

**ANALISIS PENGOLAHAN DATA MULTIBEAM ECHOSOUNDER  
MENGUNAKAN PERANGKAT LUNAK MB-SYSTEM DAN CARIS HIPS AND SIPS  
BERDASARKAN STANDAR S-44 IHO 2008**

Sendy Brammadi, Arief Laila Nugraha, Bambang Sudarsono, Imam Mudita<sup>\*)</sup>.

Departemen Teknik Geodesi Fakultas Teknik Universitas Diponegoro  
Jl. Prof. Sudarto, SH, Tembalang, Semarang, Jawa Tengah Telp.(024)76480785, 76480788  
Email : sendy.brammadi@gmail.com  
Balai Teknologi Survei Kelautan – Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi  
Jl. MH. Thamrin No.8, Jakarta Pusat, DKI Jakarta Telp. (021)3169428  
Email : barunajaya@bppt.go.id

**ABSTRAK**

Pengolahan data *multibeam echosounder* memiliki proses yang kompleks karena memerlukan beberapa koreksi untuk mendapatkan nilai kedalaman yang akurat, selain itu perangkat lunak yang digunakan untuk pemrosesan data *multibeam* memiliki harga lisensi yang mahal. MB-System sebagai perangkat lunak pengolah data *multibeam* berbasis open source dapat menjadi alternatif bagi yang mengalami kendala dalam memperoleh lisensi perangkat lunak berbayar seperti Caris HIPS and SIPS. Setiap perangkat lunak memiliki prosedur, kemampuan dan keterbatasan masing-masing, sehingga perlu dikaji perbandingan proses pengolahan data, visualisasi hasil setelah pemrosesan serta ketelitian yang dihasilkan dari pemrosesan menggunakan kedua perangkat lunak tersebut.

Proses pengolahan data *multibeam echosounder* menggunakan perangkat lunak MB-System dan Caris HIPS and SIPS, hasil pengolahan menghasilkan titik kedalaman terkoreksi. Titik kedalaman selanjutnya divisualkan ke dalam model permukaan 2D menggunakan perangkat lunak ArcGIS dan model 3D menggunakan perangkat lunak Surfer. Titik kedalaman hasil pengolahan dilakukan uji ketelitian berdasarkan standar IHO S-44 tahun 2008 orde 2 untuk mengetahui kualitas data *multibeam* dan uji statistik menggunakan uji-Z untuk mengetahui signifikansi perbedaan antara kedua data hasil pengolahan.

Dari pengolahan data *multibeam* menggunakan MB-System dan Caris HIPS and SIPS secara visual tidak memiliki perbedaan yang signifikan. Ketelitian hasil pengolahan data *multibeam* menggunakan kedua perangkat lunak berada di dalam batas toleransi yang mengacu pada standar IHO S-44 tahun 2008 orde 2. Nilai kedalaman hasil pengolahan secara numerik memiliki perbedaan pada titik yang sama, namun secara statistik menggunakan uji-Z dengan tingkat kepercayaan 95% didapat nilai  $Z_0$  sebesar 0,099611 yang berarti nilai kedalaman hasil pengolahan tersebut tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan, sehingga kedua model permukaan tersebut dianggap telah mewakili kondisi permukaan dasar laut yang sebenarnya. Kedua perangkat lunak memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing, Caris HIPS and SIPS memiliki tampilan antarmuka yang profesional serta mudah digunakan, sedangkan MB-System memiliki fitur untuk menyajikan peta batimetri hasil pengolahan data *multibeam* serta kebebasan untuk menggunakan.

**Kata Kunci** : Batimetri, Caris, IHO S-44, MB-System, *Multibeam Echosounder*

**ABSTRACT**

*Multibeam echosounder data processing has a complex process because it requires multiple corrections to get an accurate depth value, in addition the software used for multibeam data processing has an expensive license price. MB-System as an open source multibeam data processing software can be an alternative for those who experience constraints in obtaining a paid software license such as Caris HIPS-SIPS. Each software has its own procedures, capabilities and limitations. It needs to analysis the comparison of data processing, visualization results and the accuracy results using both software.*

*Multibeam echosounder data processing using MB-System and Caris HIPS-SIPS software, the results of processing are points of correction depth. The depth points are further visualized into a 2D surface model using ArcGIS and 3D model using Surfer. The depth of the processing results are examine by the accuracy test based on the standard IHO S-44 of 2008 order 2 to determine the quality of multibeam data and the statistical test using the Z-test to know the significance difference between the results of two processing data.*

*Multibeam data processing using MB-System and Caris HIPS-SIPS visually have no significant difference. The accuracy of multibeam data processing using both software in the tolerance limits referring to the standard IHO S-44 of 2008 order 2. The depth value of the processing numerically has a difference at the same point. But statistically using the Z-test with 95% confidence level obtained  $Z_0$  value of 0.099611 which means the results doesn't show significant differences. Both surface models are considered to have represented true seabed surface conditions. Because of it software have their own advantages and disadvantages, Caris HIPS-SIPS has a professional and easy-to-use interface. While MB-System has a feature to present bathymetry maps of multibeam data processing as well as open source software.*

**Keywords** : Bathymetry, Caris, IHO S-44, MB-System, *Multibeam Echosounder*

<sup>\*)</sup>Penulis, Penanggung Jawab

## I. Pendahuluan

### I.1. Latar Belakang

Kondisi geografis Indonesia yang dua pertiga wilayahnya adalah lautan, membuat kebutuhan informasi akan sumberdaya alam kelautan menjadi hal yang sangat penting untuk membantu pengelolaan dan pemanfaatan sumberdaya alam baik pada pesisir maupun lepas pantai. Survei batimetri sebagai bagian dari kegiatan survei hidrografi adalah suatu kegiatan yang dilakukan untuk memperoleh informasi spasial berupa data kedalaman dan profil dasar laut dalam bentuk peta batimetri.

Survei batimetri membutuhkan peralatan khusus yang berfungsi untuk mendapatkan nilai kedalaman pada suatu perairan. Penentuan kedalaman ini memanfaatkan gelombang akustik yang dipancarkan oleh alat *echosounder*. Dalam penentuan posisinya, *echosounder* menggunakan GPS yang menerima sinyal satelit untuk menentukan posisi horisontal kapal saat gelombang ditembakkan hingga gelombang pantulan diterima kembali. Salah satu jenis *echosounder* untuk survei batimetri adalah *multibeam echosounder* (MBES). *Multibeam echosounder* memancarkan lebih dari satu *beam* dalam satu kali pancaran sinyal. *Beam* yang dipancarkan dan diterima oleh transduser akan mendapatkan satu titik kedalaman, bila titik-titik kedalaman dihubungkan satu sama lain membentuk suatu profil permukaan dasar laut. Pola pancaran *beam* yang melebar dan memanjang terhadap badan kapal akan membentuk suatu luasan bila kapal bergerak maju (Afifudin, 2016).

Pengolahan data *multibeam echosounder* memiliki proses yang kompleks karena memerlukan beberapa koreksi untuk mendapatkan nilai kedalaman yang akurat dan teliti. Koreksi ini berasal dari pergerakan kapal selama pengukuran dan juga karena faktor oseanografi di wilayah pengukuran, jenis koreksi ini antara lain koreksi pasang surut, profil kecepatan suara dan pergerakan kapal.

MB-System sebagai perangkat lunak pengolah data *multibeam* berbasis *open source* bisa menjadi alternatif perangkat lunak untuk memproses data *multibeam*, lisensi *open source* memungkinkan pengguna untuk memakai perangkat lunak secara gratis dan bebas untuk mendistribusikannya tanpa kendala lisensi yang mahal. MB-System ini bisa digunakan sebagai alternatif bagi kalangan akademisi maupun perusahaan yang melakukan penelitian tentang survei batimetri menggunakan *multibeam echosounder*, terutama yang mengalami kendala dalam memperoleh lisensi perangkat lunak pengolah data *multibeam echosounder* berbayar seperti Caris HIPS and SIPS.

Setiap perangkat lunak memiliki prosedur, kemampuan dan keterbatasan masing-masing, sehingga penelitian ini mengkaji perbandingan pengolahan data *multibeam echosounder* pada perangkat lunak MB-System yang merupakan perangkat lunak *open source* dengan perangkat lunak

Caris HIPS and SIPS yang merupakan perangkat lunak berbayar. Penelitian ini mencoba membandingkan tahap-tahapan proses pengolahan data, hasil keluaran setelah pemrosesan serta ketelitian yang dihasilkan dari pemrosesan menggunakan kedua perangkat lunak tersebut jika mengacu pada standar S-44 IHO 2008.

### I.2. Perumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimana perbandingan visualisasi hasil pengolahan data *multibeam echosounder* menggunakan perangkat lunak MB-System dan Caris HIPS and SIPS?
2. Bagaimana perbandingan ketelitian dari hasil pengolahan data *multibeam echosounder* menggunakan perangkat lunak MB-System dan Caris HIPS and SIPS terhadap standar S-44 IHO 2008?
3. Bagaimana kelebihan dan kekurangan penggunaan perangkat lunak MB-System dan Caris HIPS and SIPS dalam pengolahan data *multibeam echosounder*?

### I.3. Maksud dan Tujuan Penelitian

Adapun maksud dan tujuan penelitian ini adalah :

1. Mengkaji proses pengolahan data *multibeam echosounder* dengan perangkat lunak MB-System dan Caris HIPS and SIPS.
2. Mengetahui perbedaan visualisasi hasil pengolahan data *multibeam echosounder* dengan perangkat lunak MB-System dan Caris HIPS and SIPS.
3. Mengetahui ketelitian dari hasil pengolahan data *multibeam echosounder* dengan perangkat lunak MB-System dan Caris HIPS and SIPS terhadap standar S-44 IHO 2008.
4. Mengetahui kelebihan dan kekurangan pengolahan data *multibeam echosounder* dari masing-masing perangkat lunak yang digunakan.

### I.4. Ruang Lingkup Penelitian

Adapun ruang lingkup dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Metode yang digunakan adalah membandingkan hasil keluaran dan ketelitian hasil pengolahan menggunakan perangkat lunak MB-System dengan perangkat lunak Caris HIPS and SIPS.
2. Ketelitian hasil pengolahan yang diuji adalah ketelitian vertikal atau kedalaman.
3. Uji kualitas data mengacu pada standard IHO Special Publication 44 tahun 2008 dengan mengambil sampel pada titik-titik kedalaman yang berdekatan atau bertampalan.

## II. Tinjauan Pustaka

### II.1. Prinsip *Multibeam Echosounder* (MBES)

*Multibeam echosounder* merupakan suatu instrumen hidro-akustik yang memancarkan lebih dari satu *beam* dalam satu kali pancaran sinyal. *Multibeam echosounder* digunakan untuk mendapatkan cakupan

area yang luas, meningkatkan produktivitas dan hasil pemeruman yang maksimal. Pada umumnya sistem pemancaran sinyal dari *multibeam echosounder* adalah sistem *swath*, sistem *swath* bekerja dengan satu pancaran sinyal yang memiliki lebar dan panjang yang membentuk sebuah kolom (de Jong, Lachapelle, Skone, & Elema, 2003).

**II.2. Profil Kecepatan Suara (Sound Velocity Profile)**

Prinsip kerja MBES adalah dengan menembakkan gelombang akustik ke dalam perairan. Komponen utama dalam mekanisme perambatan gelombang akustik dalam air adalah intensitas gelombang, frekuensi gelombang, panjang gelombang dan cepat rambat gelombang.

Brennan (2009) mengungkapkan bahwa pengaruh terbesar pada perambatan gelombang akustik disebabkan oleh kecepatan suara dalam kolom air. Kecepatan sinyal akustik yang melalui sepanjang kolom air dipengaruhi oleh kecepatan suara yang menyebabkan refraksi atau pembelokan gelombang, sehingga mempengaruhi nilai kedalaman.

Kesalahan akibat refraksi biasanya terjadi karena kesalahan penerapan nilai profil kecepatan suara pada data, sehingga menyebabkan meningkatnya kesalahan nilai kedalaman pada *beam* yang jauh dari garis nadir. Efek visualnya adalah bentuk profil sapuan tidak horisontal tetapi melengkung ke atas (*smile*) atau melengkung kebawah (*frown*), sehingga tidak merepresentasikan profil kedalaman sebenarnya karena nilai kedalaman menjadi lebih dangkal atau menjadi lebih dalam dari yang seharusnya.

**II.3. Pasang Surut Laut**

Pasang surut atau pasut laut (*ocean tide*) merupakan suatu fenomena naik dan turunnya permukaan air laut secara periodik akibat pengaruh gravitasi benda-benda langit terutama bulan dan matahari. Permukaan air laut dipakai sebagai titik nol. Kedalaman suatu titik di dasar perairan atau ketinggian titik di pantai mengacu pada permukaan laut yang dianggap sebagai bidang referensi atau datum vertikal.

Pada kegiatan survei batimetri, fungsi pasang surut adalah untuk mereduksi kedalaman dengan memberikan koreksi nilai kedalaman akibat perubahan tinggi muka laut yang dinamis, sehingga nilai kedalaman yang didapat tidak hanya nilai kedalaman sebenarnya tetapi juga terikat pada suatu bidang referensi vertikal. IHO (2008) dalam *standards for hydrographic surveys (s-44)* menyatakan bahwa pasang surut atau reduksi tinggi muka laut tidak perlu diberikan untuk kedalaman yang lebih dari 200 meter jika tidak memberikan perubahan yang signifikan terhadap TVU (*Total Vertical Uncertainty*).

**II.4. Klasifikasi Ketelitian Survei Hidrografi**

Kegiatan yang dilakukan dalam survei batimetri memiliki standar resmi yang digunakan untuk menjaga kualitas data pengukuran. Ketetapan internasional

mengenai survei hidrografi diatur oleh *International Hydrographic Organization* (IHO) melalui *Special Publication – 44* tahun 2008.

Tabel 1. Standar Minimum Survei Hidrografi (IHO, 2008)

Orde	Spesial (khusus)	1a	1b	2
Deskripsi area	Area dimana wilayah di bawah lunas kapal harus terpetakan seluruhnya.	Area yang lebih dangkal dari 100 meter dan wilayah dibawah lunas kapal tidak harus terpetakan seluruhnya.	Area yang lebih dangkal dari 100 meter dan dan objek halangan di wilayah bawah kapal tidak terlalu perlu dipetakan.	Area yang lebih dalam dari 100 meter dimana secara umum gambaran dasar laut dianggap memadai.
Nilai TVU maksimum pada tingkat kepercayaan 95%	a = 0,25 meter b = 0,0075	a = 0,5 meter b = 0,013	a = 0,5 meter b = 0,013	a = 1 meter b = 0,023
Pemeriksaan dasar laut	Diperlukan	Diperlukan	Tidak diperlukan	Tidak diperlukan

**II.5. Uji Ketelitian Data Pemeruman**

Uji ketelitian data dilakukan pada daerah pertampalan dari masing-masing lajur dengan lajur di sampingnya dengan arah yang berlawanan, asumsinya titik-titik kedalaman pada lajur yang bertampalan atau berdekatan memiliki nilai kedalaman yang sama, namun kenyataan di lapangan menunjukkan bahwa nilai kedalaman pada lajur yang bertampalan atau berdekatan bisa saja memiliki nilai kedalaman yang berbeda. Mengacu pada standar IHO S-44 tahun 2008, nilai toleransi kesalahan pertampalan lajur kanan dan kiri dihitung menggunakan persamaan (II.1) dengan tingkat kepercayaan 95%. Konstanta a dan b yang digunakan harus sesuai dengan orde survei yang digunakan sesuai dengan tabel 1 yang telah dibahas pada sub bab sebelumnya.

$$\text{Toleransi Kesalahan} = \pm\sqrt{a^2 + (b \times d)^2} \dots (II.1)$$

Keterangan :

- a = faktor kesalahan yang tidak bergantung pada kedalaman
- b = faktor kesalahan yang bergantung pada kedalaman
- d = rata-rata kedalaman ukuran

Pada uji ketelitian ini diambil data sampel dari titik-titik kedalaman yang bertampalan atau berdekatan menggunakan menu *overlay spatial join* dalam ArcGIS untuk mendapatkan titik-titik yang bertampalan atau berdekatan, jumlah sampel pada uji ketelitian ini dibatasi sejumlah 40 pasang titik.

**II.6. Uji Perbandingan Data**

Uji perbandingan data dilakukan untuk melihat apakah nilai titik kedalaman hasil pengolahan menggunakan MB-System dan Caris HIPS and SIPS pada titik yang sama memiliki perbedaan yang signifikan. Uji perbandingan data ini dilakukan menggunakan uji Z karena jumlah sampel yang digunakan tergolong sampel besar dengan jumlah sampel lebih dari 30. Widjajanti (2011) dalam Afifudin (2016) menjelaskan persamaan untuk

mencari nilai  $Z_0$  pada sampel yang berpasangan seperti pada persamaan II.2.

Uji Z dalam penelitian ini menggunakan uji hipotesis dua arah untuk mengetahui apakah kedua sampel memiliki proporsi yang sama atau tidak. Berdasarkan nilai  $Z_0$  hasil perhitungan selanjutnya dibandingkan dengan nilai Z tabel dengan tingkat kepercayaan 95%, tingkat kepercayaan 95% memiliki tingkat signifikansi sebesar 5% atau 0,05. Nilai Z tabel dengan tingkat signifikansi 5% pada uji hipotesis dua arah adalah  $Z_{0,05/2} = Z_{0,025} = 1,96$ .

$$Z_0 = \frac{\bar{x}_m - \bar{x}_c}{\sqrt{\frac{s_m^2}{n_m} + \frac{s_c^2}{n_c}}} \dots\dots\dots(II.2)$$

Keterangan :

$S_m^2$  : varian sampel hasil pengolahan dengan MB-System

$S_c^2$  : varian sampel hasil pengolahan dengan Caris

$\bar{X}_m$  : rata-rata kedalaman hasil pengolahan dengan MB-System

$\bar{X}_c$  : rata-rata kedalaman hasil pengolahan dengan Caris

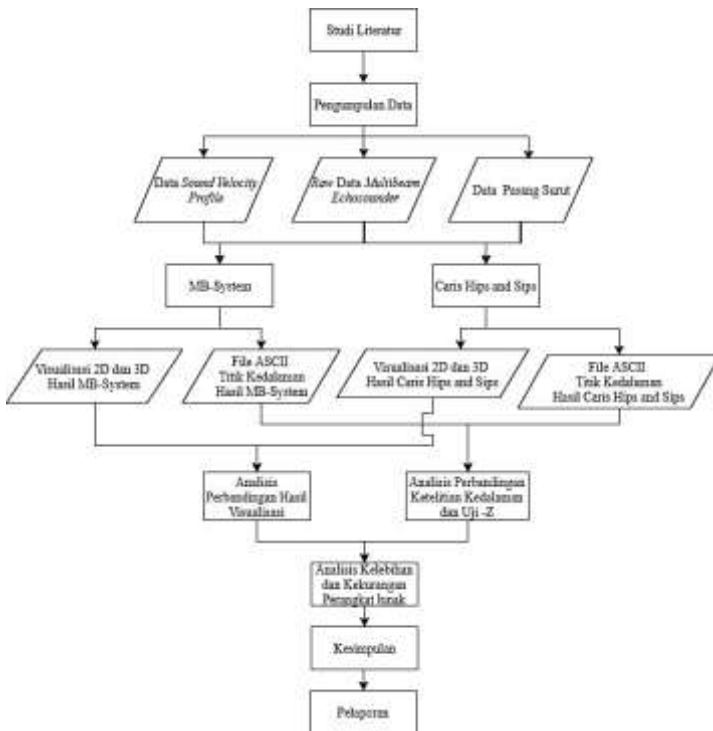
$n_m$  : jumlah sampel hasil pengolahan dengan MB-System

$n_c$  : jumlah sampel hasil pengolahan dengan Caris

**III. Metodologi Penelitian**

**III.1. Pengolahan Data**

Secara garis besar tahapan penelitian dijabarkan dalam gambar 1 berikut ini :



Gambar 1 Diagram alir penelitian

**III.2. Perangkat Penelitian**

Perangkat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu:

1. Laptop Lenovo G40-45 80E1 AMD A8-6410 APU, 8192 MB RAM, Windows 10 Pro 64bit dan Linux Kubuntu 17.04 64bit
2. MB-System 5.5.3209 dan Caris Hips and Sips 6.1 untuk melakukan pengolahan data *multibeam echosounder*.
3. ArcGIS 10.5 untuk membuat visualisasi 2D dan layout peta batimetri.
4. Surfer 13 untuk membuat visualisasi 3D dari data batimetri.
5. Microsoft Office 2013 untuk pembuatan laporan.

**III.3. Data Penelitian**

Penelitian ini membutuhkan berbagai macam data yang diperoleh dari Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT) dan Badan Informasi Geospasial (BIG), data yang diperlukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Raw data *multibeam echosounder* (BPPT)
2. Data *Sound Velocity Profile* (BPPT)
3. Data model pasang surut (BIG)

**III.4 Proses Pelaksanaan Penelitian**

**III.4.1 Pengolahan Data Multibeam Echosounder**

Pengolahan data *multibeam echosounder* dilaksanakan menggunakan perangkat lunak MB-System dan Caris HIPS and SIPS, koreksi yang diberikan yaitu koreksi pasut dan koreksi data navigasi, koreksi SVP tidak diberikan karena sudah dilakukan selama proses akuisisi data. Selanjutnya data *multibeam echosounder* dilakukan pembersihan *spike* pada *outlier* data. Hasil akhir dari pengolahan data *multibeam echosounder* adalah titik-titik kedalaman yang sudah terkoreksi.

**III.4.2 Visualisasi Hasil Pengolahan Data Multibeam Echosounder**

Proses penyajian hasil pengolahan data *multibeam* dalam visualisasi 2D menggunakan perangkat lunak ArcGIS, sedangkan visualisasi 3D menggunakan perangkat lunak Surfer. Proses ini bertujuan untuk menyajikan hasil pengolahan dalam bentuk 2D berupa peta batimetri dan model 3D.

**III.4.3 Uji Ketelitian Data Multibeam Echosounder**

Uji ketelitian data *multibeam* dilakukan dengan mengambil 40 titik sampel dari pertampalan dua lajur. Sampel diambil dari titik-titik yang bertampalan atau berdekatan menggunakan menu *overlay spatial join* pada ArcGIS. Kemudian titik-titik ini dicari selisih kedalamannya lalu dicari nilai rata-rata dan standar deviasinya. Selanjutnya nilai standar deviasi yang telah didapat digunakan untuk diuji ketelitiannya menggunakan standar dari IHO pada tingkat kepercayaan 95%, orde yang digunakan adalah orde 2 karena data hasil survei memiliki kedalaman lebih dari 100 meter. Nilai toleransi dihitung menggunakan persamaan (II.2) dan selanjutnya digunakan sebagai pembanding dengan nilai hasil perhitungan 1,96 X standar deviasi, jika nilai tersebut masuk dalam

rentang toleransi maka ketelitian data diterima berdasarkan standar IHO S-44 2008.

**III.4.4 Uji Signifikansi Perbedaan Kedalaman Menggunakan Uji-Z**

Uji signifikansi perbedaan nilai kedalaman menggunakan titik – titik yang sama di atas model permukaan hasil interpolasi. Titik – titik ini merupakan titik acuan atau ICP yang mengambil nilai kedalaman dari dua model permukaan hasil pengolahan menggunakan MB-System dan Caris HIPS and SIPS. Titik ICP dibuat merata di atas model permukaan dengan interval antar titik 5.000 meter, sehingga didapat 179 titik ICP di atas model permukaan. Nilai kedalaman dari model permukaan selanjutnya diambil menggunakan *tool Add Surface Information* yang ada dalam menu *Functional Surface* dalam *toolbox* ArcGIS, sehingga didapat nilai kedalaman dari kedua model permukaan pada koordinat yang sama. Nilai kedalaman yang telah didapat kemudian dihitung menggunakan persamaan (II.2) untuk mencari nilai  $Z_0$ . Nilai  $Z_0$  ini selanjutnya dibandingkan dengan nilai tabel Z pada tingkat kepercayaan 95% yaitu 1,96. Apabila nilai  $Z_0$  berada pada rentang -1,96 hingga +1,96 maka tidak ada perbedaan signifikan antara kedua nilai kedalaman dan apabila nilai  $Z_0$  berada diluar rentang tersebut maka terdapat perbedaan nilai kedalaman yang signifikan.

**III.4.5 Evaluasi Kelebihan dan Kekurangan Penggunaan Perangkat Lunak**

Dalam mengevaluasi kelebihan dan kekurangan penggunaan masing-masing perangkat lunak digunakan faktor-faktor pembanding sebagai acuan dalam membandingkan fitur yang ada dari tiap perangkat lunak, faktor tersebut antara lain :

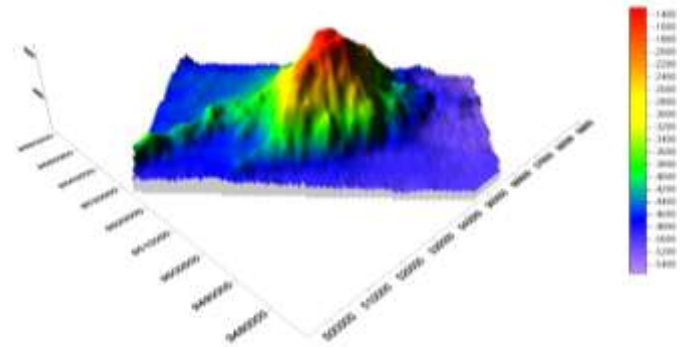
1. Lisensi
2. Antar muka (Graphical User Interface)
3. Opsi perintah pengolahan
4. Management penyimpanan data
5. Pembuatan project file dan konversi data
6. Proses koreksi pasang surut
7. Proses koreksi SVP
8. Proses koreksi data navigasi
9. Proses koreksi patch test
10. Eliminasi spike/filter data
11. Penyajian hasil pengolahan

**IV. Hasil dan Pembahasan**

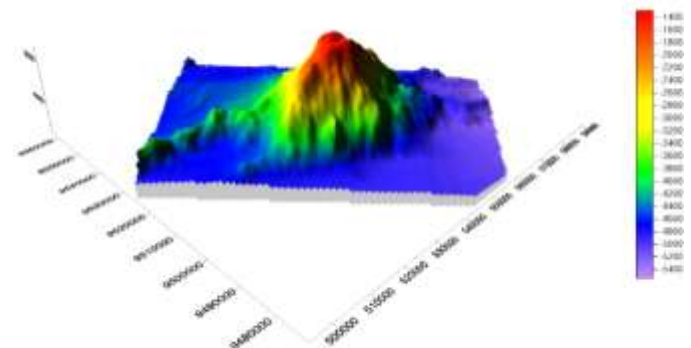
**IV.1 Analisis Visualisasi Hasil Pengolahan Data Multibeam Echosounder**

Hasil visualisasi 3D dari hasil pengolahan data *multibeam echosounder* menggunakan MB-System dan Caris HIPS and SIPS secara umum tidak memiliki perbedaan yang signifikan. Visualisasi 3D dapat menampilkan keseluruhan data yang digunakan dalam penilitan ini dengan luas wilayah sebesar 4.464,606 Km<sup>2</sup> secara lengkap. Topografi dasar laut yang ditampilkan membentuk morfologi berupa gunung laut. Visualisasi 3D dari empat arah mata angin

menggunakan Surfer ditampilkan pada gambar berikut:



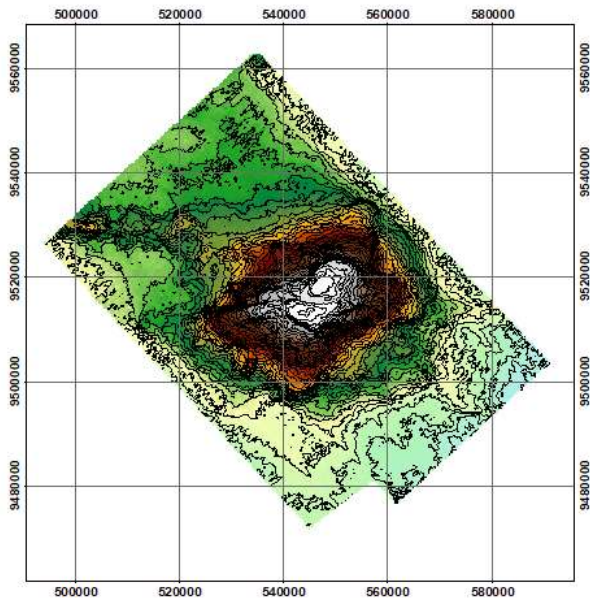
Gambar 2. Visualisasi 3D hasil pengolahan menggunakan Caris HIPS and SIPS



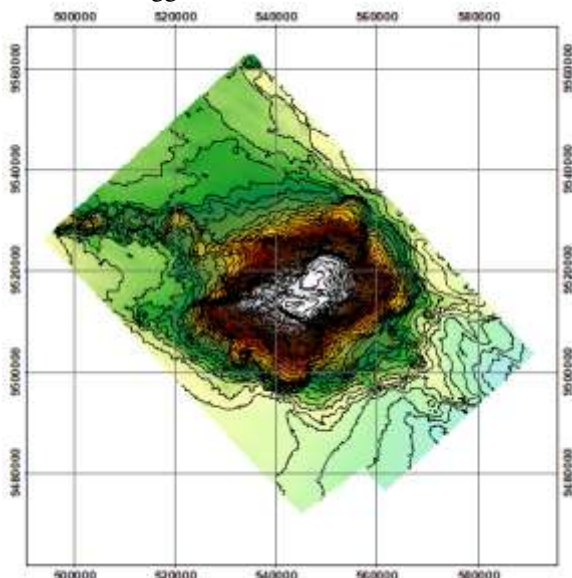
Gambar 3. Visualisasi 3D hasil pengolahan menggunakan MB-System

Visualisasi 3D menampilkan morfologi gunung laut bertipe kerucut atau strato, dari hasil visualisasi tersebut dapat diamati bahwa gunung laut ini memiliki dua buah puncak, ketinggian gunung tersebut terukur ± 4.000 meter dari dasar gunung. Kedalaman terdangkal hasil pengolahan data *multibeam echosounder* menggunakan Caris HIPS and SIPS teramati sebesar 1.245,680 meter di bawah permukaan laut sedangkan hasil pengolahan menggunakan MB-System teramati sebesar 1.268,750 meter di bawah permukaan laut, kedalaman terdalam hasil pengolahan menggunakan Caris HIPS and SIPS teramati sebesar 5.611,750 meter di bawah permukaan laut, sedangkan hasil pengolahan menggunakan MB-System sebesar 5.539,97 meter di bawah permukaan laut.

Pada hasil visualisasi 2D menggunakan ArcGIS, untuk mendapatkan visual yang lebih detail dan melihat adanya perbedaan permukaan maka model permukaan di-*overlay*-kan dengan garis kontur hasil ekstraksi dari model permukaan tersebut dengan interval kontur 100 meter. Hasil visualisasi 2D dengan *overlay* garis kontur ditampilkan pada gambar 4 dan 5 berikut :



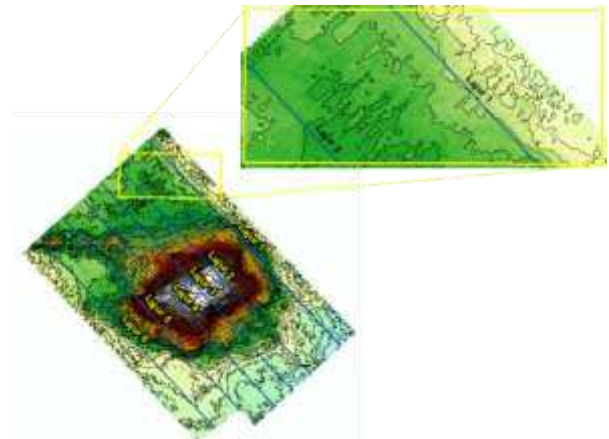
Gambar 4. Visualisasi 2D hasil pengolahan menggunakan Caris HIPS and SIPS



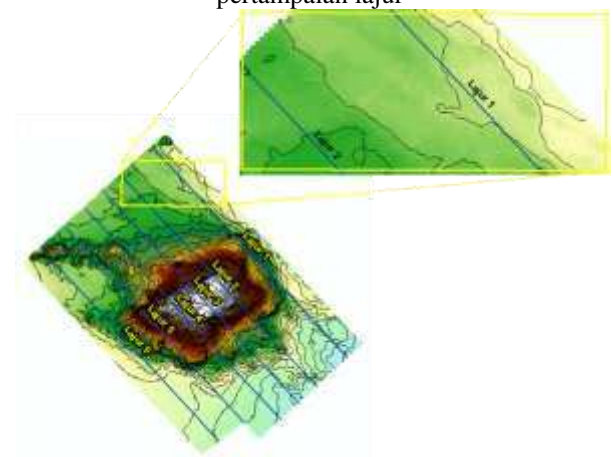
Gambar 5. Visualisasi 2D hasil pengolahan menggunakan MB-System

Perbandingan pada visualisasi tersebut dapat dilihat dari kontur yang dihasilkan dari kedua model permukaan. Kontur model permukaan hasil pengolahan data *multibeam echosounder* menggunakan Caris HIPS and SIPS terlihat lebih kasar dibandingkan dengan kontur hasil pengolahan menggunakan MB-System. Kontur yang kasar tersebut dijumpai pada pertampalan dua lajur pengukuran, hal ini disebabkan karena masih adanya *spike* dari data *multibeam* pada bagian *outlier* atau *beam* terluar. *Spike* yang belum dibersihkan menyebabkan permukaan hasil pengolahan data *multibeam echosounder* tidak mewakili kedalaman dan topografi yang sebenarnya di lapangan, hal ini juga yang menyebabkan perbedaan nilai kedalaman terdalam dan nilai kedalaman terdangkal pada hasil visualisasi 3D, sehingga proses

eliminasi atau pembersihan *spike* menjadi hal yang sangat krusial dalam proses pengolahan data *multibeam echosounder* dengan asumsi koreksi SVP dan *patch test* sudah dilakukan dengan baik di lapangan. Untuk melihat perbedaan kedalaman dan topografi permukaan secara lebih detail diambil sampel perbesaran pada pertampalan lajur 1 dan lajur 2 yang dapat dilihat pada gambar 6 dan 7.



Gambar 6. Perbesaran visualisasi 2D hasil pengolahan menggunakan Caris HIPS and SIPS pada area pertampalan lajur



Gambar 7. Perbesaran visualisasi 2D hasil pengolahan menggunakan MB-System pada area pertampalan lajur

#### IV.2 Analisis Ketelitian Data *Multibeam Echosounder* (MBES)

Uji ketelitian data pengukuran menggunakan lajur-lajur yang bertampalan dari arah pengukuran yang berbeda. Pengujian dilakukan menggunakan standar IHO orde 2 dari data MBES yang telah diolah dengan nilai konstanta a sebesar 1 meter dan nilai konstanta b sebesar 0,023. Hasil uji ketelitian data MBES hasil pengolahan menggunakan MB-System dan Caris HIPS and SIPS dapat dilihat pada tabel 2 dan 3. Seluruh lajur yang diolah menggunakan MB-System dan Caris HIPS and SIPS masih memenuhi batas toleransi yang ditetapkan oleh IHO.

Tabel 2. Hasil uji ketelitian data *multibeam echosounder* yang diolah menggunakan MB-System

Lajur	Deviasi Maksimum (m)	Deviasi Minimum (m)	Rata - Rata Kedalaman (m)	Standar Deviasi	1,96 x Standar Deviasi	Batas Toleransi IHO	Keterangan
Lajur 1 - Lajur 2	84,779	1,130	5.060,050	45,596	89,368	116,385	Diterima
Lajur 2 - Lajur 3	9,735	0,044	4.620,223	5,259	10,308	106,270	Diterima
Lajur 3 - Lajur 4	6,708	0,242	4.528,143	4,131	8,096	104,152	Diterima
Lajur 4 - Lajur 5	9,534	0,360	4.567,084	5,498	10,777	105,048	Diterima
Lajur 5 - Lajur 6	18,955	0,737	4.741,631	11,244	22,039	109,062	Diterima

Tabel 3. Hasil uji ketelitian data *multibeam echosounder* yang diolah menggunakan Caris HIPS and SIPS

Lajur	Deviasi Maksimum (m)	Deviasi Minimum (m)	Rata - Rata Kedalaman (m)	Standar Deviasi	1,96 x Standar Deviasi	Batas Toleransi IHO	Keterangan
Lajur 1 - Lajur 2	55,160	1,170	5.257,604	12,167	23,848	120,929	Diterima
Lajur 2 - Lajur 3	7,070	0,070	4.429,926	4,073	7,983	101,893	Diterima
Lajur 3 - Lajur 4	4,780	0,020	4.566,144	2,929	5,741	105,026	Diterima
Lajur 4 - Lajur 5	10,030	0,180	4.534,253	5,145	10,083	104,293	Diterima
Lajur 5 - Lajur 6	11,430	0,060	4.790,859	5,783	11,334	110,194	Diterima

Dari tabel tersebut dapat dilihat standar deviasi terbesar terdapat pada pertampalan lajur 1 dan lajur 2 dari data hasil pengolahan menggunakan kedua perangkat lunak, hal ini disebabkan karena jarak antara lajur 1 dan lajur 2 lebih lebar dari pada lajur-lajur yang lain. Lebar antar lajur berbanding terbalik dengan besarnya area yang saling bertampalan pada sudut *swath* yang sama dan kesalahan data MBES akan semakin besar bila *beam* semakin jauh dari garis nadir atau dengan kata lain *beam* terluar berpotensi besar memiliki banyak kesalahan, sehingga *beam* terluar yang saling bertampalan mempengaruhi besarnya standar deviasi karena pengujian ini menggunakan pertampalan data dari kedua lajur.

Uji ketelitian data MBES hasil pengolahan menggunakan Caris memiliki nilai standar deviasi yang lebih besar dari pada nilai standar deviasi hasil pengolahan menggunakan MB-System, perbedaan ini disebabkan karena perbedaan metode dalam menghapus *spike* yang ada dalam data MBES, Caris menghapus *spike* menggunakan *tool rectangle* dan *lasso* yang tidak sefleksibel *tool erase* pada MB-System, sehingga beberapa *spike* yang belum terhapus ikut terseleksi secara otomatis sebagai titik-titik yang bertampalan atau berdekatan berdasarkan menu *overlay spatial join*.

### IV.3 Uji Signifikansi Perbedaan Kedalaman Menggunakan Uji-Z

Visualisasi model permukaan menunjukkan adanya perbedaan kedalaman dari hasil pengolahan data *multibeam echosounder* menggunakan perangkat lunak MB-System dan Caris HIPS and SIPS. Untuk melihat signifikansi perbedaan nilai kedalaman dari kedua data hasil pengolahan digunakan uji statistik yaitu uji-Z, selain tingkat signifikan uji-Z ini juga berguna untuk menunjukkan tingkat kedekatan dari kedua data tersebut.

Uji-Z pada penelitian ini menggunakan nilai kedalaman model permukaan dari hasil pengolahan data *multibeam echosounder* menggunakan MB-System dan Caris HIPS and SIPS, nilai kedalaman

tersebut diambil berdasarkan titik – titik ICP yang tersebar merata di atas model permukaan sehingga didapat nilai kedalaman kedua model pada koordinat yang sama, titik ICP di atas model permukaan berjumlah 179 titik dengan interval antar titik sebesar 5.000 meter. Beberapa titik ICP dengan nilai kedalaman dari kedua model ditampilkan pada tabel 4.

Tabel 4. Beberapa titik ICP dengan nilai kedalaman dari model permukaan hasil pengolahan data *multibeam echosounder*

No.	Eastings (m)	Northing (m)	Kedalaman hasil MB-System (m)	Kedalaman hasil Caris (m)	Selisih (m)
1.	546.493.535	9.474.248.976	-5.064.945	-5.117.083	52.138
2.	541.493.535	9.479.248.976	-5.011.631	-5.081.564	69.933
3.	546.493.535	9.479.248.976	-5.064.338	-5.070.947	6.609
4.	551.493.535	9.479.248.976	-5.131.850	-5.091.228	-40.622
5.	561.493.535	9.479.248.976	-5.234.517	-5.344.822	110.305
6.	536.493.535	9.484.248.976	-4.977.805	-5.091.953	114.148
7.	541.493.535	9.484.248.976	-4.986.447	-5.002.847	16.400
8.	546.493.535	9.484.248.976	-5.043.503	-5.007.532	-35.971
9.	551.493.535	9.484.248.976	-5.102.463	-5.103.144	0.681
10.	556.493.535	9.484.248.976	-5.161.599	-5.185.025	23.426
11.	561.493.535	9.484.248.976	-5.221.594	-5.276.095	54.501
12.	566.493.535	9.484.248.976	-5.295.562	-5.281.502	-14.059
13.	531.493.535	9.489.248.976	-4.947.547	-5.074.604	127.057
14.	536.493.535	9.489.248.976	-4.964.287	-4.979.289	15.002
15.	541.493.535	9.489.248.976	-4.985.505	-4.983.819	-1.686
16.	546.493.535	9.489.248.976	-5.004.328	-4.965.305	-39.023
17.	551.493.535	9.489.248.976	-5.012.481	-5.002.816	-9.665
18.	556.493.535	9.489.248.976	-5.123.771	-5.186.383	62.612

Dari titik ICP tersebut didapat perbedaan nilai kedalaman antara kedalaman model MB-System dengan kedalaman model Caris. Selisih terkecil dari kedalaman kedua model sebesar 0,126 meter yang terletak pada koordinat 551.493,535 terbesar adalah 167,270 meter yang terletak m dan 9.529.248,976 m, sedangkan selisih pada koordinat 501.493,535 m dan 9.519.248,976 m, rata – rata selisih nilai kedalaman dari kedua model tersebut sebesar 39,110 meter. Kedalaman seluruh titik ICP pada model MB-System memiliki rata - rata sebesar 4.292,927 meter dan rata – rata nilai kedalaman titik ICP pada model Caris sebesar 4.302,366 meter. Dari nilai kedalaman kedua model tersebut didapat besar varian data untuk nilai kedalaman model MB-System sebesar 796.076,536 dan besar varian data untuk nilai kedalaman model Caris sebesar 810.997,648.

Setelah menghitung besar rata – rata serta varian dari kedua model, selanjutnya dihitung nilai  $Z_0$  dari kedua data model sehingga didapat nilai  $Z_0$  sebesar 0,099611. Nilai  $Z_0$  tersebut masih berada di dalam rentang -1,96 hingga +1,96, sehingga data kedalaman dari kedua model permukaan tidak terdapat perbedaan yang signifikan. Selain itu walaupun dari tampilan visual kedua model permukaan memiliki perbedaan, hasil uji-Z menunjukkan bahwa hasil visual tersebut dianggap dapat mewakili kondisi topografi dasar laut yang sebenarnya.

#### IV.4 Analisis Kelebihan Dan Kekurangan Penggunaan Perangkat Lunak

Proses pengolahan data *multibeam echosounder* menggunakan perangkat lunak MB-System dan Caris HIPS and SIPS secara garis besar sama, yaitu dimulai dengan pembuatan *project file*, melakukan konversi data, memberikan koreksi SVP, koreksi pasut, koreksi *patch test* dan koreksi data navigasi, penghapusan *spike* serta mengekspor hasil pengolahan menjadi format file ASCII atau format data lain yang diperlukan. Kedua perangkat lunak tersebut memiliki prosedur, kemampuan serta keterbatasan masing-masing, kelebihan dan kekurangan dari kedua perangkat lunak dijelaskan sebagai berikut :

##### IV.4.1 Penggunaan Perangkat Lunak MB-System

Berikut merupakan evaluasi perangkat lunak MB-System:

1. Perangkat lunak MB-System merupakan perangkat lunak *open source* yang didistribusikan dibawah *GNU General Public License* yang berarti tidak ada larangan bagi pengguna untuk mengunduh, memakai, mengedit dan menyebarkan kode sumber MB-System, sehingga perangkat lunak ini bersifat gratis.
2. Secara umum pengolahan data menggunakan perintah dalam terminal linux, tampilan antarmuka atau *GUI (Graphical User Interface)* hanya tersedia pada beberapa perintah seperti contohnya *mbedit*, *mbeditviz*, *mbnavedit* dan *mbgrdviz*.
3. Setiap perintah pengolahan memiliki beragam kode opsi yang berbeda-beda, sehingga pengaturan dilakukan secara manual dan pengguna dituntut untuk memahami prinsip kerja *multibeam echosounder* dan MB-System.
4. Seluruh data masukan yang ingin dilakukan pengolahan meliputi *raw data multibeam echosounder*, data koreksi SVP dan koreksi pasang surut harus berada dalam satu folder, hasil keluaran proses pengolahan juga tersimpan dalam folder yang sama.
5. Proses pengolahan dan konversi data cukup dengan membuat list data yang akan diolah dalam file *datalist*. MB-System tidak memerlukan data konfigurasi kapal karena MB-System dapat membaca data konfigurasi kapal dan waktu tanggal akuisisi data dari file data *multibeam echosounder*.
6. Koreksi pasang surut dapat dilakukan dengan menggunakan model pasang surut global yang terintegrasi dalam perangkat lunak MB-System atau menggunakan data pasang surut yang diterapkan secara manual. MB-System tidak dapat menampilkan grafik pasang surut yang diterapkan dalam data *multibeam echosounder*.
7. Bila tidak memiliki data koreksi SVP, MB-System dapat membuat model SVP secara interaktif yang kemudian dapat diterapkan ke seluruh data *multibeam echosounder*. Efek perubahan nilai SVP terhadap data *multibeam echosounder* dapat dilihat secara langsung dalam jendela antarmuka yang sama. Jika koreksi SVP berasal dari data

pengukuran di lapangan, MB-System dapat membaca file koreksi SVP yang memiliki format sederhana yaitu terdiri dari nilai kedalaman dan nilai kecepatan suara.

8. Pembersihan data navigasi *multibeam echosounder* dalam MB-System dapat dilakukan secara manual dengan menyeleksi data navigasi yang buruk atau secara otomatis untuk mendapatkan data navigasi yang ideal.
9. Koreksi *patch test* dapat dilakukan perfile tanpa merubah parameter file yang lainnya.
10. MB-System dapat menampilkan data *multibeam echosounder* per *epoch* sehingga dapat menyeleksi *spike* secara lebih detail.
11. Proses seleksi data *multibeam echosounder* yang akan dilakukan eliminasi *spike* dengan visualisasi 3D dapat dilakukan dengan beragam metode, diantaranya *pick area* yang akan menampilkan data *multibeam echosounder* dari area yang dipilih serta *pick nav* dan *pick nav file* yang akan menampilkan data *multibeam echosounder* berdasarkan lajur pengukuran. Data *multibeam echosounder* yang diseleksi akan ditampilkan pada jendela antarmuka yang baru sehingga menghasilkan pandangan yang lebih luas. Penghapusan *spike* dalam MB-System lebih fleksibel karena dapat menghapus *spike* dengan menggerakkan cursor ke arah *spike* yang ingin dihapus, metode ini menyebabkan proses eliminasi *spike* menjadi lebih cepat.
12. MB-System menyediakan fitur untuk menyajikan hasil pengolahan ke dalam sebuah peta batimetri sederhana lengkap dengan kontur, legenda serta grid koordinat. Untuk membuat peta batimetri yang lebih baik, MB-System dapat mengkonversi hasil pengolahan data *multibeam echosounder* ke dalam format data ASCII sehingga dapat dilakukan pengolahan dalam perangkat lunak lain.

##### IV.4.2 Penggunaan Perangkat Lunak Caris HIPS and SIPS

Berikut merupakan evaluasi perangkat lunak Caris HIPS and SIPS :

1. Perangkat lunak Caris HIPS and SIPS diperoleh dengan membayar lisensi kepada pengembang untuk menggunakannya, selain itu pengguna dilarang untuk mengedit dan menyebarkan perangkat lunak ke pihak lain tanpa persetujuan pihak pengembang.
2. Seluruh proses pengolahan menggunakan tampilan antarmuka atau *GUI (Graphical User Interface)* sehingga proses pengolahan cukup memilih *tool – tool* yang telah disediakan untuk memilih dan menginput data serta melakukan pengolahan.
3. Data masukan yang meliputi *raw data multibeam echosounder*, data koreksi SVP dan koreksi pasang surut bisa berada dalam folder yang terpisah karena antarmuka perangkat lunak memungkinkan untuk membuka dan memilih data dari folder yang berbeda, hasil keluaran proses pengolahan juga dapat disimpan dalam folder yang berbeda.



4. Pengolahan dapat dilakukan setelah membuat *project file* yang berisi data konfigurasi kapal. Konversi data dilakukan dengan memilih format data dalam jendela antarmuka serta memasukkan data konfigurasi kapal dan waktu tanggal akuisisi data, pengaturan waktu akuisisi data yang tidak tepat menyebabkan data *multibeam* tidak dapat dikonversi.
  5. Caris HIPS and SIPS hanya dapat melakukan koreksi pasang surut setelah memasukkan data pasang surut ke dalam perangkat lunak. Grafik pasang surut dapat ditampilkan untuk melihat pola naik turunnya muka air laut.
  6. Bila tidak memiliki data koreksi SVP, Caris HIPS and SIPS dapat membuat model SVP dengan memasukkan nilai kedalaman serta nilai SVP satu persatu dan kemudian disimpan untuk dapat diterapkan ke seluruh data *multibeam echosounder*. Efek perubahan nilai SVP terhadap data *multibeam echosounder* tidak dapat dilihat secara langsung sebelum dilakukan *merge* data. Jika koreksi SVP berasal dari data pengukuran di lapangan, Caris HIPS and SIPS hanya dapat membaca file koreksi SVP bila sesuai dengan format yang ditentukan.
  7. Pembersihan data navigasi *multibeam echosounder* dalam Caris HIPS and SIPS hanya dapat dilakukan secara manual dengan menyeleksi data navigasi yang buruk.
  8. Koreksi *patch test* terhadap suatu file akan mempengaruhi file yang lainnya.
  9. *Editing* data *multibeam echosounder* dalam Caris HIPS and SIPS dapat dilakukan dengan menampilkan data per file atau secara keseluruhan. Data *multibeam echosounder* yang dipilih akan ditampilkan dalam beragam sudut pandang dan mode visual 2D atau 3D dalam jendela yang sama sehingga menyebabkan pandangan terasa sempit, namun tampilan tersebut dapat dinonaktifkan dan menyisakan mode tampilan yang diinginkan. Proses penghapusan *spike* hanya dapat dilakukan dengan menyeleksi *spike* berdasarkan area atau *polyline* yang dibuat setelah membuat kotak area untuk menampilkan profil datanya. Kotak area untuk menyeleksi data *multibeam* harus dibuat sekecil mungkin agar didapat profil data *multibeam* yang lebih detail sehingga seleksi *spike* lebih teliti, namun cara ini akan memerlukan waktu yang lama.
  10. Caris HIPS and SIPS tidak memiliki modul perintah untuk menyajikan hasil pengolahan ke dalam bentuk peta batimetri, sehingga hasil pengolahan data *multibeam echosounder* perlu dikonversi ke dalam format data ASCII untuk dilakukan pengolahan pada perangkat lunak lain.
1. Hasil pengolahan data *multibeam echosounder* menggunakan MB-System dan Caris HIPS and SIPS yang disajikan dalam model visual 3D secara umum tidak memiliki perbedaan secara signifikan. Visualisasi 3D tersebut menampilkan model permukaan morfologi dasar laut berupa gunung dengan tipe strato atau kerucut secara utuh dengan luas wilayah penelitian sebesar 4.464,606 Km<sup>2</sup>. Perbedaan model permukaan dari kedua hasil pengolahan data *multibeam echosounder* dijumpai pada hasil visualisasi 2D yang ditampilkan bersama dengan garis kontur yang memiliki interval sebesar 100 meter dari tiap model permukaan. Perbedaan terletak pada pertampalan *outlier* antar lajur pengukuran yang disebabkan masih adanya *spike* yang belum terhapus atau tereliminasi pada pengolahan data *multibeam*, pembersihan *spike* menjadi proses yang sangat krusial karena berhubungan dengan hasil model permukaan yang dianggap mewakili kondisi sebenarnya. Hasil visualisasi 2D dari pengolahan data *multibeam* menggunakan Caris HIPS and SIPS terlihat lebih kasar karena proses eliminasi *spike* menggunakan *by range* atau kotak area dan *lasso* atau membuat *polyline* untuk melingkupi *spike* yang ingin dihapus sehingga rawan adanya *spike* yang luput dari proses seleksi, berbeda dengan beragam metode eliminasi *spike* pada MB-System yang bisa menghapus *spike* sesuai arah gerak cursor sehingga lebih fleksibel dan bisa menghapus *spike* setelah mungkin untuk menghasilkan model permukaan yang halus.
  2. Ketelitian hasil pengolahan data *multibeam echosounder* menggunakan kedua perangkat lunak berada di dalam batas toleransi yang mengacu pada standar IHO S-44 tahun 2008 orde 2, sehingga data hasil pengolahan dapat diterima. Standar deviasi hasil pengolahan menggunakan Caris HIPS and SIPS secara umum memiliki nilai lebih besar dari standar deviasi hasil pengolahan menggunakan MB-System, disebabkan karena masih terdapat beberapa *spike* pada hasil pengolahan Caris HIPS and SIPS yang ikut masuk dalam perhitungan ketelitian kedalaman. Nilai kedalaman hasil pengolahan menggunakan Caris Hips and Sips dan MB-System secara numerik memiliki perbedaan pada titik yang sama, namun secara statistik berdasarkan uji-Z nilai kedalaman hasil pengolahan tersebut tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan, sehingga kedua model permukaan tersebut dianggap telah mewakili kondisi permukaan dasar laut yang sebenarnya.
  3. Perangkat lunak MB-System dan Caris HIPS and SIPS memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing. Caris HIPS and SIPS memiliki tampilan antarmuka yang profesional serta mudah digunakan, sedangkan MB-System memiliki fitur untuk menyajikan peta batimetri hasil pengolahan data *multibeam echosounder* serta kebebasan untuk menggunakan dan menyebar luaskan perangkat

## V. Kesimpulan dan Saran

### V.1 Kesimpulan

Setelah melakukan pengolahan data dan melakukan analisis, maka kesimpulan yang dapat diambil berdasarkan perumusan masalah pada penelitian ini adalah :

lunak ini, sehingga MB-System dapat digunakan sebagai alternatif dalam pengolahan data multibeam echosounder tanpa terkendala lisensi.

## V.2 Saran

Setelah melalui tahapan penelitian mulai dari persiapan hingga diperoleh hasil dan kesimpulan penelitian ini, untuk perbaikan penelitian dan hal-hal yang berkaitan dengan pengolahan data *multibeam*, maka penulis memberikan saran sebagai berikut :

1. Sebaiknya perangkat lunak yang dibandingkan merupakan perangkat lunak dari versi terbaru.
2. Data pasang surut yang digunakan sebaiknya merupakan data hasil observasi lapangan
3. Dalam penelitian ini data yang digunakan merupakan data *multibeam echosounder* hasil pengukuran laut dalam, sehingga perlu dilakukan penelitian untuk membandingkan perangkat lunak menggunakan data *multibeam echosounder* hasil pengukuran laut dangkal karena kesalahan *multibeam echosounder* akan terlihat signifikan pada pengukuran laut dangkal

## UCAPAN TERIMA KASIH

Melalui jurnal ini penulis mengucapkan terima kasih kepada Balai Teknologi Survei Kelautan – BPPT Jakarta atas pemberian izin penggunaan data dan perangkat pendukung lainnya dalam penelitian ini serta ucapan terima kasih kepada Bapak Dr. Ir. Imam Mudita M.Sc atas bimbingan dan masukannya sehingga penelitian ini menjadi lebih baik.

## DAFTAR PUSTAKA

- Afifudin. 2016. *Perbandingan Data Bathimetri Hasil Gridding Yang Dihasilkan Dari Pengukuran Multibeam Echosounder Dengan Metode Triangulasi, Nearest Neighbor, dan Continuous Curvature*. Skripsi. Yogyakarta: Departemen Teknik Geodesi UGM.
- Brennan, C. 2009. *Basic Acoustic Theory*. Austin: R2Sonic LLC.
- de Jong, C., Lachapelle, G., Skone, S., & Elema, I. 2003. *Hydrography 2nd Edition*. Delft: Delft University Press.
- IHO. 2008. *Special Publication No. 44 5th Edition*. Monaco: International Hydrographic Bureau.