



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - RM 184831

**IDENTIFIKASI KETEBALAN SEDIMEN DASAR LAUT
MENGUNAKAN *SINGLE BEAM ECHO SOUNDER
DUAL FREQUENCY* (STUDI KASUS: PELABUHAN
TANJUNG PERAK, SURABAYA)**

AYUSTIN DIAN PRATIWI
NRP 0331154000032

DOSEN PEMBIMBING
Dinar Guruh Pratomo, ST., MT., Ph.D.

DEPARTEMEN TEKNIK GEOMATIKA
Fakultas Teknik Sipil Lingkungan dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019



TUGAS AKHIR - RM 184831

IDENTIFIKASI KETEBALAN SEDIMEN DASAR LAUT MENGGUNAKAN *SINGLE BEAM ECHO SOUNDER DUAL FREQUENCY* (STUDI KASUS: PELABUHAN TANJUNG PERAK, SURABAYA)

AYUSTIN DIAN PRATIWI
NRP 0331154000032

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

DEPARTEMEN TEKNIK GEOMATIKA
Fakultas Teknik Sipil Lingkungan dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019

“Halaman ini sengaja dikosongkan.”



FINAL ASSIGNMENT - RM 184831

IDENTIFICATION OF SEA BED SEDIMENT THICKNESS USING A SINGLE BEAM ECHO SOUNDER DUAL FREQUENCY (CASE STUDY: TANJUNG PERAK PORT, SURABAYA)

AYUSTIN DIAN PRATIWI
NRP 0331154000032

Supervisor
Dinar Guruh Pratomo, S.T., M.T., Ph.D.

DEPARTEMENT OF GEOMATICS ENGINEERING
Faculty of Civil Environmental and Geo Engineering
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2019

“Halaman ini sengaja dikosongkan.”

**IDENTIFIKASI KETEBALAN SEDIMEN DASAR LAUT
MENGUNAKAN *SINGLE BEAM ECHO SOUNDER DUAL
FREQUENCY*
(STUDI KASUS: PELABUHAN TANJUNG PERAK,
SURABAYA)**

Nama : Ayustin Dian Pratiwi
NRP : 0331154000032
Departemen : Teknik Geomatika FTSLK-ITS
Dosen Pembimbing : Dinar Guruh Pratomo, S.T., M.T.,
Ph.D.

Abstrak

Pelabuhan Tanjung Perak merupakan salah satu pintu gerbang Indonesia di Kawasan Bagian Timur, karena perannya yang sangat strategis menjadi pusat kolektor dan distributor barang ke Kawasan Timur Indonesia pada umumnya dan Provinsi Jawa Timur khususnya. Seperti pada umumnya pelabuhan yang masih aktif beroperasi, pelabuhan itu tentunya akan mengalami sedimentasi atau pendangkalan. Keberadaan sedimen yang tidak terkonsolidasi di dalam perairan akan mempengaruhi perbedaan interpretasi kedalaman yang akan berpengaruh terhadap perhitungan volume pengerukan. Survei batimetri menggunakan instrumen akustik dengan frekuensi yang berbeda diperlukan untuk mendapatkan gambaran endapan sedimen didasar laut. Instrumen akustik yang digunakan dalam penelitian ini adalah *single beam echo sounder dual frequency*. Data yang diolah adalah *raw data single beam echo sounder dual frequency* yang diakusisi oleh PT Pelindo III pada 30 Agustus sampai 04 September 2018 di perairan kolam pelabuhan Tanjung Perak Surabaya. Lokasi penelitian merupakan perairan yang digolongkan sebagai perairan dangkal. Hal ini dapat dilihat dari nilai kedalaman yang berkisar 0-12,8 m terhadap LWS. Perbedaan nilai kedalaman yang dideteksi oleh *single beam eco*

sounder low frequency (38 kHz) dan *high frequency* (200 kHz) berbeda-beda pada setiap titik. Selisih deteksi kedalaman maksimal adalah 2,260 meter dan minimal adalah 0 meter. Sementara ketebalan endapan sedimen maksimal adalah 1,950 m dan minimal 0 m. Ketebalan endapan sedimen dasar laut dipengaruhi oleh kondisi morfologi dasar laut. Volume total ketebalan endapan sedimen adalah 59784,580 m³.

Kata Kunci: *Single Beam Echo Sounder*, **Frekuensi, Endapan Sedimen, Ketebalan Sedimen**

**IDENTIFICATION OF SEA BED SEDIMENT THICKNESS
USING A SINGLE BEAM ECHO SOUNDER DUAL
FREQUENCY
(CASE STUDY: TANJUNG PERAK PORT, SURABAYA)**

Name : Ayustin Dian Pratiwi
NRP : 0331154000032
Departement : Teknik Geomatika FTSLK-ITS
Supervisor : Danar Guruh Pratomo, S.T., M.T.,
Ph.D.

Abstract

Tanjung Perak Port is one of the gateways of Indonesia in the Eastern Region, because its strategic role is to become a center for collectors and distributors of goods to Eastern Indonesia in general and East Java Province in particular. Like most ports that are still actively operating, the port will certainly experience sedimentation or siltation. Sedimentation can result in siltation in the port pond. The presence of unconsolidated sediments in the waters will affect differences in interpretation of depth which will affect the calculation of dredging volume. To get a picture of sediment deposits at the bottom of the sea, it is necessary to conduct bathymetry surveys with acoustic instruments with different frequencies. The acoustic instrument used in this research is a dual frequency single beam echo sounder. The processed data is a dual frequency raw single beam echo sounder data acquired by PT Pelindo III on August 30 to September 4, 2018 in the waters of the port of Tanjung Perak Surabaya. The research location is the waters classified as shallow waters. This can be seen from the depth values ranging from 0-12.8 m to LWS. Differences in depth values detected by a single beam eco sounder low frequency (38 kHz) and high frequency (200 kHz) differ at each point. The maximum difference in detection depth is 2.260 meters and a minimum is 0 meters. While

the maximum thickness of sediment deposits is 1.950 m and a minimum of 0 m. The thickness of the seabed sediment deposits is influenced by the morphological conditions of the seabed. The total volume of overall sediment deposition thickness is 59784.580 m³.

Keywords: Single Beam Echo Sounder, Frequency, Sediment Deposition, Sediment Thickness

LEMBAR PENGESAHAN

**IDENTIFIKASI KETEBALAN SEDIMEN DASAR LAUT
MENGUNAKAN *SINGLE BEAM ECHO SOUNDER DUAL
FREQUENCY* (STUDI KASUS: PELABUHAN TANJUNG
PERAK, SURABAYA)**

TUGAS AKHIR

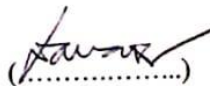
Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Program Studi S-1 Teknik Geomatika
Fakultas Teknik Sipil Lingkungan dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

AYUSTIN DIAN PRATIWI
NRP. 0331154000032

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:

Danar Guruh Pratomo, S.T., M.T., Ph.D
NIP. 19800507 200312 1 001





“Halaman ini sengaja dikosongkan.”

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, atas berkat rahmat-Nya maka penulis dapat menyelesaikan penyusunan laporan penelitian Tugas Akhir yang berjudul **“IDENTIFIKASI KETEBALAN SEDIMEN DASAR LAUT MENGGUNAKAN *SINGLE BEAM ECHO SOUNDER DUAL FREQUENCY* (STUDI KASUS : PELABUHAN TANJUNG PERAK, SURABAYA)”** dengan lancar. Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam penelitian Tugas Akhir ini, khususnya kepada:

1. Orang tua penulis, Bapak Agus dan Ibu Suprpti yang telah memberikan dukungan doa demi kelancaran pada penyelesaian Tugas Akhir.
2. Bapak Mukhamad Nur Cahyadi S.T., M.Sc., Ph.D selaku Ketua Departemen Teknik Geomatika Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya dan dosen wali penulis serta segenap jajarannya yang telah memberikan kemudahan selama mengikuti pendidikan di Departemen Teknik Geomatika Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
3. Bapak Dinar Guruh Pratomo, S.T., M.T., Ph.D., selaku dosen pembimbing Tugas Akhir.
4. Bapak Yanto Budisusanto, S.T., selaku dosen koordinator Tugas Akhir.
5. PT Pelabuhan Indonesia III (Persero) yang telah memberikan data penunjang Tugas Akhir kepada penulis.
6. Mas Bkti Wahyu Aditya, Mas Akhmad Fatkhur Rozi, Mas Bagas Tri Widodo, Mas Fauzan Syaikhu Islam, Mbak Duty Kendartriwastra, dan teman-teman satu Laboratorium Geomarine yang menjadi teman diskusi dalam pengerjaan dan penyusunan laporan Tugas Akhir.

7. Teman-teman dari Teknik Geomatika ITS, khususnya angkatan 2015 yang senantiasa menemani dan mendukung penulis.

Penulis menyadari bahwa selama pengerjaan Tugas Akhir dan penyusunan laporan ini terdapat banyak kesalahan dan kekurangan, oleh karena itu kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan demi perbaikan kedepannya. Semoga laporan ini bisa memberikan manfaat kepada pembaca.

Surabaya, Juli 2019

Penulis

DAFTAR ISI

| | |
|---|------|
| ABSTRAK | v |
| ABSTRACT | vii |
| LEMBAR PENGESAHAN | ix |
| KATA PENGANTAR | xi |
| DAFTAR ISI | xiii |
| DAFTAR GAMBAR | xvii |
| DAFTAR TABEL | xix |
| DAFTAR LAMPIRAN | xxi |
| BAB I PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar Belakang..... | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah..... | 2 |
| 1.3 Batasan Masalah..... | 3 |
| 1.4 Tujuan Penelitian..... | 3 |
| 1.5 Manfaat Penelitian..... | 3 |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA | 5 |
| 2.1 Survei Batimetri..... | 5 |
| 2.2 Single Beam Echo Sounder..... | 7 |
| 2.2.1 Penentuan Kedalaman Menggunakan <i>Single Beam Echo Sounder</i> | 8 |
| 2.2.2 Frekuensi <i>Transducer</i> | 9 |
| 2.3 Pasang Surut..... | 11 |
| 2.4 GNSS..... | 12 |
| 2.5 Interpolasi Kedalaman..... | 13 |

| | |
|---|-----------|
| 2.6 Akurasi Kedalaman | 15 |
| 2.7 Sedimen Dasar Laut..... | 17 |
| 2.8 Pengerukan | 18 |
| 2.9 Perhitungan Volume | 20 |
| 2.10 Pelabuhan Tanjung Perak | 23 |
| 2.11 Penelitian Terdahulu..... | 25 |
| BAB III METODOLOGI PENELITIAN | 27 |
| 3.1 Lokasi Penelitian | 27 |
| 3.2 Data dan Peralatan..... | 27 |
| 3.2.1 Data..... | 27 |
| 3.2.2 Peralatan | 28 |
| 3.3 Metodologi Penelitian | 28 |
| 3.3.1 Tahap Persiapan..... | 30 |
| 3.3.2.Tahap Pengolahan dan Analisis..... | 31 |
| 3.3.3 Tahap Akhir..... | 33 |
| BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN | 35 |
| 4.1 Batimetri Pelabuhan Tanjung Perak | 35 |
| 4.2 Analisa Perbedaan Kedalaman | 40 |
| 4.3 Sebaran Ketebalan Sedimen | 44 |
| 4.4 Perbedaan Volume Keruk Terhadap Dua Frekuensi | 46 |
| BAB V KESIMPULAN DAN SARAN..... | 53 |
| 5.1 Kesimpulan..... | 53 |
| 5.2 Saran | 54 |

| | |
|------------------------------|----|
| DAFTAR PUSTAKA | 55 |
| LAMPIRAN | 59 |
| BIODATA PENULIS | 67 |

“Halaman ini sengaja dikosongkan.”

DAFTAR GAMBAR

| | |
|--|----|
| Gambar 2.1 Prinsip Dasar SBES <i>Dual Frequency</i> | 8 |
| Gambar 2.2 Konsep Dasar GNSS | 12 |
| Gambar 2.3 Desain Keruk Pelabuhan | 19 |
| Gambar 2.4 Metode Penampang Melintang | 21 |
| Gambar 2.5 Metode Kontur..... | 22 |
| Gambar 2.6 Metode Ketinggian Sama | 22 |
| Gambar 2.7 Pelabuhan Surabaya dan Gresik | 24 |
| Gambar 3.1 Lokasi Penelitian | 27 |
| Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian..... | 30 |
| Gambar 4.1 Raw Data SBES <i>Dual Frequency</i> | 35 |
| Gambar 4.2 Interpolasi Pasang Surut 30 Agustus 2018 | 36 |
| Gambar 4.3 Interpolasi Pasang Surut 31 Agustus 2018..... | 36 |
| Gambar 4.4 Interpolasi Pasang Surut 03 September 2018 | 37 |
| Gambar 4.5 Interpolasi Pasang Surut 04 September 2018 | 37 |
| Gambar 4.6 Batimetri Kolam Pelabuhan Tanjung Perak | 38 |
| Gambar 4.7 Perbedaan Deteksi Kedalaman | 43 |
| Gambar 4.8 Sebaran Ketebalan Sedimen | 44 |
| Gambar 4.9 Kurva Distribusi Normal | 44 |
| Gambar 4.10 Model 3D Ketebalan Sedimen..... | 46 |
| Gambar 4.11 Desain Keruk Berlian Timur <i>High Frequency</i> | 48 |
| Gambar 4.12 Desain Keruk Berlian Timur <i>Low Frequency</i> | 48 |
| Gambar 4.13 Desain Keruk Berlian Utara <i>High Frequency</i> | 49 |
| Gambar 4.14 Desain Keruk Berlian Utara <i>Low Frequency</i> | 50 |
| Gambar 4.15 Desain Keruk Berlian Barat – Nilam Timur <i>High Frequency</i> | 51 |
| Gambar 4.16 Desain Keruk Berlian Barat – Nilam Timur <i>Low Frequency</i> | 52 |

“Halaman ini sengaja dikosongkan.”

DAFTAR TABEL

| | |
|---|----|
| Tabel 2.1 Ketelitian Pengukuran Parameter Survei Hidrografi... | 16 |
| Tabel 4.1 Sampel Kedalaman Lajur Utama dan Silang <i>High</i> <i>Frequency</i> | 39 |
| Tabel 4.2 Sampel Kedalaman Lajur Utama dan Silang <i>Low</i> <i>Frequency</i> | 40 |
| Tabel 4.3 Perbedaan Volume Pengerukan..... | 52 |

“Halaman ini sengaja dikosongkan.”

DAFTAR LAMPIRAN

| | |
|--|----|
| Lampiran 1. Peta Batimetri Pelabuhan Tanjung Perak | 59 |
| Lampiran 2. Peta Sebaran Ketebalan Sedimen..... | 59 |
| Lampiran 3. Tabel Perhitungan Ketelitian Pemeruman | 59 |

“Halaman ini sengaja dikosongkan.”

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pelabuhan adalah tempat yang terdiri dari daratan dan perairan di sekitarnya dengan batas-batas tertentu sebagai tempat kegiatan pemerintahan dan kegiatan ekonomi yang dipergunakan sebagai tempat kapal bersandar, berlabuh, naik turun penumpang dan/atau bongkar muat barang yang dilengkapi dengan fasilitas keselamatan pelayaran dan kegiatan penunjang pelabuhan serta sebagai tempat perpindahan intra dan antar moda transportasi (PP No.69 Tahun 2001). Pelabuhan Tanjung Perak merupakan salah satu pintu gerbang Indonesia di Kawasan Bagian Timur, karena perannya yang sangat strategis menjadi pusat kolektor dan distributor barang ke Kawasan Timur Indonesia pada umumnya dan Provinsi Jawa Timur khususnya. Pelabuhan Tanjung Perak telah mendukung arus perdagangan lokal, regional dan internasional karena letaknya yang strategis dan didukung oleh daerah *hinterland* Jawa Timur yang potensial (Kementerian Perhubungan Republik Indonesia 2019).

Seperti pada umumnya pelabuhan yang masih aktif beroperasi, pelabuhan itu tentunya akan mengalami sedimentasi atau pendangkalan. Oleh karena itu perlu dilakukan pemeliharaan untuk menjaga kedalaman perairan pelabuhan Tanjung Perak untuk keselamatan kapal yang akan bersandar. Apabila kedalaman kolam pelabuhan kurang dari tinggi *draft* kapal yang akan bersandar, maka perlu dilakukan pengerukan. Sebelum melakukan pengerukan, perlu dilakukan survei batimetri untuk mengetahui kondisi dasar kolam pelabuhan meliputi ketebalan sedimen dan kedalamannya. Keberadaan sedimen tidak terkonsolidasi pada suatu perairan akan mempengaruhi perbedaan interpretasi kedalaman yang akan berpengaruh terhadap perhitungan volume pengerukan. Sedimen yang tidak terkonsolidasi pada dasar laut sering kali berlapis-lapis dan sulit untuk didefinisikan. Untuk mengetahui

gambaran endapan sedimen di dasar laut perlu dilakukan survei batimetri menggunakan instrumen akustik dengan frekuensi yang berbeda. Salah satu instrumen akustik berbeda frekuensi yang dapat digunakan untuk mengetahui endapan sedimen dasar laut adalah *single beam echo sounder dual frequency* (Buchanan 2005).

Pada penelitian ini penulis akan melakukan identifikasi ketebalan endapan sedimen dasar laut guna perencanaan pengerukan pelabuhan menggunakan data *single beam echosounder dual frequency*. Dengan survei menggunakan *single beam echo sounder dual frequency* akan didapatkan dua data kedalaman yang berbeda. Hal tersebut karena penggunaan frekuensi tinggi (*high frequency*) memungkinkan untuk mendeteksi lapisan lumpur paling atas sedangkan penggunaan frekuensi rendah (*low frequency*) mampu menembus kedalam lapisan lumpur (Delefortrie, Vantorre, dan Laforce 1998). Selanjutnya perlu dilakukan pengolahan pada kedua hasil kedalaman untuk memperoleh ketebalan endapan sedimen dasar laut. Hasil penelitian ini diharapkan dapat digunakan acuan dalam perencanaan pengerukan kolam pelabuhan sesuai dengan pedoman teknis pengerukan.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang diangkat dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana topografi permukaan dasar perairan Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya?
2. Bagaimana perbedaan respon akustik antara frekuensi tinggi dan frekuensi rendah yang dihasilkan oleh *single beam echo sounder dual frequency*?
3. Bagaimana ketebalan sedimen hasil pengolahan data *single beam echo sounder dual frequency*?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dari penelitian ini antara lain:

1. Wilayah yang dijadikan studi kasus adalah Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya.
2. Data yang digunakan adalah data batimetri Pelabuhan Tanjung Perak menggunakan *single beam echo sounder dual frequency* tahun 2018.
3. Data pasang surut yang diamati selama proses pemeruman.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah:

1. Menyajikan peta batimetri Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya.
2. Menganalisis data kedalaman terhadap data *single beam echo sounder high frequency*.
3. Menganalisis ketebalan sedimen terhadap data *single beam echo sounder dual frequency*.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini antara lain:

1. Menghasilkan peta batimetri Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya untuk mengontrol kedalaman perairan pelabuhan.
2. Menghasilkan analisis ketebalan sedimen dari penelitian ini dapat digunakan sebagai informasi dasar dalam perencanaan pengerukan sesuai dengan pedoman teknis pengerukan alur pelayaran di laut dan kolam pelabuhan.

“Halaman ini sengaja dikosongkan.”

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Pada penelitian kali ini akan dibahas mengenai identifikasi ketebalan endapan sedimen dasar laut menggunakan *single beam echo sounder dual frequency* di Pelabuhan Tanjung Perak khususnya kolam dermaga Nilam Timur dan dermaga Berlian. Sedimentasi dapat menyebabkan pendangkalan pada perairan kolam pelabuhan. Salah satu cara untuk identifikasi ketebalan endapan sedimen dasar laut adalah menggunakan instrumen akustik dengan frekuensi yang berbeda. Penggunaan dua jenis frekuensi yang berbeda mempengaruhi deteksi kedalaman permukaan dasar perairan yang mana akan mengakibatkan perbedaan volume pengerukan. Untuk mendukung penelitian ini, sebagai usaha untuk mendapatkan dasar teori dalam pengolahan data dan analisa diperlukan teori-teori yang pendukung yang diambil dari beberapa literatur-literatur yang berhubungan dengan penelitian yang dilaksanakan.

2.1 Survei Batimetri

Untuk memperoleh gambaran kondisi topografi permukaan dasar laut perlu dilakukan survei batimetri. Survei batimetri adalah proses penggambaran dasar perairan mulai dari pengukuran, pengolahan hingga visualisasi (Poerbandono dan Djunarsjah 2005). Proses dan aktivitas yang ditujukan untuk memperoleh gambaran (model) bentuk permukaan (topografi) dasar perairan (*seabed surface*) disebut dengan pemeruman. Model batimetri (kontur kedalaman) diperoleh dengan menginterpolasikan titik-titik pengukuran kedalaman bergantung pada skala model yang hendak dibuat. Titik-titik pengukuran kedalaman berada pada lajur-lajur pengukuran kedalaman yang disebut sebagai lajur perum (Poerbandono dan Djunarsjah 2005).

Langkah pertama sebelum melakukan pemeruman adalah pembuatan lajur perum. Lajur-lajur perum didesain sedemikian rupa sehingga memungkinkan pendeteksian perubahan kedalaman yang lebih ekstrim. Desain lajur-lajur harus memperhatikan kecenderungan bentuk dan topografi pantai sekitar perairan yang akan disurvei. Berdasarkan fungsinya lajur pemeruman dapat diklasifikasikan menjadi tiga macam yaitu lajur utama, lajur silang, dan lajur tambahan/investigasi.

- a. Lajur perum utama. Lajur perum utama adalah lajur perum yang direncanakan sedemikian rupa sehingga seluruh daerah survei dapat tercakup dan dapat menggambarkan dasar perairannya. Lajur perum utama dibuat sedemikian rupa sehingga dapat tegak lurus garis kontur dari garis pantai atau mendekatinya (Soeprapto 2000).
- b. Lajur perum silang. Lajur perum silang adalah lajur perum yang dibuat memotong lajur perum utama. Lajur silang dibuat untuk melakukan kontrol kualitas terhadap nilai kedalaman yang didapat dari lajur utama. Cara penentuan lajur silang yaitu lajur silang harus memotong lajur perum utama dengan sudut lebih besar dari 45° diusahakan mendekati 90° . Pada umumnya jarak antara lajur perum silang tidak lebih dari 10 kali jarak antara lajur perum utama (Soeprapto 2000).
- c. Lajur perum tambahan/investigasi. Lajur perum tambahan/investigasi dibuat jika terjadi hal-hal diluar perencanaan misalnya adanya perubahan kedalaman yang terlalu signifikan, pusaran arus, atau mengisi *gap* akibat penyimpangan pengambilan data pada lajur utama yang terdapat antara dua lajur yang bersebelahan pada sistem lajur perum utama (Soeprapto 2000).

2.2 Single Beam Echo Sounder

Single beam echo sounder merupakan alat ukur kedalaman air yang menghasilkan sinar tunggal yang dikirim secara vertikal ke dalam air. *Single beam echo sounder* sering digunakan untuk mendapatkan kedalaman langsung dibawah kapal sehingga dapat menghindari bias lebar *beam* yang disebabkan oleh kelerengan dibawah air. *Single beam echo sounder dual frequency* menggunakan sistem frekuensi yang berbeda untuk mendeteksi kedalaman, yaitu frekuensi tinggi dan frekuensi rendah. Frekuensi yang digunakan biasanya 30 kHz dan 200 kHz. Kedua frekuensi ini memungkinkan untuk mendapat gambaran dasar laut yang lebih baik dan data tambahan bahkan di daerah dengan transpor sedimen yang besar dan dasar laut yang berlumpur (Guochang 2010).

Komponen dari *single beam* terdiri dari *transceiver* (*transducer / receiver*) terpasang pada lambung kapal. Sistem ini mengukur kedalaman air secara langsung dari kapal. *Transceiver* mengirimkan pulsa akustik dengan frekuensi tinggi yang terkandung dalam *beam* (gelombang suara) menyusuri bagian bawah kolom air. Energi akustik memantulkan sampai dasar laut dari kapal dan diterima kembali oleh *transceiver*. *Transceiver* terdiri dari sebuah *transmitter* yang mempunyai fungsi sebagai pengontrol panjang gelombang pulsa yang dipancarkan dan menyediakan tenaga listrik untuk besar frekuensi yang diberikan (Parkinson 1996).

- a. *Transmitter* ini menerima secara berulang-ulang dalam kecepatan yang tinggi sampai pada orde kecepatan milisekon.
- b. *Range* frekuensi *single-beam echosounder* relatif mudah untuk digunakan, tetapi hanya menyediakan informasi kedalam sepanjang garis lajur perum yang dilalui oleh kapal (Urick 1983).

2.2.1 Penentuan Kedalaman Menggunakan *Single Beam Echo Sounder*

a. Prinsip Dasar

Sistem pengukuran kedalaman secara akustik dilakukan dengan mengukur waktu yang dibutuhkan oleh sinyal akustik dari *transducer* ke dasar perairan dan kembali ke *transducer*. Kedalaman yang diukur (D) adalah antara transduser dan beberapa titik pada bagian bawah reflektif akustik. Waktu perjalanan dari pulsa akustik tergantung pada kecepatan propagasi (v) di kolom air. Jika kecepatan propagasi suara dalam kolom air diketahui dan *draft transducer* diketahui, kedalaman terkoreksi (d) dapat dihitung dengan waktu tempuh diukur dari pulsa akustik. Berikut adalah rumusnya:

$$d = \frac{1}{2}(v \cdot t) + dr + k \quad (2.1)$$

dimana:

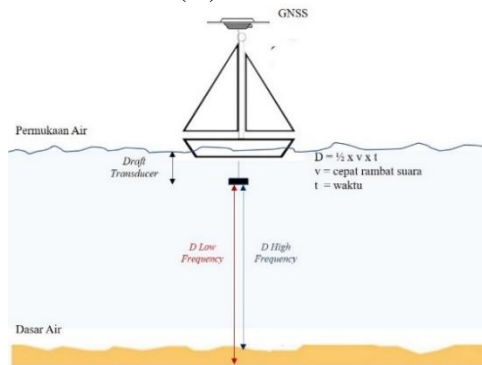
d = kedalaman terkoreksi dari permukaan air referensi (m)

v = kecepatan rata-rata suara di kolom air (m/s)

t = mengukur waktu yang telah berlalu dari transduser ke bawah dan kembali ke transduser (s)

dr = jarak dari permukaan air referensi ke transduser (m)

k = konstanta indeks (m)



Gambar 2.1 Prinsip Dasar SBES *Dual Frequency*

Parameter v , t , dan dr tidak dapat ditentukan dengan sempurna selama proses pemeruman. Waktu yang berlalu (t) tergantung pada reflektifitas dari metode pemrosesan sinyal dalam air yang terkait yang digunakan untuk melihat pengembalian yang valid. Bentuk atau ketajaman dasar laut dari pantulan pulsa ditunjukkan pada Gambar 2.1 menjadi parameter utama dalam akurasi dan kemampuan deteksi pengukuran kedalaman (*US Army* 2002).

b. *Draft Transducer* dan konstanta indeks

Draft transducer harus dikurangkan pada jarak waktu untuk mendapatkan kedalaman terkoreksi dari permukaan air referensi. *Draft* kapal tidak sama dengan *draft transducer* karena *draft* kapal dapat diukur relatif terhadap titik lain pada lambung kapal. Konstanta indeks berisi keterlambatan listrik dan / atau mekanis yang melekat pada sistem pengukuran, termasuk variasi deteksi ambang sinyal kembali. Hal ini menyebabkan posisi sinyal yang kembali tidak sama dengan posisi sinyal saat dipancarkan. Untuk mengatasinya dilakukan koreksi dengan menggunakan prinsip Phytagoras (*US Army* 2002).

c. Koreksi Lain

Kedalaman dalam persamaan 2.1 selanjutnya harus dikoreksi untuk variasi rancangan kapal jangka pendek karena perubahan pemuatan, *squat*, *heave*, *pitch*, *roll*, dll. Permukaan air referensi kemudian harus dikurangi menjadi datum vertikal lokal berdasarkan pengamatan pasang surut (*US Army* 2002).

2.2.2 Resolusi *Echo Sounder*

Transduser pada *echo sounder* berfungsi mengubah energi elektronik menjadi gelombang akustik dan sebaliknya. Resolusi dari suatu gelombang akustik dipengaruhi oleh beberapa faktor, terutama frekuensi dan lebar *beam*. Dalam

prinsip penjalaran gelombang, resolusi berbanding lurus dengan frekuensi dan berbanding terbalik dengan lebar *beam* (Subarsyah dan Yusuf 2004). Frekuensi transduser yang umumnya digunakan berkisar antara 20 kHz dan 1000 kHz. Setiap frekuensi memiliki karakteristik fisik tertentu (US Army 2002).

Echo sounder memiliki dua resolusi yang disebut resolusi vertikal dan resolusi lateral. Faktor frekuensi mempengaruhi resolusi vertikal data, semakin tinggi frekuensi keluaran maka resolusinya semakin tinggi. Lebar *beam* (*beam width*) sangat berpengaruh terhadap resolusi lateral data, semakin sempit *beam width* maka resolusi lateralnya semakin tinggi (Subarsyah dan Yusuf 2004). Selain hal tersebut diatas, resolusi *echo sounder* tergantung pada kondisi dasar laut dan *gain array* (US Army 2002).

Transduser frekuensi tinggi akan mudah dipantulkan oleh material dengan densitas rendah dan sebaliknya. Transduser frekuensi tinggi memiliki *beam width* sempit sehingga mampu mendeteksi kedalaman lebih akurat. Transduser frekuensi yang lebih rendah memiliki *beam width* yang lebar yang menyebabkan distorsi saat mendeteksi kedalaman, namun transduser frekuensi rendah kurang terpengaruh atenuasi yang memungkinkan pengukuran kedalaman yang lebih dalam dan penetrasi sedimen tersuspensi (US Army 2002). Transduser frekuensi rendah (di bawah 50 kHz) lebih cocok untuk mendeteksi lapisan batuan dan sedimen dengan struktur keras. Transduser dengan frekuensi 100 kHz lebih cocok untuk mendeteksi area dengan jenis sedimen pasir dan dengan frekuensi 200 kHz cocok digunakan untuk mendeteksi lapisan sedimen dengan struktur lembut. Sedangkan dengan transduser frekuensi 1000 kHz dapat digunakan untuk mendeteksi partikel yang larut dalam air (Guochang 2010).

Kemampuan untuk menembus sedimen tersuspensi adalah hal penting dalam melakukan survei untuk pekerjaan

pengerukan. Kerugian transduser frekuensi tinggi adalah tingkat pelemahan sinyal yang tinggi karena pengaruh atenuasi, hambur balik dari sedimen tersuspensi berat (*fluff*), dan vegetasi bawah akan mudah memantulkan sinyal. Transduser frekuensi tinggi tidak dianjurkan di daerah lapisan sedimen tersuspensi atau di daerah vegetasi bawah air. Frekuensi yang dianjurkan untuk daerah tersebut berkisar antara 20 kHz dan 50 kHz (US Army 2002).

2.3 Pasang Surut

Data pasang surut diperlukan untuk koreksi kedalaman hasil pemeruman. Selain itu, pasang surut juga digunakan sebagai acuan dalam penentuan datum vertikal. Pada penelitian ini, datum vertikal yang digunakan adalah LWS (*Low Water Spring*). Pengamatan pasang surut hanya dilakukan selama proses pemeruman untuk mendapatkan koreksi kedalaman, sedangkan untuk datum vertikal diikatkan pada BM Pasut yang telah diketahui nilai LWS nya.

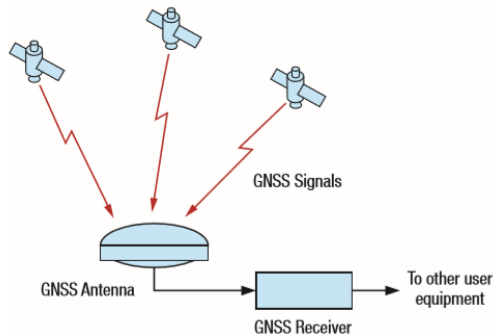
Pasang surut air laut (pasut) adalah fenomena naik dan turunnya permukaan air laut secara periodik dengan periode rata-rata sekitar 12,4 jam atau 24,8 jam. Pasut disebabkan oleh pengaruh gravitasi benda-benda langit terutama bulan dan matahari. Penentuan tinggi titik nol harus dilakukan dengan merata-ratakan data tinggi muka air laut yang diamati pada rentang waktu tertentu karena posisi muka air laut yang selalu berubah (Poerbandono dan Djunasjah 2005).

Data pasut digunakan untuk menetapkan ketinggian titik ikat (titik referensi) guna pengembangan wilayah perairan serta pembuatan peta topografi. Titik ikat utama dipasang di tepi pantai, biasanya di daerah pelabuhan. Ada beberapa definisi muka air yang digunakan sebagai tinggi referensi, antara lain yang sering digunakan yaitu muka air terendah (*Low Water Spring*) untuk perencanaan kedalaman

perairan kolam pelabuhan agar kapal yang akan bersandar tidak kandas. Komponen harmonik yang dihasilkan dari data pengamatan pasang surut dapat digunakan untuk menentukan datum vertikal. Datum vertikal merupakan permukaan eipotensial yang mempunyai kedudukan permukaan air laut rata-rata yang digunakan sebagai bidang acuan dalam penentuan posisi vertikal (Pusat Pemetaan Dasar Kelautan dan Kedirgantaraan 2004).

2.4 GNSS

Saat melakukan pengukuran kedalaman laut, perlu dilakukan penentuan koordinat horisontal sehingga setiap titik dimana dilakukan pemeruman dapat diplot pada sistem koordinat. Penentuan posisi horisontal dilaut dapat dilakukan yang sedang menggunakan GPS (Abidin 2005). *Global Satellite System* (GPS) kini telah berkembang menjadi *Global Satellite Navigation System* (GNSS). GNSS adalah kumpulan system penentuan posisi satelit beroperasi atau direncanakan (Novatel Inc 2015).



Gambar 1.2 Konsep Dasar GNSS (Novatel Inc 2015)

Saat ini penggunaan GNSS dalam survei hidrografi utamanya terkait dengan penentuan posisi horisontal, penentuan posisi titik kontrol di pantai dan navigasi kapal. Untuk menangkap sinyal dari satelit dengan *receiver* agar

dapat mengetahui posisi pengamat, dibutuhkan satelit dalam jumlah yang cukup (minimal empat buah), surveyor dapat menentukan posisinya serta parameter lainnya (Abidin 2005).

GNSS merupakan salah satu 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), maka harus dipenuhi kriteria berikut untuk menjaga kualitas penentuan posisi:

- a. Jumlah minimal satelit aktif/terpantau hingga bisa diteruskan dengan pekerjaan pemeruman adalah 4 (empat).
- b. PDOP (*Precision Dilution of Position*) tidak melebihi 6 (enam) untuk perekaman dan sounding, jika lebih hendaknya survei ditunda hingga dipenuhi syarat tersebut.
- c. Sudut minimal *untuk elevation* mask 10° dari horison. Integritas sinyal GPS harus selalu dipantau.
- d. Dilakukan kalibrasi terhadap peralatan penentuan posisi yang digunakan serta dilakukan pengecekan paling sedikit seminggu sekali selama survei.
- e. 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 *single beam echo sounder*, ketelitian yang dimaksud adalah ketelitian posisi dari sistem sensor perum (Badan Standarisasi Nasional 2010).

2.5 Interpolasi Kedalaman

Dari pengukuran kedalaman pada titik-titik *fix* perum pada lajur-lajur perum yang telah di desain, akan didapatkan sebaran titik-titik *fix* perum pada daerah survei yang nilai-nilai pengukuran kedalamannya dapat dipakai untuk

menggambarkan batimetri yang diinginkan. Berdasarkan sebaran angka-angka kedalaman pada titik-titik *fix* perum itu, batimetri perairan yang disurvei dapat diperoleh dengan interpolasi kontur kedalaman (Poerbandono dan Djunarsjah 2005).

Teknik yang paling sederhana untuk interpolasi kontur adalah teknik triangulasi menggunakan interpolasi linier. *Grid* dengan interval yang seragam dibangun diatas sebaran titik-titik tersebut. Nilai kedalaman di setiap titik-titik *grid* dihitung berdasarkan tiga titik kedalaman terdekat dengan pembobotan menurut jarak. Dari titik-titik yang memiliki nilai kedalaman yang sama dihubungkan menjadi sebuah kontur (Poerbandono dan Djunarsjah 2005).

Salah satu metode yang menggunakan interpolasi linier dengan pembobotan jarak adalah *Inverse Distance Weighting* (IDW). Metode IDW secara langsung mengimplementasikan asumsi bahwa sesuatu yang saling berdekatan akan lebih serupa dibandingkan dengan yang saling berjauhan. Untuk menaksir sebuah nilai di setiap lokasi yang tidak di ukur, IDW akan menggunakan nilai-nilai ukuran yang mengitari lokasi yang akan ditaksir tersebut. Pada metode IDW, diasumsikan bahwa tingkat korelasi dan kemiripan antara titik yang ditaksir dengan data penaksir adalah proporsional terhadap jarak (Almasi dkk. 2014).

Pada metode IDW kita dapat menyesuaikan pengaruh relatif dari titik-titik sampel. Nilai *power* pada interpolasi IDW ini menentukan pengaruh terhadap titik-titik masukan (*input*), dimana pengaruh akan lebih besar pada titik-titik yang lebih dekat sehingga menghasilkan permukaan yang lebih detail. Pengaruh akan lebih kecil dengan bertambahnya jarak dimana permukaan yang dihasilkan kurang detail dan terlihat lebih halus. Bobot yang digunakan untuk rata-rata adalah turunan fungsi jarak antara titik sampel dan titik yang diinterpolasi (Philip dan Watson 1982 dalam Pasaribu dkk. 2012). Fungsi umum pembobotan adalah *inverse* dari kuadrat

jarak, dan persamaan ini digunakan pada metode *Inverse Distance Weighted* yang dirumuskan dalam formula berikut ini (Azpurua dan Ramos 2010 dalam Pasaribu dkk., 2012):

$$Z^* = \sum_{i=1}^N \omega_1 Z_1 \quad (2.2)$$

Dimana merupakan nilai $Z_1 (i = 1, 2, 3, \dots, N)$ ketinggian data yang ingin diinterpolasi sejumlah N titik, dan bobot (*weight*) ω_1 yang dirumuskan sebagai:

$$\omega_1 = \frac{h_i^{-p}}{\sum_{j=0}^n h_j^{-p}} \quad (2.3)$$

p adalah nilai positif yang dapat diubah-ubah yang disebut dengan parameter *power* (biasanya bernilai 2) dan h_j merupakan jarak dari sebaran titik ke titik interpolasi yang dijabarkan sebagai:

$$h_i = \sqrt{(x - x_1)^2 + (y - y_1)^2} \quad (2.4)$$

(x, y) adalah koordinat titik interpolasi dan (x, y) adalah koordinat untuk setiap sebaran titik. Fungsi peubah *weight* bervariasi untuk keseluruhan data sebaran titik sampai pada nilai yang mendekati nol dimana jarak bertambah terhadap sebaran titik.

2.6 Akurasi Kedalaman

Setiap pengukuran kedalaman, sering kali nilai kedalaman yang diberikan bukan merupakan nilai kedalaman yang sebenarnya akan tetapi dapat berupa *outlier*, sehingga diperlukan suatu uji kualitas untuk dapat menghilangkannya. Acuan yang digunakan untuk menentukan batas toleransi kesalahan nilai beda kedalaman yaitu IHO SP 44 tahun 2008 dan Standar Nasional Indonesia (SNI) 7646-2010 dengan tingkat kepercayaan 95%. Adapun persamaan yang digunakan

untuk menghitung batas toleransi tersebut dapat dilihat pada persamaan :

$$2\sigma = \pm\sqrt{a^2 + (b \times d)^2} \quad (2.5)$$

Keterangan :

a = kesalahan independen (m)

b = faktor kesalahan kedalaman yang dependen (m)

d = kedalaman rata-rata (m)

Nilai a dan b dalam persamaan diatas tersebut disesuaikan dengan orde survei yang dilakukan seperti yang tabel di bawah ini.

Tabel 2.1 Ketelitian Pengukuran Parameter Survei Hidrografi (SNI 7646-2010)

| Orde / Ketentuan | Khusus | 1 | 2 | 3 |
|---|------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|
| Akurasi Horizontal | 2 m | 5 m + 5% dari kedalaman rata-rata | 20 m + 5% dari kedalaman rata-rata | 150 m + 5% dari kedalaman rata-rata |
| Alat Bantu Navigasi Tetap dan Kenampakan yang Berhubungan Dengan Navigasi | 2 m | 2 m | 5 m | 5 m |
| Garis Pantai | 10 m | 20 m | 20 m | 20 m |
| Alat Bantu Navigasi Terapung | 10 m | 10 m | 20 m | 20 m |
| Kenampakan Topografi | 10 m | 10 m | 20 m | 20 m |
| Akurasi Kedalaman | $a = 0.025m$ $b = 0.075m$ | $a = 0.5m$ $b = 0.013m$ | $a = 1,0m$ $b = 0.023m$ | $a = 1,0m$ $b = 0.023m$ |

2.7 Sedimen Dasar Laut

Angkutan sedimen dasar laut dapat menyebabkan pedangkalan pada perairan kolam pelabuhan. Hal ini dapat menjadi permasalahan yang perlu diperhatikan, sehingga karakteristik dan ketebalan sedimen perlu diketahui untuk perencanaan pemeliharaan perairan kolam pelabuhan (Khatib, Adriati, dan Wahyudi 2013).

Sedimentasi yaitu proses pembentukan sedimen atau batuan sedimen yang diakibatkan oleh pengendapan dari material pembentuk atau asalnya pada suatu tempat yang disebut dengan lingkungan pengendapan berupa sungai, muara, danau, delta, estuaria, laut dangkal sampai laut dalam. Sedimen dasar perairan tersusun oleh pecahan batuan, mineral, atau bahan organik yang ditransportasikan dari berbagai sumber secara vertikal maupun secara horizontal dan diendapkan oleh udara, air, dan es. Seluruh permukaan dasar laut ditutupi oleh partikel-partikel sedimen yang diendapkan secara berlahan-lahan dalam jangka waktu berjuta-juta tahun. Pengendapan sedimen secara perlahan-lahan dalam jangka waktu berjuta-juta tahun akan membentuk susunan lapisan dasar laut (Garrison 2005).

Sebaran sedimen yang terdapat di dasar laut bergantung pada keadaan dasar laut. Terdapatnya arus yang kuat akan mengakibatkan terjadinya pemindahan sedimen jauh dari sumbernya. Adanya pemindahan sedimen menyebabkan terjadinya perbedaan ketebalan dari lapisan dasar laut. Total perpindahan sedimen yang terangkut dalam kolom air menyebabkan terakumulasinya sedimen dan membentuk lapisan di dasar laut dengan nilai ketebalan dan konsentrasi tertentu (Seibold dan Berger 1993).

Sedimen yang terakumulasi dapat menyebabkan pendangkalan pada daerah kolam pelabuhan sehingga dapat mengganggu aktivitas bongkar muat kapal. Pengukuran terhadap daerah alur pelayaran perlu dilakukan untuk menganalisis nilai ketebalan dan konsentrasi sedimen yang

selanjutnya dapat dijadikan sebagai masukan data kepada pihak terkait untuk pengembangan pelabuhan dan alur pelayaran yang akan datang (Arifin, Hutagol, dan Hanafi 2003).

2.8 Pengerukan

Sedimentasi dapat menyebabkan pendangkalan perairan kolam pelabuhan. Karakter fisik lapisan sedimen dasar laut cenderung meningkat seiring bertambahnya kedalaman. Sedimentasi berlangsung secara terus menerus, oleh karena itu perlu dilakukan pekerjaan pengerukan untuk mempertahankan elevasi perairan kolam pelabuhan agar tidak merusak bagian lunas kapal dan kapal mudah dikendalikan saat bermanuver (Delefortrie, Vantorre, dan Laforce 1998).

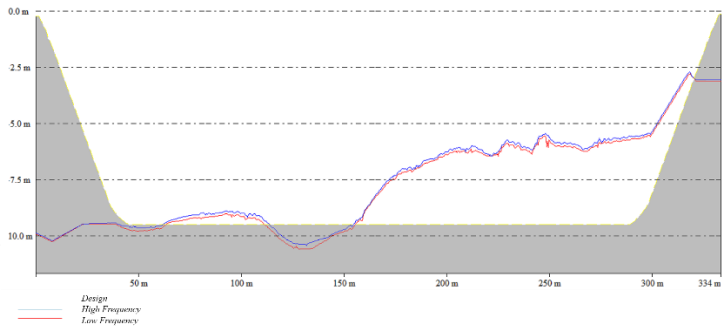
Pengerukan merupakan proses pemindahan tanah dengan menggunakan suatu peralatan atau suatu alat berat, dengan cara mekanis dan/atau hidraulis dari suatu tempat ke tempat lain (misalnya dari suatu dasar sungai atau laut ke tempat lain). Peralatan yang digunakan untuk pengerukan alur pelayaran pelabuhan biasanya berbentuk kapal. Tujuan pekerjaan pengerukan adalah untuk berbagai macam keperluan, diantaranya (Rochmandi 1992):

- a. Memperdalam dasar sungai/laut,
- b. Memperbesar penampang sungai,
- c. Mengambil material pasir laut untuk keperluan urugan/timbunan untuk keperluan bangunan ataupun reklamasi tanah,
- d. Mengambil material/tanah/lumpur di dasar sungai untuk keperluan penambangan,
- e. Keperluan navigasi,
- f. Pengendalian banjir/pengambilan material di muara sungai (delta),
- g. Rekayasa konstruksi dan reklamasi,
- h. Pemeliharaan pesisir/pantai,
- i. Instalasi dan perawatan pipa bawah laut (*pipeline*),
- j. Pembuangan limbah/polutan

Maintenance dredging adalah pekerjaan spesial yang termasuk pada pengangkatan *soil*, umumnya *soil* yang dikeruk belum lama mengendap di dasar perairan. Sehingga pada pekerjaan ini biasanya lapisan dasar perairan yang dikeruk tidak terlalu tebal dan keras. *Maintenance dredging* merupakan pekerjaan yang dilakukan berkesinambungan pada jangka waktu tertentu. Biaya untuk melakukan pekerjaan ini salah satunya bergantung pada besar *siltation* yang terjadi. *Siltation* terbentuk akibat adanya sedimentasi yang dikeruk, sehingga sedimentasi di sisi lainnya yang tidak terkeruk cenderung mengikuti gravitasi bumi. Akibatnya, area tempat sedimentasi yang dikeruk sebelumnya terisi kembali oleh sedimentasi dari sisi-sisi lainnya. Dalam beberapa kasus, terdapat alur pelayaran pelabuhan yang memiliki intensitas *siltation* yang tinggi. Akibatnya, pekerjaan pengerukan pelabuhan di alur pelayaran tersebut menghabiskan waktu yang cukup lama dan biaya yang sangat besar (Rochmandi 1992).

From Pos: 690608.719, 9203375.474

To Pos: 690914.248, 9203509.238



Gambar 2.3 Desain Keruk Pelabuhan

Beberapa faktor yang harus diperhatikan dalam menentukan biaya operasi pekerjaan pengerukan perawatan *maintenance dredging* (Rochmandi 1992):

- a. Menempatkan alur pelayaran di area yang memiliki *siltation* rendah.
- b. Melakukan perencanaan yang baik dalam perawatan alur pelayaran.

c. Mempelajari dan menerapkan metode dan teknologi terbaru sesuai dengan karakteristik alur pelayaran yang akan dikeruk.

Tipe pekerjaan pengerukan ini dilakukan untuk memelihara dan melindungi fungsi-fungsi dari suatu subyek yang berkenaan dengan aspek-aspek pelayaran/*nautical aspects*, perlindungan tanah/pantai, nilai-nilai lingkungan. Dalam hal ini aspek-aspek pelayaran menyangkut alur pelayaran, terkait dengan fungsi ekonomi (misalnya: bila pelabuhan dangkal maka kapal tidak dapat merapat), serta faktor-faktor alam lainnya seperti sedimentasi (Rochmandi 1992).

2.9 Perhitungan Volume

Perkiraan volume material setelah membuat model tiga dimensi yang akan dikeruk diperlukan dalam perencanaan pengerukan. Volume material yang akan dikeruk dapat diperkirakan melalui data kedalaman yang diperoleh dari *pre-dredge sounding* pada daerah pengerukan, serta kedalaman yang direncanakan. Pengukuran volume langsung jarang dikerjakan dalam pengukuran, karena sulit untuk menerapkan dengan sebenar-benarnya sebuah satuan terhadap material yang terlibat. Sebagai gantinya dilakukan pengukuran tak langsung. Untuk memperolehnya dilakukan pengukuran garis dan luas yang mempunyai kaitan dengan volume yang diinginkan. Dalam penelitian ini penulis melakukan perhitungan volume menggunakan metode penampang melintang. Ada tiga sistem utama yang dipakai, yaitu (Muda 2008):

a. Metode Penampang Melintang

Luas potongan melintang A1 dan A2 pada kedua ujung diukur dan dengan menganggap bahwa perubahan luas potongan melintang antara kedua ujung itu sebanding dengan jaraknya, luas A1 dan A2 tersebut dirata-rata. Akhirnya volume tanah dapat diperoleh dengan mengalikan luas rata-rata tersebut dengan jarak L dengan kedua ujung (Muda 2008).

$$V = \left(\frac{A_1 + A_2}{2} \right) L \quad (2.6)$$

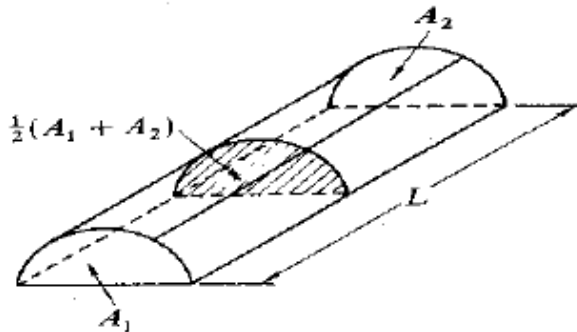
dimana:

V = volume total (m^3)

A_1 = luas penampang 1 (m^2)

A_2 = luas penampang 2 (m^2)

L = jarak antar penampang (m)



Gambar 2.4 Metode Penampang Melintang (Muda 2008)

b. Metode Garis Kontur

Prinsip perhitungan volume ini yaitu menggunakan metode *cut and fill* dengan menghitung luasang dua penampang yaitu penampang atas dan penampang bawah. Luas penampang didapatkan dari luas rata-rata pada elevasi tertentu dikali dengan *interval* kontur. Hasil akhir adalah jumlah hitungan volume di setiap intervalnya (Umaryono 1989).

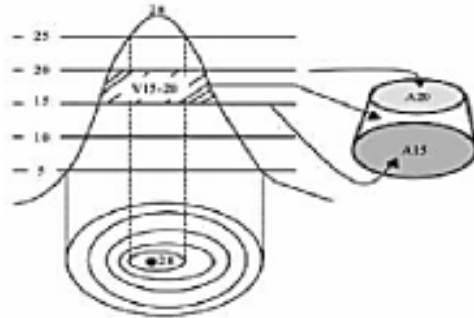
$$V = \left(\frac{A_1 + A_2 + \dots + A_n}{n} \right) \times ((n - 1) \times d) \quad (2.7)$$

dimana:

V = volume total (m^3)

A_1, A_2, A_n = luas penampang 1, 2 dan n (m^2)

d = interval kontur (m)



Gambar 2.5 Metode Kontur (Umaryono 1989)

c. Metode Ketinggian Sama (*Grid*)

Perhitungan volume menggunakan metode ketinggian sama (*grid*) sering disebut dengan metode *borrow pit*. Volume didapatkan dengan mengalikan tinggi rata-rata pada setiap area bujur sangkar luasan dengan luasan masing-masing kavling. Volume total adalah jumlah volume dari keseluruhan area seperti dibawah ini (Muda 2008):

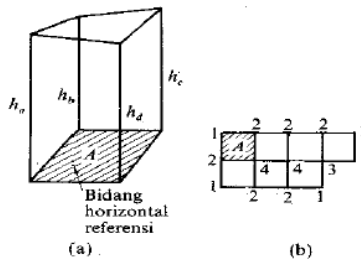
$$V = \frac{A}{4} (1 \times \sum h_1 + 2 \times \sum h_2 + 3 \times \sum h_3 + 4 \sum h_4) \quad (2.8)$$

dimana:

V = volume total (m^3)

h_1, h_2, h_3, h_4 = tinggi yang digunakan untuk menghitung volume (m)

A = luas penampang suatu area (m^2)



Gambar 2.6 Metode Ketinggian Sama (Muda 2008)

2.10 Pelabuhan Tanjung Perak

Studi kasus dalam penelitian ini adalah perairan kolam pelabuhan Tanjung Perak. Pelabuhan Tanjung Perak merupakan salah satu pintu gerbang Indonesia di Kawasan Bagian Timur, karena perannya yang sangat strategis menjadi pusat kolektor dan distributor barang ke Kawasan Timur Indonesia pada umumnya, dan Provinsi Jawa Timur khususnya (Kementerian Perhubungan Republik Indonesia 2019).

Sejak tahun 1990, maka pembangunan Pelabuhan Tanjung Perak dimulai. Selama dilaksanakan pembangunan, banyak permintaan untuk menggunakan kade yang belum seluruhnya selesai itu. Dengan demikian, maka dilaksanakanlah perluasannya. Sejak saat itulah, Pelabuhan Tanjung Perak telah memberikan suatu kontribusi yang cukup besar bagi perkembangan ekonomi dan memiliki peranan yang penting tidak hanya bagi peningkatan lalu lintas perdagangan di Jawa Timur tetapi juga di seluruh Kawasan Timur Indonesia (Kementerian Perhubungan Republik Indonesia 2019).

Dalam masa pembangunan ini, usaha-usaha pengembangan terus dilakukan oleh Pelabuhan Tanjung Perak yang diarahkan pada perluasan dermaga khususnya dermaga kontainer, perluasan dan penyempurnaan berbagai fasilitas yang ada, pengembangan daerah industri di kawasan pelabuhan, pembangunan terminal penumpang dan fasilitas-fasilitas lainnya yang berkaitan dengan perkembangan pelabuhan-pelabuhan modern (Kementerian Perhubungan Republik Indonesia 2019).

Fasilitas yang ada di Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya yaitu Pelayanan air bersih, Bunker, Terminal Jamrud, Terminal Berlian, Terminal Nilam, Terminal Mirah, Terminal Kalimas, Terminal Penumpang, Terminal Ro-Ro, dan Terminal Peti Kemas. Daerah perairannya seluas 1.546.3 Ha dan daerah pelabuhannya seluas 574.7 Ha.

Pelabuhan Tanjung Perak merupakan pelabuhan umum dengan status pengelolaannya adalah diusahakan (Kementerian Perhubungan Republik Indonesia 2019).



Gambar 2.7 Pelabuhan Surabaya dan Gresik (Peta Laut Pushidrosal 2016)

2.11 Penelitian Terdahulu

Penelitian tentang identifikasi ketebalan sedimen dilakukan pada tahun 2018 oleh M. Dwiki Amrullah dari Teknik Geomatika ITS. Dalam penelitian tersebut instrumen yang digunakan untuk mengidentifikasi ketebalan sedimen adalah *Sub Bottom Profiler*. Data lain yang digunakan adalah data pemeruman menggunakan *single beam echosounder* dan data citra dasar laut menggunakan *side scan sonar*. Hasil penelitian menunjukkan ketebalan sedimen di Alur Pelayaran Timur Surabaya sebesar 0,70 m, 3,78 m, 1,07 m, dan 1,62 m. Perbedaan penelitian ini dengan penelitian yang dilakukan M. Dwiki adalah *instrument* yang digunakan, yaitu pada penelitian ini akan menggunakan *single beam echo sounder dual frequency* (Amrullah 2018).

Subarsyah dan M. Yusuf pada tahun 2004 melakukan penelitian tentang pengaruh frekuensi gelombang terhadap resolusi dan delineasi perlapisan sedimen bawah permukaan dari dua instrumen akustik yang berbeda. Hasil akhir dari penelitian ini adalah adanya perbedaan profil dasar sungai yang dihasilkan dari dua instrument yang berbeda frekuensi. Instrumen yang menggunakan frekuensi rendah mampu mendeteksi adanya jurang di dasar sungai sedangkan instrument yang menggunakan frekuensi rendah tidak mendeteksi adanya jurang dibawah sungai. Perbedaan penelitian ini dengan penelitian yang dilakukan oleh Subarsyah dan M Yusuf adalah pada analisis data. Jika pada penelitian Subarsyah dan M Yusuf analisis data digunakan untuk mengetahui perbedaan deteksi profil dasar perairan, pada penelitian ini analisis data digunakan untuk mengetahui ketebalan sedimen (Subarsyah dan Yusuf 2004).

Hollanda Arief Kusuma, dkk pada tahun 2015 melakukan penelitian implementasi *single beam echo sounder dual frequency* untuk eksplorasi di bidang kelautan dan perikanan. Hasil akhir dari penelitian ini adalah nilai intensitas dasar perairan dalam decibel (dB). Perbedaan penelitian ini dengan

penelitian yang dilakukan oleh Hollanda Arief Kusuma dkk adalah pada analisis data. Jika pada penelitian Hollada Arief Kusuma dkk data digunakan untuk mengetahui intensitas dasar perairan untuk mengetahui habitat ikan, pada penelitian ini hasil akhirnya adalah nilai ketebalan sedimen (Kusuma dkk. 2015).

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian

Lokasi yang dijadikan studi kasus pada penelitian ini berada di Pelabuhan Tanjung Perak, Surabaya yang secara geografis terletak pada koordinat $7^{\circ} 11' 56''$ LS - $112^{\circ} 43' 10''$ BT dan $7^{\circ} 12' 31''$ LS - $112^{\circ} 43' 53''$ BT yang ditunjukkan dalam Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Lokasi Penelitian (Peta Laut Pushidrosal 2016)

3.2 Data dan Peralatan

Bagian ini menjelaskan mengenai data dan peralatan yang akan digunakan dalam melaksanakan penelitian

3.2.1 Data

Pada penelitian ini, dibutuhkan beberapa data untuk menunjang pelaksanaan penelitian. Berikut adalah data yang dibutuhkan dalam penelitian ini:

- a. *Raw data* hasil pemeruman *single beam echo sounder dual frequency* daerah Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya

tanggal 30 Agustus sampai dengan 04 September 2018, disurvei oleh PT Pelabuhan Indonesia III (PELINDO III)

- b. Data pasang surut selama proses pemeruman untuk koreksi kedalaman, disurvei oleh PT Pelabuhan Indonesia III (PELINDO III)

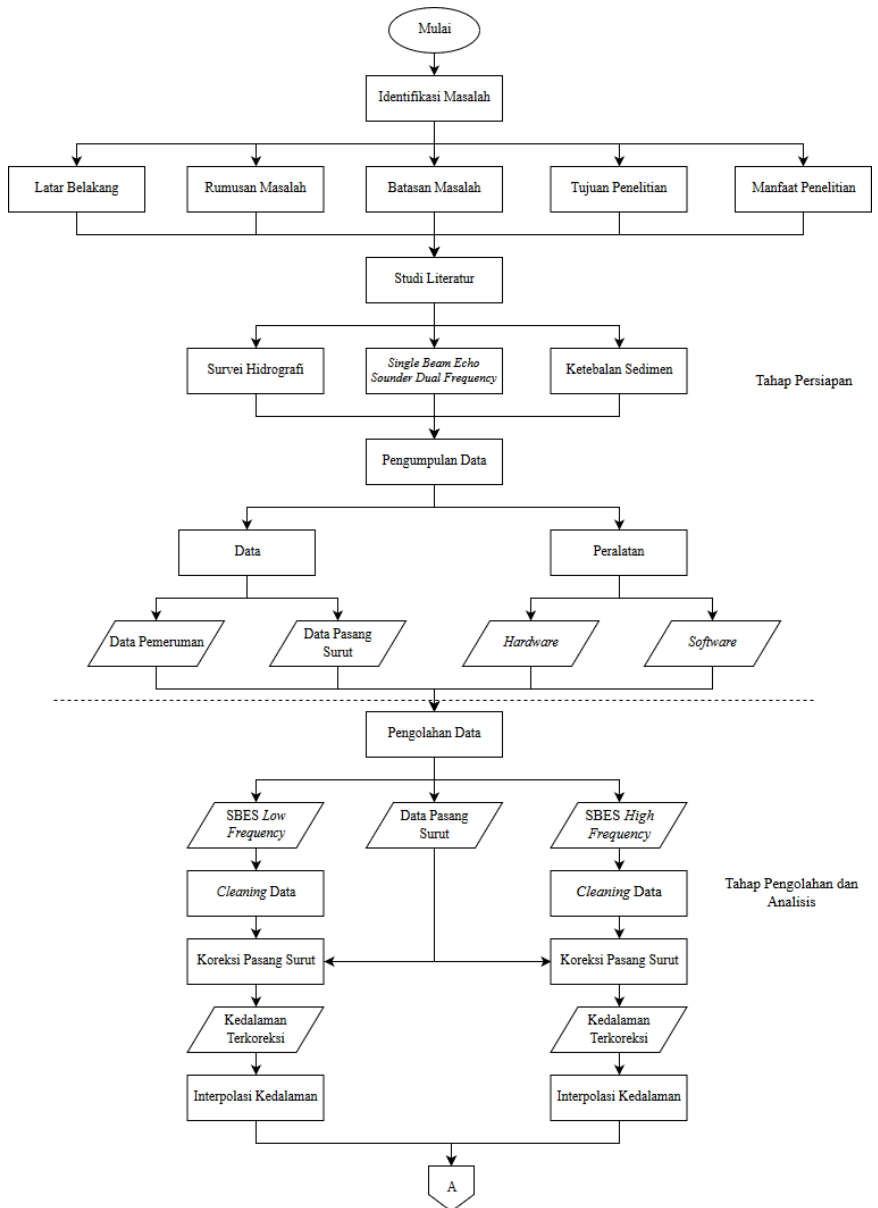
3.2.2 Peralatan

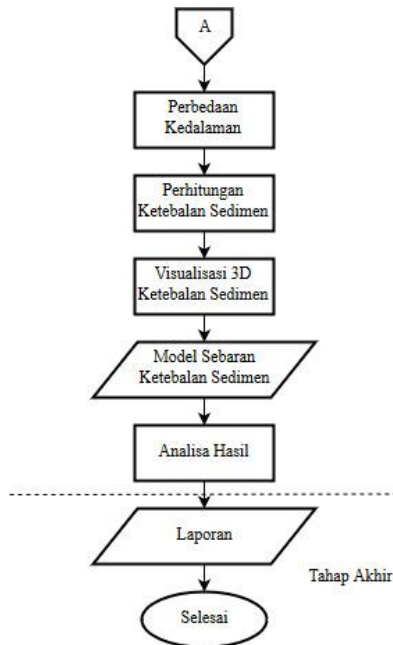
Peralatan yang dibutuhkan dalam penelitian ini terdiri dari beberapa perangkat lunak yaitu:

- a. Perangkat lunak pengolah batimetri untuk *cleaning raw* data pemeruman dan koreksi pasang surut.
- b. Perangkat lunak ArcGIS 10.6, untuk perhitungan ketebalan sedimen dan pembuatan *layout* peta.
- c. Perangkat lunak pengolahan data spasial dan analisa tiga dimensi, untuk visualisasi kedalaman tiga dimensi.
- d. Perangkat lunak perancangan, untuk membuat desain keruk dan perhitungan volume keruk.

3.3 Metodologi Penelitian

Tahapan pekerjaan yang akan dilaksanakan pada penelitian tugas akhir ini terbagi menjadi tiga tahap, yaitu tahap persiapan, tahap pengolahan dan analisis, dan tahap akhir. Pada tahap persiapan, dilakukan identifikasi masalah serta studi literatur sebagai landasan ilmu untuk menyelesaikan permasalahan yang diangkat pada penelitian. Pada tahap pengolahan dan analisis dilakukan pengolahan data yang berkaitan dengan penelitian serta analisis hasil dari pengolahan data yang dilakukan. Sedangkan pada tahap akhir dilakukan finalisasi hasil pengolahan dan penyusunan laporan. Penjelasan lebih lanjut mengenai tahapan penelitian akan dijelaskan pada diagram berikut:





Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian

Berikut adalah penjelasan diagram alir metodologi penelitian:

3.3.1 Tahap Persiapan

a. Identifikasi Masalah

Pada tahap ini dilakukan identifikasi awal mengenai kasus yang akan diteliti, baik berupa perumusan masalah, tujuan dan manfaat identifikasi ketebalan sedimen menggunakan *single beam echo sounder dual frequency* pada Pelabuhan Tanjung Perak tahun 2018.

b. Studi Literatur

Studi literatur berupa mengumpulkan referensi yang akan menunjang langkah-langkah pengolahan sampai pada Analisa. Terkait penelitian ini, diperlukan studi literatur mengenai survei batimetri, metode pengolahan data *single*

beam echosounder dual frequency, interpolasi kedalaman yang digunakan, perhitungan ketebalan sedimen dan penelitian sebelumnya yang dijadikan sebagai acuan.

c. Pengumpulan Data

Pengumpulan data bertujuan untuk mengumpulkan dataset yang diperlukan untuk melakukan penelitian, yaitu data pemeruman menggunakan *single beam echo sounder dual frequency* dan data pengamatan pasang surut selama proses pemeruman.

3.3.2. Tahap Pengolahan dan Analisis

a. *Cleaning* Data

Tahap *cleaning* data adalah tahap yang digunakan untuk menyeleksi data hasil pemeruman. Beberapa *raw* data hasil pemeruman mengandung *noise* yang ditandai dengan adanya titik kedalaman yang nilainya berbeda jauh dengan titik kedalaman yang ada disekitarnya. Pada tahap *cleaning*, data kedalaman yang mengandung *noise* dihilangkan untuk menghasilkan DTM (*Digital Terrain Model*) permukaan dasar laut yang baik. Dalam penelitian ini, koreksi Pythagoras diabaikan karena sensor merekam kedalaman tiap 0,12 detik.

b. Koreksi Pasang Surut

Data pemeruman dikoreksi terhadap data pasang surut sesuai dengan lokasi pemeruman sehingga dihasilkan data kedalaman terkoreksi. Bacaan pasut dilakukan dengan menggunakan alat *Valeport Tide Gauge* yang sebelumnya telah diatur datum vertikal yang digunakan sebagai acuan. Datum vertikal yang digunakan adalah *Low Water Spring* (LWS) yang telah diikatkan BM Pasut Pelindo III. Data bacaan pasut tersebut diinterpolasi per detik untuk koreksi kedalaman yang sesuai dengan waktu perekamannya. Data kedalaman yang telah terkoreksi pasang surut kemudian

di *export* dalam format *.XYZ* untuk proses interpolasi kedalaman.

c. Interpolasi Kedalaman

Data kedalaman yang dihasilkan oleh SBES adalah data titik atau *point*. Oleh karena itu, diperlukan interpolasi kedalaman untuk mengetahui kedalaman secara menyeluruh. Interpolasi menggunakan metode *Inverse Distance Weight* (IDW) dimana interpolasi dilakukan dengan pembobotan yang linear terhadap jarak antar titik yang telah diketahui nilai kedalamannya.

d. Analisa Perbedaan Kedalaman

Ketebalan sedimen dianalisa melalui refleksi sinyal yang dipancarkan oleh *transducer* ke dasar laut. Dengan dua frekuensi sinyal berbeda yang dipancarkan oleh *transducer*, didapatkan dua nilai kedalaman yang berbeda. Hal ini karena frekuensi rendah dapat menembus lapisan sedimen yang lebih dalam. Selisih kedalaman tersebut dapat dilakukan identifikasi ketebalan sedimen.

e. Perhitungan Ketebalan Sedimen

Perhitungan ketebalan sedimen dilakukan dengan cara membuat *grid* pada kedua *surface* hasil interpolasi. Pada penelitian ini, *grid* yang digunakan $5\text{m} \times 5\text{m}$. Dari *grid* tersebut kemudian dilakukan *extract value* untuk mengetahui ketebalan sedimen dari perbedaan nilai kedua *grid* tersebut. Untuk mengetahui volume ketebalan sedimen, dilakukan perhitungan volume menggunakan metode penampang rata-rata dengan jarak antar penampang sebesar 50 meter.

f. Visualisasi 3D Ketebalan Sedimen

Sebaran ketebalan sedimen yang *dioverlay* dengan data batimetri kemudian divisualisasikan secara tiga dimensi untuk mengetahui keterkaitan bentuk topografi permukaan dasar laut dengan ketebalan endapan sedimen.

Pada tahap ini dihasilkan model sebaran ketebalan sedimen permukaan dasar laut.

g. Analisa Hasil

Pada tahap ini, dilakukan analisa terhadap sebaran ketebalan sedimen dan pengaruh ketebalan sedimen terhadap perhitungan volume pengerukan.

3.3.3 Tahap Akhir

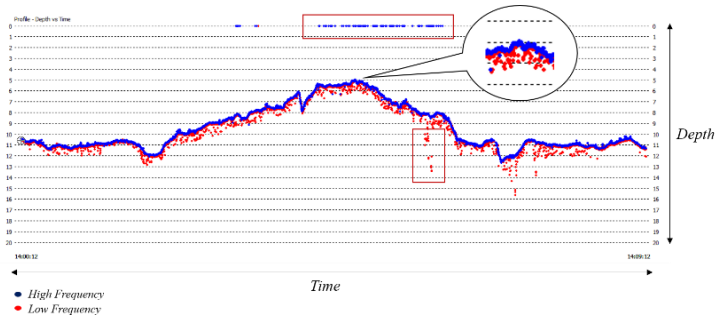
Tahap akhir dalam penelitian Tugas Akhir ini adalah pembuatan laporan penelitian mengenai identifikasi ketebalan sedimen dasar laut menggunakan *single beam echo sounder dual frequensi* pada Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya. Laporan ini mencakup seluruh kegiatan dari proses hingga hasil akhir dari penelitian.

“Halaman ini sengaja dikosongkan.”

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Batimetri Pelabuhan Tanjung Perak

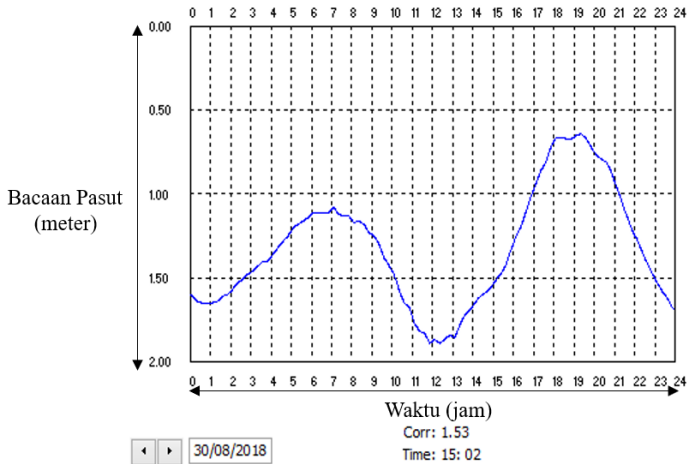
Tahap pertama yang dilakukan dalam pengolahan *raw data* *single beam echo sounder* adalah *cleaning* data. Tahap *cleaning* bertujuan untuk menghilangkan *noise* pada *raw data* untuk menghasilkan gambaran permukaan dasar laut yang baik. *Cleaning* data dilakukan per *raw data*. Jumlah *raw data* sebanyak 115 *raw data* dimana satu *raw data* berisi satu jalur survei. Frekuensi *echo sounder* yang digunakan adalah 38 kHz untuk *low frequency* dan 200 kHz untuk *high frequency* sehingga didapatkan dua nilai kedalaman pada satu titik koordinat. Berikut adalah contoh salah satu *raw data* yang masih mengandung *noise* yang ditandai dengan kotak warna merah.



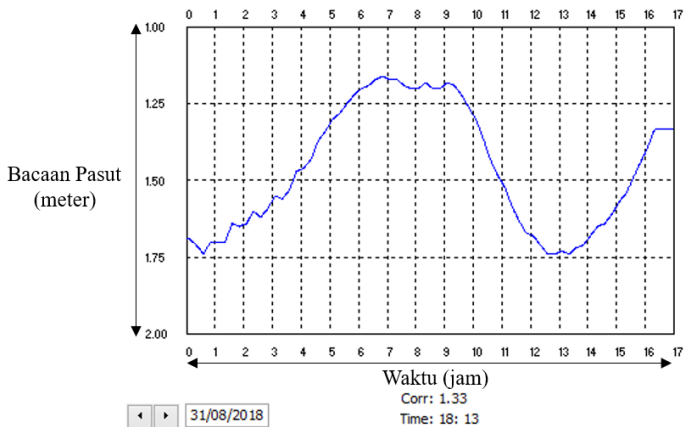
Gambar 4.1 *Raw Data SBES Dual Frequency*

Koreksi selanjutnya pada kedua nilai kedalaman setelah proses *cleaning* adalah koreksi pasang surut yang terikat dengan BM pasang surut PT Pelindo III dengan referensi datum vertikal LWS = 3,288 meter. Pasang surut diamati secara otomatis tiap 15 menit dengan menggunakan alat *valeport tide gauge* yang terletak di dermaga Nilam Timur pada titik koordinat $7^{\circ}12'31.37''$ LS dan $112^{\circ}43'30.44''$ BT.

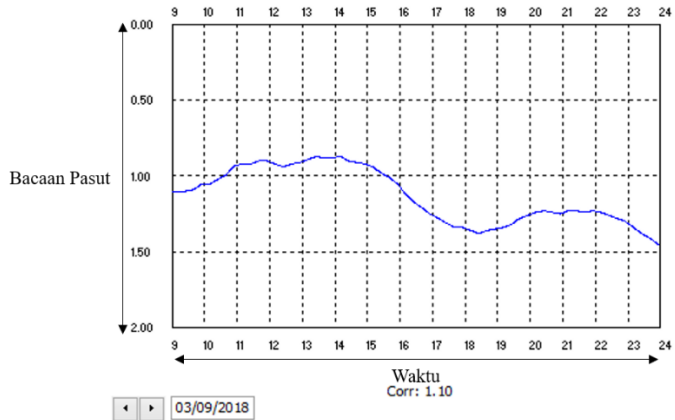
Bacaan pasut hasil pengamatan perlu di interpolasi terlebih dahulu sebelum dapat digunakan untuk koreksi kedalaman karena bacaan pasut dibaca tiap 15 menit sedangkan *single beam echo sounder* yang digunakan merekam kedalaman tiap 0,12 detik. Berikut adalah hasil interpolasi pasut per hari yang digunakan untuk koreksi kedalaman.



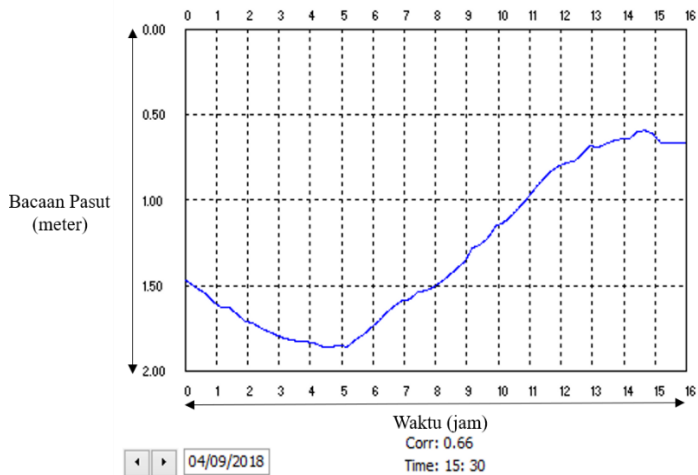
Gambar 4.2 Interpolasi Pasang Surut 30 Agustus 2018



Gambar 4.3 Interpolasi Pasang Surut 31 Agustus 2018



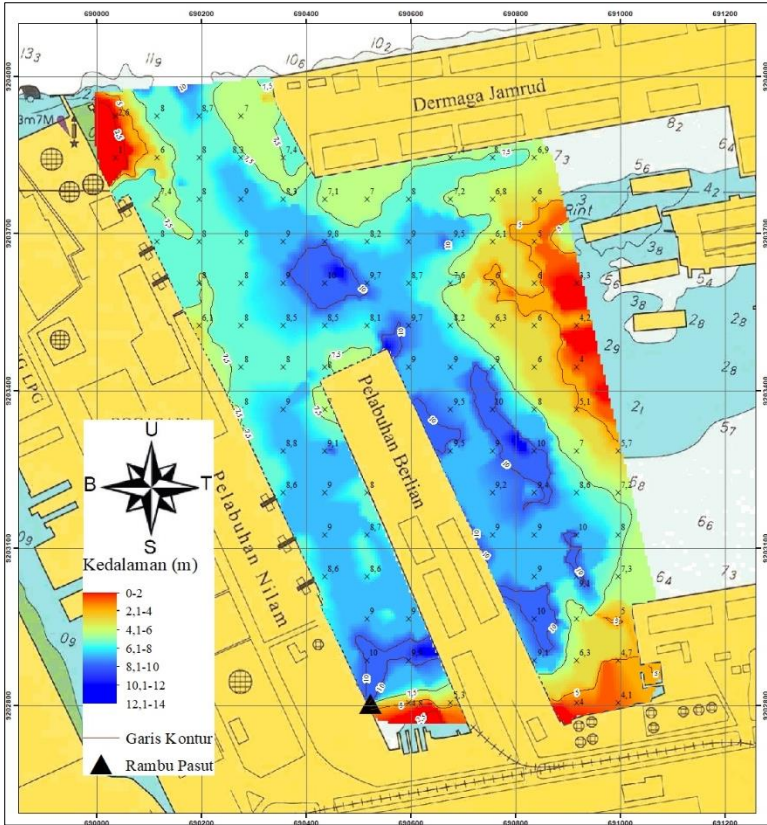
Gambar 4.4 Interpolasi Pasang Surut 03 September 2018



Gambar 4.5 Interpolasi Pasang Surut 04 September 2018

Nilai kedalaman yang sudah terkoreksi kemudian dilakukan interpolasi dengan metode *Inverse Distance Weight* (IDW). Metode IDW secara langsung mengimplementasikan asumsi bahwa sesuatu yang saling berdekatan akan lebih

serupa dibandingkan dengan yang saling berjauhan (Almasi dkk. 2014). Data yang sudah terinterpolasi kemudian di *plotting* kedalam peta laut.



Gambar 4.6 Batimetri Kolam Pelabuhan Tanjung Perak

Data kedalaman yang digunakan untuk menampilkan batimetri kolam pelabuhan adalah data kedalaman dari *single beam echo sounder high frequency* (200 kHz). Hal ini karena *single beam echo sounder high frequency* (200 kHz) dapat menentukan bagian atas lapisan sedimen yang digunakan

sebagai acuan untuk menentukan kedalaman (Geirnaert dkk. 2013). Nilai kedalaman kolam pelabuhan memiliki rentang 0-12,18 meter terhadap LWS sehingga perairan kolam pelabuhan Tanjung Perak dapat dikategorikan sebagai perairan dangkal.

Menurut Standar Nasional Indonesia (SNI) 7646-2010, nilai akurasi kedalaman data *single beam echo sounder high frequency* diatas masuk kedalam orde dua dengan selisih nilai kedalaman antara lajur utama dan lajur silang yang diijinkan 1,015-1,028 meter dan tidak memerlukan *full sea floor search*. Orde dua survei hidrografi diperuntukan di daerah dengan kedalaman kurang dari 200 meter yang tidak termasuk dalam orde khusus maupun orde satu, dan dimana gambaran batimetri secara umum sudah mencukupi untuk meyakinkan bahwa tidak terdapat rintangan di dasar laut yang akan membahayakan tipe kapal yang lewat atau bekerja di daerah tersebut. Untuk perairan yang berada di area pelabuhan seharusnya menggunakan orde khusus, namun pada penelitian ini lebih ditekankan pada ketebalan sedimen. Berikut adalah sampel nilai kedalaman untuk perhitungan akurasi kedalaman *single beam echo sounder high frequency*. Tabel 4.1 Sampel Kedalaman Lajur Utama dan Silang *High Frequency*

| Titik | Easting (m) | Northing (m) | HLU (m) | HLS (m) | Selisih (m) | Orde 2 |
|-------|-------------|--------------|---------|---------|-------------|--------|
| 1 | 690509,49 | 9202921,31 | 10,25 | 10,19 | 0,06 | 1,027 |
| 2 | 690531,54 | 9202966,67 | 8,97 | 8,93 | 0,04 | 1,021 |
| 3 | 690579,41 | 9202995,69 | 9,43 | 9,22 | 0,21 | 1,023 |
| 4 | 690542,04 | 9203025,36 | 8,81 | 8,81 | 0 | 1,020 |
| 5 | 690514,03 | 9203059,81 | 8,38 | 8,38 | 0 | 1,018 |
| 6 | 690466,25 | 9203110,60 | 9,03 | 8,97 | 0,06 | 1,021 |
| 7 | 690421,55 | 9203132,42 | 8,62 | 8,62 | 0 | 1,019 |

| Titik | Easting (m) | Northing (m) | HLU (m) | HLS (m) | Selisih (m) | Orde 2 |
|-------|----------------|-----------------|------------|------------|----------------|--------|
| 8 | 690427,81 | 9203203,17 | 8,93 | 8,85 | 0,08 | 1,021 |
| 9 | 690377,02 | 9203259,58 | 9 | 8,93 | 0,07 | 1,021 |
| 10 | 690314,39 | 9203306,04 | 8,34 | 8,34 | 0 | 1,018 |
| 11 | 690385,50 | 9203323,54 | 8,96 | 8,95 | 0,01 | 1,021 |
| 12 | 690115,12 | 9203957,07 | 7,67 | 7,67 | 0 | 1,015 |
| 13 | 690133,46 | 9203937,40 | 7,71 | 7,69 | 0,02 | 1,016 |
| 14 | 690146,69 | 9203924,43 | 7,81 | 7,81 | 0 | 1,016 |
| 15 | 690183,51 | 9203886,27 | 8,25 | 8,04 | 0,21 | 1,017 |
| 16 | 690235,45 | 9203823,54 | 8,78 | 8,78 | 0 | 1,020 |
| 17 | 690526,06 | 9203545,39 | 8,48 | 8,48 | 0 | 1,019 |
| 18 | 690544,56 | 9203532,05 | 9,28 | 9,17 | 0,11 | 1,022 |
| 19 | 690572,40 | 9203510,67 | 9,83 | 9,83 | 0 | 1,025 |
| 20 | 690574,26 | 9203509,29 | 9,82 | 9,81 | 0,01 | 1,025 |
| 21 | 690757,00 | 9203379,04 | 10,15 | 10,15 | 0 | 1,027 |
| 22 | 690766,89 | 9203364,29 | 9,33 | 9,29 | 0,04 | 1,023 |
| 23 | 690796,42 | 9203325,46 | 10,4 | 10,37 | 0,03 | 1,028 |
| 24 | 690831,39 | 9203227,74 | 10,45 | 10,37 | 0,08 | 1,028 |
| 25 | 690915,52 | 9203152,38 | 8,86 | 8,85 | 0,01 | 1,021 |

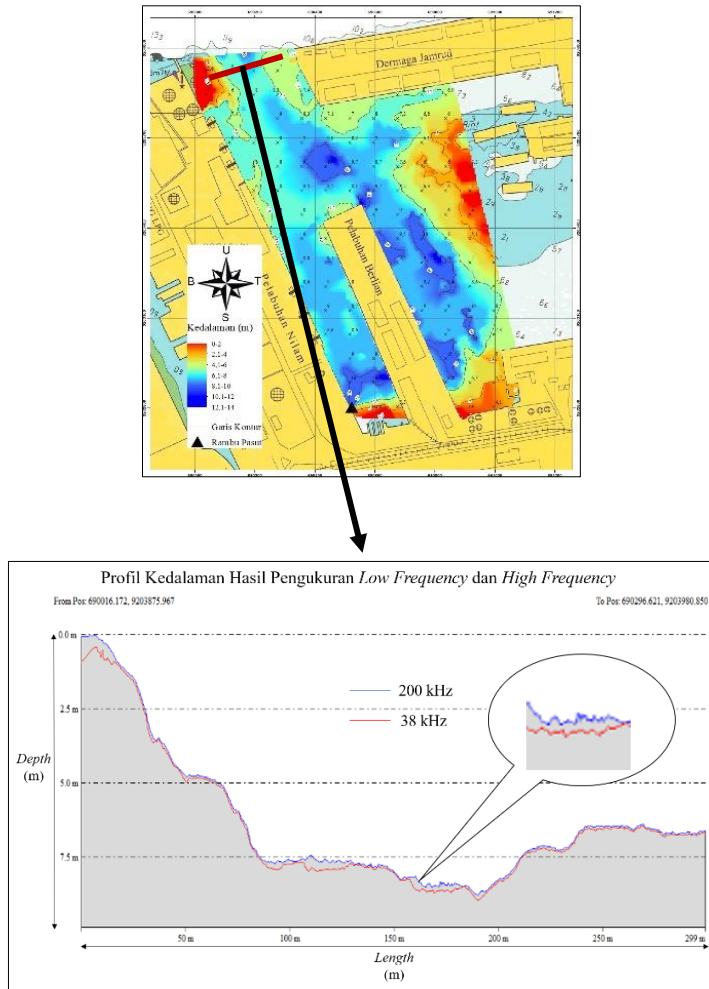
Sedangkan nilai akurasi kedalaman data *single beam echo sounder low frequency* juga masuk pada orde dua dengan selisih nilai kedalaman antara lajur utama dan lajur silang yang diijinkan 1,081 - 1,154 meter dan tidak memerlukan *full sea floor search*. Berikut adalah sampel nilai kedalaman untuk perhitungan akurasi kedalaman *single beam echo sounder low frequency*.

Tabel 4.2 Sampel Kedalaman Lajur Utama dan Silang *Low Frequency*

| Titik | Easting | Northing | Utama | Silang | Selisih | Orde 2 |
|-------|------------|-------------|--------|--------|---------|--------|
| 1 | 690509,490 | 9202921,310 | 10,280 | 10,260 | 0,020 | 1,145 |
| 2 | 690531,540 | 9202966,670 | 9,020 | 8,990 | 0,030 | 1,111 |
| 3 | 690579,410 | 9202995,690 | 9,490 | 9,480 | 0,010 | 1,123 |
| 4 | 690542,040 | 9203025,360 | 8,890 | 8,880 | 0,010 | 1,108 |
| 5 | 690514,030 | 9203059,810 | 8,390 | 8,380 | 0,010 | 1,096 |
| 6 | 690466,250 | 9203110,600 | 9,060 | 9,050 | 0,010 | 1,112 |
| 7 | 690421,550 | 9203132,420 | 8,650 | 8,650 | 0,000 | 1,102 |
| 8 | 690427,810 | 9203203,170 | 9,000 | 8,980 | 0,020 | 1,110 |
| 9 | 690377,020 | 9203259,580 | 9,100 | 9,100 | 0,000 | 1,113 |
| 10 | 690314,390 | 9203306,040 | 8,360 | 8,340 | 0,020 | 1,095 |
| 11 | 690385,500 | 9203323,540 | 9,070 | 9,070 | 0,000 | 1,112 |
| 12 | 690115,120 | 9203957,070 | 7,740 | 7,740 | 0,000 | 1,081 |
| 13 | 690133,460 | 9203937,400 | 8,010 | 8,010 | 0,000 | 1,087 |
| 14 | 690146,690 | 9203924,430 | 7,870 | 7,820 | 0,050 | 1,083 |
| 15 | 690183,510 | 9203886,270 | 8,230 | 8,110 | 0,120 | 1,091 |
| 16 | 690235,450 | 9203823,540 | 8,850 | 8,830 | 0,020 | 1,107 |
| 17 | 690526,060 | 9203545,390 | 8,560 | 8,560 | 0,000 | 1,100 |
| 18 | 690544,560 | 9203532,050 | 9,440 | 9,280 | 0,160 | 1,120 |
| 19 | 690572,400 | 9203510,670 | 9,890 | 9,880 | 0,010 | 1,134 |
| 20 | 690574,260 | 9203509,290 | 9,890 | 9,880 | 0,010 | 1,134 |
| 21 | 690757,000 | 9203379,040 | 10,250 | 10,250 | 0,000 | 1,145 |
| 22 | 690766,890 | 9203364,290 | 9,860 | 9,440 | 0,420 | 1,128 |
| 23 | 690796,420 | 9203325,460 | 10,480 | 10,460 | 0,020 | 1,151 |
| 24 | 690831,390 | 9203227,740 | 10,570 | 10,560 | 0,010 | 1,154 |
| 25 | 690915,520 | 9203152,380 | 8,990 | 8,960 | 0,030 | 1,110 |

4.2 Analisa Perbedaan Kedalaman

Perbedaan respon akustik masing-masing frekuensi yang digunakan menyebabkan deteksi kedalaman yang berbeda. *Single beam echo sounder low frequency* (38 kHz) memiliki kemampuan untuk penetrasi sedimen namun tidak dapat menentukan tingkat kepadatan lapisan sedimen, sehingga memiliki nilai kedalaman lebih dari nilai kedalaman *Single beam echo sounder high frequency* (200 kHz) (Geirnaert dkk 2013). Gambaran topografi permukaan dasar laut yang dihasilkan oleh kedua frekuensi memiliki sedikit perbedaan. Berikut adalah sampel perbedaan deteksi kedalaman dari *low frequency* (38 kHz) dan *high frequency* (200 kHz) dengan melihat perpotongan memanjang dari dua *surface*.



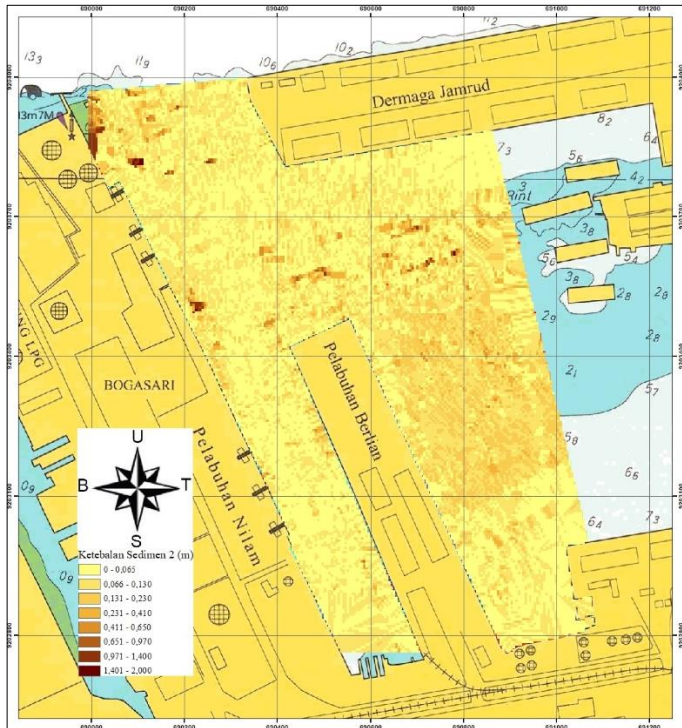
Gambar 4.7 Perbedaan Deteksi Kedalaman

Selisih deteksi kedalaman antara dua frekuensi maksimum adalah sebesar 2,260 meter. Titik ini terletak pada area lembah atau cekungan. Sedangkan selisih deteksi kedalaman minimum adalah sebesar 0 meter, yang artinya kedua

frekuensi mendeteksi nilai kedalaman yang sama. Titik ini terletak pada area miring dan datar. Rata rata perbedaan deteksi kedalaman sebesar 0,094 meter dengan standar deviasi 0,110 meter.

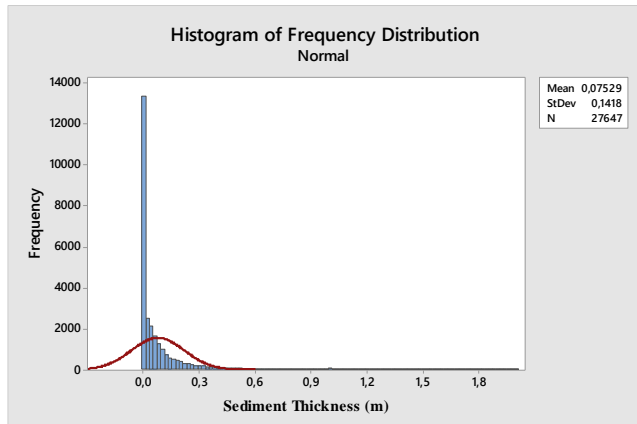
4.3 Sebaran Ketebalan Sedimen

Untuk mengetahui nilai ketebalan sedimen, dilakukan perhitungan selisih kedalaman dari *grid* kedua permukaan dasar laut dengan ukuran $5\text{m} \times 5\text{m}$. Berikut adalah hasil sebaran ketebalan sedimen perairan kolam pelabuhan Tanjung Perak.



Gambar 4.8 Sebaran Ketebalan Sedimen

Dari Gambar 4.8 diketahui nilai ketebalan sedimen maksimum 2,00 meter dan minimum adalah 0 meter. Sedangkan ketebalan sedimen rata-rata adalah 0,075 meter dengan standar deviasi 0,14. Nilai distribusi dari ketebalan sedimen dapat dilihat pada gambar dibawah ini:

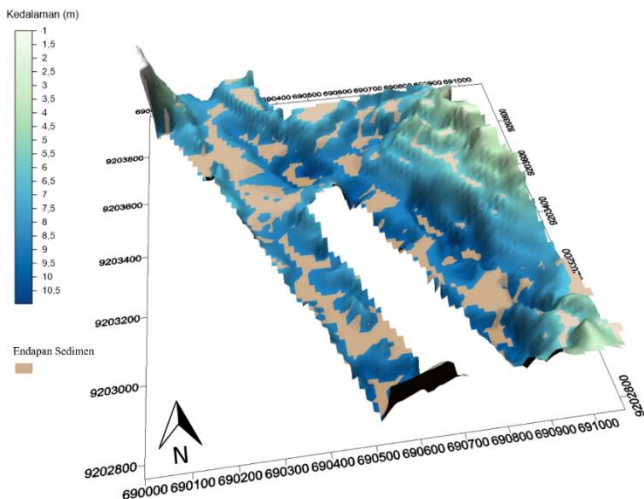


Gambar 4.9 Kurva Distribusi Normal

Pada Gambar 4.9 diketahui bahwa nilai ketebalan sedimen di perairan kolam Pelabuhan Tanjung Perak tidak terdistribusi normal. Hal ini karena banyak terdapat nilai ketebalan sedimen 0 meter dimana dalam ilmu statistik nilai 0 dianggap sebagai data yang tidak memiliki nilai atau *missing value*. Untuk mendapatkan nilai ketebalan sedimen yang terdistribusi normal dapat dilakukan dengan melakukan normalisasi data, namun dalam penelitian ini hal tersebut tidak bisa dilakukan karena akan menghilangkan informasi nilai ketebalan sedimen.

Nilai ketebalan sedimen maksimum terletak pada daerah dengan bentuk topografi lembah atau cekung. Hal ini jumlah sedimen yang masuk terbawa arus dan gerakan kapal tidak sebanding dengan jumlah sedimen yang keluar dan sedimen tidak terkonsolidasi tersebut mengisi bagian yang tidak rata

pada topografi dasar laut mengendap di area tersebut. Sedangkan nilai ketebalan terendah rata rata terletak pada area dengan bentuk topografi curam atau miring dan area datar. Dari plot tiga dimensi persebaran ketebalan sedimen, dapat diketahui bahwa morfologi dasar laut menentukan nilai ketebalan sedimen ketebalan endapan sedimen. Plot tiga dimensi sebaran ketebalan sedimen dapat dilihat pada Gambar 4.10.



Gambar 4.10 Model 3D Ketebalan Sedimen

4.4 Perbedaan Volume Keruk Terhadap Dua Frekuensi

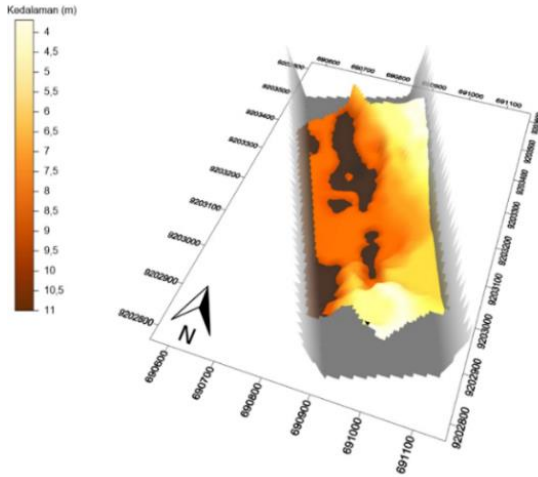
Untuk mengetahui volume ketebalan sedimen dari *single beam echo sounder dual frequency* dilakukan perhitungan volume dengan menggunakan metode penampang melintang dengan jarak antar penampang 50 meter. Alasan pemilihan jarak antar penampang adalah pada jarak 50 meter tersebut perbedaan ketebalan kedalaman terlihat signifikan. Nilai ketebalan sedimen antara dua permukaan dasar laut hasil pengolahan kedalaman sebesar 59784,580 m³ dengan luas

area penelitian 700072,000 m². Nilai ketebalan sedimen tersebut menyebabkan perbedaan volume keruk antara desain keruk terhadap kedua permukaan dasar laut hasil pengolahan kedalaman. Berikut adalah perbedaan volume keruk pada tiap dermaga.

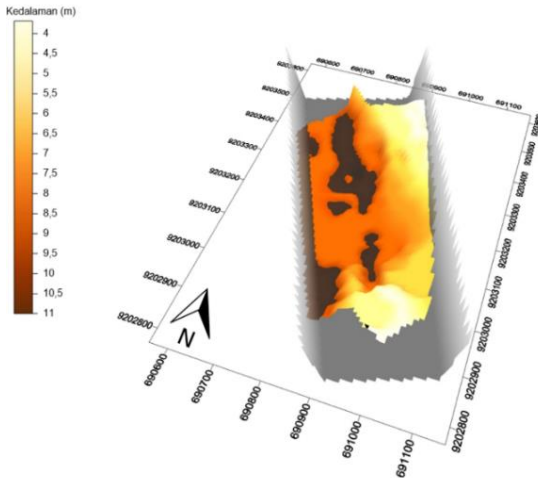
4.4.1 Dermaga Berlian Timur

Dermaga Berlian Timur adalah salah satu dermaga di Pelabuhan Tanjung Perak yang dikelola oleh PT Berlian Jasa Terminal Indonesia yang melayani bongkar muat peti kemas domestik. Dermaga Berlian Timur memiliki panjang 780 m (Berlian Jasa Terminal Indonesia 2019). Dalam penelitian ini rencana kedalaman pada perairan kolam pelabuhan dermaga Berlian Timur adalah 9,5 m terhadap LWS dengan panjang 780 m dan lebar 345,5 m. Volume ketebalan sedimen di perairan kolam pelabuhan dermaga Berlian Timur adalah 20346,31 m³.

Volume keruk pada perairan kolam pelabuhan dermaga Berlian Timur dengan acuan permukaan dasar laut SBES *low frequency* adalah 217069,79 m³. Sementara volume keruk dengan acuan permukaan dasar laut SBES *high frequency* adalah 230144,62 m³. Perbedaan volume keruk antara kedua permukaan yang digunakan sebagai acuan adalah sebesar 13074,83 m³. Selisih antara ketebalan sedimen dan perbedaan volume keruk karena tidak semua endapan sedimen berada diatas desain keruk. Berikut adalah penampang tiga dimensi perbedaan desain pengerukan dengan permukaan acuan SBES *high frequency* dan SBES *low frequency*.



Gambar 4.11 Desain Keruk Berlian Timur *High Frequency*

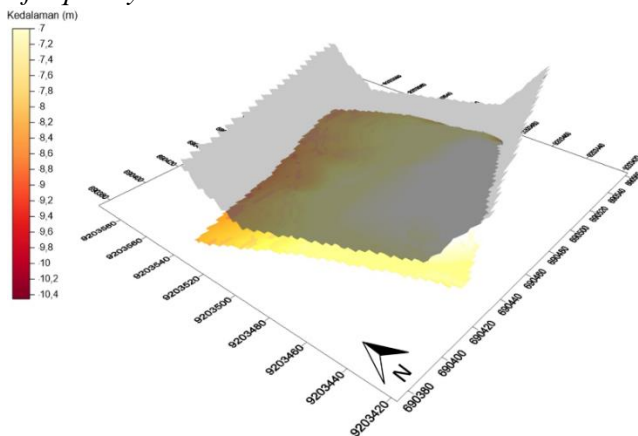


Gambar 4.12 Desain Keruk Berlian Timur *Low Frequency*

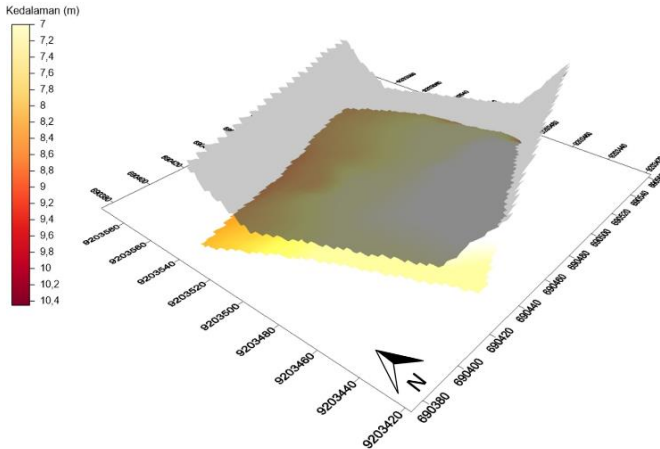
4.4.2 Dermaga Berlian Utara

Dermaga Berlian Utara adalah salah satu dermaga di Pelabuhan Tanjung Perak yang dikelola oleh PT Berlian Jasa Terminal Indonesia yang melayani bongkar muat peti kemas domestik. Dermaga Berlian Utara memiliki panjang 140 m (Berlian Jasa Terminal Indonesia 2019). Dalam penelitian ini rencana kedalaman pada perairan kolam pelabuhan dermaga Berlian Timur adalah 6,0 m terhadap LWS dengan panjang 140 m dan lebar 130 m. Volume ketebalan sedimen di perairan kolam pelabuhan dermaga Berlian Utara adalah 1619,53 m³.

Pada dermaga Berlian Utara tidak perlu dilakukan pengerukan karena kedalaman saat ini, baik yang diukur dengan SBES *high frequency* maupun SBES *low frequency* sudah sesuai dengan kedalaman rencana. Berikut adalah penampang tiga dimensi perbedaan desain pengerukan dengan permukaan acuan SBES *high frequency* dan SBES *low frequency*.



Gambar 4.13 Desain Keruk Berlian Utara *High Frequency*

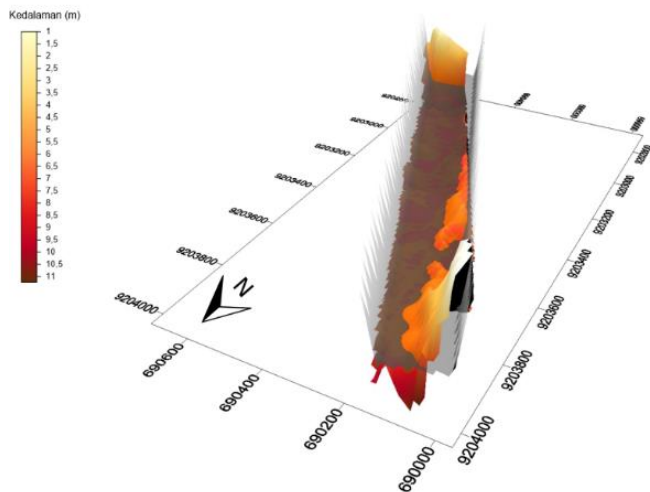


Gambar 4.14 Desain Keruk Berlian Utara *Low Frequency*

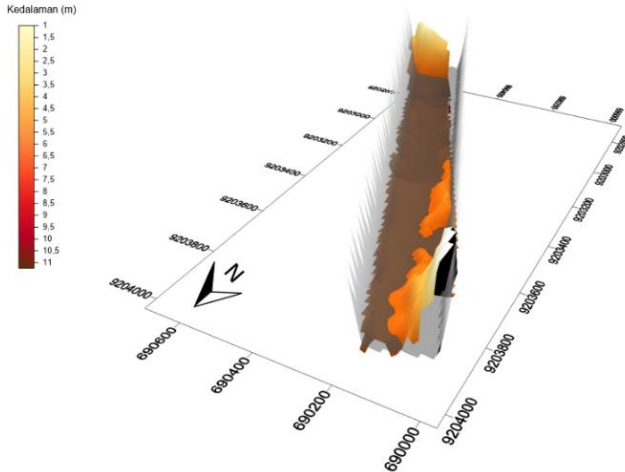
4.4.3 Dermaga Berlian Barat – Nilam Timur

Dermaga Berlian Barat adalah salah satu dermaga di Pelabuhan Tanjung Perak yang dikelola oleh PT Berlian Jasa Terminal Indonesia yang melayani bongkar muat peti kemas domestik. Dermaga Berlian Barat memiliki panjang 700 m (Berlian Jasa Terminal Indonesia 2019). Sedangkan dermaga Nilam Timur adalah salah satu dermaga di Pelabuhan Tanjung Perak yang dikelola oleh PT Pelindo III yang melayani bongkar muat curah. Dermaga Nilam Timur memiliki panjang 920 m (Pelindo III 2019). Dalam penelitian ini rencana kedalaman pada perairan kolam pelabuhan pada sisi dermaga Berlian Barat adalah 7,5 m terhadap LWS dan pada sisi dermaga Nilam Timur 8,0 m terhadap LWS dengan panjang 920 m dan lebar 220 m. Volume ketebalan sedimen di perairan kolam pelabuhan dermaga Nilam Timur – Berlian Barat adalah 16676,14 m³.

Volume keruk pada perairan kolam pelabuhan dermaga Berlian Barat – Nilam Timur dengan acuan permukaan dasar laut SBES *low frequency* adalah 73923,15 m³. Sementara volume keruk dengan acuan permukaan dasar laut SBES *high frequency* adalah 79967,77. Perbedaan volume keruk antara kedua permukaan yang digunakan sebagai acuan adalah sebesar 6044,62 m³. Selisih antara ketebalan sedimen dan perbedaan volume keruk karena tidak semua endapan sedimen berada diatas desain keruk. Berikut adalah penampang tiga dimensi perbedaan desain pengerukan dengan permukaan acuan SBES *high frequency* dan SBES *low frequency*.



Gambar 4.15 Desain Keruk Berlian Barat – Nilam Timur
High Frequency



Gambar 4.16 Desain Keruk Berlian Barat – Nilam Timur *Low Frequency*

Perbedaan volume keruk pada masing-masing dermaga dapat dilihat di Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Perbedaan Volume Pengerukan

| No. | Dermaga | Elevasi Rencana (LWS) | Area Pengerukan (m ²) | | Volume Keruk (m ³) | |
|-----|---------------|-----------------------|-----------------------------------|-----------------------|--------------------------------|-----------------------|
| | | | <i>Low Frequency</i> | <i>High Frequency</i> | <i>Low Frequency</i> | <i>High Frequency</i> |
| 1 | Nilam Timur | 8,0 m | 242349 | 242349 | 73923,15 | 79967,77 |
| 2 | Berlian Barat | 7,5 m | | | | |
| 3 | Berlian Utara | 6,0 m | 18889 | 18889 | 0 | 0 |
| 4 | Berlian Timur | 9,5 m | 236581 | 236581 | 217069,79 | 230144,62 |

Perbedaan volume material yang akan dikeruk mempengaruhi jumlah biaya yang dibutuhkan untuk pekerjaan pengerukan. Volume material yang dikeruk pada permukaan *low frequency* lebih kecil daripada volume material yang dikeruk pada permukaan *high frequency*. Hal ini dikarenakan pada permukaan *high frequency* lebih dangkal daripada permukaan *low frequency*.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian tentang identifikasi ketebalan sedimen dasar laut yang dilakukan di Pelabuhan Tanjung Perak, Surabaya menggunakan *single beam echo sounder dual frequency* menghasilkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Lokasi penelitian merupakan perairan digolongkan sebagai perairan dangkal. Hal ini dapat dilihat dari nilai kedalaman yang berkisar 0-12,8 m terhadap LWS.
2. Perbedaan nilai kedalaman yang dideteksi oleh SBES *low frequency* (38 kHz) dan *high frequency* (200 kHz) berbeda-beda pada setiap titik. Selisih deteksi kedalaman maksimal adalah 2,260 meter dan minimal adalah 0 meter.
3. Ketebalan endapan sedimen dasar laut dipengaruhi oleh kondisi morfologi dasar laut. Ketebalan endapan sedimen maksimal adalah 2,000 m. Endapan ini terletak di area dengan morfologi cekung. Sedangkan ketebalan endapan sedimen paling kecil adalah 0 m atau daerah tersebut tidak ada endapan sedimen yang terdeteksi. Endapan ini terletak pada area dengan bentuk topografi curam atau miring.
4. Volume ketebalan endapan sedimen secara keseluruhan adalah 59784,580 m³. Perbedaan permukaan dasar laut yang dihasilkan oleh kedua frekuensi menyebabkan perbedaan volume material yang harus dikeruk terhadap desain pengerukan. Volume material pengerukan yang mengacu pada permukaan dasar laut yang dihasilkan oleh SBES *high frequency* lebih besar daripada volume material pengerukan yang mengacu pada permukaan dasar laut yang dihasilkan oleh SBES *low frequency*.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan untuk pengembangan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui jenis sedimen permukaan dasar laut yang terdeteksi oleh SBES *dual frequency* sebaiknya dilakukan pengolahan *raw data echogram* agar dapat mengetahui kekuatan sinyal hambur balik dari sedimen.
2. Untuk memvalidasi jenis sedimen permukaan dasar laut sebaiknya dilakukan pengambilan sampel sedimen dengan menggunakan *grab sampler*.
3. Untuk mengetahui tingkat kepadatan sedimen yang terdeteksi oleh SBES *dual frequency* sebaiknya dilakukan uji penetrometer karena jika hanya menggunakan SBES *dual frequency* tidak dapat diketahui nilai kepadatan sedimen.

DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, Z. 2005. "Penentuan Posisi Dengan Receiver GPS Satu Frekuensi, Status dan Permasalahannya". Bandung: ITB.
- Almasi, A., Jalalia, A., Toomanian, N. 2014. "Using OK and IDW Methods For Prediction The Spatial Variability Of A Horizon Depth and OM in Soils of Shahrekord". Iran: Journal of Environment and Earth Science, Vol.4, No 15
- Amrullah, Muhammad Dwiki. 2018. "Analisis Data Sub Bottom Profiler Untuk Identifikasi Ketebalan Sedimen". Surabaya: ITS.
- Arifin, Hutagol dan Hanafi. 2003. "Pendangkalan Alur di Pelayaran di Pelabuhan Pulau Baai Bengkulu". Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Kelautan
- Badan Standarisasi Nasional.2010. "SNI Survei Hidrografi Menggunakan Singlebeam Echosounder". Jakarta: BSN.
- Buchanan, L. A. 2005. "Using a Dual Frequency Echo Sounder For the Determination of Suspended Sediment in the Water Column." *Western Dredging Association, CDS Report No.507.*
- Delefortrie, Guillaume, M Vantorre, and E Laforce. 2005. "Revision of the Nautical Bottom Concept in Zeebrugge Based on the Manoeuvrability of Deep-Drafted Container Ships." *Dredging: The Extremes: CEDA Dredging Days 2005, Rotterdam, the Netherlands, 2-4 November 2005: Proceedings*, [1-14].
- Garrison, T. 2015. "Oceanography: An Invitation to Marine Science. 5ed." USA: Thomson Learning , Inc.

- Geirnaert, K., P. Staelens, S. Deprez, A. Noordijk, and A. van Hassent. 2003. "Innovative Free Fall Sediment Profiler For Preparing And Evaluating Dredging Works And Determining The Nautical Depth." *Wodcon Xx* 31 (0): 624.
- Guochang Xu. 2010. "*Sciences of Geodesy - I: Advances and Future Directions*". Edited by Guochang Xu. Germany: Springer.
- Humas BJTIPTORT. 2018. "Dermaga Terminal Berlian PT Berlian Jasa Terminal Indonesia" URL:<http://www.bjtiport.co.id>. Dikunjungi Pada 04 Juni 2019, Jam 23.00
- IHO. 2008. "*IHO Standards for Hydrographic Survey*". Monaco: International Hydrographic Bureau.
- Muda, Iskandar. 2008. "Teknik Survei dan Pemetaan". Jakarta: Departemen Pendidikan Nasional
- Kementrian Perhubungan Republik Indonesia. 2019. "Sejarah Singkat Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya", URL:<http://dephub.go.id/org/ksutanjungperak/sejarah>. Dikunjungi Pada 07 Mei 2019, Jam 20.00.
- Khatib, Anwar, Yolly Adriati, dan Angga Endy Wahyudi. 2013. "Analisis Sedimentasi Dan Alternatif Penanganannya Di Pelabuhan Selat Baru Bengkalis." *Konferensi Nasional Teknik Sipil* 77 (Sedimentasi): 24–26.
- Kusuma, Hollanda Arief dkk. 2015. "“Pengolahan Data Echosounder Single Beam Dual Frequency Dengan Menggunakan Matlab.”" *Pengelolaan Sumber Daya Kelautan Dan Perikanan Wilayah Pesisir Dan Pulau-Pulau Kecil Berkelanjutan Menuju Kedaulatan Maritim*, no. November: 63–70.

- NovAtel Inc, . 2015. “*An Introduction to GNSS GPS, GLONASS, BeiDou, Galileo and Other Global Navigation Satellite Systems* NovAtel”. <URL: <https://www.novatel.com/assets/Documents/Books/Intro-to-GNSS.pdf>> diakses pada: 11 Mei 2019.
- Parkinson BW. 1996. “Echosounder: Theory and Applications, Chap. 1: Introduction and Heritage of NAVSTAR, the Global Positioning System”. Washington DC: American Institute of Aeronautics and Astronautics.
- Pasaribu, Junita Monika, and Nanik Suryo Haryani. 2012. “Perbandingan Teknik Interpolasi Dem Srtm Dengan Metode Inverse Distance Weighted (Idw), Natural Neighbor Dan Spline (Comparison of Dem Srtm Interpolation Techniques Using Inverse Distance Weighted (Idw), Natural Neighbor and Spline Method).” *Jurnal Penginderaan Jauh* 9 (2): 126–39.
- Pelindo III. 2019. “Peta Pelabuhan” URL:<http://www.pelindo.co.id>. Dikunjungi Pada 04 Juni 2019, Jam 23.30
- Pemerintah Republik Indonesia. 2001. Peraturan Pemerintah No.69 Tahun 2001 Pasal 1 ayat 1 Tentang Kepelabuhanan. Jakarta
- Poerbandono dan Djunasjah. 2005. “Survei Hidrografi”. Bandung: Refika Aditama.
- Pusat Pemetaan Kelautan dan Kedirgantaraan. 2004. “NPPSS Survei Hidrografi”. Bogor: BAKORSURTANAL
- Rochmandi. 1992. “Alat-alat Berat dan Penggunaannya”. Semarang: Pelita.

- Seibold, E., dan Berger, W. H. 1993. "*The Seafloor*". New York: Springer-Verlag.
- Soeprapto. 2000. "*Survey Hidrografi*". Yogyakarta: Hand-Out Kuliah Jurusan Teknik Geodesi UGM.
- Urick, Robert J. 1983. "*Principles of Underwater Sound, 3rd Edition*" New York: McGraw-Hill.
- Umaryono. 1989. "Pengukuran Topografi". Bandung: Institut Teknologi Bandung
- US Army. 2002. "Single Beam Acoustic Depth Measurement Techniques." *Engineering and Design - Hydrographic Surveying*, 9-1-9-46. <URL: <https://www.amazon.com/Engineering-Design-Hydrographic-Surveying-1110-2-1003/dp/1780397429>> diakses pada: 19 November 2018.
- Yusuf, M dan Subarsyah. 2012. "Pengaruh Frekuensi Gelombang Terhadap Resolusi Di Sungai Saguling". Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Kelautan

LAMPIRAN

Lampiran 1. Peta Batimetri Pelabuhan Tanjung Perak

Peta Batimetri Pelabuhan Tanjung Perak terlampir di laporan ini.

Lampiran 2. Peta Sebaran Ketebalan Sedimen

Peta Sebaran Ketebalan Sedimen terlampir di laporan ini.

Lampiran 3. Tabel Perhitungan Ketelitian Pemeruman *Single Beam Echo Sounder High Frequency*

| No. | Koordinat (m) | | Kedalaman (m) | | | | |
|-----|---------------|-------------|---------------|--------|---------|-----------|-----------|
| | Easting | Northing | Utama | Silang | Selisih | Rata-rata | Toleransi |
| 1 | 690509.490 | 9202921.310 | 10.250 | 10.190 | 0.060 | 10.220 | 1.027 |
| 2 | 690531.540 | 9202966.670 | 8.970 | 8.930 | 0.040 | 8.950 | 1.021 |
| 3 | 690579.410 | 9202995.690 | 9.430 | 9.220 | 0.210 | 9.325 | 1.023 |
| 4 | 690542.040 | 9203025.360 | 8.810 | 8.810 | 0.000 | 8.810 | 1.020 |
| 5 | 690514.030 | 9203059.810 | 8.380 | 8.380 | 0.000 | 8.380 | 1.018 |
| 6 | 690466.250 | 9203110.600 | 9.030 | 8.970 | 0.060 | 9.000 | 1.021 |
| 7 | 690421.550 | 9203132.420 | 8.620 | 8.620 | 0.000 | 8.620 | 1.019 |
| 8 | 690427.810 | 9203203.170 | 8.930 | 8.850 | 0.080 | 8.890 | 1.021 |
| 9 | 690377.020 | 9203259.580 | 9.000 | 8.930 | 0.070 | 8.965 | 1.021 |
| 10 | 690314.390 | 9203306.040 | 8.340 | 8.340 | 0.000 | 8.340 | 1.018 |
| 11 | 690385.500 | 9203323.540 | 8.960 | 8.950 | 0.010 | 8.955 | 1.021 |
| 12 | 690115.120 | 9203957.070 | 7.670 | 7.670 | 0.000 | 7.670 | 1.015 |
| 13 | 690133.460 | 9203937.400 | 7.710 | 7.690 | 0.020 | 7.700 | 1.016 |
| 14 | 690146.690 | 9203924.430 | 7.810 | 7.810 | 0.000 | 7.810 | 1.016 |
| 15 | 690183.510 | 9203886.270 | 8.250 | 8.040 | 0.210 | 8.145 | 1.017 |
| 16 | 690235.450 | 9203823.540 | 8.780 | 8.780 | 0.000 | 8.780 | 1.020 |
| 17 | 690526.060 | 9203545.390 | 8.480 | 8.480 | 0.000 | 8.480 | 1.019 |

| No. | Koordinat (m) | | Kedalaman (m) | | | | |
|-----|---------------|-------------|---------------|--------|---------|-----------|-----------|
| | Easting | Northing | Utama | Silang | Selisih | Rata-rata | Toleransi |
| 18 | 690544.560 | 9203532.050 | 9.280 | 9.170 | 0.110 | 9.225 | 1.022 |
| 19 | 690572.400 | 9203510.670 | 9.830 | 9.830 | 0.000 | 9.830 | 1.025 |
| 20 | 690574.260 | 9203509.290 | 9.820 | 9.810 | 0.010 | 9.815 | 1.025 |
| 21 | 690757.000 | 9203379.040 | 10.150 | 10.150 | 0.000 | 10.150 | 1.027 |
| 22 | 690766.890 | 9203364.290 | 9.330 | 9.290 | 0.040 | 9.310 | 1.023 |
| 23 | 690796.420 | 9203325.460 | 10.400 | 10.370 | 0.030 | 10.385 | 1.028 |
| 24 | 690831.390 | 9203227.740 | 10.450 | 10.370 | 0.080 | 10.410 | 1.028 |
| 25 | 690915.520 | 9203152.380 | 8.860 | 8.850 | 0.010 | 8.855 | 1.021 |
| 26 | 690865.210 | 9202833.050 | 6.260 | 6.260 | 0.000 | 6.260 | 1.010 |
| 27 | 690901.970 | 9202859.080 | 6.440 | 6.440 | 0.000 | 6.440 | 1.011 |
| 28 | 690865.210 | 9202833.050 | 6.260 | 6.260 | 0.000 | 6.260 | 1.010 |
| 29 | 690845.630 | 9202836.690 | 5.910 | 5.900 | 0.010 | 5.905 | 1.009 |
| 30 | 690886.890 | 9202893.540 | 8.820 | 8.320 | 0.500 | 8.570 | 1.019 |
| 31 | 690853.050 | 9202907.890 | 9.780 | 9.770 | 0.010 | 9.775 | 1.025 |
| 32 | 690875.420 | 9202918.590 | 9.700 | 9.690 | 0.010 | 9.695 | 1.025 |
| 33 | 690836.300 | 9202935.550 | 9.170 | 9.170 | 0.000 | 9.170 | 1.022 |
| 34 | 690863.620 | 9202945.200 | 9.990 | 9.990 | 0.000 | 9.990 | 1.026 |
| 35 | 690887.860 | 9202961.560 | 9.460 | 9.180 | 0.280 | 9.320 | 1.023 |
| 36 | 690829.300 | 9202957.300 | 10.450 | 10.310 | 0.140 | 10.380 | 1.028 |
| 37 | 690850.250 | 9202972.750 | 10.840 | 10.690 | 0.150 | 10.765 | 1.030 |
| 38 | 690896.600 | 9202990.470 | 7.510 | 7.390 | 0.120 | 7.450 | 1.015 |
| 39 | 690901.570 | 9203015.170 | 7.610 | 7.610 | 0.000 | 7.610 | 1.015 |
| 40 | 690828.980 | 9203013.740 | 10.410 | 10.100 | 0.310 | 10.255 | 1.027 |
| 41 | 690906.090 | 9203052.240 | 9.550 | 9.550 | 0.000 | 9.550 | 1.024 |
| 42 | 690823.440 | 9203024.380 | 9.310 | 9.170 | 0.140 | 9.240 | 1.022 |
| 43 | 690907.820 | 9203062.580 | 10.290 | 10.250 | 0.040 | 10.270 | 1.028 |
| 44 | 690811.220 | 9203045.060 | 8.850 | 8.840 | 0.010 | 8.845 | 1.020 |

| No. | Koordinat (m) | | Kedalaman (m) | | | | |
|-----|---------------|-------------|---------------|--------|---------|-----------|-----------|
| | Easting | Northing | Utama | Silang | Selisih | Rata-rata | Toleransi |
| 45 | 690912.180 | 9203116.470 | 9.000 | 9.000 | 0.000 | 9.000 | 1.021 |
| 46 | 690913.070 | 9203129.500 | 10.030 | 10.010 | 0.020 | 10.020 | 1.026 |
| 47 | 690974.660 | 9203166.120 | 8.490 | 8.470 | 0.020 | 8.480 | 1.019 |
| 48 | 690788.990 | 9203085.130 | 8.760 | 8.760 | 0.000 | 8.760 | 1.020 |
| 49 | 690783.580 | 9203085.120 | 8.610 | 8.590 | 0.020 | 8.600 | 1.019 |
| 50 | 690787.410 | 9203087.950 | 8.810 | 8.780 | 0.030 | 8.795 | 1.020 |
| 51 | 690791.490 | 9203090.780 | 9.030 | 9.010 | 0.020 | 9.020 | 1.021 |
| 52 | 690915.550 | 9203152.670 | 8.930 | 8.920 | 0.010 | 8.925 | 1.021 |
| 53 | 690774.850 | 9203105.720 | 8.800 | 8.750 | 0.050 | 8.775 | 1.020 |
| 54 | 690776.680 | 9203106.430 | 8.950 | 8.790 | 0.160 | 8.870 | 1.021 |
| 55 | 690912.630 | 9203178.050 | 8.460 | 8.450 | 0.010 | 8.455 | 1.019 |
| 56 | 690966.620 | 9203223.160 | 7.370 | 7.330 | 0.040 | 7.350 | 1.014 |
| 57 | 690768.730 | 9203126.260 | 8.970 | 8.940 | 0.030 | 8.955 | 1.021 |
| 58 | 690807.600 | 9203145.000 | 9.250 | 9.160 | 0.090 | 9.205 | 1.022 |
| 59 | 690910.070 | 9203193.670 | 8.320 | 8.270 | 0.050 | 8.295 | 1.018 |
| 60 | 9203252.800 | 9203252.800 | 6.510 | 6.510 | 0.000 | 6.510 | 1.011 |
| 61 | 691012.350 | 9203315.910 | 4.890 | 4.840 | 0.050 | 4.865 | 1.006 |
| 62 | 690990.210 | 9203311.250 | 4.560 | 4.520 | 0.040 | 4.540 | 1.005 |
| 63 | 690953.680 | 9203284.980 | 5.910 | 5.910 | 0.000 | 5.910 | 1.009 |
| 64 | 690904.970 | 9203228.950 | 7.880 | 7.820 | 0.060 | 7.850 | 1.016 |
| 65 | 690814.760 | 9203168.340 | 9.850 | 9.830 | 0.020 | 9.840 | 1.025 |
| 66 | 690742.910 | 9203166.390 | 9.170 | 9.090 | 0.080 | 9.130 | 1.022 |
| 67 | 690753.610 | 9203170.820 | 9.630 | 9.580 | 0.050 | 9.605 | 1.024 |
| 68 | 690825.480 | 9203201.660 | 8.970 | 8.950 | 0.020 | 8.960 | 1.021 |
| 69 | 690903.620 | 9203249.750 | 7.760 | 7.750 | 0.010 | 7.755 | 1.016 |
| 70 | 690922.340 | 9203271.010 | 6.840 | 6.840 | 0.000 | 6.840 | 1.012 |
| 71 | 690949.430 | 9203298.960 | 6.050 | 6.030 | 0.020 | 6.040 | 1.010 |
| 72 | 690989.730 | 9203347.830 | 3.960 | 3.950 | 0.010 | 3.955 | 1.004 |

| No. | Koordinat (m) | | Kedalaman (m) | | | | |
|-----|---------------|-------------|---------------|--------|---------|-----------|-----------|
| | Easting | Northing | Utama | Silang | Selisih | Rata-rata | Toleransi |
| 73 | 690745.610 | 9203175.240 | 9.220 | 9.210 | 0.010 | 9.215 | 1.022 |
| 74 | 690750.180 | 9203179.910 | 9.620 | 9.600 | 0.020 | 9.610 | 1.024 |
| 75 | 690777.870 | 9203199.430 | 9.570 | 9.560 | 0.010 | 9.565 | 1.024 |
| 76 | 690831.540 | 9203228.270 | 10.410 | 10.400 | 0.010 | 10.405 | 1.028 |
| 77 | 690901.760 | 9203264.090 | 7.340 | 7.330 | 0.010 | 7.335 | 1.014 |
| 78 | 690954.610 | 9203282.210 | 5.900 | 5.880 | 0.020 | 5.890 | 1.009 |
| 79 | 690949.610 | 9203298.230 | 5.980 | 5.960 | 0.020 | 5.970 | 1.009 |
| 80 | 690898.020 | 9203284.820 | 7.280 | 7.270 | 0.010 | 7.275 | 1.014 |
| 81 | 690818.880 | 9203243.790 | 10.480 | 10.470 | 0.010 | 10.475 | 1.029 |
| 82 | 690778.100 | 9203200.090 | 9.620 | 9.560 | 0.060 | 9.590 | 1.024 |
| 83 | 690748.630 | 9203183.880 | 9.600 | 9.600 | 0.000 | 9.600 | 1.024 |
| 84 | 690975.070 | 9203354.610 | 3.910 | 3.900 | 0.010 | 3.905 | 1.004 |
| 85 | 690941.660 | 9203326.700 | 5.750 | 5.750 | 0.000 | 5.750 | 1.009 |
| 86 | 690924.520 | 9203314.390 | 6.120 | 6.080 | 0.040 | 6.100 | 1.010 |
| 87 | 690893.610 | 9203305.680 | 6.770 | 6.760 | 0.010 | 6.765 | 1.012 |
| 88 | 690855.150 | 9203289.020 | 9.890 | 9.870 | 0.020 | 9.880 | 1.025 |
| 89 | 690818.560 | 9203245.820 | 10.150 | 10.120 | 0.030 | 10.135 | 1.027 |
| 90 | 690777.420 | 9203198.510 | 9.630 | 9.600 | 0.030 | 9.615 | 1.024 |
| 91 | 690741.990 | 9203206.110 | 9.610 | 9.610 | 0.000 | 9.610 | 1.024 |
| 92 | 690718.140 | 9203201.490 | 8.530 | 8.520 | 0.010 | 8.525 | 1.019 |
| 93 | 690819.490 | 9203280.960 | 10.480 | 10.470 | 0.010 | 10.475 | 1.029 |
| 94 | 690855.310 | 9203289.360 | 9.840 | 9.820 | 0.020 | 9.830 | 1.025 |
| 95 | 690893.480 | 9203305.640 | 6.770 | 6.760 | 0.010 | 6.765 | 1.012 |
| 96 | 690899.810 | 9203285.930 | 7.110 | 7.110 | 0.000 | 7.110 | 1.013 |
| 97 | 690923.480 | 9203314.100 | 6.070 | 6.050 | 0.020 | 6.060 | 1.010 |
| 98 | 690941.930 | 9203325.530 | 5.810 | 5.800 | 0.010 | 5.805 | 1.009 |
| 99 | 690989.460 | 9203347.150 | 3.920 | 3.920 | 0.000 | 3.920 | 1.004 |
| 100 | 690975.710 | 9203353.100 | 3.840 | 3.830 | 0.010 | 3.835 | 1.004 |

| No. | Koordinat (m) | | Kedalaman (m) | | | | |
|-----|---------------|-------------|---------------|--------|---------|-----------|-----------|
| | Easting | Northing | Utama | Silang | Selisih | Rata-rata | Toleransi |
| 101 | 690976.990 | 9203371.330 | 3.660 | 3.660 | 0.000 | 3.660 | 1.004 |
| 102 | 690933.380 | 9203365.040 | 5.100 | 5.100 | 0.000 | 5.100 | 1.007 |
| 103 | 690911.690 | 9203353.030 | 5.600 | 5.600 | 0.000 | 5.600 | 1.008 |
| 104 | 690891.400 | 9203341,55 | 6.390 | 6.380 | 0.010 | 6.385 | 1.011 |
| 105 | 690869.470 | 9203321.680 | 7.360 | 7.320 | 0.040 | 7.340 | 1.014 |
| 106 | 690818.610 | 9203280.110 | 10.490 | 10.490 | 0.000 | 10.490 | 1.029 |
| 107 | 690740.840 | 9203204.850 | 9.640 | 9.640 | 0.000 | 9.640 | 1.024 |
| 108 | 690718.850 | 9203201.430 | 8.610 | 8.600 | 0.010 | 8.605 | 1.019 |
| 109 | 690809.010 | 9203306.820 | 10.750 | 10.720 | 0.030 | 10.735 | 1.030 |
| 110 | 690890.460 | 9203367.310 | 5.960 | 5.950 | 0.010 | 5.955 | 1.009 |
| 111 | 690924.340 | 9203401.580 | 5.210 | 5.200 | 0.010 | 5.205 | 1.007 |
| 112 | 690898.240 | 9203397.590 | 5.060 | 5.050 | 0.010 | 5.055 | 1.007 |
| 113 | 690888.310 | 9203391.280 | 6.050 | 6.040 | 0.010 | 6.045 | 1.010 |
| 114 | 690867.650 | 9203383.020 | 5.910 | 5.890 | 0.020 | 5.900 | 1.009 |
| 115 | 690796.690 | 9203325.660 | 10.370 | 10.340 | 0.030 | 10.355 | 1.028 |
| 116 | 690721.190 | 9203255.090 | 8.970 | 8.960 | 0.010 | 8.965 | 1.021 |
| 117 | 690697.360 | 9203242.390 | 8.280 | 8.270 | 0.010 | 8.275 | 1.018 |
| 118 | 690689.400 | 9203255.250 | 8.280 | 8.250 | 0.030 | 8.265 | 1.018 |
| 119 | 690712.530 | 9203279.870 | 9.170 | 9.150 | 0.020 | 9.160 | 1.022 |
| 120 | 690790.140 | 9203333.330 | 9.950 | 9.400 | 0.550 | 9.675 | 1.024 |
| 121 | 690861.390 | 9203385.360 | 5.670 | 5.660 | 0.010 | 5.665 | 1.008 |
| 122 | 690887.470 | 9203404.740 | 5.370 | 5.260 | 0.110 | 5.315 | 1.007 |
| 123 | 690896.050 | 9203412.250 | 4.780 | 4.770 | 0.010 | 4.775 | 1.006 |
| 124 | 690893.630 | 9203419.270 | 4.650 | 4.650 | 0.000 | 4.650 | 1.006 |
| 125 | 690886.050 | 9203412.830 | 5.150 | 5.150 | 0.000 | 5.150 | 1.007 |
| 126 | 690852.490 | 9203388.300 | 5.650 | 5.640 | 0.010 | 5.645 | 1.008 |
| 127 | 690698.690 | 9203314.130 | 9.610 | 9.600 | 0.010 | 9.605 | 1.024 |
| 128 | 690698.010 | 9203315.650 | 9.490 | 9.480 | 0.010 | 9.485 | 1.024 |

| No. | Koordinat (m) | | Kedalaman (m) | | | | |
|-----|---------------|-------------|---------------|--------|---------|-----------|-----------|
| | Easting | Northing | Utama | Silang | Selisih | Rata-rata | Toleransi |
| 129 | 690834.790 | 9203393.870 | 5.950 | 5.950 | 0.000 | 5.950 | 1.009 |
| 130 | 690882.130 | 9203431.160 | 5.290 | 5.260 | 0.030 | 5.275 | 1.007 |
| 131 | 690901.870 | 9203453.240 | 4.180 | 4.170 | 0.010 | 4.175 | 1.005 |
| 132 | 690892.660 | 9203455.650 | 4.380 | 4.350 | 0.030 | 4.365 | 1.005 |
| 133 | 690879.610 | 9203446.580 | 5.310 | 5.280 | 0.030 | 5.295 | 1.007 |
| 134 | 690878.730 | 9203454.930 | 5.430 | 5.420 | 0.010 | 5.425 | 1.008 |
| 135 | 690811.790 | 9203403.960 | 6.760 | 6.750 | 0.010 | 6.755 | 1.012 |
| 136 | 690835.390 | 9203393.650 | 5.960 | 5.950 | 0.010 | 5.955 | 1.009 |
| 137 | 690766.620 | 9203364.180 | 9.310 | 9.310 | 0.000 | 9.310 | 1.023 |
| 138 | 690757.720 | 9203378.470 | 10.130 | 10.130 | 0.000 | 10.130 | 1.027 |
| 139 | 690688.740 | 9203335.340 | 9.610 | 9.600 | 0.010 | 9.605 | 1.024 |
| 140 | 690682.800 | 9203348.150 | 9.490 | 9.480 | 0.010 | 9.485 | 1.024 |
| 141 | 690674.570 | 9203367.520 | 9.740 | 9.720 | 0.020 | 9.730 | 1.025 |
| 142 | 690735.430 | 9203410.550 | 9.640 | 9.640 | 0.000 | 9.640 | 1.024 |
| 143 | 690768.920 | 9203422.770 | 7.980 | 7.970 | 0.010 | 7.975 | 1.017 |
| 144 | 690878.380 | 9203474.360 | 4.560 | 4.540 | 0.020 | 4.550 | 1.005 |
| 145 | 690878.360 | 9203490.910 | 5.690 | 5.680 | 0.010 | 5.685 | 1.009 |
| 146 | 690743.650 | 9203431.090 | 9.960 | 9.960 | 0.000 | 9.960 | 1.026 |
| 147 | 690725.880 | 9203425.100 | 10.450 | 10.430 | 0.020 | 10.440 | 1.028 |
| 148 | 690666.380 | 9203390.870 | 9.660 | 9.660 | 0.000 | 9.660 | 1.024 |
| 149 | 690725.700 | 9203425.050 | 10.450 | 10.430 | 0.020 | 10.440 | 1.028 |
| 150 | 690715.050 | 9203440.210 | 9.570 | 9.530 | 0.040 | 9.550 | 1.024 |
| 151 | 690659.410 | 9203412.000 | 8.760 | 8.760 | 0.000 | 8.760 | 1.020 |
| 152 | 690701.050 | 9203458.750 | 8.830 | 8.820 | 0.010 | 8.825 | 1.020 |
| 153 | 690698.230 | 9203461.690 | 8.850 | 8.840 | 0.010 | 8.845 | 1.020 |
| 154 | 690692.250 | 9203470.120 | 8.760 | 8.750 | 0.010 | 8.755 | 1.020 |
| 155 | 690654.950 | 9203429.340 | 8.350 | 8.340 | 0.010 | 8.345 | 1.018 |
| 156 | 690646.130 | 9203453.330 | 8.330 | 8.290 | 0.040 | 8.310 | 1.018 |

| No. | Koordinat (m) | | Kedalaman (m) | | | | |
|-----|---------------|-------------|---------------|--------|---------|-----------|-----------|
| | Easting | Northing | Utama | Silang | Selisih | Rata-rata | Toleransi |
| 157 | 690692.120 | 9203470.040 | 8.760 | 8.750 | 0.010 | 8.755 | 1.020 |
| 158 | 690635.590 | 9203486.650 | 9.160 | 9.160 | 0.000 | 9.160 | 1.022 |
| 159 | 690635.790 | 9203494.290 | 8.990 | 8.980 | 0.010 | 8.985 | 1.021 |
| 160 | 690665.940 | 9203505.990 | 8.410 | 8.300 | 0.110 | 8.355 | 1.018 |
| 161 | 690666.320 | 9203505.730 | 8.410 | 8.380 | 0.030 | 8.395 | 1.018 |
| 162 | 690612.490 | 9203479.370 | 9.540 | 9.490 | 0.050 | 9.515 | 1.024 |
| 163 | 690610.890 | 9203480.390 | 9.570 | 9.560 | 0.010 | 9.565 | 1.024 |
| 164 | 690596.620 | 9203491.210 | 9.820 | 9.810 | 0.010 | 9.815 | 1.025 |
| 165 | 690580.650 | 9203504.140 | 9.720 | 9.720 | 0.000 | 9.720 | 1.025 |

“Halaman ini sengaja dikosongkan.”

BIODATA PENULIS



Ayustin Dian Pratiwi, dilahirkan di Ngawi, 04 Maret 1997. Merupakan anak tunggal dari pasangan Bapak Agus Padmianto dan Ibu Suprpti. Penulis menempuh pendidikan formal di SDN Simo, SMPN 1 Kwadungan dan SMAN 2 Ngawi. Setelah lulus dari SMA penulis melanjutkan studi S1 Departemen Teknik Geomatika, Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember pada tahun 2015 melalui jalur SNMPTN. Terdaftar sebagai mahasiswa aktif dengan NRP 0331154000032. Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif dalam organisasi Unit Kegiatan Mahasiswa Pramuka ITS (UKM Pramuka ITS) sebagai Sekretaris, Mahasiswa Penanggulangan Bencana ITS (MAHAGANA ITS) sebagai Kepala Divisi Kapasitas dan Sumber Daya Anggota, dan Himpunan Mahasiswa Geomatika (HIMAGE-ITS) sebagai Kepala Biro Keprofesian serta acara-acara yang diselenggarakan baik oleh departemen, fakultas maupun kampus ITS. Penulis telah melakukan magang di BPN Ngawi dan kerja praktik di PT Pelindo III (Persero). Untuk menyelesaikan studi Tugas Akhir, penulis memilih bidang keahlian Geomarine dengan spesifikasi bidang Hidrografi dengan judul “Identifikasi Ketebalan Sedimen Dasar Laut menggunakan *Single Beam Echo Sounder Dual Frequency* (Studi Kasus: Pelabuhan Tanjung Perak, Surabaya)”.

