TUGAS AKHIR – RM184831

ANALISIS PERBANDINGAN DATA BATIMETRI *MULTIBEAM ECHOSOUNDER* DAN *SINGLEBEAM ECHOSOUNDER* DI PERAIRAN PELABUHAN GRESIK

ISMAIL SAPUTRO
NRP 03311640000042

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

DEPARTEMEN TEKNIK GEOMATIKA
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumian
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020

TUGAS AKHIR – RM184831

ANALISIS PERBANDINGAN DATA BATIMETRI *MULTIBEAM ECHOSOUNDER* DAN *SINGLEBEAM ECHOSOUNDER* DI PERAIRAN PELABUHAN GRESIK

ISMAIL SAPUTRO
NRP 03311640000042

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

DEPARTEMEN TEKNIK GEOMATIKA
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumian
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

TUGAS AKHIR – RM184831

COMPARATIVE ANALYSIS OF MULTIBEAM ECHOSOUNDER AND SINGLEBEAM ECHOSOUNDER BATHYMETRIC DATA IN GRESIK PORT WATERS

ISMAIL SAPUTRO
NRP 03311640000042

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

GEOMATICS ENGINEERING DEPARTEMENT
Faculty of Civil, Planning, and Geo Engineering
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

ANALISIS PERBANDINGAN DATA BATIMETRI *MULTIBEAM ECHOSOUNDER* DAN *SINGLEBEAM ECHOSOUNDER* DI PERAIRAN PELABUHAN GRESIK

Mahasiswa : Ismail Saputro
NRP : 03311640000042
Departemen : Teknik Geomatika FTSPK-ITS
Pembimbing : 1. Khomsin, S.T., M.T.
2. Danar Guruh Pratomo, S.T., M.T., Ph.D.

Abstrak

Pelabuhan Gresik, Jawa Timur adalah pelabuhan yang memiliki letak sangat strategis karena terdapat beberapa industri besar seperti Kawasan Industri Gresik (KIG), Kawasan Berkah Murni Karya Sejahtera, Kawasan Maspion dan pabrik lainnya. Kondisi ini membuat kebutuhan untuk mendapat informasi dasar perairan yang baik dan teliti sangat penting. Informasi batimetri merupakan salah satu parameter penting manajemen pelabuhan.

Dewasa ini, terdapat beberapa penggunaan teknologi pengumpulan data batimetri yang cukup populer yaitu teknologi *multibeam echosounder* (MBES) dan *singlebeam echosounder* (SBES). Pada kenyataan di lapangan kedua alat survei tersebut memberikan data kedalaman yang terkadang tidak sama. Pada penelitian ini dilakukan perbandingan data batimetri MBES dan SBES yang diambil pada waktu dan tempat yang sama.

Berdasarkan hasil uji perbandingan kedalaman antara data batimetri SBES dan MBES menggunakan uji statistik dengan uji Z diperoleh nilai Z_0 yaitu 0,018 m. Nilai Z_0 tersebut lebih kecil dibandingkan dengan Z tabel untuk tingkat kepercayaan 95% yaitu dalam rentang $-1{,}96 < Z_0 < 1{,}96$. Artinya, data tersebut memiliki kualitas yang baik, yaitu masuk dalam toleransi IHO 1a. Perbandingan selisih permukaan SBES

dan MBES memperoleh nilai volume *cut* yaitu 79793,82 m^3, lebih besar dari volume *fill* yaitu 21078,81 m^3. Ini berarti data SBES memiliki kedalaman rata-rata yang lebih dangkal daripada data MBES. Perbedaan volume dengan referensi kedalaman 15m dengan area 220985,95 m^2 adalah 23617 m^3. Hal ini menunjukan bahwa dalam area seluas 1 m^2 memiliki selisih volume 0,11 m^3.

Kata Kunci: SBES, MBES, Perbandingan Data

COMPARATIVE ANALYSIS OF MULTIBEAM ECHOSOUNDER AND SINGLEBEAM ECHOSOUNDER BATHYMETRIC DATA IN GRESIK PORT WATERS

Name : Ismail Saputro
NRP : 03311640000042
Departement : Teknik Geomatika FTSPK-ITS
Supervisor : 1. Khomsin, S.T., M.T.
2. Danar Guruh Pratomo, S.T., M.T., Ph.D.

Abstract

Gresik Port, East Java, is a port that has a very strategic location because there are several large industries such as the Gresik Industrial Estate (KIG), the Karya Sejahtera Blessing Area, the Maspion Area, and other factories. This condition makes the need to obtain excellent and accurate necessary water information vital. Bathymetry information is an essential parameter of port management.

Today, there are several kinds of bathymetry data accuisition technology, multibeam echosounder (MBES) and singlebeam echosounder (SBES). Yet, these two bathymetric survey instruments tools may not provide the same depth. This study compared the bathymetry data derived from MBES and SBES which were collected at the same time and place.

Based on the results, the depth comparison test between the SBES and MBES shows the Z_0 of statistical Z test is 0.018 m. This Z_0 value is smaller than the Z table for the 95% confidence level, which ranges $-1.96 < Z_0 < 1.96$. This means that the data has a good quality, which is within IHO 1a standard. The comparison between the SBES and MBES surfaces reveals the cut volume is 79793.82 m^3, this is greater that the fill volume, which is 21078.81 m^3. This means the SBES data has shallower average depths than the MBES data. The volume difference with

the depth reference of 15m inside the area of 220985.95 m^2 is 23617 m^3. This means inside the area of 1m^2 has a volume difference of 0.11 m^3.

Keywords: SBES, MBES, Data Comparison

ANALISIS PERBANDINGAN DATA BATIMETRI *MULTIBEAM ECHOSOUNDER* DAN *SINGLEBEAM ECHOSOUNDER* DI PERAIRAN PELABUHAN GRESIK

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Program Studi S-1 Teknik Geomatika
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumian

Oleh :
ISMAIL SAPUTRO
NRP.03311640000042

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

Khomsin, S.T., M.T. ( )
19750705 200012 1 0001

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

SURABAYA, AGUSTUS 2020

KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN, DAN KEBUMIAN
DEPARTEMEN TEKNIK GEOMATIKA

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Tuhan Yang Maha Esa atas segala limpahan rahmat, taufiq, dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan judul **"Analisis Perbandingan Data Batimetri *Multibeam Echosounder* dan *Singlebeam Echosounder* Di Perairan Pelabuhan Gresik"** ini dengan baik dan lancar.

Laporan Tugas Akhir ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat untuk menyelesaikan studi dan memperoleh gelar sarjana di Departemen Teknik Geomatika, Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumian, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Penulis menyampaikan terimakasih dan penghargaan sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantu, mendukung, dan memberikan kontribusi hingga Tugas Akhir ini dapat diselesaikan kepada:

1. Kedua orang tua dan segenap keluarga Penulis yang senantiasa memberikan dukungan baik spiritual maupun material.
2. Bapak Danar Guruh Pratomo, S.T., M.T., Ph.D. selaku Kepala Departemen Teknik Geomatika ITS dan dosen pembimbing penulis.
3. Bapak Khomsin, S.T., M.T. yang membimbing penulis dalam menyelesaikan tugas akhir.
4. Ibu Made Yuni Christina selaku Pembimbing Magang PMMB di PT. Pelindo III yang telah memberikan ijin untuk melakukan penelitian tugas akhir di lingkungan perusahaan.
5. Karyawan dari Managemen Pemeliharaan dan Survei di PT. Pelindo III yaitu Mas Rozi, Mas Wawan, Mas Syafril, Mas Bagas, Mas Bekti dan Mas Novan yang telah banyak memberi pelajaran selama penelitian dan magang di lingkungan perusahaan.

6. Teman Bahagia terutama (Anis, Amel, Bagus, Muarif dan Metika) yang selalu menghibur dan memberi semangat untuk menyelesaikan TA.
7. Seluruh rekan seperjuangan Teknik Geomatika ITS angkatan 2016 (G18) yang telah membantu dan berjuang selama 4 tahun ini.

Penulis menyadari masih terdapat kekurangan dalam pembuatan tugas akhir ini. Oleh karena itu, kritik dan saran dari pembaca sangat kami harapkan untuk perbaikan laporan ini. Penulis berharap semoga laporan ini bisa bermanfaat, khususnya bagi penulis dan bagi pembaca umumnya.

Surabaya, 30 Juli 2020

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN iii
KATA PENGANTAR xi
DAFTAR ISI..... xiii
DAFTAR GAMBAR.....xv
DAFTAR TABEL xvii
DAFTAR LAMPIRAN xix
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 3
BAB II LANDASAN TEORI 5
2.1 Survei Batimetri 5
2.1.1 Pemeruman 5
2.1.2 Pasang Surut 8
2.1.3 Koreksi dan Reduksi Data Kedalaman.....11
2.1.4 *Global Positioning System (GPS)* 14
2.2 *Singlebeam Echosounder* 16
2.2.1 Prinsip Kerja 16
2.2.2 Kalibrasi 18
2.3 *Multibeam Echosounder*..... 19
2.3.1 Prinsip Kerja 20
2.3.2 Kalibrasi 22
2.4 Klasifikasi dan Ketelitian Survei.....28
2.5 Lajur Pemeruman.....30
2.5.1 Lajur Perum Utama 30
2.5.2 Lajur Perum Silang.....31
2.5.3 Lajur Perum Tambahan 31
2.6 Uji Kualitas Data 32
2.7 Uji Perbandingan 34

2.8 Perhitungan Volume 35
2.9 Penelitian Sebelumnya 38
BAB III METODOLOGI PENGERJAAN 39
3.1 Lokasi Penelitian..... 39
3.2 Data dan Peralatan 40
3.2.1 Data..... 40
3.2.2 Peralatan..... 41
3.3 Metodologi Penelitian 41
BAB IV PELAKSANAAN PENGERJAAN 44
4.1 Pengolahan Data 45
4.2 Analisis Uji Kualitas dan Uji Perbandingan 47
4.2.1 Uji Kualitas Data SBES 47
4.1.2 Hasil Perbandingan Data *Singlebeam Echosounder* dan *Multibeam Echosounder*. 49
4.3 Analisis Hasil Peta Batimetri..... 51
4.4 Analisis Perbedaan Volume Keruk 55
BAB V PENUTUP 61
5.1 Kesimpulan..... 61
5.2 Saran..... 62
DAFTAR PUSTAKA 63

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Lajur Pemeruman..... 7
Gambar 2. 2 Pasang Purnama dan Pasang Perbani..... 9
Gambar 2. 3 Grafik Tipe Pasang Surut 10
Gambar 2. 4 Koreksi Kedalaman Terukur.....12
Gambar 2. 5 Reduksi Kedalaman ke Bidang Referensi 13
Gambar 2. 6 Penempatan GPS dan Tranduser di Kapal 15
Gambar 2. 7 Diagram *singlebeam echosounder*.....17
Gambar 2. 8 Cakupan *multibeam echosounder*.....20
Gambar 2. 9 Ilustrasi pancaran *Multibeam* sonar untuk mengukur kedalaman dari dasar laut.....21
Gambar 2. 10 Kalibrasi *offset* statik.....23
Gambar 2. 11 *Roll, pitch*, dan *yaw*.....24
Gambar 2. 12 Kesalahan waktu tunggu.....24
Gambar 2. 13 Kesalahan *roll*.....25
Gambar 2. 14 Kesalahan *pitch*.....26
Gambar 2. 15 Kesalahan *Yaw*.....27
Gambar 2. 16 Ilustrasi posisi pada kapal.....28
Gambar 2. 17 Lajur pemeruman silang.....31
Gambar 2. 18 Lajur pemeruman tambahan 32
Gambar 2. 19 Metode *Borrow Pit*.....36
Gambar 2. 20 Metode Kontur.....37
Gambar 2. 21 Metode Penampang Melintang 37
Gambar 3. 1 Lokasi Penelitian.....39
Gambar 3. 2 Diagram Alir Penelitian 42
Gambar 4. 1 *Noise* dalam *Raw* Data SBES 45
Gambar 4. 2 Interpolasi Pasang Surut.....46
Gambar 4. 3 Titik berhimpit antara jalur perum utama dan jalur perum silang 47

Gambar 4. 4 Grafik titik yang berhimpitan antara lajur utama dan lajur silang 48
Gambar 4. 5 Titik bertampalan antara pemeruman SBES dan MBES 50
Gambar 4. 6 Perbedaan Peta Batimetri antara SBES dan MBES 52
Gambar 4. 7 Perbedaan *Surface* 3D antara SBES dan MBES 53
Gambar 4. 8 Peta Perbedaan Kedalaman SBES dan MBES 54
Gambar 4. 9 Pembagian *Cross Section*..... 55
Gambar 4. 10 Sampel *Cross Section* Bagian Utara..... 56
Gambar 4. 11 Sampel *Cross Section* Bagian Selatan .. 56

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Klasifikasi dan Ketelitian Survei IHO.....30
Tabel 2. 2 Orde Survei Menurut IHO.....33
Tabel 3. 1 Kordinat Area Penelitian 40
Tabel 4. 1 Sampel Data XYZ.....46
Tabel 4. 2 Tabel Hasil Perhitungan Uji Kualitas Data *Singlebeam Echosounder* 48
Tabel 4. 3 Tabel Hasil Perbandingan Data *Singlebeam Echosounder* dan *Multibeam Echosounder*. .50
Tabel 4. 4 Volume perbedaan kedalaman *surface* SBES dan MBES.....54
Tabel 4. 5 Perhitungan Volume Sampel *Cross Section* bagian Utara.....57
Tabel 4. 6 Perhitungan Volume Sampel *Cross Section* bagian Selatan.....58
Tabel 4. 7 Perbandingan Volume 59

"Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A DATA KEDALAMAN SINGLEBEAM ECHOSOUNDER 67
LAMPIRAN B DATA KEDALAMAN MULTIBEAM ECHOSOUNDER 67
LAMPIRAN C UJI KUALITAS DATA SBES 67
LAMPIRAN D UJI PERBANDINGAN DATA SBES DAN MBES 67
LAMPIRAN E PETA BATIMETRI SINGLEBEAM ECHOSOUNDER 69
LAMPIRAN F PETA BATIMETRI MULTIBEAM ECHOSOUNDER 71
LAMPIRAN G HASIL SAMPEL CROSS SECTION.....73
LAMPIRAN H PETA SELISIH PEMUKAAN DATA SBES DAN MBES.....83

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia memiliki kondisi georafis yang dua pertiga wilayahnya merupakan laut. Laut merupakan jalur komunikasi untuk kepentingan lalu lintas pelayaran antar pulau, antar negara maupun antar benua baik untuk angkutan penumpang maupun barang di Indonesia. Kondisi ini membuat peran laut sangat penting bagi Indonesia.

Pelabuhan Gresik merupakan pelabuhan yang mempunyai letak yang sangat strategis karena terdapat beberapa industri besar seperti Kawasan Industri Gresik (KIG), Kawasan Industri Maspion, Kawasan Berkah Murni Karya Sejahtera dan pabrik lainnya. Pelabuhan Gresik memiliki dermaga terminal curah kering & *log* dan dermaga 78 untuk melayani kegiatan bongkar muat batubara, kayu *log*, *bag cargo* dan *general cargo*.

Kebutuhan akan informasi sumberdaya alam kelautan menjadi hal yang sangat penting untuk membantu pengelolaan dan pemanfaatan sumberdaya alam baik pada pesisir maupun lepas pantai. Informasi batimetri merupakan salah satu parameter penting dalam kegiatan perencanaan struktur dekat pantai seperti pekerjaan *engineering*, manajemen pelabuhan, penentuan jalur pelayaran, pendeteksian topografi suatu perairan, dan lain sebagainya.

Survei batimetri sebagai bagian dari kegiatan survei hidrografi merupakan suatu kegiatan yang dilakukan untuk memperoleh informasi spasial berupa data kedalaman dan profil dasar laut dalam bentuk peta batimetri. Survei batimetri biasanya membutuhkan peralatan khusus yang berfungsi untuk mendapatkan nilai kedalaman pada suatu perairan.

Dewasa ini, terdapat beberapa penggunaan teknologi untuk memperoleh data batimetri yang cukup populer yaitu teknologi

multibeam echosounder (MBES) dan *singlebeam echosounder* (SBES). Akan tetapi, dalam kondisi di lapangan kedua alat survei batimetri ini tidak dapat memberikan data kedalaman yang sama pada posisi yang sama. Perbedaan SBES dengan MBES sendiri adalah pada jumlah *beam* yang dipancarkan. SBES hanya memiliki satu solusi titik kedalaman sedangkan MBES memiliki solusi banyak kedalaman setiap pancaran gelombang akustik. Pada penelitian ini dilakukan perbandingan data batimetri antara MBES dan SBES yang di akuisisi pada waktu dan tempat yang sama.

Pada penelitian ini penulis akan melakukan analisis data batimetri *multibeam echosounder* dan *singlebeam echosounder*. Pengambilan data survei menggunakan *multibeam echosounder* dan *singlebeam echosounder* dilakukan secara bersama-sama yaitu diwaktu dan tempat yang sama. Sehingga akan didapatkan dua data kedalaman yang berbeda. Selanjutnya perlu dilakukan pengolahan data pada kedua hasil kedalaman untuk memperoleh data kedalaman laut. Hasil penelitian ini diharapkan dapat digunakan acuan dalam perencanaan pengerukan kolam pelabuhan sesuai dengan pedoman teknis pengerukan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang diuraikan, maka dapat dirumuskan permasalahan dalam penelitian sebagai berikut:

1. Bagaimana perbedaan kedalaman antara *singlebeam echosounder* dan *multibeam echosounder*?
2. Bagaimana topografi permukaan dasar perairan Pelabuhan Gresik?
3. Bagaimana pengaruh perhitungan hasil volume pengerukan antara *singlebeam echosounder* dan *multibeam echosounder*?

1.3 Batasan Masalah

Berdasarkan rumusan masalah yang telah dipaparkan di atas, penelitian Tugas Akhir ini dibatasi pada:

1. Penelitian ini akan menggunakan data *singlebeam echosounder* dan *multibeam echosounder*.
2. Lokasi pengujian alat akan dilakukan pada area pelabuhan Gresik yang memiliki kondisi perairan yang tenang.
3. Pengukuran batimetri dilakukan pada waktu dan tempat yang sama.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis data kedalaman antara *singlebeam echosounder* dan *multibeam echosounder*.
2. Menyajikan peta batimetri Pelabuhan Gresik.
3. Mengetahui pengaruh perhitungan hasil volume pengerukan antara *singlebeam echosounder* dan *multibeam echosounder*.

1.5 Manfaat

Tujuan dari penelitian Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Menghasilkan peta batimetri Pelabuhan Gresik untuk mengontrol kedalaman perairan pelabuhan.
2. Menghasilkan analisis data batimetri untuk rekomendasi alat yang akan digunakan untuk melakukan pekerjaan survei.

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

BAB II
LANDASAN TEORI

2.1 Survei Batimetri

Hidrografi merupakan seni, ilmu dan teknik untuk menggambarkan *relief* dasar laut yang mencakup semua unsur, baik unsur alam maupun unsur buatan manusia. Namun seiring perkembangan dan kemajuan teknologi, hidrografi mengalami perluasan arti. Hidrografi bukan lagi sekedar pengukuran dan penentuan posisi saja, tetapi sudah meliputi aktivitas pantai dan proteksi terhadap lingkungan.

Fenomena dasar perairan yang disebut dalam definisi di atas meliputi batimetri atau topografi dasar laut, jenis material dasar laut dan morfologi dasar laut. Data mengenai fenomena dasar perairan dan dinamika badan air diperoleh melalui pengukuran yang kegiatannya disebut sebagai survei hidrografi. Data yang diperoleh dari survei hidrografi kemudian diolah dan disajikan harus memiliki data posisi dalam ruang yang mengacu pada suatu sistem referensi tertentu. Oleh karenanya, posisi suatu objek di atas, di dalam dan di dasar perairan merupakan titik perhatian utama dalam hidrografi (Poerbandono & Djunarsjah 2005).

2.1.1 Pemeruman

Pemeruman atau *echosounding* merupakan salah satu metode pengukuran kedalaman laut dengan menggunakan prinsip pantulan gelombang akustik pada kegiatan survei batimetri. Alat yang digunakan untuk melakukan pengukuran kedalaman laut adalah perum gema atau lebih sering disebut dengan *echosounder*. Perum gema bekerja menggunakan sifat-sifat gelombang akustik yang dipancarkan secara vertikal dari permukaan laut ke dasar laut. Penggunaan gelombang akustik untuk pengukuran-pengukuran bawah air (termasuk pengukuran kedalaman, arus,

dan sedimen) merupakan teknik yang paling populer dalam hidrografi pada saat ini.

Alat perum gema menggunakan prinsip pengukuran jarak dengan memanfaatkan gelombang akustik yang dipancarkan dari *tranduser*. *Tranduser* adalah bagian dari alat perum gema yang mengubah energi listrik menjadi mekanik (untuk membangkitkan gelombang suara) dan sebaliknya. Gelombang akustik tersebut merambat pada medium air dengan cepat rambat yang relatif diketahui atau diprediksi hingga menyentuh dasar perairan dan dipantulkan kembali ke *tranduser*. Alat ini mencatat waktu tempuh gelombang yang dipancarkan dan diterima kembali, serta menggunakan kecepatan gelombang untuk menghitung kedalamannya. Secara sederhana, kedalaman laut didapatkan dengan menggunakan persamaan (2.1) berikut (Yuwono 2005) :

$$D = \frac{v.\Delta t}{2} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2.1)$$

Keterangan:

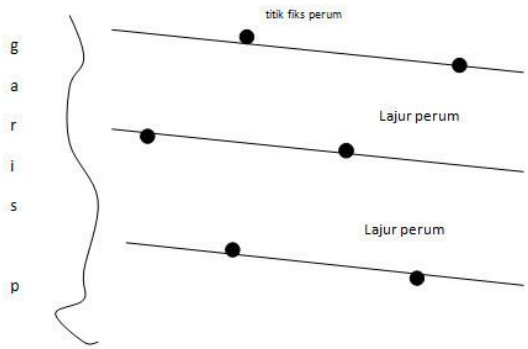
D : kedalaman laut yang terukur (m)

v : cepat rambat gelombang akustik (m/s)

Δt :selang waktu antara gelombang saat dipancarkan dan diterima oleh alat (s)

Pemeruman dilakukan dengan membuat profil (potongan) pengukuran kedalaman. Lajur perum dapat berbentuk garis-garis lurus, lingkaran-lingkaran konsentrik, atau lainnya sesuai metode yang digunakan untuk penentuan posisi titik-titik fiks perumnya. Lajur-lajur perum didesain sedemikian rupa sehingga memungkinkan pendeteksian perubahan kedalaman yang lebih ekstrem.

Untuk itu, desain lajur-lajur perum harus memperhatikan kecenderungan bentuk dan topografi pantai sekitar perairan yang akan disurvei. Agar mampu mendeteksi perubahan kedalaman yang lebih ekstrem lajur perum dipilih dengan arah yang tegak lurus terhadap kecenderungan arah garis pantai (Yuwono 2005).



Gambar 2. 1 Lajur Pemeruman
(Yuwono 2005)

Dari pengukuran kedalaman di titik-titik fiks perum pada lajur-lajur perum yang telah didesain, akan didapatkan sebaran titik-titik fiks perum pada daerah survei yang nilai-nilai pengukuran kedalamannya dapat dipakai untuk menggambarkan batimetri yang diinginkan. Berdasarkan sebaran angka-angka kedalaman pada titik-titik fiks perum itu, batimetri perairan yang disurvei dapat diperoleh dengan menarik garis-garis kontur kedalaman. Penarikan garis kontur kedalaman dilakukan dengan membangun *grid* dari sebaran data kedalaman.

Dari *grid* yang dibangun, dapat ditarik garis-garis yang menunjukkan angka-angka kedalaman yang sama. Teknik yang paling sederhana untuk menarik garis kontur adalah dengan teknik triangulasi menggunakan interpolasi linier. *Grid* dengan interval yang seragam dibangun di atas sebaran titik-titik tersebut. Nilai kedalaman di setiap titik-titik *grid* dihitung berdasarkan tiga titik kedalaman terdekat dengan pembobotan menurut jarak. Dari angka-angka kedalaman di setiap titik-titik *grid*, dapat dihubungkan dari titik-titik yang mempunyai nilai kedalaman yang sama (Lurton 2002).

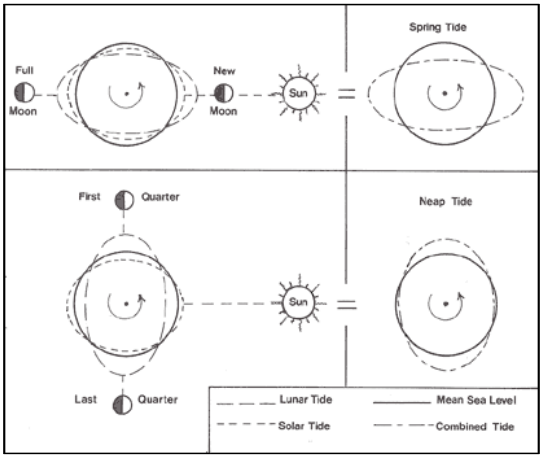
2.1.2 Pasang Surut

Pasang surut laut merupakan suatu fenomena pergerakan naik turunnya permukaan air laut secara berkala yang diakibatkan oleh kombinasi gaya gravitasi dan gaya tarik menarik dari benda-benda astronomi terutama oleh matahari, bumi, dan bulan. Pengaruh benda angkasa lainnya dapat diabaikan karena jaraknya lebih jauh atau ukurannya lebih kecil. Tujuan pengamatan pasang surut secara umum adalah sebagai berikut (Ongkosongo 1989):

a. Menentukan permukaan air laut rata-rata (MLR) dan ketinggian titik ikat pasang surut (*tidal datum plane*) lainnya untuk keperluan survei rekayasa dengan melakukan satu sistem pengikatan terhadap bidang referensi tersebut.
b. Memberikan data untuk peramalan pasang surut dan arus serta mempublikasikan data ini dalam tabel tahunan untuk arus dan pasang surut.
c. Menyelidiki perubahan kedudukan air laut dan gerakan kerak bumi.
d. Menyediakan informasi yang menyangkut keadaan pasang surut untuk proyek teknik.
e. Memberikan data yang tepat untuk studi muara sungai tertentu.
f. Melengkapi informasi untuk penyelesaian masalah hukum yang berkaitan dengan batas-batas wilayah yang ditentukan berdasarkan pasang surut.

Tipe pasang surut biasanya dipengaruhi oleh faktor lokalitas laut secara khusus, sehingga membedakan karakter pasang surut antara satu tempat dengan tempat yang lain (Wirayuda 2017). Berdasarkan pada posisi matahari dan bulan terhadap bumi pasang surut air laut dapat dibedakan menjadi dua menurut (Wardiyatmoko & Bintarto 1994), adalah sebagai berikut:

1. Pasang surut purnama (*spring tide*) adalah pasang yang terjadi ketika bumi, bulan, dan matahari berada dalam suatu garis lurus. Pada saat itu akan dihasilkan pasang tinggi yang sangat tinggi dan pasang rendah yang sangat rendah. Pasang surut purnama ini terjadi pada saat bulan baru dan bulan purnama (konjungsi dan oposisi). Posisi matahari, bumi, dan bulan dijelaskan pada Gambar 2.2.
2. Pasang surut perbani (*neap tide*) adalah pasang yang terjadi ketika bumi, bulan dan matahari membentuk sudut tegak lurus. Pada saat itu akan dihasilkan pasang tinggi yang rendah dan pasang rendah yang tinggi. Pasang surut perbani ini terjadi pada saat bulan 1/4 dan 3/4. Posisi matahari, bumi, dan bulan dijelaskan pada Gambar 2.2.

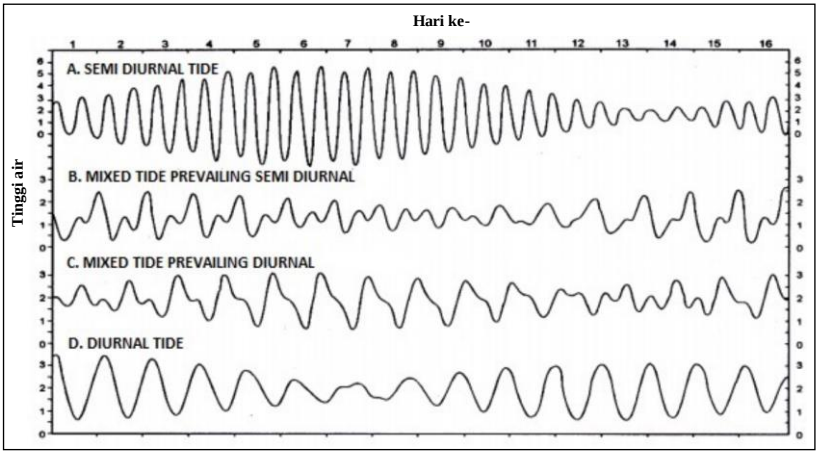


Gambar 2. 2 Pasang Purnama dan Pasang Perbani
(*Fisheries and Ocean Canada* 2019)

Menurut Wyrtki (1961), tipe pasang surut di Indonesia dibagi menjadi 4 yaitu:

1. Pasang surut harian tunggal (*diurnal tide*), merupakan pasut yang hanya terjadi satu kali pasang dan satu kali surut dalam satu hari, tipe ini terdapat di Selat Karimata.

2. Pasang surut harian ganda (*semi diurnal tide*), merupakan pasut yang terjadi dua kali pasang dan dua kali surut yang tingginya hampir sama dalam satu hari, ini terdapat di Selat Malaka hingga Laut Andaman.
3. Pasang surut campuran condong harian tunggal (*mixed tide prevailing diurnal*), merupakan pasut yang tiap harinya terjadi satu kali pasang dan satu kali surut tetapi terkadang dengan dua kali pasang dan dua kali surut yang sangat berbeda dalam tinggi dan waktu, ini terdapat di Pantai Selatan Kalimantan dan Pantai Utara Jawa Barat.
4. Pasang surut campuran condong harian ganda (*mixed tide prevailing semi diurnal*), merupakan pasut yang terjadi dua kali pasang dan dua kali surut dalam sehari tetapi terkadang terjadi satu kali pasang dan satu kali surut dengan memiliki tinggi dan waktu yang berbeda, ini terdapat di Pantai Selatan Jawa dan Indonesia Bagian Timur. Gambar 2.3 menunjukkan grafik pola tipe pasang surut adalah sebagai berikut:



Gambar 2. 3 Grafik Tipe Pasang Surut
(Prasetyo dkk 2016)

Menurut Benyamin dkk (2007), konstanta harmonik pasut yang merupakan hasil dari pengolahan data pasut dapat digunakan unuk penentuan tipe pasut yang terjadi di suatu perairan dengan menentukan perbandingan antara amplitudo (tinggi gelombang) unsur-unsur pasang surut tunggal utama dengan unsur-unsur pasang surut ganda utama menggunakan bilangan *Formzahl* dengan mengacu pada persamaan 2.2 sebagai berikut:

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

Keterangan :

F : bilangan *Formzahl*

A_{K1} : amplitudo konstituen K1

A_{O1} : amplitudo konstituen K2

A_{M2} : amplitude konstituen M2

A_{S2} : amplitudo konstituen S2

Menurut Triatmodjo (2010), dilihat dari pola gerakan muka lautnya dan nilai *formzahl*, pasang surut dapat dibagi menjadi empat jenis yaitu:

a. $F \leq 0{,}25$, *semi diurnal tide* atau pasut harian ganda
b. $0{,}25 < F \leq 1{,}5$, pasang surut campuran condong harian ganda (*mixed tide, prevailing semi diurnal*)
c. $1{,}5 < F \leq 3$, pasang surut campuran condong harian tunggal (*mixed tide, prevailing diurnal*)
d. $F > 3$, *diurnal tide* atau pasut harian tunggal.

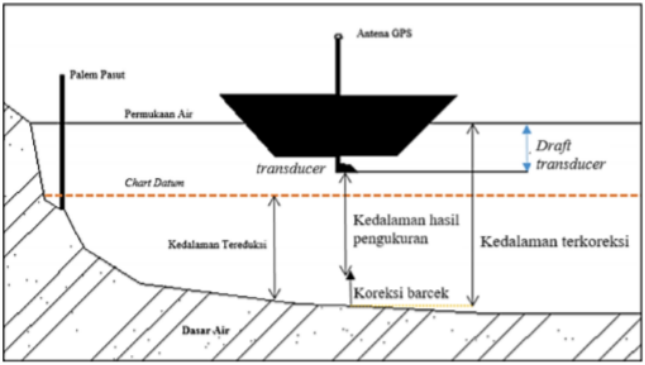
2.1.3 Koreksi dan Reduksi Data Kedalaman

Data kedalaman hasil pengukuran perlu dilakukan koreksi dan reduksi. Untuk mendapatkan nilai kedalaman akhir, nilai kedalaman dikoreksikan terhadap kedudukan *tranduser* dan kesalahan pengukuran dari alat atau koreksi barcek dan kemudian direduksikan ke bidang referensi. Koreksi kedalaman dilakukan dengan menggunakan persamaan (2.3) (Soeprapto 2001) :

$$H_{terkoreksi} = H_{hasil\ pengukuran} + draft_{\ transducer} \pm koreksi_{barcek} \quad (2.3)$$

Keterangan :
H : Nilai kedalaman (m)

Sebagai ilustrasi untuk mendapatkan *H* terkoreksi dapat dilihat pada Gambar 2.4. Kedalaman hasil pengukuran dari *tranduser* ditambahkan dengan kedalaman *draft tranduser* yang masuk kedalam air lalu dan koreksi barcek.

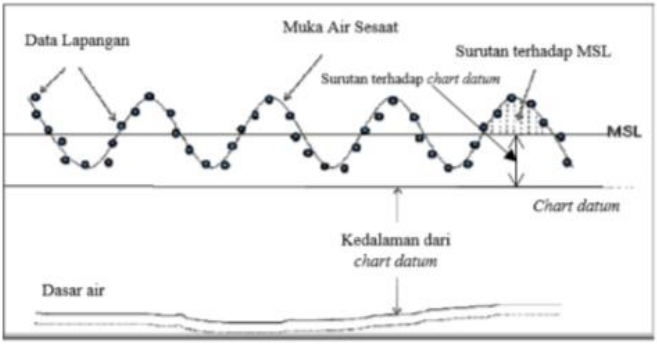


Gambar 2. 4 Koreksi Kedalaman Terukur
(Soeprapto 2001)

Reduksi kedalaman dimaksudkan untuk melakukan reduksi nilai kedalaman yang terukur untuk disurutkan terhadap bidang acuan surutan peta yang ditentukan dari data pengamatan pasang surut (Soeprapto 2001). Pengamatan pasang surut bertujuan untuk mencatat atau merekam gerakan vertikal permukaan air laut yang terjadi secara periodik yang disebabkan tarik-menarik antara bumi dengan benda-benda angkasa terutama bulan dan matahari (Poerbandono & Djunarsjah 2005).

Melaksanakan pengamatan permukaan air laut sesaat selama periode tertentu maka akan dapat menentukan bidang referensi kedalaman (datum vertikal). Bidang referensi kedalaman yang sering digunakan yaitu muka laut rerata atau duduk tengah

yang dikenal dengan MSL dan chart datum (Soeprapto 2001). Ilustrasi reduksi kedalaman ini dapat dilihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2. 5 Reduksi Kedalaman ke Bidang Referensi (Soeprapto 2001)

Nilai kedalaman terkoreksi merupakan hasil ukuran pada permukaan air laut sesaat (MAS), kemudian nilai tersebut direduksi atau dibawa menjadi kedalaman yang terukur dari bidang MSL. Nilai kedalaman yang terukur dari MSL kemudian direduksi lagi menjadi kedalaman yang terukur dari chart datum. Secara matematis dapat dituliskan dengan persamaan (2.4) (Soeprapto 2001):

$$H_{akhir} = H_{\ terkoreksi} \pm MSL - Z_0 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(2.4)$$

Keterangan:

Z_0	: Nilai surutan peta ke chart datum (m)
H_{akhir}	: Nilai kedalaman akhir (m)
$H_{\ terkoreksi}$	: Nilai kedalaman terkoreksi (m)
MSL	: Muka Air Laut Rata-rata (m)

Sebagai ilustrasi untuk mendapatkan kedalaman akhir yang mengacu pada *chart* datum dapat dilihat pada Gambar 2.5. Dari

pengamatan pasang surut dihasilkan komponen harmonik dimana nantinya akan mendapatkan nilai MSL dan Z_0, kedua nilai ini akan ditambahkan ke kedalaman terkoreksi untuk mendapatkan kedalaman akhir yang mengacu pada chart datum (Soeprapto 2001).

2.1.4 ***Global Positioning System* (GPS)**

Dalam pengukuran kedalaman laut, perlu dilakukan penentuan koordinat horisontal sehingga setiap titik dimana dilakukan pemeruman dapat diplot pada sistem koordinat. Untuk menentukan posisi titik-titik perum ini, digunakan alat yang disebut dengan *Global Positioning System* (GPS). Koordinat tersebut terkait dengan sistem tertentu, sistem koordinat yang untuk posisi horisontal di laut umumnya menggunakan sistem koordinat geografis dan koordinat kartesian (Abidin 2005).

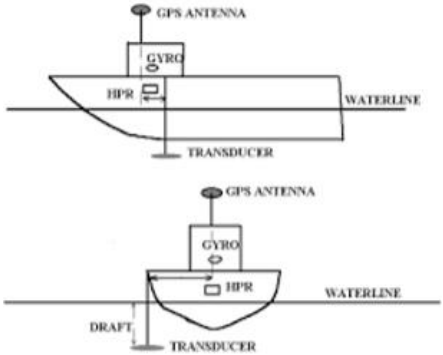
Saat ini penggunaan GPS dalam survei hidrografi utamanya terkait dengan penentuan posisi titik-titik perum, penentuan posisi titik kontrol di pantai dan navigasi kapal. Untuk menangkap sinyal dari satelit dengan *receiver*, agar dapat mengetahui posisi pengamat, dibutuhkan satelit dalam jumlah yang cukup (minimum empat buah), si pengamat dapat menentukan posisinya serta parameter lainnya. Saat ini penggunaan GPS dalam survei hidrografi utamanya terkait dengan penentuan posisi titik kontrol di pantai, navigasi kapal survei dan penentuan posisi titiktitik perum (Abidin 2005).

Global Positioning System (GPS) 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 *singlebeam echosounder*, ketelitian yang dimaksud adalah ketelitian posisi dari sistim sensor perum (Badan Standarisasi Nasional 2010).



Gambar 2. 6 Penempatan GPS dan Tranduser di Kapal (Sasmita 2008)

Untuk pelaksanaan survei GPS pada survei batimetri dibutuhkan setidaknya dua *receiver* GPS yaitu di stasiun acuan dan lainnya di stasiun pengamat (kapal). Stasiun acuan adalah stasiun yang telah diketahui koordinatnya sedangkan stasiun

pengamat adalah stasiun yang akan ditentukan posisinya dengan DGPS. Peletakkan antena GPS di kapal untuk survei menggunakan *singlebeam echosounder* diletakkan pada satu garis lurus vertikal dengan *tranduser* seperti pada Gambar 2.6, sedangkan untuk survei *multibeam echosounder* tidak harus di atasnya langsung tetapi nilai *offset*-nya harus dicatat (Mochamadha 2008).

2.2 ***Singlebeam Echosounder***

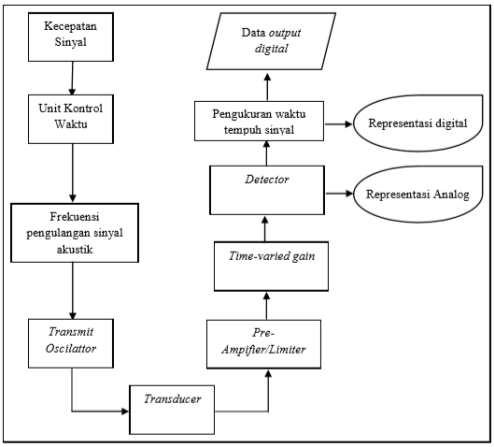
Singlebeam echosounder merupakan alat ukur kedalaman air yang menggunakan pengirim dan penerima sinyal gelombang suara tunggal. Prinsip kerja dari SBES yaitu menggunakan prinsip pengukuran selisih *fase pulsa*, yaitu menghitung selisih waktu dari waktu pemancaran dan penerimaan dari pulsa akustik. SBES juga cukup akurat, dimana SBES mampu memberikan ketelitian hingga 0,1 meter pada kedalaman kurang dari 100 meter (Lekkerkerk dkk 2006).

2.2.1 **Prinsip Kerja**

Pada pengukuran SBES, terlebih dahulu ditentukan kecepatan dari *beam* yang akan dipancarkan misalnya 1500 m/s. Penentuan kecepatan *beam* ini biasanya disesuaikan pada saat proses koreksi *barchek*. Setelah itu ditentukan *repetition rate* (banyaknya *beam* per detik) dari SBES. Setelah kedua komponen tersebut di *set*, maka *repetition rate* tersebut diaplikasikan terhadap *transducer*.

Transducer biasanya terpasang pada lambung kapal, dan pemasangannya juga harus selalu berada di bawah permukaan air. *Transducer* mengirimkan pulsa akustik dengan frekuensi tertentu secara langsung menyusuri bawah kolom air. Pulsa tersebut kemudian dipantulkan kembali oleh objek yang ada dipermukaan dasar laut dan diterima kembali oleh sensor penerima yang ada di *transducer*.

Transducer terdiri dari sebuah *transmitter* yang mempunyai fungsi sebagai pengontrol panjang gelombang pulsa yang dipancarkan dan menyediakan tenaga elektris untuk besar frekuensi yang diberikan. *Transmitter* ini menerima beam secara berulang-ulang dalam kecepatan yang tinggi, sampai orde kecepatan milisekon. Beam tersebut kemudian diteruskan ke *Limiter/Pre-Ampifier* dan *Time Varied Gain*. Kedua alat ini akan menyesuaikan intensitas dari *beam* tersebut hingga dapat diinterpretasikan oleh SBES. Apabila *beam* tersebut menempuh jarak pantul yang jauh, maka sinyal *beam* tersebut akan melemah dan perlu diamplifikasi, begitu juga sebaliknya apabila *beam* tersebut menempuh jarak pendek, maka sinyal dari beam tersebut akan terlalu kuat sehingga harus direduksi. *Detector* kemudian merubah *beam* yang telah disesuaikan tersebut menjadi rekaman analog dalam kertas analog. Untuk merubah rekaman analog tersebut menjadi digital, maka dilakukan pengukuran waktu tempuh sinyal dengan menambahkan data kecepatan *beam* di awal (Madalila 2012). Diagram dari proses-proses ini dapat dilihat pada Gambar 2.7



Gambar 2. 7 Diagram *singlebeam echosounder* (Lekkerkerk dkk 2006)

2.2.2 Kalibrasi

Koreksi kecepatan gelombang suara untuk perairan dangkal dilakukan menggunakan *barcheck*. Koreksi *barcheck* merupakan koreksi yang dilakukan untuk menghilangkan kesalahan sistematik dari alat. *Barcheck* terbuat dari lempeng logam berbentuk lingkaran atau segi empat yang digantungkan pada tali atau rantai berskala dan diletakkan dibawah *transducer*. Tali atau rantai berskala digunakan sebagai pembanding hasil ukuran dengan hasil yang terbaca oleh alat perum. Pembandingan hasil pengukuran kedalaman dilakukan untuk setiap perubahan kedalaman, mulai dari 0 meter hingga kedalaman maksimum yang akan diperum dengan interval 1 meter (Poerbandono & Djunarsjah 2005).

Data pengukuran barchek yang diperoleh digunakan untuk mencari hubungan antara kedalaman sebenarnya dengan kedalaman hasil ukuran menggunakan *echosounder* dalam bentuk persamaan linear. Persamaan linear yang dibentuk dapat dilihat pada persamaan 2.5 :

$$d_c = [[(b_{ari} - b_{ari+1}) \div (r_{eci} - r_{eci+1})] . (d_0 - r_{eci})] + b_{ari} \ldots (2.5)$$

Keterangan:

d_c : kedalaman sebenarnya
d_0 : kedalaman hasil observasi
b_{ari} : kedalaman *barcheck* pada *chek point* i
b_{ari+1} : kedalaman bacaan alat pada *barchek* point i+1
r_{eci} : kedalaman bacaan alat pada *barchek* point i
r_{eci+1} : kedalaman bacaan alat pada *barchek* i+1 I,
i+1 : urutan point kalibrasi kedalaman dan $r_{eci} < d_0 < r_{eci}+1$

Pada perairan dalam koreksi dengan *barcheck* tidak dianjurkan karena pengaruh arus bawah permukaan dan ombak di permukaan mengakibatkan rantai *barchek* melengkung sehingga ukuran data *barchek* yang didapat tidak sesuai dengan yang

sebenarnya. Oleh karena itu untuk menganalisis kecepatan gelombang suara dengan menggunakan sifat fisik air laut dengan persamaan 2.6 sebagai berikut (Adil dkk 1998) :

$$V = 1410 + 4{,}21\ T - 0{,}0370\ D2 + 1{,}14\ S + 0{,}018 \ldots\ldots (2.6)$$

Keterangan :

V : kecepatan suara pada tempratur (T), salinitas (S) dan kedalaman (D)

S : salinitas air laut (%)

T : temperature (^{0}C)

D : kedalaman laut (meter)

2.3 ***Multibeam Echosounder***

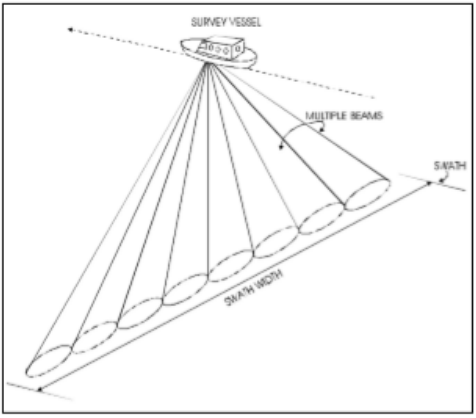
Multibeam echosounder (MBES) merupakan suatu instrument hidro-akustik yang menggunakan prinsip yang sama dengan SBES. Perbedaan utama SBES dengan MBES adalah pada jumlah *beam* yang dipancarkan. SBES hanya memancarkan satu *beam* sehingga mendapatkan satu titik kedalaman sedangkan MBES memancarkan lebih dari satu beam sehingga mendapatkan banyak titik kedalaman untuk satu kali pancaran gelombang akustik.

Berbeda dengan *side scan sonar* pola pancaran yang dimiliki MBES ini melebar dan melintang terhadap badan kapal. Setiap beam memancarkan satu pulsa suara dan memiliki penerimaannya masing-masing. Saat kapal bergerak hasil sapuan MBES tersebut menghasilkan suatu luasan area permukaan dasar laut (Moustier 2005).

Transducer yang terdapat di dalam *multibeam sonar* terdiri dari serangkaian elemen yang memancarkan pulsa suara dalam sudut yang berbeda. Biasanya hanya satu beam yang ditransmisikan tetapi menghasilkan banyak pantulan energi dari masing-masing pulsa suara yang ditransmisikan. Kemampuan setiap elemen *transducer* menerima kembali pulsa suara yang

dipantulkan tergantung kepada metode kalibrasi terhadap gerak kapal yang diterapkan (Hammerstad 2000).

MBES ini memiliki ketelitian yang sangat baik dalam pengukuran kedalaman. Selain memiliki ketelitian yang sangat baik, keuntungan penggunaan MBES ini yaitu cakupan area pengukuran yang luas (Moustier 2005). Cakupan area dasar laut yang mampu disurvei oleh kapal menggunakan *multibeam* dalam satu kali sapuan disebut dengan *swath*. Lebar *swath* untuk setiap jenis *multibeam echosounder* dapat berbeda-beda. Misalnya saja MBES dengan tipe ELAC SeaBeam 1050 D memiliki lebar *swath* hingga 1530. Cakupan atau lebar sapuan (*swath*) MBES dapat dilihat pada Gambar 2.8.

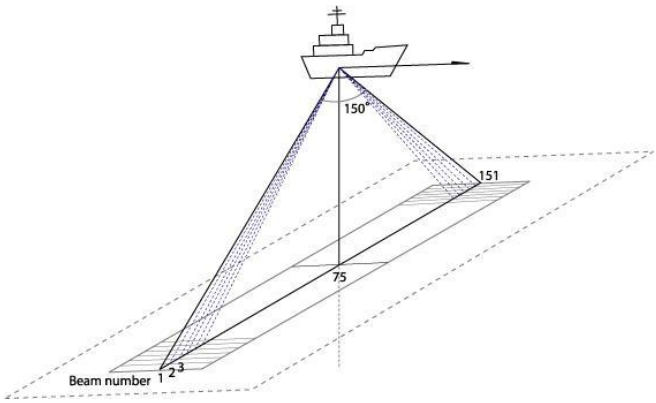


Gambar 2. 8 Cakupan *multibeam echosounder* (*Nautical Chart* 2000)

2.3.1 <u>Prinsip Kerja</u>

Multibeam sonar merupakan instrumen hidroakustik yang menggunakan prinsip yang sama dengan *singlebeam* namun perbedaannya terletak pada jumlah *beam* yang dipancarkannya lebih dari satu dalam satu kali pancar. Berbeda dengan *Side Scan Sonar* pola pancaran yang dimiliki *multibeam sonar* melebar dan melintang terhadap badan kapal. Setiap *beam* memancarkan satu

pulsa suara dan memiliki penerimanya masing-masing. Saat kapal bergerak hasil sapuan *multibeam* tersebut menghasilkan suatu luasan area permukaan dasar laut (Moustier 2005 dalam Gumbira 2011). *Transduser* yang terdapat di dalam *multibeam sonar* terdiri dari serangkaian elemen yang memancarkan pulsa suara dalam sudut yang berbeda. Biasanya hanya satu *beam* yang ditransmisikan tetapi menghasilkan banyak pantulan energi dari masing-masing pulsa suara yang ditransmisikan. Kemampuan setiap elemen *transduser* menerima kembali pulsa suara yang dipantulkan tergantung kepada metode kalibrasi terhadap gerak kapal yang diterapkan (Hammerstad 2000). Gambar 2.9 merupakan ilustrasi pancaran *Multibeam sonar*.



Gambar 2. 9 Ilustrasi pancaran *Multibeam* sonar untuk mengukur kedalaman dari dasar laut (*Nautical Charts* 2019)

Penentuan kedalaman dapat dipengaruhi oleh beberapa hal, salah satunya yaitu penggunaan frekuensi pada multi*beam* echosounder. Penggunaan frekuensi pada perairan dangkal akan berbeda dengan penggunaan frekuensi pada perairan dalam.

Penentuan kedalaman terdiri dari beberapa parameter, yaitu kecepata gelombang suara di dalam air dan waktu tempuh gelombang. Dengan rumus kecepatan suara di dalam air adalah sebagai berikut (Hammerstad 2000).

$$v = \lambda \cdot f \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2.7)$$

Keterangan:

v = kecepatan gelombang suara di dalam air (m/s)

λ = panjang gelombang (m)

f = frekuensi (Hz)

Pada persamaan 2.7, kedalaman dapat ditentukan dengan dengan menggunakan varibel frekuensi. Sehingga dalam sebuah survei dapat menentukan frekuensi yang akan digunakan dengan memperhatikan kedalaman perairan yang akan disurvei. Berikut merupakan rumus yang digunakan dalam penentuan frekuensi (Hammerstad, 2000).

$$F = \frac{2 \cdot d}{\lambda \cdot t} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2.8)$$

d = kedalaman (m)

λ = Panjang gelombang (m)

t = waktu tempuh gelombang (s)

Penggunaan frekuensi pada kedalaman area survei dapat mempengaruhi resolusi yang dihasilkan, Jika frekuensi yang digunakan tepat, pada kedalaman survei maka resolusi yang dihasilkan akan semakin baik.

2.3.2 Kalibrasi

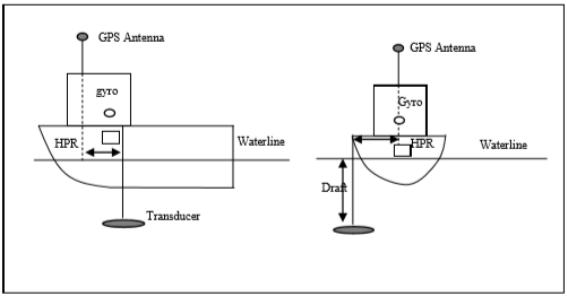
Didalam penelitian ini tidak akan dijelaskan secara rinci mengenai teknis dilapangan untuk kalibrasi MBES akan tetapi lebih pada pengenalan jenis-jenis kalibrasi yang harus dilakukan sebelum dilakukan survei batimetri menggunakan MBES.

Proses kalibrasi yang dilakukan meliputi proses kalibrasi *offset static*, uji keseimbangan kapal (*roll, pitch, gyro*) serta kecepatan rambat akustik dalam air (Mann & Godin 1998).

Proses kalibrasi dilakukan untuk mendapatkan ketelitian survei batimetri yang baik dan meminimalkan tingkat kesalahan.

1. Kalibrasi *Offset* Statik

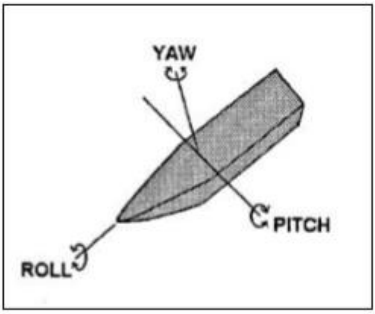
Kalibrasi ini merupakan kalibrasi yang dilakukan untuk melakukan penyesuaian jarak dari sensor-sensor yang digunakan terhadap "*centerline*" (titik nol) dari kapal dan *transducer*. Proses penyesuaian ini meliputi beberapa komponen yaitu kapal itu sendiri, antena GPS kapal, *transducer*, *gyro compass*, dan *Motion Reference Unit* (MRU). Kalibrasi *offset* statik dapat dilihat pada Gambar 2.10.



Gambar 2. 10 Kalibrasi *offset* statik
(Mann & Godin 1998)

2. Kalibrasi *Patch Test*

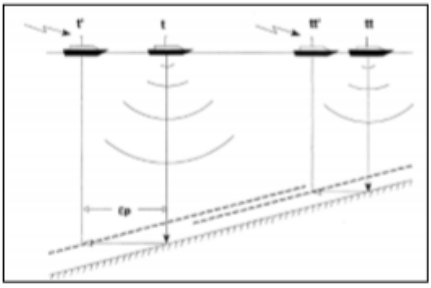
Patch Test merupakan suatu kalibrasi yang memiliki parameter berupa waktu tunggu (*time delay*), *roll*, *pitch*, dan *yaw* (Lekkerkerk dkk 2006). Ilustrasi keadaan *roll*, *pitch*, dan *yaw* dapat dilihat pada Gambar 2.11.



Gambar 2. 11 *Roll, pitch*, dan *yaw*
(Mann & Godin 1998)

a. Waktu Tunggu (*time delay*)

Waktu tunggu pada MBES adalah keadaan dimana pengambilan data kedalaman oleh *transducer* tidak sinkron dengan pengambilan data oleh DGPS. Kesalahan waktu tunggu lebih kecil dari 2 detik akan sangat berarti jika kedalaman area survei lebih kecil dari 100 meter karena akan mempengaruhi tingkat akurasi (simpangan baku) penentuan posisi hingga 0,1 sampai 3 meter. Kecepatan kapal juga berpengaruh terhadap besarnya kesalahan waktu tunggu (Mann dan Godin 1998). Geometri seperti Gambar 2.12 digunakan untuk mengilustrasikan persamaan *time delay* pada persamaan 2.9.



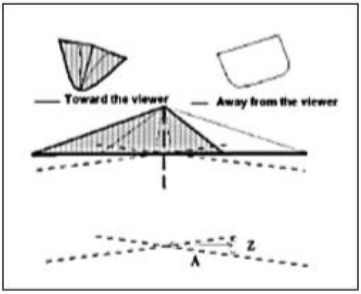
Gambar 2. 12 Kesalahan waktu tunggu
(Mann & Godin 1998)

$$TD = tan^{-1}\frac{da}{vh-vt} \quad \text{…….. (2.9)}$$

Dimana, TD merupakan kesalahan waktu tunggu (*time delay*) dalam detik, da panjang pergeseran jalur, *vh* adalah kecepatan kapal yang lebih cepat, dan *vt* merupakan kecepatan kapal yang lebih lambat (Mann dan Godin 1998).

b. Roll

Kalibrasi *roll* merupakan kalibrasi yang digunakan untuk mengkoreksi gerakan oleng kapal pada arah sumbu-x seperti yang diperlihatkan pada Gambar 2.13. Persamaan untuk kalibrasi *roll* dapat dilihat pada persamaan 2.10.



Gambar 2. 13 Kesalahan *roll*
(Mann & Godin 1998)

$$\beta = tan^{-1}\left[\frac{y}{z}\right] \quad \text{…….. (2.10)}$$

β adalah *offset roll*, x adalah panjang jalur dalam meter, dan y adalah kedalaman.

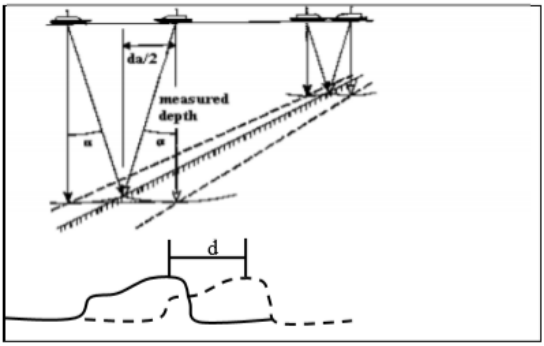
c. Pitch

Kalibrasi ini dilakukan dengan tujuan untuk mencari besarnya nilai koefisien koreksi anggukan kapal (pada arah sumbu y) dan *time delay* sehingga kedalaman yang terukur

menjadi akurat. Geometri seperti Gambar 2.14 digunakan untuk mengilustrasikan persamaan pitch pada persamaan 2.11.

$$d\alpha = tan^{-1}\left[\frac{d/2}{z}\right] \quad \text{…….. (2.11)}$$

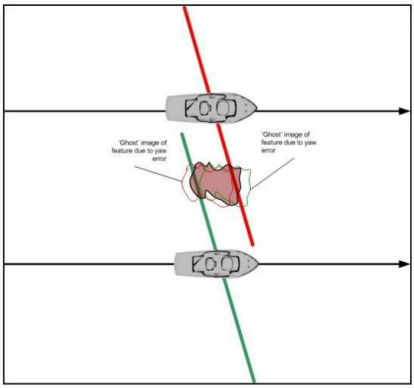
$d\alpha$ = sudut pancaran
z = kedalaman
d = jarak antar daerah curam pengukuran pertama dan kedua.



Gambar 2. 14 Kesalahan *pitch*
(Mann & Godin 1998)

d. *Yaw*

Kalibrasi *yaw* adalah kalibrasi yang diakibatkan keadaan pada saat survei dilaksanakan diliputi arus kencang sehingga dapat mengubah arah heading kapal di sepanjang jalur survei.



Gambar 2. 15 Kesalahan *Yaw*
(Brennan 2009)

3. Kalibrasi Kecepatan Rambat Akustik

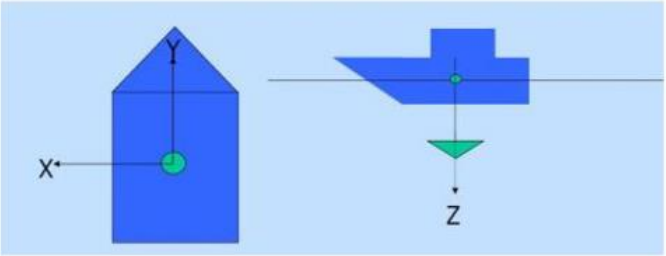
Adanya perbedaan parameter seperti salinitas, suhu, dan tekanan di setiap kolom air laut mengakibatkan adanya perbedaan kecepatan rambat akustik di setiap kolom tersebut. Nilai frekuensi berpengaruh terhadap kedalaman perairan yang dapat dicapai, semakin tinggi frekuensinya, semakin rendah kedalaman yang dapat dicapai. Begitu pula sebaliknya. Untuk medium perambatan, suhu menurun seiring dengan bertambahnya kedalaman, sedangkan salinitas dan tekanan air. semakin meningkat. Pengukuran kecepatan salinitas dan tekanan air semakin meningkat.

Pengukuran kecepatan gelombang akustik bertujuan untuk mengetahui kecepatan gelombang akustik pada tiap lapisan kedalaman perairan, dimana dipengaruhi oleh salinitas, suhu dan kedalaman (Hansen 2010). Untuk itu dilakukan pengukuran kecepatan rambat akustik menggunakan alat *Sound Velocity Profiler* (SVP). Sistem kerja dari SVP adalah dengan menggunakan reflektor yang diletakkan di dasar laut dan kemudian dipantulkan sinyal akustik dari SVP yang terpasang di kapal selama selang waktu tertentu. Kecepatan tersebut kemudian

dirata-ratakan dan didapatkanlah profil dan koreksi dari kecepatan rambat akustik di setiap kolom air laut di area survei (Sasmita 2008).

4. *Performance Test*

Performance Test adalah suatu cek dari *offset-offset* tersebut untuk memverifikasi apakah data sesuai dengan persyaratan-persyaratan ketelitian untuk survei. Uji ini adalah sangat utama suatu survei yang kecil melewati suatu bidang yang datar di dalam kedalaman air tidak lebih dari 30 meter. Empat garis sejajar adalah sesuai dengan sedikitnya 150 persen *overlap*. Prosedur ini harus dilaksanakan untuk memastikan data bersih dari kesalahan kalibrasi dan nilai kalibrasi sudah harus dapat digunakan untuk memperoleh nilai-nilai pengukuran yang dapat dipercaya (Mann 1998 dalam Sasmita 2008).



Gambar 2. 16 Ilustrasi posisi pada kapal
(Sonar Nusantara 2000)

2.4 Klasifikasi dan Ketelitian Survei

Menurut standar teknis pelaksanaan survei hidrografi terdapat klasifikasi derajat ketelitian yang dibedakan menjadi beberapa orde ketelitian sebagai berikut (SNI 7988 2014 tentang survei batimetri):

a. Orde khusus

Survei hidrografi orde khusus merupakan orde paling teliti dan penggunaannya ditujukan hanya untuk daerah-daerah sangat kritis dengan kedalaman di bawah lunas minimum dan membahayakan pelayaran / perairan. Oleh karena itu, diperlukan pemeriksaan dasar laut dan ukuran unsur laut yang dapat terdeteksi sekecil mungkin. Selama kedalaman di bawah lunas membahayakan maka orde khusus ini tidak mungkin dilakukan di perairan yang lebih dalam dari 40 meter. Contoh daerah survei menggunakan orde khusus ini adalah tempat berlabuh, pelabuhan dan jalur kritis pelayaran. (IHO S-44 2008)

b. Orde 1a

Orde 1a survei hidrografi diperuntukkan pada daerah-daerah laut dangkal kritis yang keberadaan unsur alam dan buatan manusia di dasar laut menjadi perhatian pada daerah pelayaran/perairan, tetapi kedalaman di bawah lunas cukup memadai dan tidak begitu membahayakan dibanding orde khusus. Survei orde 1a berlaku terbatas di daerah dengan kedalaman 40 m sampai dengan 100 m. Meskipun persyaratan pemeriksaan dasar laut tidak begitu ketat jika dibandingkan dengan orde khusus, namun pemeriksaan dasar laut secara menyeluruh tetap diperlukan. (IHO S-44 2008)

c. Orde 1b

Orde ini diperuntukkan pada daerah-da erah hingga kedalaman 100 m yang tidak termasuk dalam orde khusus maupun orde 1a. Gambaran batimetri secara umum sudah mencukupi untuk meyakinkan bahwa tidak terdapat rintangan di dasar laut yang akan membahayakan kapal yang lewat atau bekerja di daerah tersebut. Pemeriksaan dasar laut tidak diperlukan, Kecuali pada daerah-daerah tertentu yang karakteristik dasar laut dan resiko adanya rintangan berpotensi membahayakan kapal. (IHO S-44 2008)

d. Orde 2

Orde 2 (dua) survei hidrografi diperuntukan pada semua area yang tidak tercakup oleh orde khusus, 1a, dan 1b atau kedalaman lebih dari 100m. (IHO S-44 2008)

Tabel 2. 1 Klasifikasi dan Ketelitian Survei IHO

Orde / Ketentuan	Spesial	1a	1b	2
Posisi titik kedalaman	2 m	5 m + 5% Kedalaman	5 m + 5% Kedalaman	20 m + 10% Kedalaman
Posisi alat bantu navigasi tetap dan fitur penting bagi navigasi	2 m	2 m	2 m	2 m
Posisi garis pantai dan fitur yang kurang penting bagi navigasi	10 m	20 m	20 m	20 m
Posisi alat bantu navigasi apung	10 m	10 m	10 m	20 m

2.5 Lajur Pemeruman

Berdasarkan fungsinya, lajur pemeruman dapat diklasifikasikan menjadi tiga macam yaitu lajur utama, lajur silang, dan lajur tambahan/investigasi.

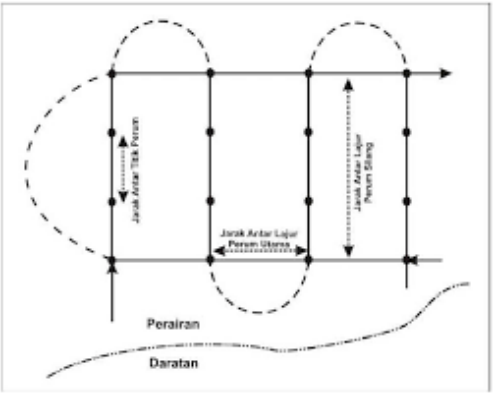
2.5.1 Lajur Perum Utama

Lajur perum utama adalah lajur perum yang direncanakan sedemikian rupa sehingga seluruh daerah survei dapat tercakup dan dapat tergambarkan dasar perairannya (Soeprapto 2001).

Lajur perum utama dibuat sedemikian rupa sehingga dapat tegak lurus garis kontur dari garis pantai atau mendekatinya.

2.5.2 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 45^0 diusahakan mendekati 90^0. Pada umumnya jarak antara lajur perum silang tidak lebih dari 10 kali jarak antara lajur perum utama (Yuwono 2005). Ilustrasi lajur utama dan lajur silang dapat dilihat pada Gambar 2.17.

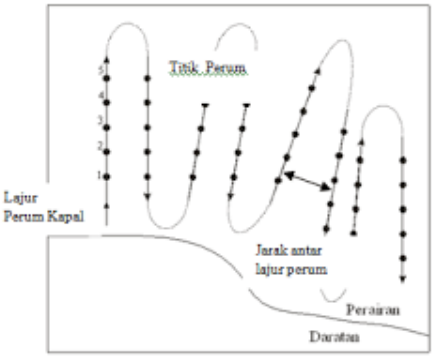


Gambar 2. 17 Lajur pemeruman silang
(Yuwono 2005)

2.5.3 Lajur Perum Tambahan

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 2001). Ilustrasi lajur perum tambahan dapat dilihat pada Gambar 2.18.



Gambar 2. 18 Lajur pemeruman tambahan
(Yuwono 2005)

2.6 Uji Kualitas Data

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 SNI 7988-2014 dengan tingkat kepercayaan 95%. Adapun persamaan yang digunakan untuk menghitung batas toleransi tersebut dapat dilihat pada persamaan 2.12 (Rahmat 2014) :

$$\pm\sqrt{a^2 + (b \times d)^2} \quad \text{..... (2.12)}$$

Keterangan :

a : kesalahan independen

b : faktor kesalahan kedalaman yang dependen

d : kedalaman rata-rata
(bxd) : kesalahan kedalaman yang dependen (jumlah semua kesalahan kedalaman yang dependen).

Nilai a dan b dalam persamaan 2.12 tersebut disesuaikan dengan orde survei yang dilakukan seperti yang tercantum pada Tabel 2 .2 menurut IHO SP-44 Tahun 2008.

Tabel 2. 2 Orde Survei Menurut IHO

Orde / Ketentuan	Spesial	1a	1b	2
Konstanta	a=0,025m b=0,075m	a=0,5m b=0,013m	a=0,5m b=0,013m	a=1,0m b=0,023m

Uji kualitas dilakukan dengan terlebih dahulu mengansumsikan bahwa Hlu (kedalaman lajur utama) nilainya sama dengan Hls (kedalaman lajur silang) yang saling berhimpit (berada pada posisi x dan y yang sama). Lebih lanjut disajikan pada persamaan (2.13) sampai dengan persamaan (2.16) (Widjajanti, 2011) seperti berikut :

a. Hlu = Hls = H……..……(2.13)
b. μU – μS = δ……..……(2.14)
c. *Mean error* : $\overline{H} = \frac{1}{n}\Sigma(Hlu - Hls)$……..…(2.15)
d. *Standard deviation* :

$$\sigma = \pm \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^{B}(Hi-H)^2}}{n-1} \quad \text{……..…(2.16)}$$

Keterangan :
Hlu : kedalaman lajur utama (m)
Hls : kedalaman lajur silang (m)
H : Nilai *true value* (beda kedalaman yang sebenarnya = 0) (m)

Hi : Beda nilai kedalaman lajur utama dan lajur silang (m)
σ : Standar deviasi
δ : Selisih kedalaman

Uji kualitas ini dilanjutkan dengan menghitung nilai kesalahan data beda kedalaman dengan tingkat kepercayaan 95% yang mengacu pada IHO SP-44 tahun 2008 yaitu sebesar 1,96 x σ. Jika nilai kesalahan data beda kedalaman masih dalam batas toleransi kedalaman yang diperoleh dengan persamaan 2.13, maka kualitas sampel data kedalaman masuk dalam toleransi yang merujuk pada IHO SP-44 tahun 2008. Sedangkan jika nilai kesalahan data beda kedalaman diluar batas toleransi kedalaman, maka kualitas sampel data kedalaman tidak masuk dalam toleransi.

2.7 Uji Perbandingan

Uji perbandingan antara data MBES dan SBES dilakukan dengan uji statistik menggunakan uji Z. Pemilihan uji statistik menggunakan uji Z ini dikarenakan jumlah sampel penelitian yang dapat dikategorikan sebagai sampel besar (>30). Pada tahap uji perbandingan ini, data hasil pengukuran batimetri menggunakan alat multibeam echosounder dengan data kedalaman dari *singlebeam echosounder* dengan melihat nilai *mean error*, *standard deviation*, dan nilai Z_0 dari keseluruhan sampel data kedalaman. Adapun persamaan untuk menghitung nilai dari *mean error*, *standard deviation*, dan nilai Z_0 terdapat pada persamaan (2.15), (2.16), (2.17) dan (2.18).

Uji perbandingan data kedalaman ini menggunakan uji statisitik sampling besar dengan sampel berpasangan dengan menggunakan tabel Z. Berdasarkan hasil Z_0 dapat diketahui apakah data kedalaman hasil pengukuran masuk dalam toleransi atau tidak dengan tingkat kepercayaan 95% (±1,96).

$$Z_0 = \frac{X_1 - X_2}{S_{X_1 - X_2}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2.17)$$

dimana,

$$S_{X_1 - X_2} = \sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2.18)$$

Keterangan:
X_1 = Rata-Rata MBES (m)
X_2 = Rata-Rata SBES (m)
σ_1^2 = Varian Sampel MBES (m)
σ_2^2 = Varian Sampel SBES (m)
n_1 = Jumlah Sampel MBES (m)
n_2 = Jumlah Sampel SBES (m)

Hipotesis :
a. Ho ; $\mu 1 = \mu 2$ atau $\mu 1 - \mu 2 = \delta$
b. HI ; $\mu 1 \neq \mu 2$ atau $\mu 1 - \mu 2 \neq \delta$

Sehingga :
a. Ho ditolak, jika $Z_0 > +1{,}96$ atau $Z_0 < -1{,}96$
b. Ho diterima, jika Z_0 $-1{,}96 < Z_0 < +1{,}96$

Keterangan :
H : Nilai *true value* (beda kedalaman = 0)
Hi : Beda nilai kedalaman hasil pengukuran *multibeam echosounder* dan data titik kedalaman *singlebeam echosounder*.
δ : Selisih kedalaman

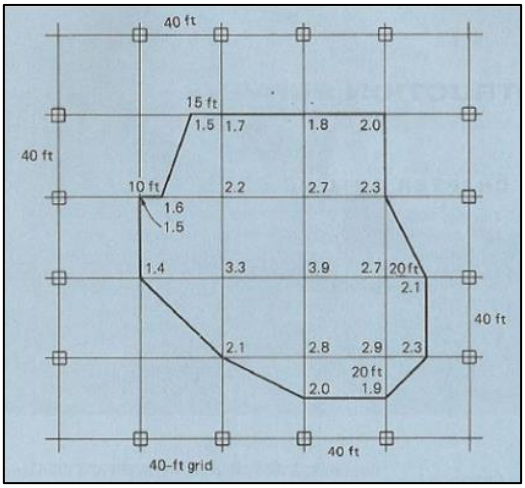
2.8 Perhitungan Volume

Cut and fill merupakan suatu metode untuk menentukan volume galian atau timbunan tanah pada suatu tempat. Juga dapat digunakan untuk menghitung material (bahan) yang sifatnya padat. Prinsip hitungan volume adalah satu luasan

dikalikan satu wakil tinggi. Apabila ada beberapa luasan atau beberapa tinggi maka dibuat wakilnya, misalnya dengan merata-ratakan luasan ataupun merataratakan tingginya. Metode yang dapat digunakan untuk menghitung volume, antara lain:

1. Metode Grid "*Borrow Pit*"

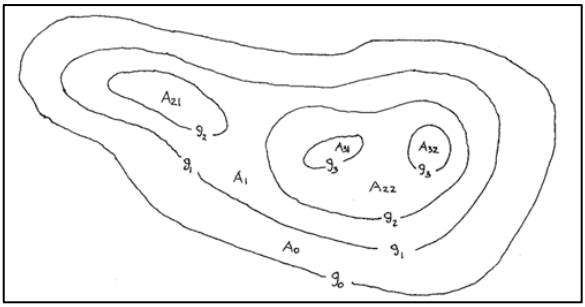
Cara perhitungan ini dilakukan dengan membuat grid/ kavling dengan informasi elevasi di setiap sudutnya seperti pada Gambar 2.19. Volume didapatkan dengan mengalikan tinggi rata-rata pada setiap kavlingan luasan dengan luasan masing-masing kavling. Volume total adalah jumlah volume dari keseluruhan kavling.



Gambar 2. 19 Metode *Borrow Pit*
(Purwohardjo 1989)

2. Cara Kontur

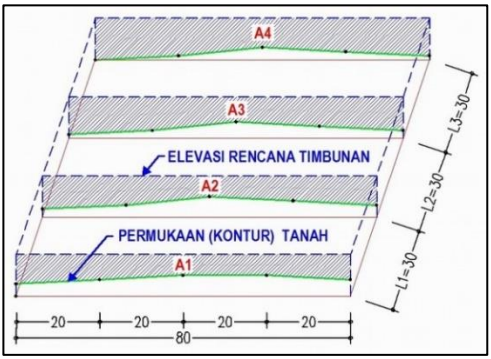
Metode kontur seperti pada Gambar 3.20 yaitu menghitung volume berdasarkan luas penampang rata-rata pada elevasi tertentu dikalikan dengan interval konturnya. Hasil akhir adalah jumlah hitungan volume di setiap intervalnya.



Gambar 2. 20 Metode Kontur
(Purwohardjo 1989)

3. Cara Penampang Melintang

Cara penampang melintang seperti pada Gambar 3.21, dimana pada dasarnya mirip dengan metode kontur di mana luasan rata-rata tiap penampang dikalikan dengan jarak antar penampang untuk menghitung volumenya.



Gambar 2. 21 Metode Penampang Melintang
(Purwohardjo 1989)

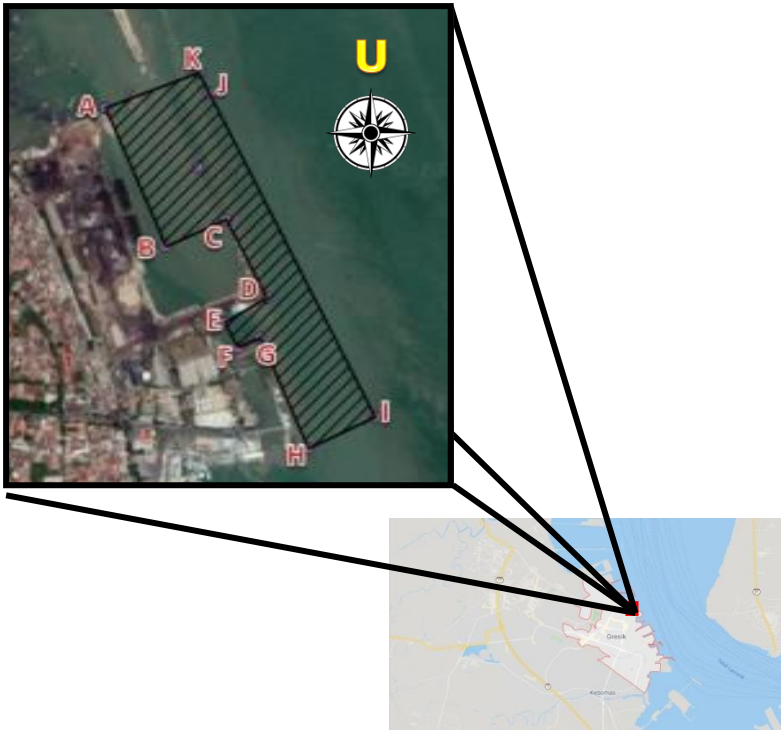
2.9 Penelitian Sebelumnya

Penelitian sebelumnya dilakukan oleh Rahmat (2014). Penelitian yang dilakukan adalah Analisis Perbandingan Data Batimetri Hasil Pengukuran *Multibeam Echosounder* dan *Singlebeam Echosounder* Untuk Wilayah Perairan Dangkal. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perbandingan data hasil pengukuran *multibeam echosounder* dengan data *singlebeam echosounder* tersebut di perairan dangkal. Analisis penelitian tersebut berupa pengujian kualitas data dan perbandingan perbedaan data saja. Hasil dari penelitian tersebut berupa hasil perhitungan pengujian data menggunakan Uji Z. Lalu penelitian sebelumnya yang lain dilakukan Pratiwi (2019). Penelitian yang dilakukan adalah Identifikasi Ketebalan Sedimen Dasar Laut menggunakan *Singlebeam Echosounder Dual Frequency* (Studi Kasus: Pelabuhan Tanjung Perak, Surabaya). Penelitian ini bertujuan Menganalisis data kedalaman terhadap data *singlebeam echosounder high frequency*. Analisis penelitian tersebut berupa analisis perbedaan deteksi kedalaman antara *low frequency* dan *high frequency*. Hasil dari penelitian tersebut berupa hasil perbedaan nilai kedalaman yang dideteksi oleh SBES *low frequency* (38 kHz) dan *high frequency* (200 kHz) berbeda-beda pada setiap titik.

BAB III
METODOLOGI PENGERJAAN

3.1 Lokasi Penelitian

Lokasi yang dijadikan studi kasus pada penelitian ini adalah pelabuhan Gresik. Wilayah pelabuhan Gresik merupakan perairan tenang. Dalam penelitian ini tidak semua wilayah pelabuhan yang dijadikan sebagai wilayah penelitian, lokasi penelitian ditampilkan pada Gambar 3.1.



Gambar 3. 1 Lokasi Penelitian

Sedangkan dalam sistem koordinat UTM zona 49S dengan datum *geodetic* WGS84 untuk koordinat area detailnya dapat ditujukkan dalam Tabel 3.1.

Tabel 3. 1 Kordinat Area Penelitian

Nama titik	*Easting (m)*	*Northing(m)*
A	683227	9209633
B	683389	9209259
C	683551	9209331
D	683659	9209120
E	683545	9209054
F	683581	9208988
G	683641	9209011
H	683769	9208714
I	683949	9208797
J	683507	9209671
K	683479	9209728

3.2 Data dan Peralatan

Pada bagian ini akan 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. Data XYZ *singlebeam echosounder* di survei oleh PT Pelabuhan Indonesia III (PELINDO III).
b. Data XYZ *multibeam echosounder* di survei oleh PT Pelabuhan Indonesia III (PELINDO III).
c. Data citra area penelitian di download dari SAS Planet.

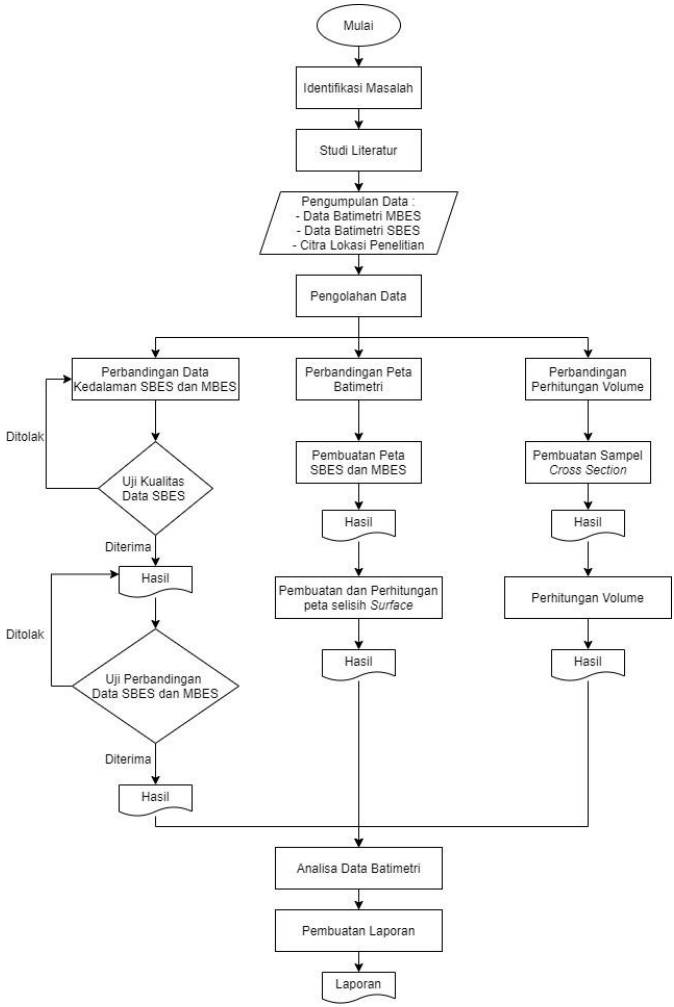
3.2.2 Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu adalah :

1. Perangkat lunak *Hypack* 2015 yang digunakan untuk pembuatan peta batimetri dan perhitungan volume.
2. Perangkat lunak *Global Mapper* 20.1 yang digunakan untuk mengetahui gambaran 3D *surface* data SBES dan MBES.
3. Perangkat lunak *ArcGIS* yang digunakan untuk mengetahui titik yang bertampalan antara data SBES dan MBES.
4. Perangkat lunak *Autocad Civil 3D* yang digunakan untuk menghitung volume antara *surface* SBES dan MBES.
5. Perangkat lunak QGIS yang digunakan untuk mengetahui titik yang berhimpitan antara jalur perum silang dan jalur perum utama data SBES.

3.3 Metodologi Penelitian

Adapun tahapan pelaksanaan penelitian dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut :



Gambar 3. 2 Diagram Alir Penelitian

Penjelasan diagram alir tahapan penelitian :

a. Identifikasi Masalah

Tahapan ini dimaksudkan untuk mengidentifikasi awal mengenai kasus yang akan diteliti, baik berupa parumusan

masalah, tujuan dan manfaat Analisis Perbandingan Data Batimetri *Multibeam Echosounder* dan *Singlebeam Echosounder* Di Perairan Pelabuhan Gresik.

b. Studi Literatur

Studi literatur dimaksudkan untuk mengumpulkan referensi yang akan menunjang langkah-langkah pengolahan sampai pada Analisa. Terkait penelitian ini, diperlukan studi literatur mengenai survei batimetri, *singlebeam echosounder*, *multibeam echosounder*, lajur pemeruman, uji kualitas data, uji perbandingan data, perhitungan volume dan penelitian sebelumnya yang dijadikan sebagai acuan.

c. Pengumpulan Data

Pengumpulan data bertujuan untuk mengumpulkan data yang diperlukan untuk melakukan penelitian, yaitu data pemeruman menggunakan *singlebeam echosounder* dan data *multibeam echosounder* selama proses pemeruman, serta citra area penelitian.

d. Pengolahan Data

Setelah terkumpul semua data maka tahapan selanjutnya adalah pengolahan data. Pada tahapan ini akan dilakukan uji kualitas data SBES, Uji perbandingan data SBES dan MBES dan selanjutnya dibuat peta batimetri, perbedaan selisih *surface*, perbedaan sampel *cross section* dan perhitungan volume.

e. Analisa

Melakukan analisa pada hasil yang diperoleh mengenai hasil dari uji kualitas data SBES, Uji perbandingan data SBES dan MBES serta peta batimetri, perbedaan selisih *surface*, perbedaan sampel *cross section* dan perhitungan volume.

f. Penyusunan Laporan

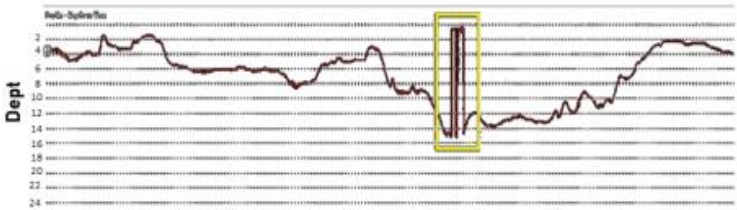
Laporan disusun untuk melaporkan hasil yang didapatkan dari penelitian yang telah dilakukan.

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

BAB IV
PELAKSANAAN PENGERJAAN

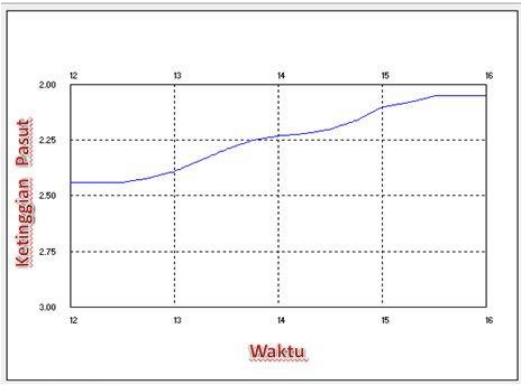
4.1 Pengolahan Data SBES

Pada pengolahan *raw* data *singlebeam echosounder*, tahap pertama yang dilakukan adalah *cleaning* data. Tahap *cleaning* ini dilakukan untuk menghilangkan *noise* pada *raw* data untuk menghasilkan gambaran permukaan dasar laut yang baik. Jumlah *raw* data sebanyak 36 *raw* data dimana satu *raw* data berisi satu jalur survei. *Cleaning raw* data ini dilakukan pada per *raw* data. Berikut pada Gambar 4.1 merupakan contoh salah satu *raw* data yang masih mengandung *noise* yang ditandai dengan kotak warna kuning.



Gambar 4. 1 *Noise* dalam *Raw* Data SBES

Setelah proses *cleaning*, koreksi selanjutnya pada nilai kedalaman adalah koreksi pasang surut yang terikat dengan BM BMG 031-1001 pasang surut PT Pelindo III terdekat Pelabuhan Gresik dengan referensi datum vertikal LWS = 4,1425 meter. Pasang surut diamati tiap 15 menit dengan menggunakan pengukuran manual menggunakan meteran yang terletak di dermaga Pelabuhan Gresik dengan BMG 03 - 1001 koordinat $7^0$09’20.473125” LS dan $112^0$39’44.576916” BT.



Gambar 4. 2 Interpolasi Pasang Surut

Setelah data terkoreksi dengan pengamatan pasang surut, selanjutnya data dapat di konversikan menjadi data XYZ. Data XYZ sampel dalam penelitian dapat dilihat dalam Tabel 4.1, data tersebut kemudian akan dibandingkan dengan data XYZ dari pengukuran *multibeam echosounder*.

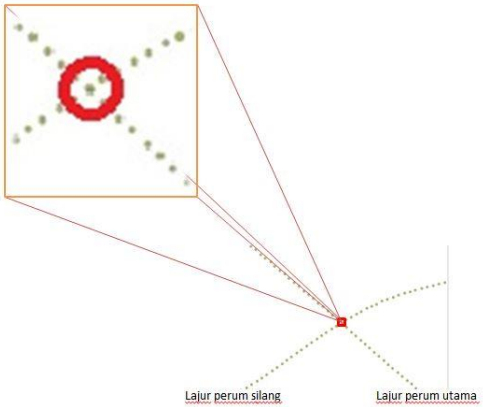
Tabel 4. 1 Sampel Data XYZ

No	X(m)	Y(m)	Z(m)
1	683702	9209150	15.05
2	683701.2	9209149	15.11
3	683700.5	9209149	14.87
4	683699.8	9209148	14.78
5	683699.2	9209147	14.79
6	683698.5	9209147	14.72
7	683711.2	9209155	16.05
8	683710.1	9209155	15.97
9	683709.1	9209154	15.85
10	683708	9209154	15.7

4.2 Analisis Uji Kualitas dan Uji Perbandingan

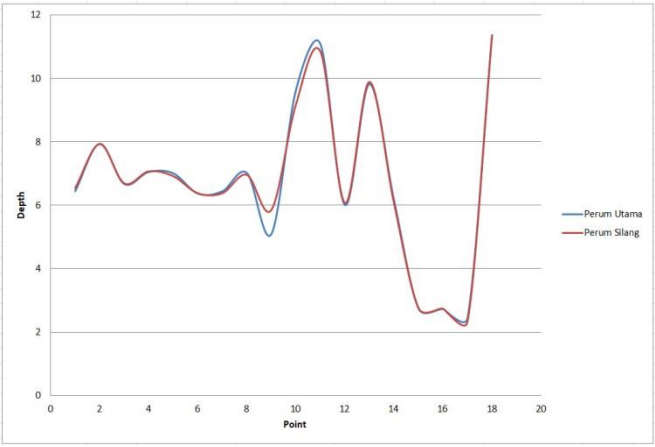
4.2.1 Uji Kualitas Data SBES

Uji kualitas data *singlebeam echosounder* telah dilakukan pada keseluruhan titik yang berhimpitan antara lajur utama dan lajur silang. Dalam pengujian data *singlebeam echosounder* ini didasarkan pada standar IHO SP 44 edisi ke 5 untuk tingkat kepercayaan 95% yaitu sebesar 1,96 x σ. Jumlah sampel dari hasil proses *filtering* data yakni sebanyak 18 titik yang saling berhimpit. Dalam kondisi yang ideal, untuk keseluruhan titik yang berhimpitan tidak terdapat selisih nilai kedalaman antara lajur utama dan lajur silang. Akan tetapi dikarenakan berbagai macam faktor baik faktor alat maupun faktor yang lainnya, kondisi ideal tersebut tidak selalu diperoleh. Artinya bahwa terdapat nilai perbedaan antara nilai kedalaman pada titik berhimpitnya antara lajur utama dan lajur silang. Nilai perbedaan ini seharusnya tidak boleh melebihi standar yang telah ditetapkan pada IHO SP-44 edisi ke 5 untuk tingkat kepercayaan 95%.



Gambar 4. 3 Titik berhimpit antara jalur perum utama dan jalur perum silang

Uji kualitas data kedalaman ini dimaksudkan untuk mengetahui apakah data kedalaman hasil pengukuran masih dalam batas toleransi yang telah ditentukan atau tidak. Dari perbedaan data tersebut dapat dilihat dalam grafik dalam Gambar 4.4.



Gambar 4. 4 Perbandingan titik berimpitan antara lajur perum utama dan lajur perum silang

Tabel 4. 2 Tabel Hasil Perhitungan Uji Kualitas Data *Singlebeam Echosounder*

Keterangan	Nilai (meter)
Rata-rata perbedaan	0,049
Rata-rata absolut perbedaan	0,083
Standar deviasi	0,127
1,96 x Standar deviasi	0,250
Toleransi IHO	0,500

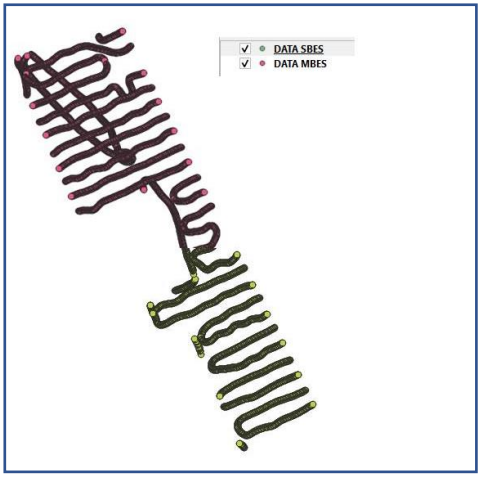
Dari hasil perhitungan diperoleh bahwa nilai standar deviasi dari selisih nilai kedalaman (Z) pada titik berhimpitnya lajur utama dan lajur silang yakni sebesar 0,127 meter, sehingga untuk tingkat kepercayaan 95% diperoleh nilai 0,250 meter dari perhitungan (1,96 x σ). Batas toleransi IHO pada tingkat orde survei 1a diperoleh sebesar 0,500 meter, perhitungan ini didapat dari persamaan 2.12.

Dapat dilihat bahwa nilai standar deviasi untuk tingkat kepercayaan 95% lebih kecil dari batas toleransi maksimum yang diperbolehkan dalam standar IHO, sehingga dapat dikatakan bahwa kualitas pengukuran *singlebeam echosounder* ini baik.

4.1.2 Hasil Perbandingan Data *Singlebeam Echosounder* dan *Multibeam Echosounder*.

Uji perbandingan data SBES dan MBES ini menggunakan uji *Z* dikarenakan jumlah sempel yang dipergunakan dalam uji statistik ini dapat dikategorikan sampel besar (>30%). Uji perbandingan data ini dilakukan untuk keseluruhan titik yang bertampalan antara titik perum SBES dan titik *grid* MBES. Jumlah sampel yang didapat setelah sebelumnya dilakukan proses *filtering* data melalui interpolasi data MBES menyesuaikan data SBES yaitu sebanyak 6279 titik.

Idealnya, untuk keseluruhan titik yang bertampalan ini tidak terdapat selisih nilai kedalaman antara data SBES dan MBES. Akan tetapi kondisi ideal tersebut tidak selalu diperoleh. Hal ini berarti bahwa terdapat nilai perbedaan antara nilai kedalaman pada titik yang bertampalan antara titik perum SBES dan titik *grid* MBES. Selanjutnya dilakukan uji statistik untuk tingkat kepercayaan 95% dengan menghitung nilai Z_0 nya.



Gambar 4. 5 Titik bertampalan antara pemeruman SBES dan MBES

Uji perbandingan data kedalaman antara data pengukuran MBES dan SBES ini dilakukan untuk mengetahui tingkat perbedaan hasil pengukuran kedua alat tersebut. Nilai perbedaan ini seharusnya tidak boleh melebihi standar yang telah ditetapkan pada IHO SP-44 edisi ke 5 untuk tingkat kepercayaan 95%. Untuk hasil Perbandingan data SBES dan MBES dapat dilihat dalam Tabel 4.3.

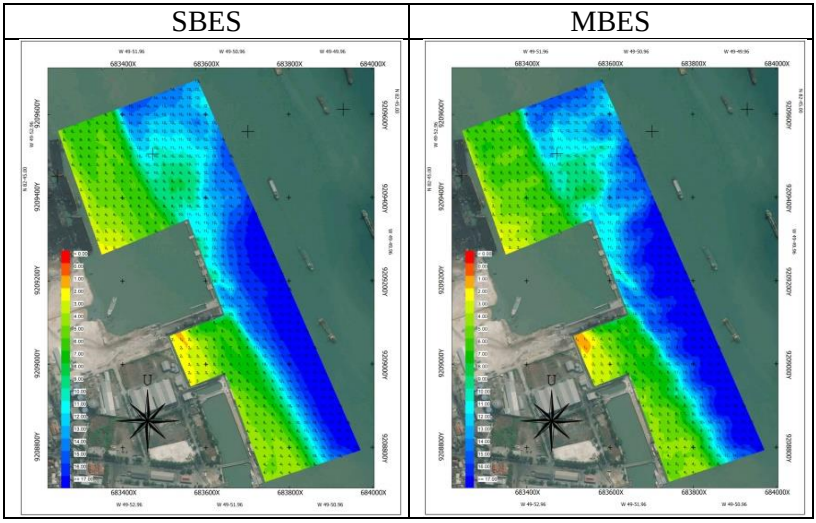
Tabel 4. 3 Tabel Hasil Perbandingan Data *Singlebeam Echosounder* dan *Multibeam Echosounder*.

Keterangan	Nilai (meter)
Rata-rata perbedaan	-0,239
Rata-rata absolut perbedaan	0,239
Standar deviasi perbedaan	0,174
Z_0	0,018

Berdasarkan hasil uji statistik menggunakan uji Z, diperoleh Z_0 sebesar 0.018m. Pada tingkat kepercayaan 95% nilai Z tabel berada pada rentang $-1,96 < Z_0 < 1,96$. Dari hasil Z_0 dan Z tabel dapat dilihat bahwa Z_0 < Z tabel sehingga dapat disimpulkan bahwa data pengukuran SBES dan MBES untuk tingkat kepercayaan 95% tidak berbeda secara signifikan, sehingga dapat dikatakan juga bahwa data MBES sudah sesuai dengan standar IHO SP-44 edisi ke 5 tahun 2008. Hal ini dikarenakan Z_0 masih berada pada rentang $-1,96 < Z_0 < 1,96$.

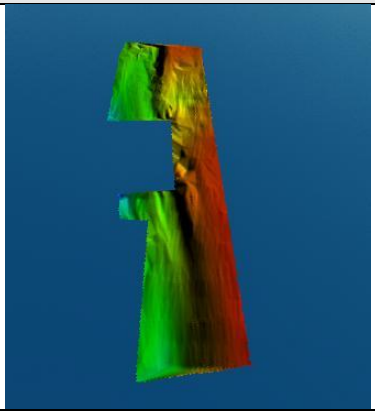
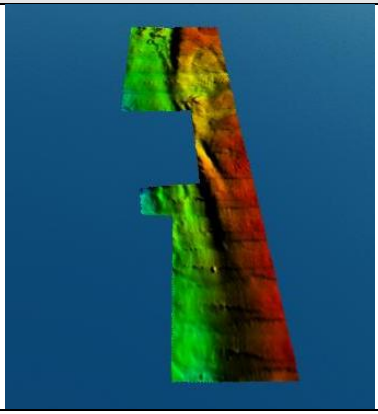
4.3 Analisis Hasil Peta Batimetri

Setelah diketahui bahwa kedua data memiliki kualitas baik dengan toleransi 1a, maka tahap selanjutnya yang dilakukan dalam analisis penelitian adalah pembuatan peta batimetri antara pengolahan SBES dan MBES untuk mengetahui perbedaan hasil dari kedalaman keduanya dapat dilihat pada Gambar 4.6., dari gambar tersebut diketahui bahwa wilayah penelitian memiliki kedalaman maksimum sekitar 17 meter ditunjukan dengan warna biru sebagai warna maksimum, dan memiliki kedalaman minimum antara 0 – 1 meter ditunjukan dengan warna merah.



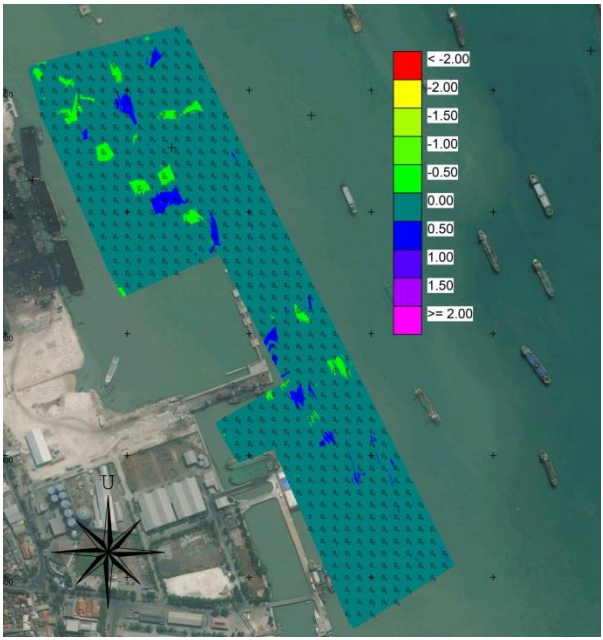
Gambar 4. 6 Perbedaan Peta Batimetri antara SBES dan MBES

Kedua pengolahan data, baik data SBES maupun data MBES memiliki *surface* yang berbeda. Hal itu dapat dilihat pada Gambar 4.7. Dari gambar tersebut dapat diketahui bahwa data SBES memiliki kedalaman yang lebih rata jika dibandingkan dengan data MBES, hal itu disebabkan karena proses interpolasi dari *software* yang digunakan. Hal ini juga disebabkan karenakan data MBES memiliki titik-titik yang lebih banyak dibandingkan dengan data SBES sehingga kedalaman permukaan lautnya bisa tervisualisasi dengan baik dan sesuai permukaan yang sebenarnya.

SBES	MBES
	

Gambar 4. 7 Perbedaan *Surface* 3D antara SBES dan MBES

Setelah diketahui perbedaan *surface* tersebut selanjutnya dilakukan penampalan sehingga dapat diketahui perbedaan kedalaman antara SBES dan MBES yang dapat dilihat pada Gambar 4.8. Perbedaan kedalaman tersebut menunjukan bahwa apabila data positif (+) maka kedalaman SBES lebih dangkal dari MBES, sebaliknya apabila data negatif (-) maka kedalaman MBES lebih dangkal dari SBES. Dari perbedaan selisih kedalaman pada data SBES dan MBES tersebut, maka dapat dihitung volume *cut* dan *fill* dimana data MBES sebagai referensi permukaan *existing* dengan luas area luas area penelitian area 220985,945 m^2. Hasil perhitungan volume *cut* dan *fill* selisih kedalaman antara SBES dan MBES dapat dilihat pada Tabel 4.4.



Gambar 4. 8 Peta Perbedaan Kedalaman SBES dan MBES

Tabel 4. 4 Volume perbedaan kedalaman surface SBES dan MBES

Selisih Volume	*Cut* (m^3)	*Fill* (m^3)
	79793,82	21078,81

Berdasarkan hasil analisa perbedaan peta batimetri dan perbandingan kedua *surface*, dimana data MBES sebagai referensi *existing* menghasilkan nilai *cut* yakni 79793,82 m^3 yang lebih tinggi nilainya dibandingkan dengan *fill* yakni 21078,81m^3. Hal ini menunjukkan bahwa data SBES mempunyai kedalaman mayoritas lebih dangkal dibanding dengan data MBES

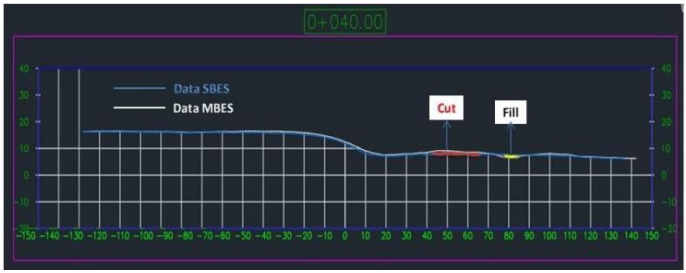
4.4 Analisis Perbedaan Volume Keruk

Setelah melakukan analisis perbedaan peta batimetri dan perbedaan kedua *surface* maka selanjutnya dilakukan analisa perbandingan antara sampel *cross section* dan perhitungan volume yang dilakukan dengan *software Hypack* dengan referensi kedalaman 15 m. Pada penelitian ini tidak semua area pelabuhan Gresik yang digunakan untuk penelitian akan tetapi hanya beberapa wilayah saja yang memiliki luasan area yaitu 220985.945 m^2 dari seluruh area penelitian

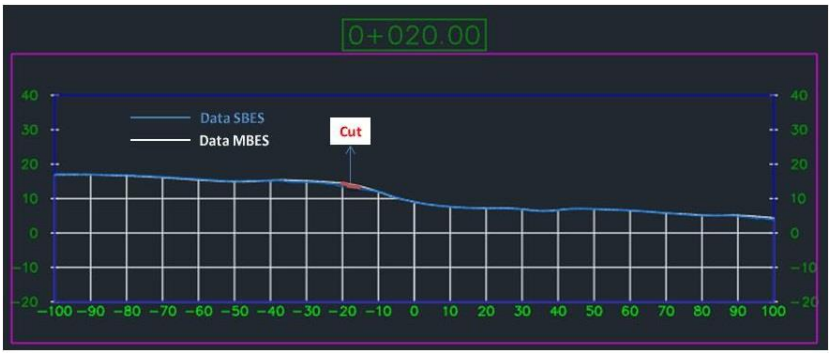
Dalam hal ini penulis membagi dua area sampel *cross section* dalam area penelitian, yakni bagian *cross section* utara dan *cross section* selatan, karena ada beberapa bagian yang sulit untuk dilakukan *cross section*. kedua pembagian itu dilakukan untuk melihat bagaimana perbedaan selisih *surface* per-*cross section* antara SBES dan MBES. Letak pembagian sampel bagian *cross section* itu dapat dilihat pada Gambar 4.9.

Gambar 4. 9 Pembagian *Cross Section*

Pada pengolahan data telah dibuat *cross section* dengan lebar 150 meter kearah kanan dan kearah kiri pada *cross section* bagian utara serta lebar 100 meter kearah kanan dan kearah kiri pada *cross section* bagian selatan. Dan salah satu *cross section* bagian utara dengan nomer 0+040.00 dapat dilihat pada Gambar 4.10 dan salah satu *cross section* bagian selatan dengan nomer 0+020.00 dapat dilihat pada Gambar 4.11. Pada garis warna putih menunjukkan permukaan MBES sedangkan garis warna biru menunjukkan permukaan SBES. Dan jika dilihat dari beberapa sampel *cross section* yang telah dibuat, baik data SBES maupun MBES keduanya pada setiap *section* tidak memiliki perbedaan siknifikan.



Gambar 4. 10 Sampel *Cross Section* Bagian Utara



Gambar 4. 11 Sampel *Cross Section* Bagian Selatan

Setelah diketahui perbedaan *surface* disetiap sampel *cross section* tersebut selanjutnya dilakukan perhitungan volume untuk melihat jumlah volume antara permukaan data SBES dan MBES di setiap *cross section*. Perhitungan ini menggunakan data MBES sebagai referensi permukaan *existing*. Perhitungan volume dapat dilihat pada Tabel 4.5 dan Tabel 4.6. Jika dilihat dari hasil perhitungaan volume setiap *cross section* untuk bagian utara nilai *cut* tertinggi pada *section* nomor 0+380.000 yaitu 3125,61 m^3 pada dan nilai *fill* tertinggi pada *section* nomor 0+240.000 yaitu 1235,71m^3, sedangkan untuk bagian selatan nilai *cut* tertinggi pada *section* nomor 0+060.000 yaitu 2071,67 m^3 dam nilai *fill* tertinggi pada *section* nomor 0+100.000 yaitu 808,91 m^3.

Tabel 4. 5 Perhitungan Volume Sampel *Cross Section* bagian Utara

***Section* Utara**	***Cut* (m^3)**	***Fill* (m^3)**
0+000.000	0	0
0+020.000	160,61	272,20
0+040.000	1214,12	320,20
0+060.000	1651,08	289,60
0+080.000	1082,49	621,25
0+100.000	1302,59	525,47
0+120.000	2409,82	97,67
0+140.000	2424,76	83,18
0+160.000	873,67	807,75
0+180.000	548,48	761,18
0+200.000	1768,11	28,41
0+220.000	1976,36	30,71
0+240.000	681,39	1235,71
0+260.000	527,27	1227,42
0+280.000	2055,21	0,22
0+300.000	2253,66	3,79

***Section* Utara**	***Cut* (m^3)**	***Fill* (m^3)**
0+320.000	725,92	1028,58
0+340.000	542,94	1037,14
0+360.000	2674,44	12,35
0+380.000	3125,61	14,14
0+400.000	1299,68	548,73
0+400.723	18,48	39,16

Tabel 4. 6 Perhitungan Volume Sampel *Cross Section* bagian Selatan

***Section* Selatan**	***Cut* (m^3)**	***Fill* (m^3)**
0+000.000	0	0
0+020.000	724,33	134,14
0+040.000	1533,40	124,97
0+060.000	2071,67	22,87
0+080.000	860,88	347,02
0+100.000	68,00	808,91
0+120.000	919,08	523,09
0+140.000	1697,25	38,65
0+160.000	850,86	225,18
0+180.000	69,98	701,05
0+200.000	980,66	510,06
0+220.000	1817,52	83,22
0+240.000	960,94	252,13
0+260.000	136,40	436,78
0+280.000	1074,02	234,00
0+300.000	1992,50	0
0+320.000	1065,26	152,06
0+340.000	170,89	418,86
0+360.000	1010,74	266,8
0+380.000	1856,48	8,67

***Section* Selatan**	***Cut* (m^3)**	***Fill* (m^3)**
0+400.000	920,84	304,62
0+417.539	33,91	259,54

Pada pengolahan data perhitungan volume yang dilakukan dengan *software Hypack* dengan referensi kedalaman 15 m, di dapatkan nilai perbandingan volume seperti pada Tabel 4.7.

Tabel 4. 7 Perbandingan Volume

	SBES (m^3)	**MBES (m^3)**	**Selisih (m^3)**
Volume *Above* (*cut*)	1082288,40	1053730,90	28557,50
Volume *Bellow* (*fill*)	43877,40	48817,90	-4940,50

Berdasarkan hasil analisa perbedaaan volume dengan kedalaman 15 meter, dimana luas area penelitian area 220985,95 m^2 menghasilkan selisih *cut* 28557,5 m^3 dimana lebih banyak SBES dan selisih *fill* 4940,5 m^3. Jika selisih antara *cut* dan *fill* tersebut ditotal untuk melihat jumlah selisih sebenarnya adalah 23617 m^3. Hasil tersebut jika dibagi dengan luas area maka setiap 1 m^2 memiliki perbedaan 0,11 m^3. Hal ini menunjukkan bahwa dalam area yang sempit selisih volume tidak begitu banyak akan tetapi jika area survei cukup luas maka dapat menunjukkan selisih volume yang cukup banyak sehingga hal itu akan sangat berpengaruh dengan proses pekerjaan selanjutnya.

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

BAB V
PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penilitian yang dilakukan dapat diambil kesimpulan bahwa :

1. Dari hasil uji perbandingan kedalaman antara data pengukuran *singlebeam echosounder* dan *multibeam echosounder* menggunakan uji statistik dengan uji Z untuk sampel besar, diperoleh bahwa nilai Z hitung (Z_0) sebesar 0,018 m. Nilai Z_0 ini lebih kecil dibandingkan dengan Z tabel untuk tingkat kepercayaan 95% yakni masih dalam rentang $-1{,}96 < Z_0 < 1{,}96$. Oleh karena itu hasil pengukuran *singlebeam echosounder* dan *multibeam echosounder* di Pelabuhan Gresik tidak berbeda secara signifikan, dengan kata lain bahwa kualitas data MBES juga telah sesuai dengan standarisasi yang telah ditentukan.
2. Hasil perbandingan peta batimetri dan selisih kedalaman pada *surface* antara data SBES dan data MBES, dimana data MBES digunakan sebagai referensi *existing* menghasilkan nilai *cut* yaitu 79793,82 m^3 yang lebih tinggi nilainya dibandingkan dengan *fill yaitu* 21078,81 m^3. Sehingga Hal ini menunjukkan bahwa data SBES mempunyai kedalaman mayoritas lebih dangkal dibanding dengan data MBES.
3. Berdasarkan hasil analisa perbedaaan volume dengan kedalaman 15 m, dimana luas area penelitian 220985,95 m^2 jumlah selisih sebenarnya adalah 23617 m^3. Dan jika hasil tersebut dianggap rata maka luas area maka setiap 1 m^2 memiliki perbedaan 0,11 m^3. Hal ini menunjukkan bahwa dalam area yang sempit selisih volume tidak begitu banyak akan tetapi jika area survei cukup luas maka dapat menunjukkan selisih volume yang cukup banyak sehingga

hal itu akan sangat berpengaruh dengan proses pekerjaan selanjutnya.

5.2 Saran

Adapun saran yang diberikan untuk penelitian selanjutnya yakni antara lain :

1. Perbandingan data *singlebeam echosounder* dan *multibeam echosounder* ini hanya dilakukan untuk studi pada area Pelabuhan Gresik yang merupakan perairan dangkal sehingga diharapkan untuk penelitian selanjutnya perbandingan kedua data hasil pengukuran SBES dan MBES dapat dilakukan pada area perairan laut dalam.
2. Perbandingan data *singlebeam echosounder* dan *multibeam echosounder* hanya dilakukan hingga perbandingan perhitungan volume sehingga diharapkan untuk penelitian selanjutnya dapat dilakukan perbandingan pengaruh biaya ketika ada perbedaan hasil pengukuran menggunakan SBES dan MBES.

DAFTAR PUSTAKA

Abidin, Z. 2005. Penentuan Posisi Dengan *Receiver* GPS Satu Frekuensi, Status dan Permasalahannya.Bandung: ITB.

Ali, M., Mihardja D.K., dan Hadi S. 1994. Pasang Surut Laut. Bandung: ITB.

Adil I., dan Wiwin W., 1998, Kontrol Kualitas pada Pemetaan Batimetri. *Proceeding* Forum Ilmiah Tahunan Ikatan Surveyor Indonesia. Jakarta.

Abidin, H. S., 2000, Penentuan Posisi dengan GPS dan Aplikasinya, PT. Pradnya Paramita, Jakarta.

Badan Standarisasi Nasional. 2010. "Survei Hidrografi Menggunakan *Singlebeam Echosounder*". Jakarta: BSN.

Benyamin, A, D Pratomo, dan Yuwono. 2007. *Penentuan Chart Datum Dengan Menggunakan Komponen Pasut Untuk Penentuan Kedalaman Kolam Dermaga.* Surabaya: ITS.

Brennan, C.W. 2009. Multibeam Calibration: The Patch Test. R2Sonic LLC. USA

Defrimilsa, 2003, Studi Perbandingan Profil Batimetri Perairan Utara Belitung Hasil Deteksi Sistem Akustik Bim Terbagi SIMRAD EY-500 Dengan Profil Batimetri Peta Dishidros TNI-AL. Skripsi. Program Studi Ilmu Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Institut Pertanian Bogor, Bogor.

Fisheries and Ocean Canada. 2019. *What are Spring and Neap tides?*. Diakses 22 April, 2020. :https://tides.gc.ca/eng/info/faq.

Hadi, I Made Sapta. 2015. "Modul Pembuatan Lajur Pemeruman". Program Studi Teknik Geodesi Universitas Gadjah Mada.

Hammerstad, E., 2000, Backscattering and Seabed Image Reflectivity. EM Technical Note.http.//www.kongsberg.com (akses tanggal 3 Februari 2020).

Moustier, D., 2005, Course Multybeam Sonar Method. Publication Data, Inggris.

Hermawan, 2007, Pembuatan Peta Batimetri menggunakan Data Multibeam EM 1002 dan Perangkat Lunak CARIS HIPS-SIPS 5.4 di Selatan Bali, Skripsi, Jurusan Teknik Geodesi Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.

IHO, 2008, IHO *Standards for Hydrographic Surveys, International Hydrographic Bureau, Monaco*.

Lekkerkerk, and Huibert-Jan, 2006, Handbook of Offshore Surveying :Acquisition and Processing. Fugro, Netherlands.

Lurton, X. 2002. "An Introduction to Underwater Acoustics: Principles and Applications". France (FR): Praxis Publ.

Madalila, M. S., 2012, Kajian Efektifitas Antara Aplikasi Multibeam Echosounder Dengan Perpaduan Singlebeam Echosounder – Side Scan Sonar Dalam Survei Lokasi Anjungan Eksplorasi Minyak Lepas Pantai Studi Kasus: Site Bawean Area, JawaTimur. Skripsi, Departemen Teknik Geodesi Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Institut Teknologi Bandung, Bandung.

Mann, R., and Godin, A., 1998, *Field Procedure for the Calibration of Shallow Water Multibeam Echo-Sounding System. Canadian Hydrographic Conference, Canada*.

Mochamadha. 2008. "Koreksi Pasut Untuk Menuju Survei Batimetri Realtime". Bandung: ITB.

Moustier, D., 2005, Course Multybeam Sonar Method. Publication Data, Inggris.

Nautical Chart. 2019. "Multibeam Echosounder. Note : www.nauticalcharts.noaa.gov (akses tanggal 3 Agustus 2020).

Ongkosongo, O. 1989. "Pasang Surut". Jakarta: Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia.

Poerbandono dan Djunarsjah, Eka. 2005. "Survei Hidrografi". Bandung: Refika Aditama.

Prasetyo, Agus Ari, Ahmad Zakaria, dan Margareta Welly. 2016. "Analisa Kesalahan Pemodelan Data Pasang Surut Stasiun Tanjung Priok." JRSDD 423 -434.

Pratiwi, Ayustin Dian. 2019. “Identifikasi Ketebalan Sedimen Dasar Laut menggunakan *Singlebeam Echosounder Dual Frequency* (Studi Kasus: Pelabuhan Tanjung Perak, Surabaya)” Surabaya : ITS.

Purwohardjo, Umaryono U. 1989. “Pengukuran Topografi”. Jurusan Teknik Geodesi FTSP ITB: Bandung.

Sasmita, D.K. 2008. Aplikasi Multibeam Echosounder System (MBES) untuk Keperluan Batimetrik. Program Studi Teknik Geodesi dan Geomatika. Institut Teknologi Bandung.

Sidik, Rahmat. 2014. “Analisis Perbandingan Data Batimetri Hasil Pengukuran *Multibeam Echosounder* dan *Singlebeam Echosounder* Untuk Wilayah Perairan Dangkal”. Yogyakarta : UGM.

Soeprapto. 2001. “Koreksi dan Reduksi Data Kedalaman”. UGM. Yogyakarta.

Sonar Nusantara, 2019, Koreksi *Multibeam Echosounder* Note. https://sonar-nusantara.co.id/ (akses tanggal 10 Agustus 2020).

Surinati, Dewi. 2017. "Pasang Surut dan Energinya." Oseana XXXII (1) 15-22.

Triatmodjo, Bambang. 2010. *Perencanaan Pelabuhan.* Yogyakarta : Beta Offset.

Wardiyatmoko, K, dan R Bintarto H. 1994. *Geografi untuk SMU Kelas 1.* Jakarta: Erlangga.

Widjajanti, N., 2011, Modul Kuliah Statistik dan Teori Kesalahan, Jurusan Teknik Geodesi Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.

Wirayuda, Agung. 2017. Pasang Surut Air Laut Sebagai Metode Penentuan Awal Bulan Islam Menurut Jamaah An-Nadzir

Kec. Bontomarannu Kab. Gowa Perspektif Ilmu Falak dan Oseanografi. Undergraduate Thesis, Malang: Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.

Wyrtki, K. 1961. *Physical Oceanography of The Southeast Asian Waters*. Naga Report, California: The University of California Scripps Intitutions of Oceanography.

Yuwono. 2005. "Buku Ajar Hidrografi-1". Surabaya: Program Studi Teknik Geodesi ITS.

LAMPIRAN A
DATA KEDALAMAN SINGLEBEAM ECHOSOUNDER

(lampiram akan dilampirkan dalam bentuk file di CD)

LAMPIRAN B
DATA KEDALAMAN *MULTIBEAM ECHOSOUNDER*

(lampiram akan dilampirkan dalam bentuk file di CD)

LAMPIRAN C
UJI KUALITAS DATA SBES

Keterangan	Nilai (meter)
Rata-rata	0,049
Rata-rata absolut perbedaan	0,083
Standar Deviasi	0,127
1,96 x Standar Deviasi	0,250
Toleransi IHO	0,516

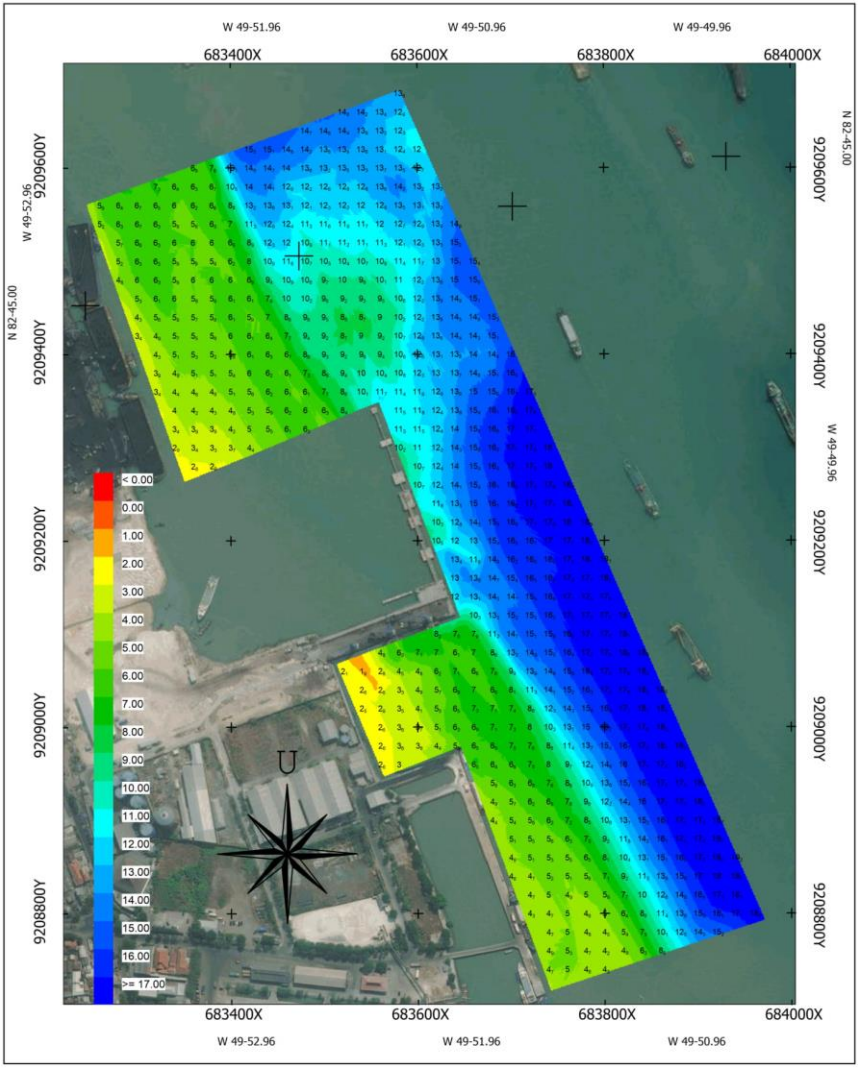
LAMPIRAN D
UJI PERBANDINGAN DATA SBES DAN MBES

(lampiram akan dilampirkan dalam bentuk file di CD)

Keterangan	Nilai (meter)
Rata-rata Selisih Kedalaman	-0,239
Rata-rata absolut Selisih Kedalaman	0,239
Standar Deviasi Selisih Kedalaman	0,174
Zo	0,018

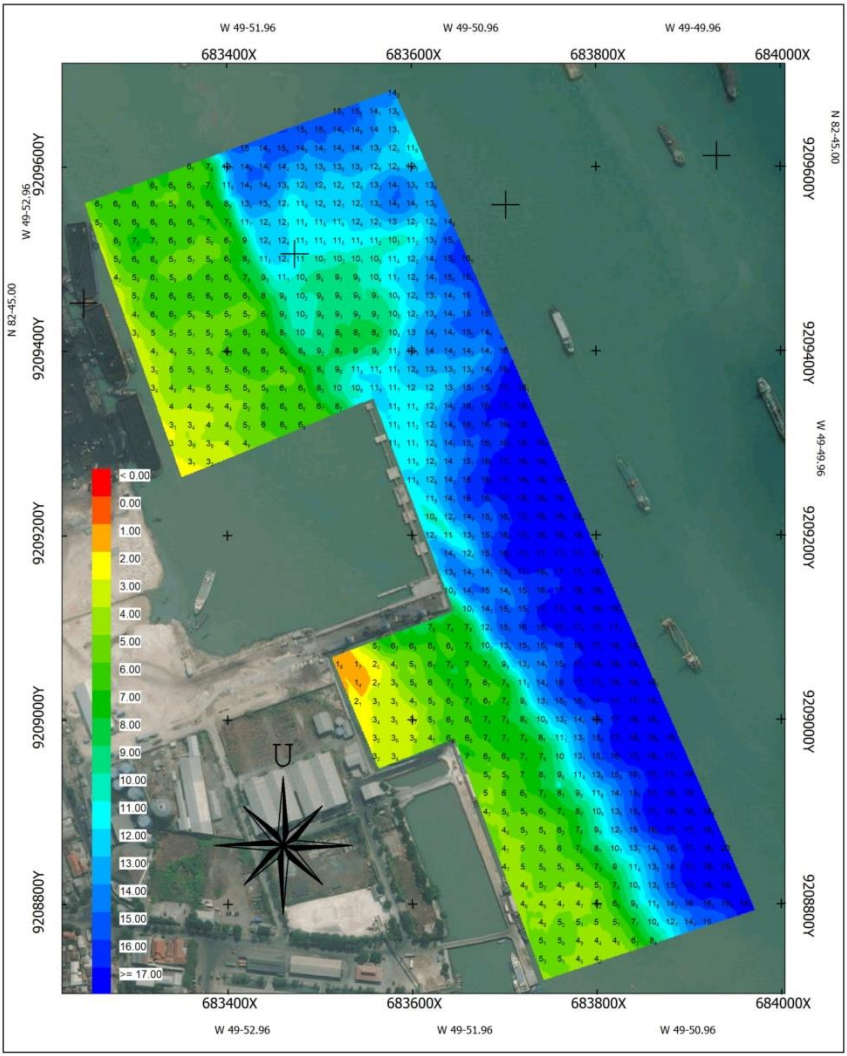
"Halaman ini sengaja dikosongkan"

LAMPIRAN E
PETA BATIMETRI *SINGLEBEAM ECHOSOUNDER*



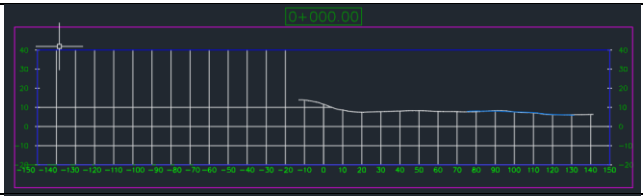
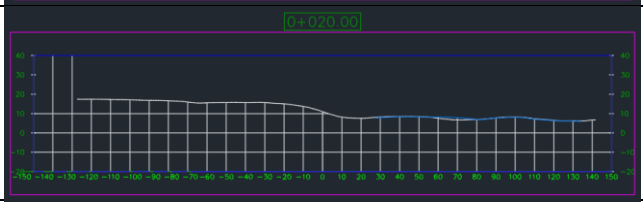
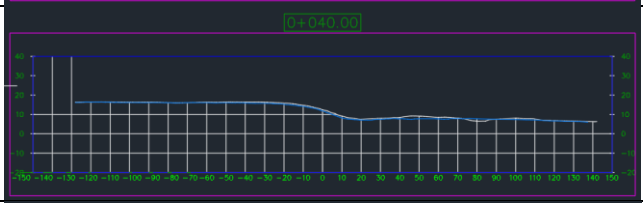
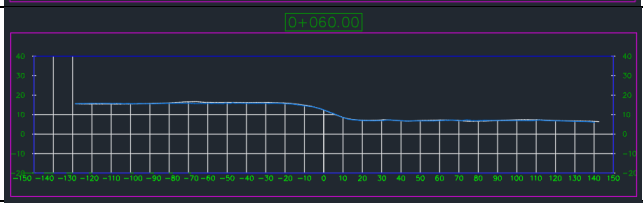
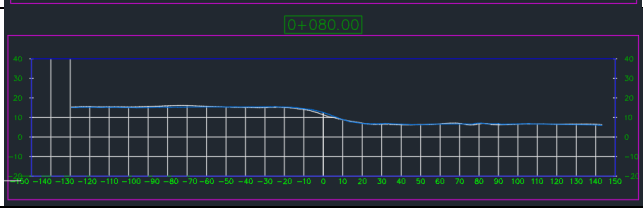
"Halaman ini sengaja dikosongkan"

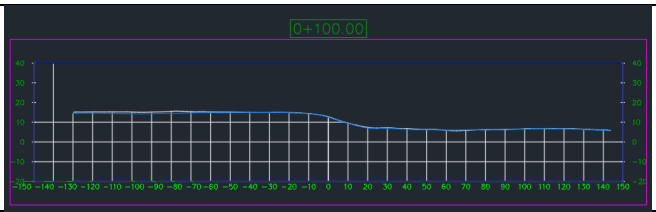
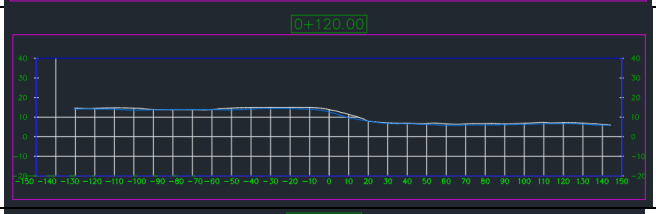
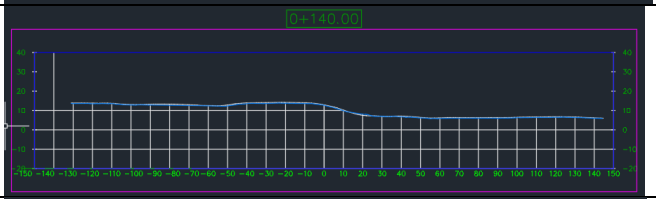
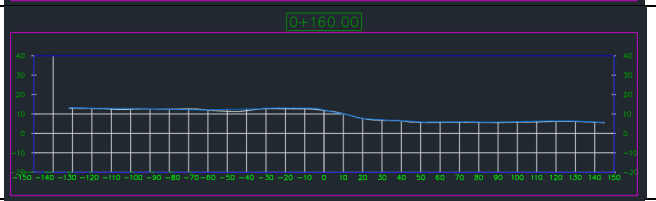
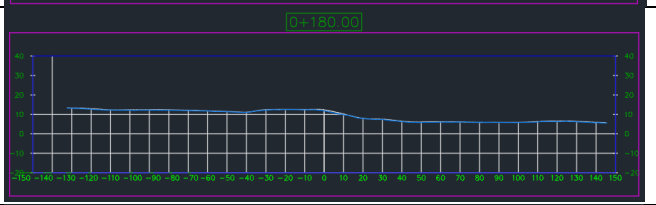
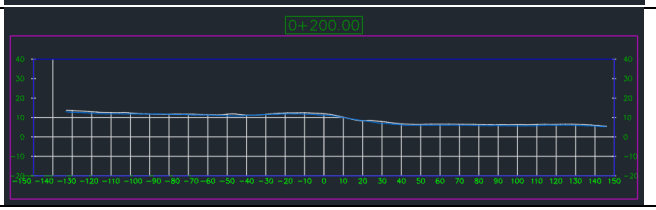
LAMPIRAN F
PETA BATIMETRI *MULTIBEAM ECHOSOUNDER*

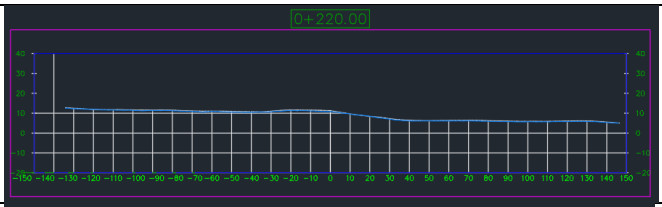
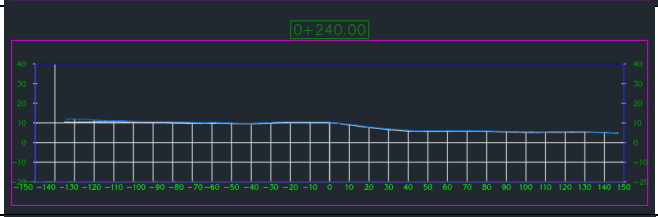
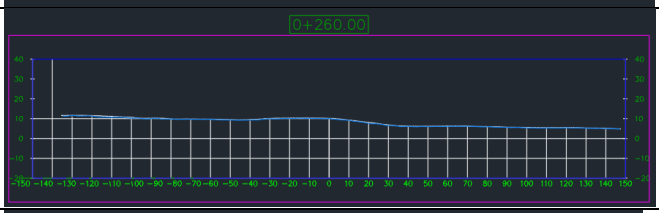
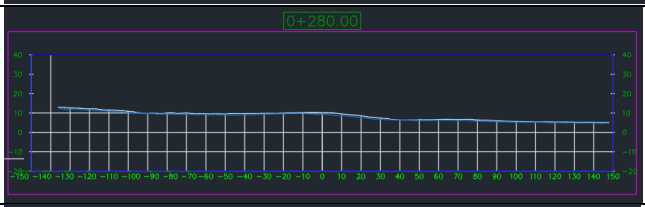
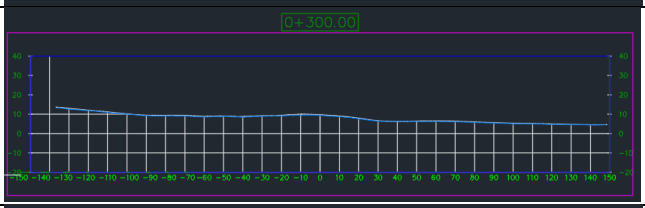
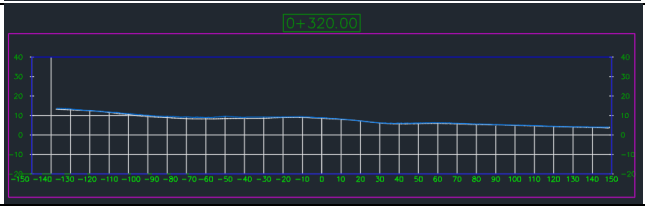


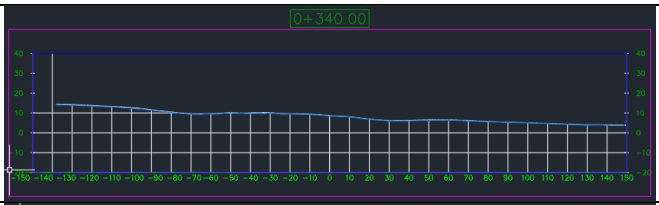
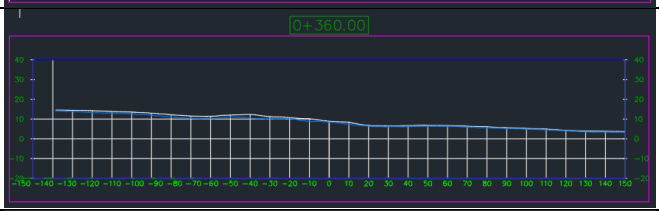
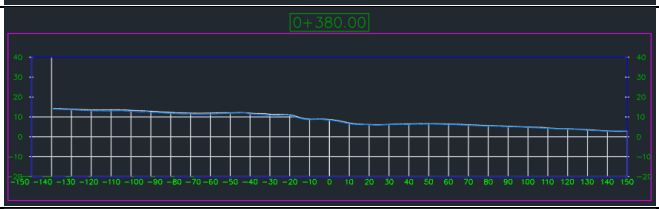
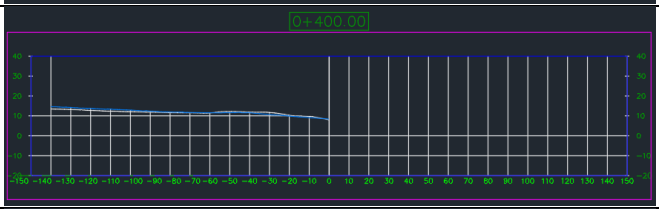
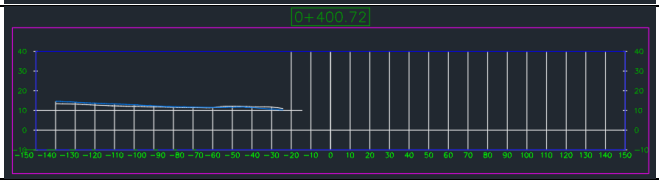
"Halaman ini sengaja dikosongkan"

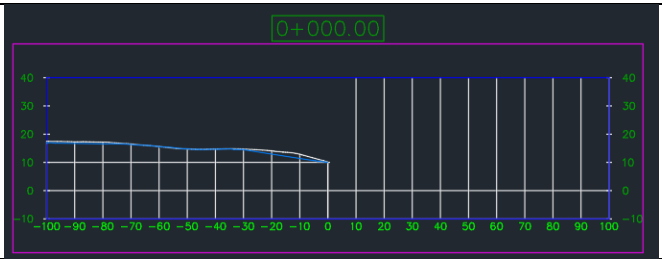
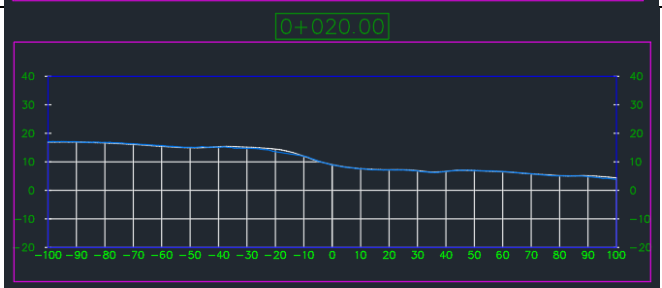
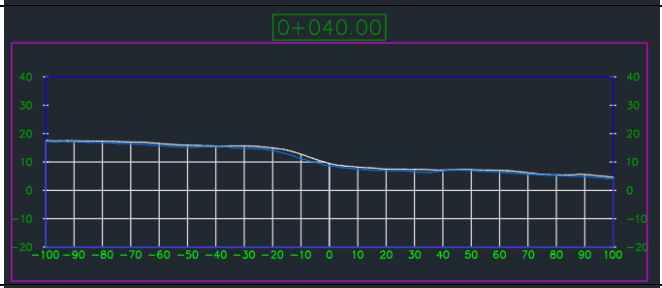
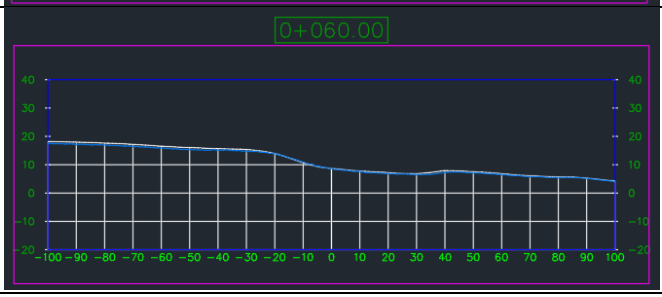
LAMPIRAN G
HASIL SAMPEL CROSS SECTION

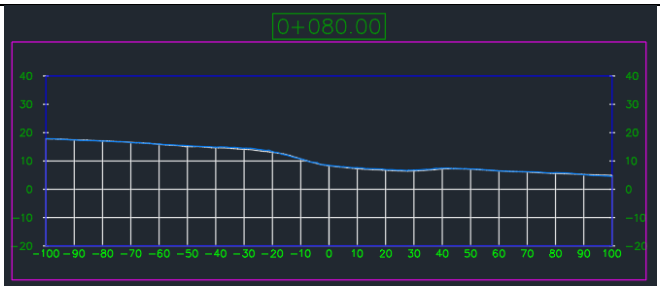
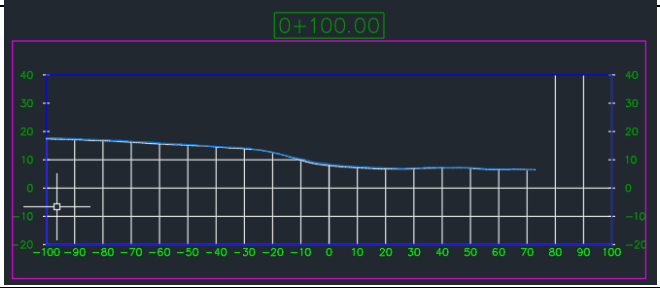
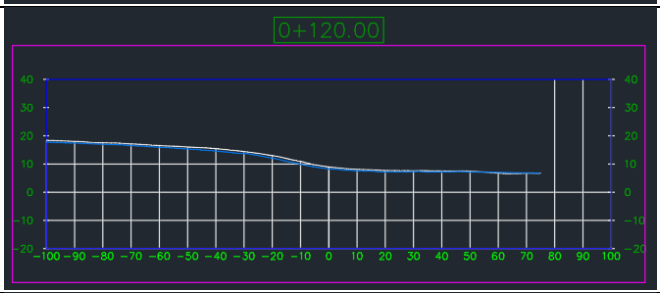
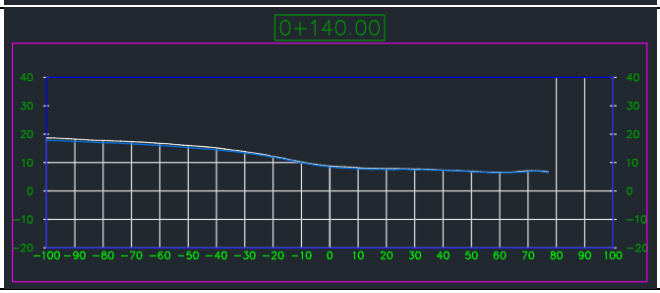
No.	***Cross Section* Utara**
1	
2	
3	
4	
5	

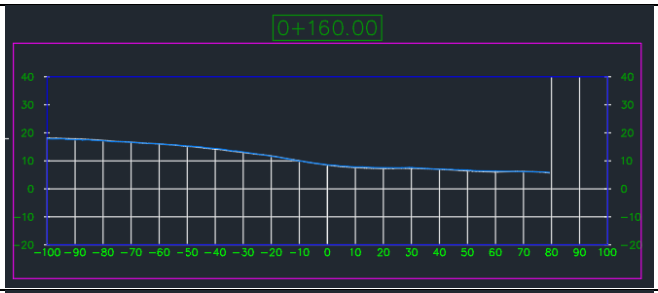
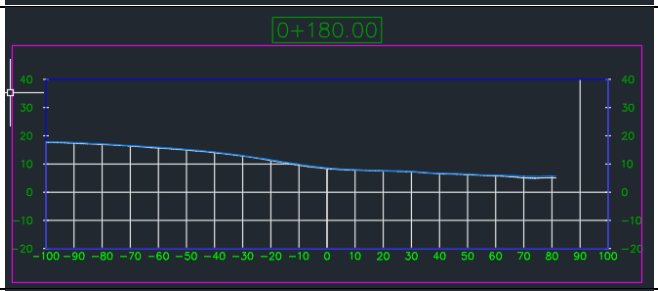
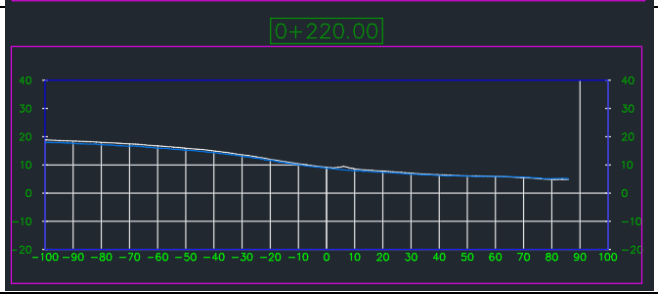
6	
7	
8	
9	
10	
11	

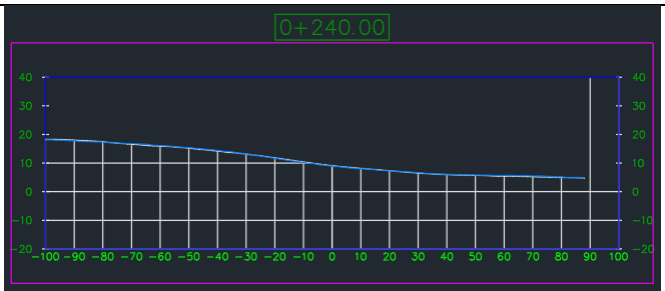
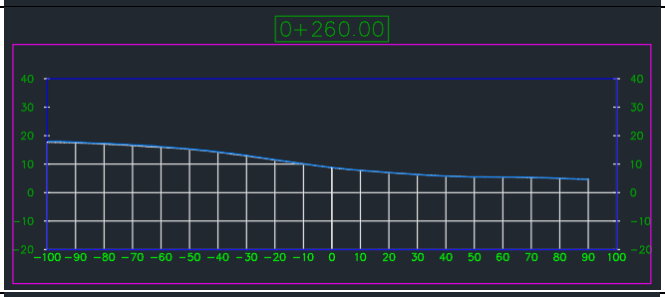
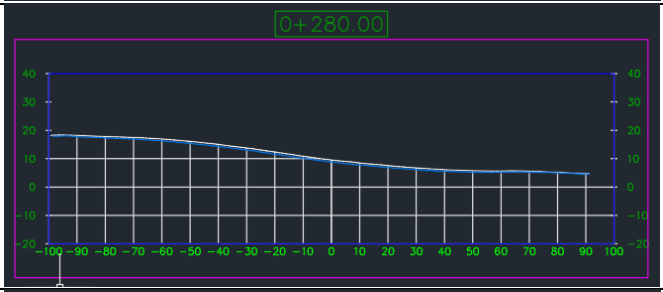
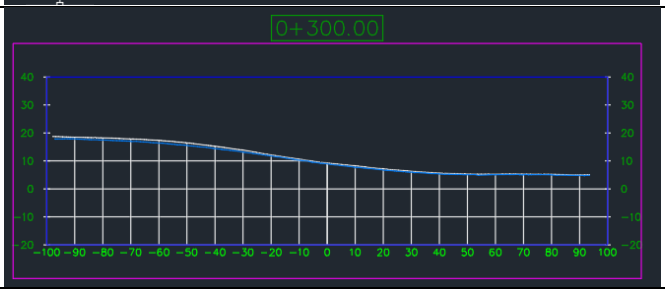
12	
13	
14	
15	
16	
17	

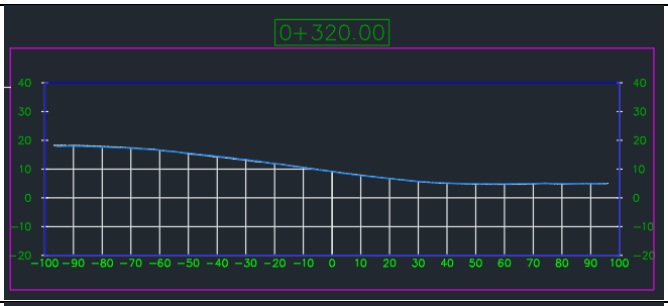
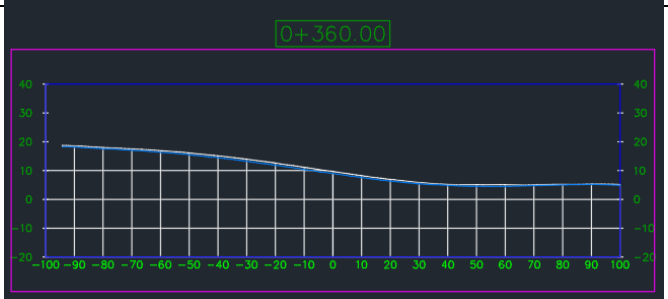
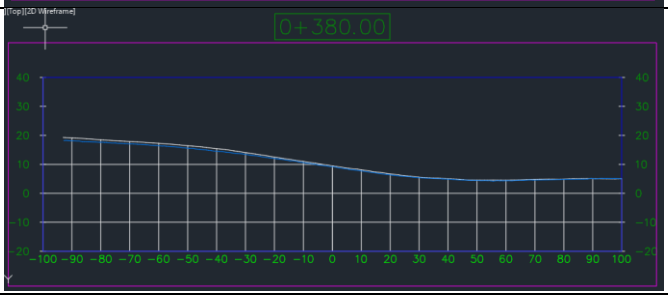
18	
19	
20	
21	
22	

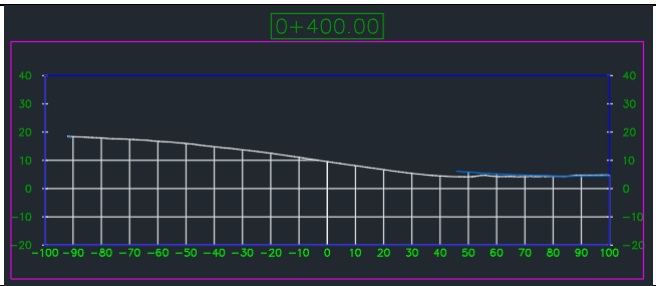
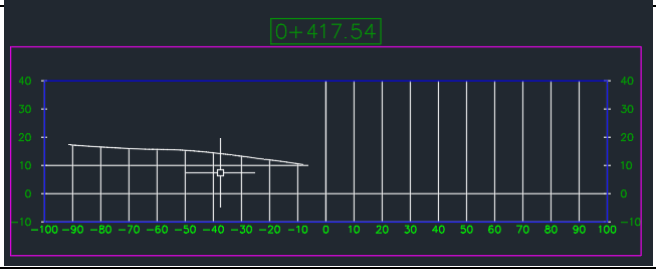
No	*Cross Section* Selatan
1	
2	
3	
4	

5		
6		
7		
8		

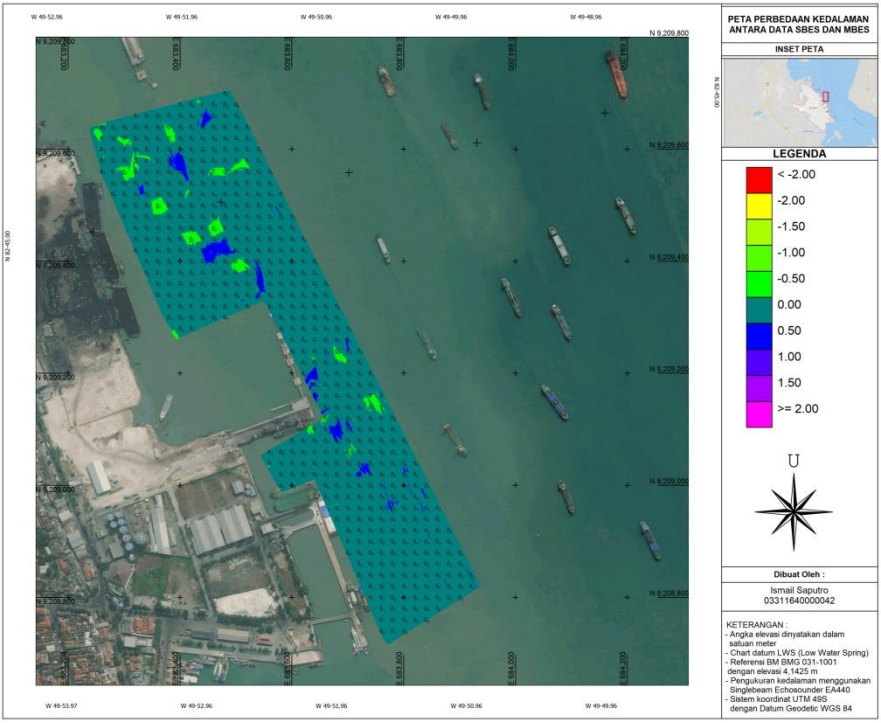
9		
10		
11		
12		

13		
14		
15		
16		

17		
18		
19		
20		

21	 0+400.00 40 30 20 10 0 -10 -20 -100 -90 -80 -70 -60 -50 -40 -30 -20 -10 0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100	
22	 0+417.54 40 30 20 10 0 -10 -100 -90 -80 -70 -60 -50 -40 -30 -20 -10 0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100	

LAMPIRAN H PETA SELISIH PEMUKAAN DATA SBES DAN MBES



"Halaman ini sengaja dikosongkan"

BIODATA PENULIS

Ismail Saputro, dilahirkan di Ngawi, 18 April 1998. Merupakan anak terakhir dari empat ber-saudara, Penulis telah menempuh pendidikan formal di SDN KAUMAN 5, kemudian melanjutkan ke SMPN 1 Widodaren, Ngawi, kemudian melanjutkan ke SMAN 1 Widodaren, Ngawi. Selanjutnya penulis melanjutkan pendidikan S-1 di Jurusan Teknik Geomatika, Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan dan Kebumian, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya melalui jalur SBMPTN tahun 2016 dan terdaftar dengan NRP 03311640000042. Penulis berkuliah dengan beasiswa penuh yaitu beasiswa Bidikmisi dan Beastudi Etos. Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif dalam organisasi BEM ITS sebagai Menteri Advokasi dan Kesejahteraan Mahasiswa 2019, JMMI ITS sebagai Midle FSLDK Komisi A 2018, Badan Perwakilan Mahasiswa (BPM) HIMAGE ITS 2018-2019. Penulis telah melakukan kerja praktik di PT APBS dan melakukan magang (Program Magang Mahasiswa Bersertifikat) di PT PELINDO III (persero). Penulis juga pernah beberapa kali mengikuti pelatihan tingkat nasional, seperti Pelatihan Pemimpin Bangsa-11, YIPC dan SPC (*Sosiopreneur Camp*) Beastudi Etos. Selain itu penulis juga pernah mengikuti perlombaan karya tulis ilmiah yakni sebagai Juara 1 UI *Youth Environmental Action* 2017 dan Finalis HCC UNY 2017. Untuk menyelesaikan studi Tugas Akhir, penulis memilih bidang keahlian Geomarine dengan spesifikasi bidang Hidrografi dengan judul “Analisis Perbandingan Data Batimetri *Multibeam Echosounder* dan *Singlebeam Echosounder* Di Perairan Pelabuhan Gresik”.

"Halaman ini sengaja dikosongkan"