (2020). *Reference-Surface Sound Speed*. <http://www.teledynecaris.com/docs/4.4.11/hips%20and%20sips/index.html#page/CARIS%20HIPS%20and%20SIPS%20Help/COMMANDS_HIPS-LtoZ.15.091.html>. Dikunjungi pada 16 Juli 2021, pukul 14.00.
- Fahrulian. (2012). Deteksi Keberadaan Gunung Bawah Laut (Seamount) Dan Dimensinya *Menggunakan Echosounder* di Perairan Bengkulu. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Harmoko, K. (2003). Penggunaan *Geotrack* untuk Pemantauan Lajur Pemeruman. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.
- Hayes, H.C. (1924). *Measuring Ocean Depths By Acoustical Methods. The Journal of The Franklin Institute*. Vol. 197, No. 3, pp. 323-354.
- IHO. (2020). *International Hydrographic Organization Special Publication-44 Standards For Hydrographic Surveys*. Monaco: International Hydrographic Bureau.
- Kinsler, L.E., Frey, A.R., Coppens, A.B., dan Sanders, J.V. (2000). *Fundamentals of acoustics* (4th ed.). 978-0-471-84789-2. Wiley.
- Komunitas Surveyour Kelautan Universitas Diponegoro. (2014). *SonarShare*. Semarang: Universitas Diponegoro.
- Lekkerkerk, H. dan Velden R.V.D. (2006). *Handbook of Offshore Surveying: Acquisition and Processing*. Fugro. Netherlands.
- Mahmud, M.R. dan Yusof, O.M. (2005). *Automatic Filtering Of Far Outliers In Multibeam Echo Sounding Dataset Using Robust Detection Algorithms*. International Symposium & Exhibition on Geoinformation 2005, 1D1-1D8.
- Mann, R. (1998). *Field Calibration Procedures for Multibeam Sonar Systems, U.S. Army Corps of Engineers Topographic Engineering Center, Virginia, USA*.

- Mann, R. dan Godin, A. (1996). *Field Procedures for the Calibration of Shallow Water Multibeam Echo-Sounding Systems*. Canadian Hydrographic Conference. Canada.
- Marom, M. C., Widada, S., dan Ismanto, A. (2015). Studi Batimetri Dan Sedimen Dasar Laut Untuk Alur Pelayaran Pelabuhan Tanjung Bonang Rembang. *Journal of Oceanography*, 4(1), 18 - 27. Retrieved from <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/joce/article/view/7651>
- Mike K. (2008). *Estimation of the ocean sound velocity profile*. <http://www.hypack.com/new/portals/1/pdf/sb/06_08/Estimation%20of%20the%20Ocean%20Sound%20Velocity%20Profile.pdf>. Dikunjungi pada tanggal 15 Juni 2021, pukul 19.00.
- Moustier, D. (2005). *Course Multibeam Sonar Method. Publication Data*. Publication Data, Inggris.
- Muljawan, D., Haryanto, D., dan Ilyas, M. (2017). Kalibrasi *Patch Test* Untuk *Multibeam Echo Sounder* Laut Dalam Di KR baruna Jaya-1. Jakarta: Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT).
- Muslim. (2017). Pemetaan Batimetri Untuk Perencanaan Pengerukan Kolam Pelabuhan Benoa, Bali. Semarang: Universitas Diponegoro.
- Nugraha, S. (2008). Survey Hidrografi dan Pelaksanaan Pengerukan Alur Pelayaran Pelabuhan (Studi Kasus: Pelabuhan Tanjung Priok). Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Nugroho, T.H. dan Khomsin. (2015). Analisa Karakteristik Pasang Surut Alur Pelayaran Sungai Musi Menggunakan Metode *Least Square*. Surabaya: ITS.

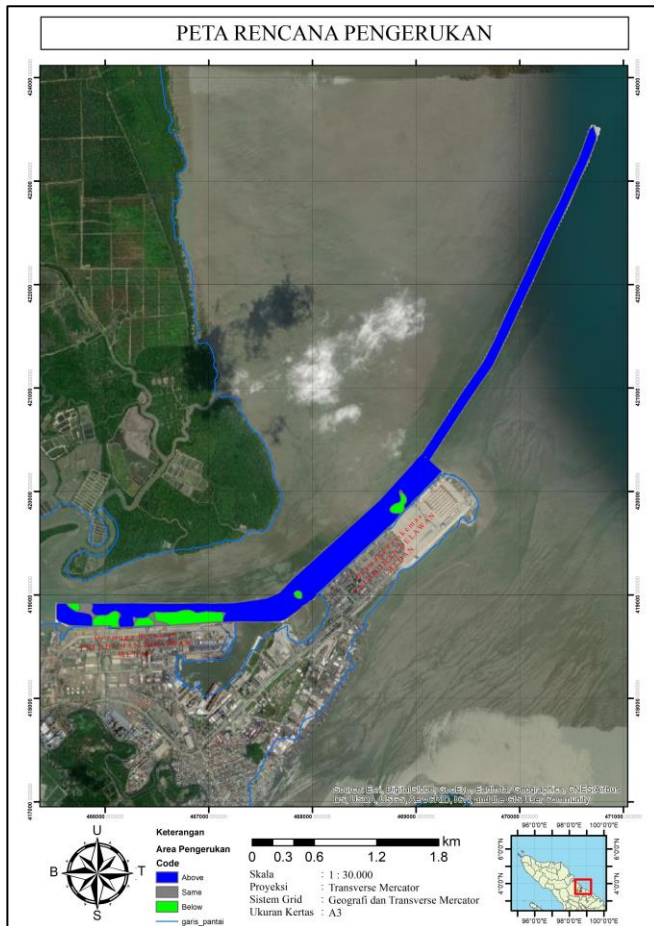
- Ongkosongo, O. (1989). Pasang Surut. Jakarta: Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia.
- Pelindo1 (2020). Pelabuhan Belawan Dikeruk -9 m Rp 120 Miliar. <<https://www.pelindo1.co.id/cabang/BLW/id/berita/Pages/10.31.Pelabuhan-Belawan-Dikeruk--9-M-Rp-120-Miliar.aspx>>. Dikases pada 22 Juli 2021, puku 16.00.
- Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Nomor PM 125 Tahun 2018 Tentang Pengerukan Dan Reklamasi
- Poerbandono dan Djunarsjah, E. (2005). Survei Hidrografi. Bandung: Refika Aditama.
- Prakoso, A. (2015). Analisa Laju Sedimentasi Pada Alur Pelayaran Timur Pelabuhan Tanjung Priok. *Undergraduate thesis*, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Rassaeandi, F.D., Chayari, S.N., Sari, L.R., Lubis, M.Z., Gustin, O., Ditya, D.N., Aprilianda, A., dan Wardani, A.E. (2020). Pemetaan Batimetri untuk Pertimbangan Alur Pelayaran Kapal Nelayan di Pantai Sembulang, Kecamatan Galang. Batam: Politeknik Negeri Batam.
- Siswoyo, B. (2015) Evaluasi Pemanfaatan *Vessel Traffic Service* (VTS) Di Pelabuhan Utama Belawan. *J.Pen.Transla Vol.17 No.4 Desember 2015 : 143-154*
- Yusuf, I.M., Khomsin, dan Handoko, E.Y. (2019). Analisis Volume Pengerukan Alur Pelayaran Barat Surabaya Dengan Data *Multibeam Echosounder* Menggunakan Perangkat Lunak Hypack Dan *Autocad Civil 3D*. *Jurnal GEOID ITS*.
- Zwolak, K. (2015). *Underwater Objects Detection System Choice For Harbor Surveillance Purposes. Scientific Journal Of Polish Naval Academy*, 47-57.

LAMPIRAN

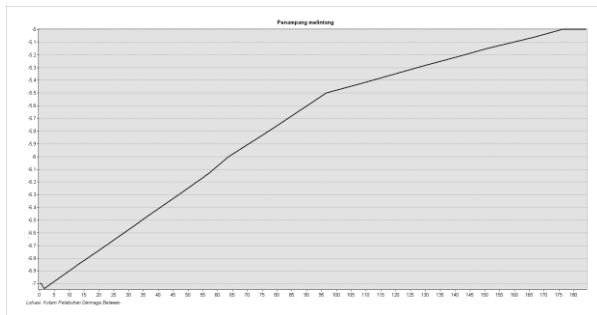
Lampiran 1. Peta Alur Pelayaran Pelabuhan Belawan



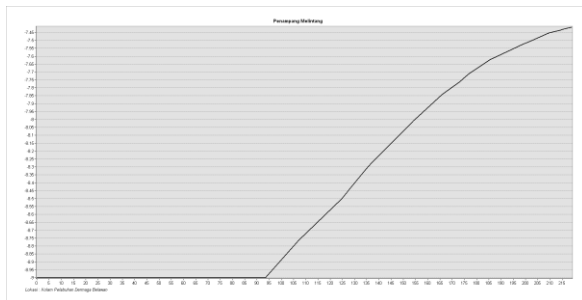
Lampiran 2. Peta Rencana Pengerukan.



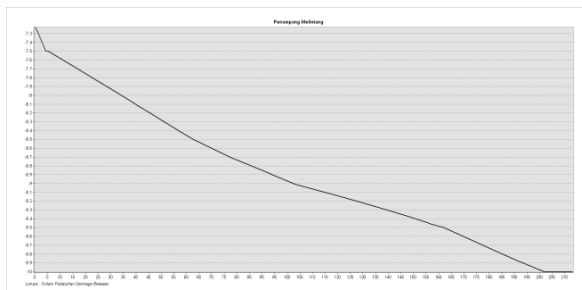
Lampiran 3. Penampang melintang *section 1*



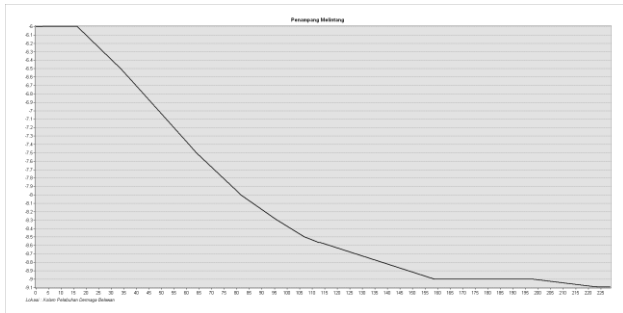
Lampiran 4. Penampang melintang *section 2*



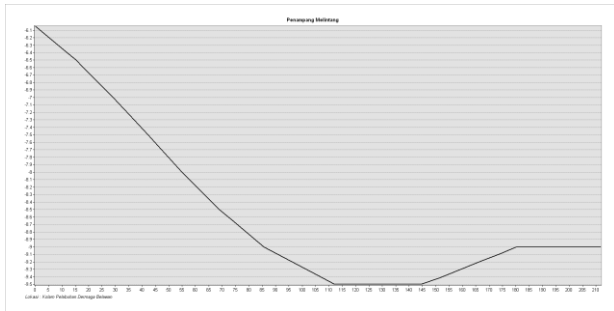
Lampiran 5. Penampang melintang *section 3*



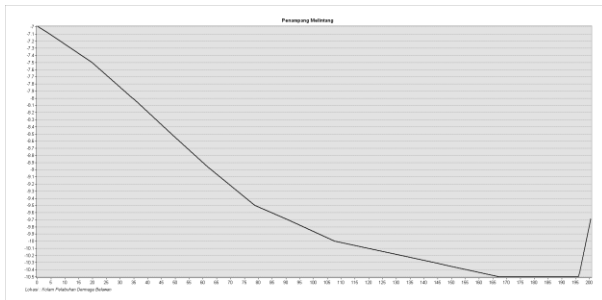
Lampiran 6. Penampang melintang *section 4*



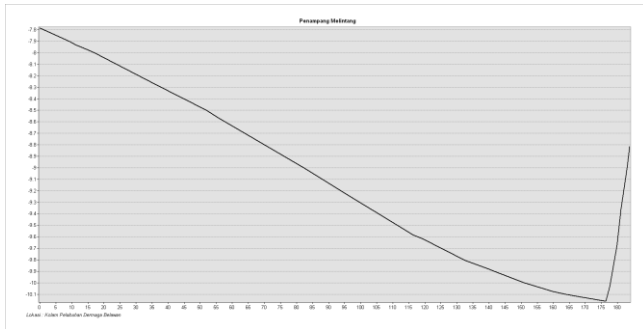
Lampiran 7. Penampang melintang *section 5*



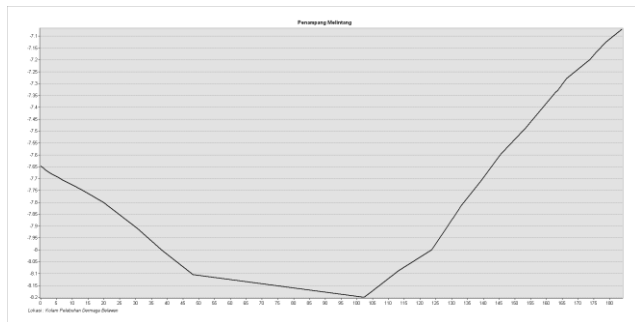
Lampiran 8. Penampang melintang *section 6*



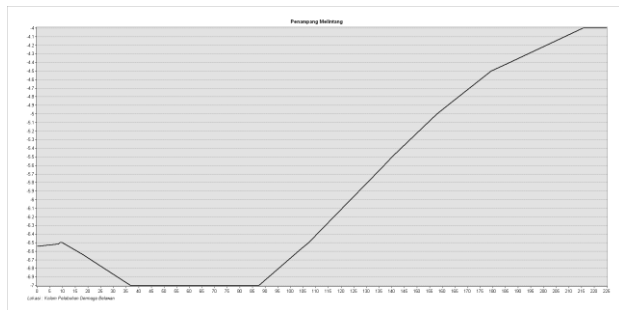
Lampiran 9. Penampang melintang *section 7*



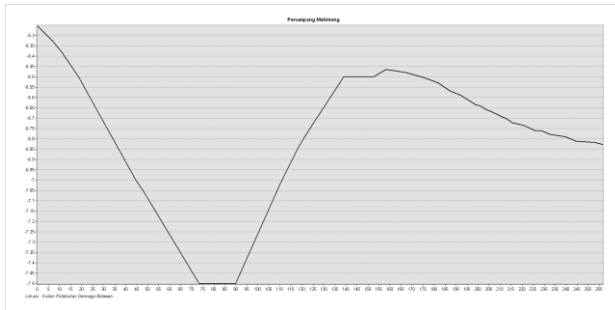
Lampiran 10. Penampang melintang *section 8*



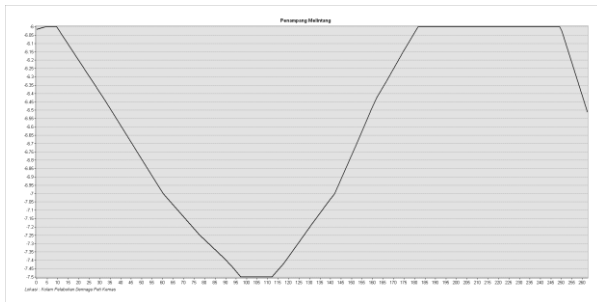
Lampiran 11. Penampang melintang *section 9*



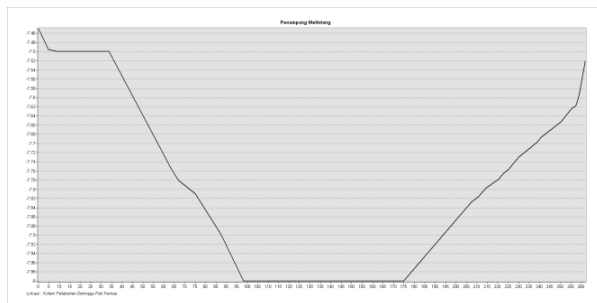
Lampiran 12. Penampang melintang section 10



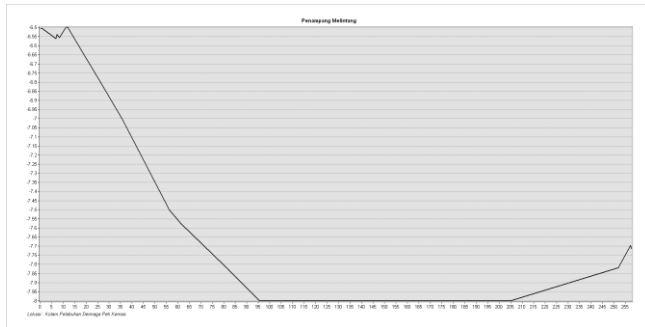
Lampiran 13. Penampang melintang section 11



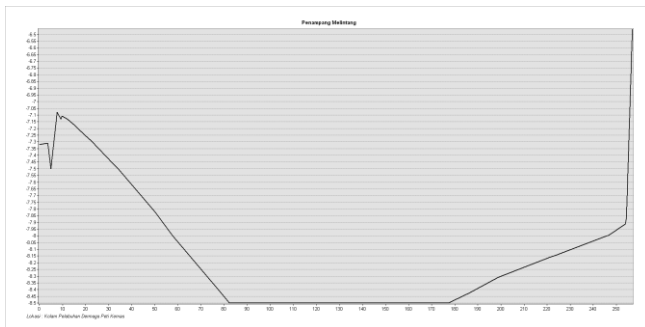
Lampiran 14. Penampang melintang section 12



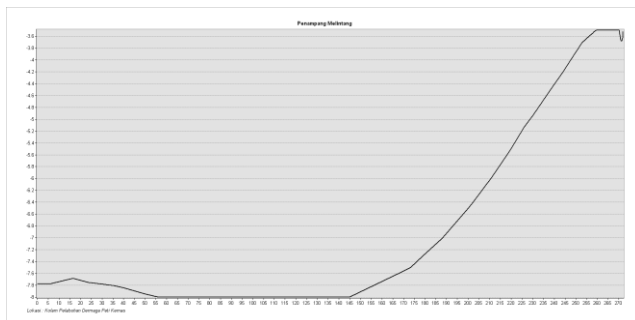
Lampiran 15. Penampang melintang *section 13*



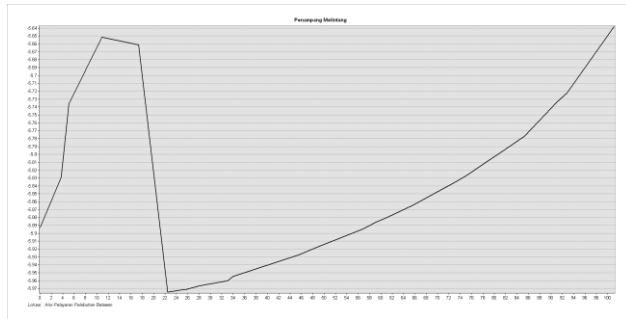
Lampiran 16. Penampang melintang *section 14*



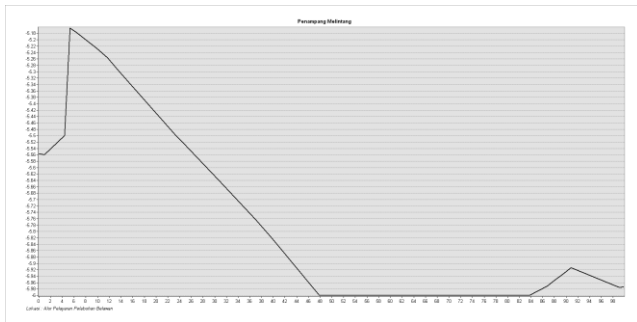
Lampiran 17. Penampang melintang *section 15*



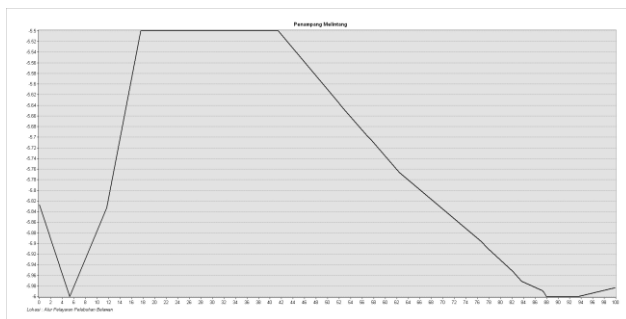
Lampiran 21. Penampang melintang *section 19*



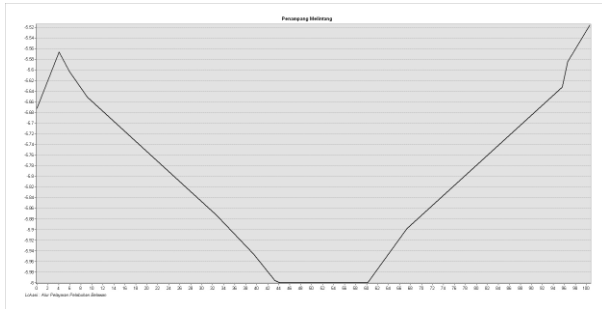
Lampiran 22. Penampang melintang *section 20*



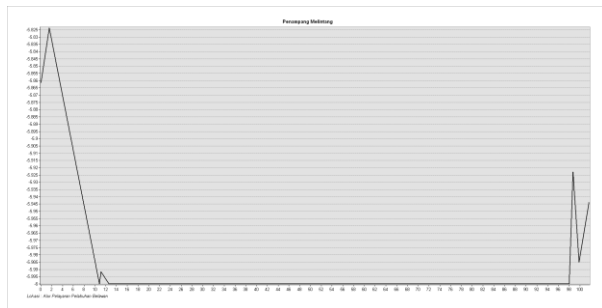
Lampiran 23. Penampang melintang *section 21*



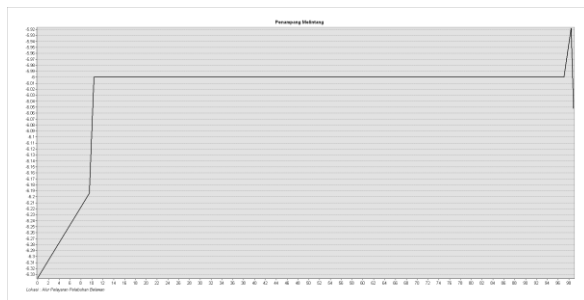
Lampiran 24. Penampang melintang *section 22*



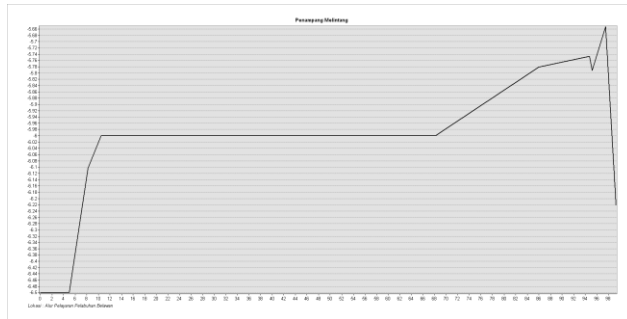
Lampiran 25. Penampang melintang *section 23*



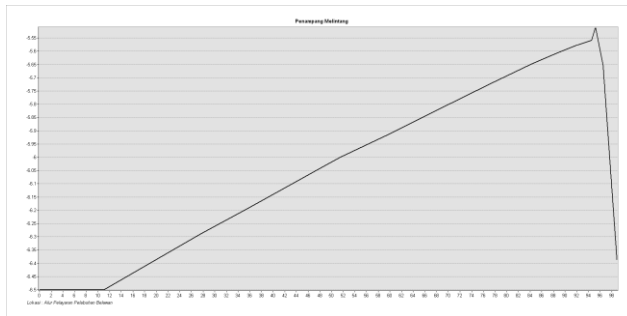
Lampiran 26. Penampang melintang *section 24*



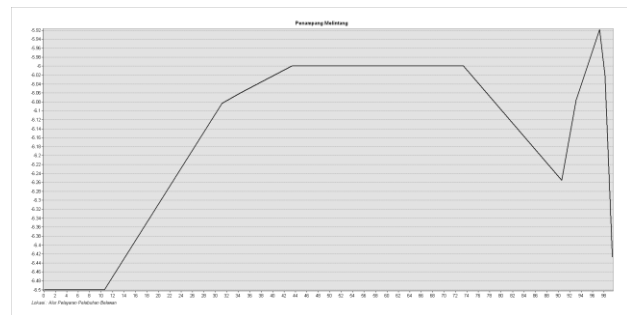
Lampiran 27. Penampang melintang *section 25*



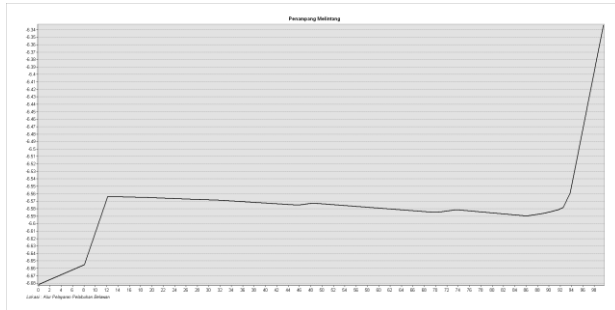
Lampiran 28. Penampang melintang *section 26*



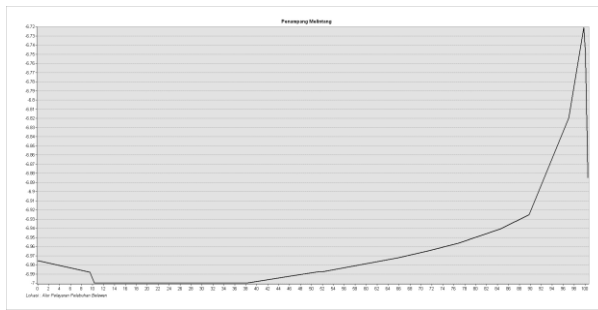
Lampiran 29. Penampang melintang *section 27*



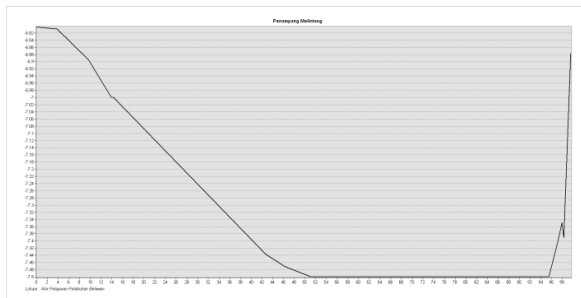
Lampiran 30. Penampang melintang *section 28*



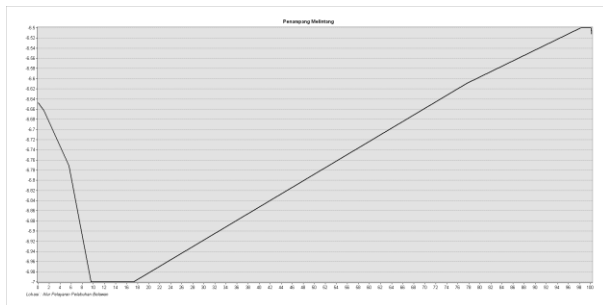
Lampiran 31. Penampang melintang *section 29*



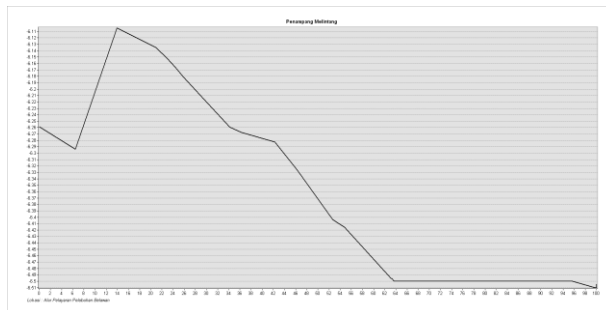
Lampiran 32. Penampang melintang *section 30*



Lampiran 33. Penampang melintang section 31



Lampiran 34. Penampang melintang section 32



Lampiran 35. Tabel perhitungan uji ketelitian

No	Easting (m)	Northing (m)	Kedalaman lajur 703 (m)	Kedalaman lajur 729 (m)	Rata-rata kedalaman (m)	Selisih kedalaman lajur 703 dan lajur 729 (m)	Toleransi (m)
1	471590,4	428241,5	-7,868	-8,24564	-8,05664	0,377	1,017024
2	471594,4	428241,5	-7,805	-8,24645	-8,02555	0,441	1,016894
3	471598,4	428241,5	-7,836	-8,28265	-8,05928	0,446	1,017035
4	471602,4	428241,5	-7,794	-8,23424	-8,01401	0,440	1,016845
5	471586,4	428231,5	-7,950	-8,22056	-8,08543	0,270	1,017145
6	471590,4	428231,5	-7,900	-8,17075	-8,03547	0,270	1,016935
7	471594,4	428231,5	-7,825	-8,12603	-7,97562	0,300	1,016686
8	471598,4	428231,5	-7,821	-8,16316	-7,99218	0,341	1,016755
9	471602,4	428231,5	-7,845	-8,16587	-8,00547	0,320	1,01681
10	471586,4	428221,5	-8,104	-8,21363	-8,15896	0,109	1,017455
11	471590,4	428221,5	-8,109	-8,08547	-8,09701	0,023	1,017193
12	471594,4	428221,5	-8,076	-8,12274	-8,09913	0,047	1,017202
13	471598,4	428221,5	-8,093	-8,09089	-8,09189	0,001	1,017172
14	471586,4	428211,5	-8,313	-8,13468	-8,22399	0,178	1,017732
15	471590,4	428211,5	-8,274	-8,07523	-8,17473	0,199	1,017522
16	471594,4	428211,5	-8,237	-8,05943	-8,14822	0,178	1,01741
17	471598,4	428211,5	-8,251	-8,00704	-8,12896	0,244	1,017328
18	471586,4	428201,5	-8,500	-8,16989	-8,3351	0,330	1,01821
19	471590,4	428201,5	-8,405	-8,04695	-8,22612	0,358	1,017741
20	471594,4	428201,5	-8,365	-8,06334	-8,21432	0,302	1,017691
21	471598,4	428201,5	-8,380	-8,00415	-8,19223	0,376	1,017596
22	471586,4	428191,5	-8,615	-8,06566	-8,34054	0,550	1,018234
23	471590,4	428191,5	-8,534	-8,03641	-8,2852	0,498	1,017995
24	471594,4	428191,5	-8,524	-8,04523	-8,28459	0,479	1,017992
25	471586,4	428181,5	-8,592	-8,03497	-8,31373	0,558	1,018118
26	471590,4	428181,5	-8,458	-7,96419	-8,21101	0,494	1,017677
27	471594,4	428181,5	-8,437	-7,96929	-8,20339	0,468	1,017644
28	471586,4	428171,5	-8,490	-7,98037	-8,23526	0,510	1,01778
29	471590,4	428171,5	-8,415	-7,92744	-8,17145	0,488	1,017508
30	471594,4	428171,5	-8,437	-7,91270	-8,17501	0,525	1,017523
31	471582,4	428161,5	-8,493	-8,04874	-8,27095	0,444	1,017933
32	471586,4	428161,5	-8,474	-7,96585	-8,21984	0,508	1,017714
33	471590,4	428161,5	-8,441	-7,95415	-8,19777	0,487	1,01762
34	471594,4	428161,5	-8,485	-7,91946	-8,20238	0,566	1,01764
35	471578,4	428151,5	-8,612	-8,01912	-8,3155	0,593	1,018125

No	Easting (m)	Northing (m)	Kedalaman lajur 703 (m)	Kedalaman lajur 729 (m)	Rata-rata kedalaman (m)	Selisih kedalaman lajur 703 dan lajur 729 (m)	Toleransi (m)
36	471582,4	428151,5	-8,558	-7,97675	-8,26749	0,581	1,017918
37	471586,4	428151,5	-8,494	-7,90976	-8,20184	0,584	1,017637
38	471590,4	428151,5	-8,440	-7,92017	-8,17996	0,520	1,017544
39	471594,4	428151,5	-8,460	-7,88896	-8,17425	0,571	1,01752
40	471578,4	428141,5	-8,529	-7,99860	-8,26373	0,530	1,017902
41	471582,4	428141,5	-8,497	-7,95714	-8,22692	0,540	1,017745
42	471586,4	428141,5	-8,458	-7,98609	-8,22181	0,471	1,017723
43	471590,4	428141,5	-8,386	-7,92761	-8,15673	0,458	1,017446
44	471594,4	428141,5	-8,435	-7,93718	-8,18613	0,498	1,01757
45	471574,4	428131,5	-8,481	-8,01858	-8,24967	0,462	1,017842
46	471578,4	428131,5	-8,435	-7,99654	-8,2156	0,438	1,017696
47	471582,4	428131,5	-8,405	-7,93899	-8,17196	0,466	1,01751
48	471586,4	428131,5	-8,387	-7,93075	-8,15907	0,457	1,017456
49	471590,4	428131,5	-8,382	-7,92903	-8,15537	0,453	1,01744
50	471574,4	428121,5	-8,455	-7,99189	-8,22335	0,463	1,017729
51	471578,4	428121,5	-8,422	-7,96669	-8,19459	0,456	1,017607
52	471582,4	428121,5	-8,416	-7,95419	-8,1853	0,462	1,017567
53	471586,4	428121,5	-8,427	-7,93856	-8,18295	0,489	1,017557
54	471590,4	428121,5	-8,453	-7,91548	-8,18414	0,537	1,017562
55	471574,4	428111,5	-8,312	-7,98026	-8,14627	0,332	1,017401
56	471578,4	428111,5	-8,310	-7,95312	-8,1317	0,357	1,01734
57	471582,4	428111,5	-8,306	-7,94198	-8,124	0,364	1,017307
58	471586,4	428111,5	-8,277	-7,94060	-8,10886	0,337	1,017243
59	471574,4	428101,5	-8,448	-8,00166	-8,22481	0,446	1,017735
60	471578,4	428101,5	-8,373	-8,00211	-8,18775	0,371	1,017577
61	471582,4	428101,5	-8,397	-8,02538	-8,2112	0,372	1,017677
62	471570,4	428091,5	-8,521	-8,03979	-8,28048	0,481	1,017974
63	471574,4	428091,5	-8,536	-7,99454	-8,26503	0,541	1,017908
64	471578,4	428091,5	-8,452	-7,98224	-8,21687	0,469	1,017702
65	471582,4	428091,5	-8,470	-7,97041	-8,22006	0,499	1,017715
66	471570,4	428081,5	-8,620	-7,99282	-8,30622	0,627	1,018085
67	471574,4	428081,5	-8,550	-7,99387	-8,27188	0,556	1,017937
68	471578,4	428081,5	-8,522	-8,00504	-8,26349	0,517	1,017901
69	471582,4	428081,5	-8,508	-7,96826	-8,23798	0,539	1,017792
70	471566,4	428071,5	-8,511	-7,92617	-8,2185	0,585	1,017709
71	471570,4	428071,5	-8,558	-7,89976	-8,22881	0,658	1,017753
72	471574,4	428071,5	-8,481	-7,91178	-8,1965	0,569	1,017615

No	Easting (m)	Northing (m)	Kedalaman lajur 703 (m)	Kedalaman lajur 729 (m)	Rata-rata kedalaman (m)	Selisih kedalaman lajur 703 dan lajur 729 (m)	Toleransi (m)
73	471578,4	428071,5	-8,488	-7,89980	-8,19382	0,588	1,017603
74	471562,4	428061,5	-8,533	-7,93576	-8,23417	0,597	1,017776
75	471566,4	428061,5	-8,488	-7,92516	-8,2068	0,563	1,017659
76	471570,4	428061,5	-8,514	-7,89741	-8,20557	0,616	1,017653
77	471574,4	428061,5	-8,494	-7,85965	-8,17694	0,635	1,017531
78	471578,4	428061,5	-8,489	-7,82973	-8,1595	0,660	1,017457
79	471562,4	428051,5	-8,528	-7,88690	-8,20743	0,641	1,017661
80	471566,4	428051,5	-8,496	-7,83977	-8,168	0,656	1,017493
81	471570,4	428051,5	-8,457	-7,86823	-8,16247	0,588	1,01747
82	471574,4	428051,5	-8,448	-7,81175	-8,12985	0,636	1,017332
83	471578,4	428051,5	-8,427	-7,80373	-8,11559	0,624	1,017272
84	471558,4	428041,5	-8,523	-7,85388	-8,18868	0,670	1,017581
85	471562,4	428041,5	-8,486	-7,83136	-8,15866	0,655	1,017454
86	471566,4	428041,5	-8,458	-7,81031	-8,13398	0,647	1,017349
87	471570,4	428041,5	-8,397	-7,80005	-8,09851	0,597	1,0172
88	471574,4	428041,5	-8,404	-7,78099	-8,09226	0,623	1,017173
89	471558,4	428031,5	-8,354	-7,91778	-8,13604	0,437	1,017358
90	471562,4	428031,5	-8,366	-7,88391	-8,12478	0,482	1,01731
91	471566,4	428031,5	-8,366	-7,87825	-8,12236	0,488	1,0173
92	471570,4	428031,5	-8,336	-7,82784	-8,08179	0,508	1,017129
93	471574,4	428031,5	-8,337	-7,81689	-8,07706	0,520	1,017109
94	471558,4	428021,5	-8,264	-7,87240	-8,06797	0,391	1,017071
95	471562,4	428021,5	-8,218	-7,86212	-8,03996	0,356	1,016954
96	471566,4	428021,5	-8,201	-7,86909	-8,03523	0,332	1,016934
97	471570,4	428021,5	-8,200	-7,79377	-7,99704	0,407	1,016775
98	471574,4	428021,5	-8,183	-7,83106	-8,00715	0,352	1,016817
99	471558,4	428011,5	-8,177	-7,87169	-8,02415	0,305	1,016888
100	471562,4	428011,5	-8,216	-7,84253	-8,02928	0,374	1,016909
101	471566,4	428011,5	-8,122	-7,84599	-7,98383	0,276	1,01672
102	471570,4	428011,5	-8,185	-7,81917	-8,00227	0,366	1,016797
103	471558,4	428001,5	-8,159	-7,87885	-8,01878	0,280	1,016865
104	471562,4	428001,5	-8,114	-7,83371	-7,97393	0,280	1,016679
105	471566,4	428001,5	-8,111	-7,82235	-7,96648	0,288	1,016648
106	471570,4	428001,5	-8,059	-7,76738	-7,91318	0,292	1,016428
107	471554,4	427991,5	-8,058	-7,78540	-7,92148	0,272	1,016462
108	471558,4	427991,5	-8,107	-7,77915	-7,94287	0,327	1,01655
109	471562,4	427991,5	-8,012	-7,75820	-7,88489	0,253	1,016311

No	Easting (m)	Northing (m)	Kedalaman lajur 703 (m)	Kedalaman lajur 729 (m)	Rata-rata kedalaman (m)	Selisih kedalaman lajur 703 dan lajur 729 (m)	Toleransi (m)
110	471566,4	427991,5	-7,967	-7,73090	-7,84876	0,236	1,016163
111	471554,4	427981,5	-7,982	-7,73630	-7,85935	0,246	1,016207
112	471558,4	427981,5	-7,973	-7,68331	-7,82836	0,290	1,01608
113	471562,4	427981,5	-7,917	-7,67965	-7,79814	0,237	1,015957
114	471566,4	427981,5	-7,916	-7,63481	-7,77551	0,281	1,015865
115	471554,4	427971,5	-7,965	-7,64907	-7,80698	0,316	1,015993
116	471558,4	427971,5	-7,900	-7,57629	-7,7381	0,324	1,015714
117	471562,4	427971,5	-7,845	-7,60169	-7,72332	0,243	1,015655
118	471566,4	427971,5	-7,820	-7,49869	-7,65932	0,321	1,015398
119	471554,4	427961,5	-7,950	-7,50594	-7,72777	0,444	1,015673
120	471558,4	427961,5	-7,837	-7,44324	-7,64014	0,394	1,015322
121	471562,4	427961,5	-7,837	-7,43712	-7,63707	0,400	1,01531
122	471566,4	427961,5	-7,753	-7,34098	-7,54723	0,412	1,014954

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BIODATA PENULIS



Febry Krisnanto, dilahirkan di Jombang, 13 Juli 1999. Penulis merupakan anak kedua dari tiga bersaudara dari pasangan Bapak Kusnan dan Ibu Masruroh. Penulis menempuh pendidikan formal di TK Bayangkhari, MIN 1 Jombang, SMP Negeri 2 Jombang, dan SMA Negeri 2 Jombang. Setelah lulus dari SMA penulis melanjutkan pendidikan S-1 di Departemen Teknik Geomatika, Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember pada tahun 2017 melalui jalur SNMPTN. Terdaftar sebagai mahasiswa aktif dengan NRP 03311740000026. Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif dalam organisasi Unit Kegiatan Mahasiswa (UKM) Rebana ITS sebagai Staff Departemen Dalam Negeri (Dagri). Penulis juga tergabung dalam Himpunan Mahasiswa Geomatika (HIMAGE-ITS) sebagai Kepala Biro Akademik, Departemen Kesejahteraan Mahasiswa (Kesma). Untuk menyelesaikan studi Tugas Akhir, penulis memilih bidang keahlian Geomarin dengan spesifikasi bidang Hidrografi yang berjudul “ Pengolahan Data Batimetri *Multibeam Echosounder* Untuk Keselamatan Alur Pelayaran (Studi Kasus : Alur Pelayaran Pelabuhan Belawan)”.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”