

## **Implementasi *Multibeam Echosounder* untuk Pengukuran dan Analisis Data Kedalaman Perairan Teluk Jakarta Berdasarkan *International Hydrographic Organization Standards***

### ***Implementation of Multibeam Echosounder for Measurement and Analysis of Jakarta Bay Seawater Depth Data Based on International Hydrographic Organization Standards***

C.A. Nugroho<sup>a</sup>, Henry M. Manik<sup>b\*</sup>, D.A. Gultom<sup>c</sup>, M. Firdaus<sup>d</sup>

<sup>a</sup> Program Studi Ilmu dan Teknologi Kelautan, Kampus IPB Dramaga Bogor

<sup>b</sup> Departemen Ilmu dan Teknologi Kelautan, Kampus IPB Dramaga Bogor

<sup>c</sup> Pusat Hidrografi dan Oseanografi TNI AL (PUSHIDROSAL), Jakarta

<sup>d</sup> Pusat Pendidikan Hidro Oseanografi TNI AL (PUSDIKHIDROS), Jakarta

\*Email : [henrymanik@apps.ipb.ac.id](mailto:henrymanik@apps.ipb.ac.id)

(Diterima 12 Januari 2022; Disetujui 24 Februari 2022; Dipublikasikan 31 Mei 2022)

#### **Abstrak**

Sebagian besar wilayah Indonesia adalah perairan laut dengan luas meliputi dua pertiga luas wilayah negara. Survei hidrografi menggunakan *multibeam* dinilai lebih efektif dan efisien dalam mengeksplorasi laut terutama kondisi dasar laut apabila dibandingkan dengan *single beam echosounder*. Perairan Teluk Jakarta yang dangkal dengan kegiatan maritim yang padat terutama arus lalu-lintas pelayaran memerlukan pemahaman yang kritis dan spesifik untuk menjaga keselamatan navigasi di laut. Untuk itu diperlukan standar survei dalam pengambilan dan pengolahan data *multibeam* yaitu aturan standar berdasarkan *International Hydrographic Organization* (IHO) yang memuat kalibrasi *patch test*, kalibrasi *offset* statik, koreksi pasang surut, dan koreksi kecepatan rambat suara dalam air dan uji kualitas data. Data *multibeam* yang diperoleh telah dikalibrasi dan dikoreksi dengan hasil uji kualitas pada orde spesial sebesar 97.47%. Pengukuran *multibeam* menghasilkan data kedalaman maksimum perairan Teluk Jakarta sebesar 10.92 m, kedalaman minimum sebesar 5.84 m, dan rata-rata kedalaman 8.26 m. Interpretasi morfologi dan topografi dasar laut membentuk alur cekungan seperti parit dengan asumsi hasil pengerukan atau erosi. Analisis data kedalaman menunjukkan terdapat area pendangkalan di sisi barat daya cekungan dengan diperoleh adanya dua titik kedangkalan.

Kata kunci: peta batimetri, Teluk Jakarta, *multibeam*, *echosounder*, standar IHO

#### **Abstract**

Most of Indonesia's territory were ocean waters with an area covering two-thirds of the country's area. Hydrographic surveys using *multibeam* were considered more effective and efficient in exploring the sea, especially seabed conditions when compared to *single beam echosounder*. The shallow waters of Jakarta Bay with busy maritime activities, especially shipping traffic, requires a critical and specific understanding to maintain the safety of navigation at sea. For this reason, standard rules were needed in *multibeam* data collection and processing based on the *International Hydrographic Organization* (IHO) including *patch test* calibration, static *offset* calibration, tidal correction, sound speed correction and data quality tests. The obtained *multibeam* data had been calibrated and corrected with quality test resulted in the special order of 97.47%. *Multibeam* measurement of water depth data in Jakarta Bay was maximum of 10.92 m, a minimum depth was 5.84 m, and an average depth was 8.26 m. The interpretation of the morphology and topography of the seabed was formed a trench-like basin groove with the assumption that it may the result of dredging or erosion. Analysis of the depth data shows that there was a shallow area on the southwest side of the basin with two shallow points were obtained.

Keywords: bathymetry map, Jakarta Bay, *multibeam*, *echosounder*, IHO standard

## 1. Latar Belakang

Dua pertiga bagian bumi terdiri dari lautan dan selebihnya adalah daratan. Untuk itu studi mengenai kondisi lautan sangat berkembang pesat. Di Indonesia, studi mengenai kondisi dasar perairan menjadi sangat penting karena memberikan informasi seperti topografi, struktur, dan tekstur dasar laut [1]. Data kedalaman laut atau batimetri merupakan informasi utama yang dapat menggambarkan kondisi dasar perairan [2].

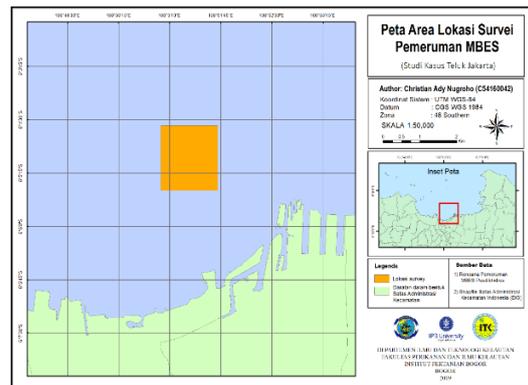
Salah satu sarana pengambilan data batimetri adalah survei hidrografi. Kegiatan hidrografi bertujuan mengukur kedalaman badan air dari permukaan air atau batimetri melalui pengukuran survei akustik dan sonar untuk menghasilkan peta navigasi, informasi dasar laut untuk konstruksi laut, eksplorasi dan pengeboran minyak lepas pantai, dan deteksi pipa bawah laut. [3].

Dalam mendukung kegiatan survei hidrografi dapat digunakan teknologi akustik bawah air atau *underwater acoustics* seperti *multibeam echosounder*. Saat ini teknologi *multibeam echosounder* (MBES) menjadi salah satu metode pengukuran kedalaman yang paling efektif dan paling akurat, menghasilkan serangkaian titik pengukuran yang mencakup seluruh dasar laut jika dibandingkan dengan penggunaan *single beam echosounder* [4].

Proses transmisi gelombang akustik menggunakan *multibeam echosounder* menggunakan lebih dari satu *beam* dalam satu kali pancaran sinyal. Sinyal yang dipancarkan ke dasar perairan akan dikembalikan dan diterima oleh transduser sehingga memperoleh satu titik kedalaman. Apabila titik-titik kedalaman dihubungkan satu sama lain dapat membentuk suatu profil permukaan dasar laut. Jika kapal bergerak maju, pola pancaran *beam* yang melebar dan melintang terhadap badan kapal akan membentuk peta kedalaman [5].

Aplikasi *multibeam echosounder* antara lain pengukuran kedalaman perairan (batimetri), pemetaan jalur pipa, deteksi *hydrothermal vent*, deteksi kebocoran minyak dan gas, navigasi laut, dan pencitraan objek kolom air [6]. Survei batimetri *multibeam* merupakan hal yang cukup rumit karena mengumpulkan data terintegrasi di bawah lingkungan yang dinamis. Lokasi penelitian adalah perairan Teluk Jakarta yang termasuk ke dalam zona kedalaman dangkal yang kritis, sehingga diperlukan pemahaman secara spesifik mengenai batimetri dan kondisi dasar laut di wilayah tersebut (Gambar 1).

Untuk menjamin kualitas dan keakuratan data, pengukuran batimetri dilakukan menggunakan *multibeam echosounder* yang



Gambar 1. Peta lokasi survei *multibeam*.

mengikuti standar atau acuan teknis yang berlaku. Pengukuran batimetri menggunakan *multibeam echosounder* mengikuti standarisasi dari IHO *Standards for Hydrographic Surveys* (S-44) tahun 2008 dan *Manual on Hydrography (Depth Determination) 1<sup>st</sup> Edition, Capacity Building Publication* (C-13) tahun 2011 [7, 8].

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk:

1. melakukan pengolahan data hasil survei pengukuran *multibeam echosounder* sesuai dengan standar *International Hydrographic Organization* (IHO),
2. menginterpretasi hasil pengolahan data dari data *multibeam* sehingga menghasilkan kontur dasar laut perairan Teluk Jakarta,
3. menganalisis profil batimetri yang diperoleh yang berkaitan dengan keselamatan dalam navigasi laut.

## 2. Metodologi

### 2.1 Pengambilan Data *Multibeam*

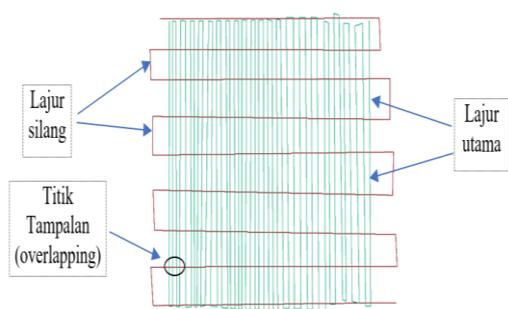
Periode akuisisi survei dilaksanakan pada tanggal 4-8 November 2019 bersama-sama dengan kegiatan latihan teknis (Lattek) siswa Pendidikan Spesialisasi Perwira Hidro-Oseanografi (Dikspespa Hidros). Lokasi pengambilan data bertempat di Perairan Teluk Jakarta – Ancol, DKI Jakarta (Gambar 1).

Data primer yang diperoleh dari *software* akuisisi Teledyne PDS (format raw data \*.pds). Data koreksi meliputi data dari CTD, data pasang-surut dan data catatan (*log book*) seperti rincian dimensi kapal/wahana survei dan konfigurasi *offset multibeam*.

Peralatan untuk survei antara lain: *Multibeam Reson Seabat Teledyne T50*, sistem posisi *Differential Global Positioning System* (DGPS), *Trimbel R8* dengan akurasi 0.1 m, POS MV, *Inertial Motion Unit* (IMU), Applanix type 45, *conductivity temperature depth* (CTD), dan MIDAS valeport. Wahana pada proses akuisisi menggunakan kapal latihan KAL VEGA VII-02 milik Pusat Hidro-Oseanografi (Pushidrosal) TNI AL.

Pengambilan data mengikuti rencana survei yang telah ditentukan Pusat Pendidikan Hidro Oseanografi (Pusdikhidros). Total lajur *multibeam* diestimasi berjumlah 75 lajur dengan jarak spasi antar lajur berkisar 20 meter (m). Panjang lajur utama secara keseluruhan sepanjang 127,5 Kilometer dengan estimasi survei untuk panjang mencapai 1700 meter dan lebar mencapai 1500 m (Gambar 2).

Kecepatan survei menggunakan wahana KAL-VEGA 02 berkisar 5-7 knot dengan rata-rata kecepatan 6 knot. Proses survei pemeruman selama 5 hari termasuk pemasangan (*mounting*) seperangkat alat-alat *multibeam* dengan akuisisi efektif selama 2 hari, yaitu tanggal 7 dan 8 November 2019.



**Gambar 2.** Ilustrasi desain lintasan (*tracking*) akuisisi MBES.

## 2.2. Pengambilan Data Kecepatan Suara

Data kecepatan suara yang diperoleh berguna untuk koreksi data akustik, karena gelombang suara merupakan faktor utama dalam pengukuran kedalaman menggunakan instrumen bawah air [9]. Data sebaran kecepatan suara yang berbeda-beda dalam kolom perairan tersebut diambil menggunakan instrumen CTD.

Data yang diperoleh dari CTD berupa salinitas, kedalaman dan suhu kemudian dilakukan perhitungan kedalam suatu rumus untuk dicari nilai kecepatan suara per kedalaman berupa profil. Formula yang umum dipakai secara akurat untuk menghitung kecepatan suara dalam air menggunakan persamaan sederhana berikut [10] :

$$c = 1,448.6 + 4.618T - 0.0523T^2 + 1.25(S - 35) + 0.017D \quad (1)$$

Keterangan:

c = kecepatan suara (m/s), T = suhu (1°C), S= salinitas (ppt), D = kedalaman (m).

Pengambilan data CTD dilakukan dua kali yaitu sebelum survei dan sesudah survei pemeruman (*sounding*). Data yang dipakai dalam penelitian ini berupa keluaran data CTD yang

sudah digabung dan dikonversi kedalam format SVP file (\*.svp).

## 2.3. Pengolahan Data Pasang Surut

Data pasang-surut diambil oleh siswa peserta Lateks pada lokasi Pantai Indah Ancol menggunakan alat Tide Gauge otomatis dan pengamatan manual selama 30 hari. Untuk penelitian ini sendiri hanya mengambil data selama 3 piantan, pengamatan menyesuaikan waktu pemeruman *multibeam* yaitu pada tanggal 7 sampai 10 November 2019. Pengolahan data pasang surut ini menggunakan perhitungan metode Duduk Tengah Sementara (DTS) dalam 1 piantan (satu kali pengamatan) selama 39 jam dengan rumus sebagai berikut :

$$DTS = \frac{\sum(T \times F)}{\sum F} \quad (2)$$

Keterangan:

DTS = Duduk Tengah Sementara, T = tinggi air, F = Faktor pengali.

Nilai DTS selanjutnya dirata-rata dari 2 kali pengamatan kemudian dimasukkan kedalam nilai *chart datum*. Selanjutnya nilai ini akan digunakan untuk mereduksi tinggi air waktu pengamatan pasut. Pada dasarnya *chart datum* merupakan bidang nol peta batimetri yang ditentukan dari suatu bidang muka air terendah yang mungkin terdapat di wilayah yang bersangkutan. Untuk menghitung nilai *chart datum* dengan memasukan nilai DTS sebagai SO menggunakan rumus [11] :

$$CD = S0 - Z0 \quad (3)$$

Keterangan:

CD = Chart Datum/Muka surutan peta, Z0 = Jarak surutan peta, SO = DTS.

Setiap daerah mempunyai tipe dan karakteristik pasut yang berbeda-beda, oleh karena itu banyak model untuk menentukan muka surutan peta (*chart datum*). Menurut Khasanah dan Heliani [12], perhitungan nilai *chart datum* dipengaruhi oleh besarnya Zo. Dengan memakai acuan dari Pusat Hidro-Oseanografi TNI-AL (Pushidrosal), besarnya nilai Zo dapat ditentukan menggunakan rumus sebagai berikut :

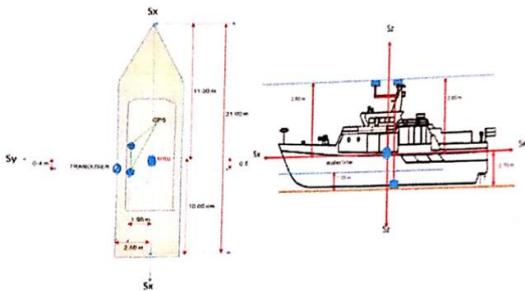
$$Z0 = \sum_{i=1}^n Ai \quad (4)$$

“Ai” adalah amplitudo konstanta harmonik utama pasut yang jumlahnya ada 9 dan “n” adalah jumlah konstanta harmonik pasut.

## 2.4. Pengukuran *Offset* statis

Pemasangan transducer, antena GPS, dan sensor lainnya umumnya terpasang pada lokasi yang berbeda apabila wahana survei tidak dirancang tempat khusus. Untuk itu diperlukan proses penyalarsan posisi antara komponen *multibeam* dengan alat lainnya.

Proses penyalarsan posisi dari peralatan perum dengan sistem referensi GPS disebut sebagai kalibrasi *offset* statis. Kalibrasi *offset* statis ini pada dasarnya adalah mengukur perbedaan posisi horisontal dan vertikal pada titik-titik pemeruman oleh *multibeam*, sehingga koordinat posisi sebenarnya yang terekam akan dihitung sebagai posisi pada transducer, bukan pada antena GPS (Gambar 3).



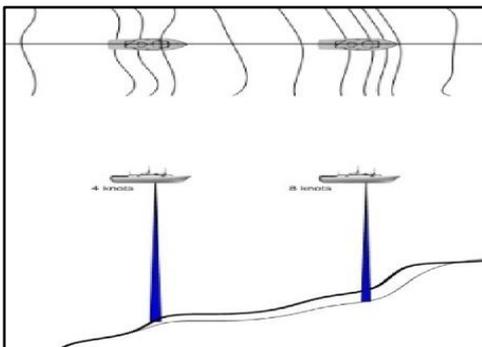
**Gambar 3.** Sketsa konfigurasi *offset* peralatan *multibeam* Kal-Vega VII 02.

## 2.5. Survei Kalibrasi *Patch Test*

Untuk menentukan kesetimbangan sensor dengan mengukur kesalahan sudut antara transducer, sensor gerak *Motion Reference Unit/Inertial Motion Unit* (MRU/IMU) dan gyro (*positioning*) yang umum disebut kalibrasi *patch test*. Tujuan dalam pengujian *patch test* dilakukan untuk mengoreksi kesalahan yang disebabkan oleh pemasangan alat serta perbedaan sudut dan waktu pada saat pemeruman (Gambar 4).

### (1) *Latency Test* (keterlambatan waktu)

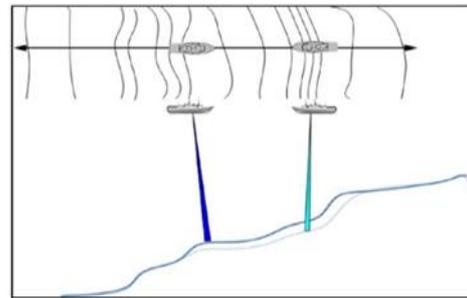
Pengertian dari tes latensi adalah proses menentukan perbedaan waktu antara



**Gambar 4.** Ilustrasi survei *latency test*.

penandaan pemeruman (*sounding*) awal dengan akhir melalui perbedaan kecepatan wahana dari *multibeam* (Gambar 4). Kecepatan awal yang telah ditentukan untuk pemeruman pertama, kemudian disurvei kembali dalam arah yang sama untuk pemeruman kedua, tetapi pada kecepatan yang lebih lambat atau lebih cepat dari kecepatan survei sebelumnya.

### (2) *Pitch Test*



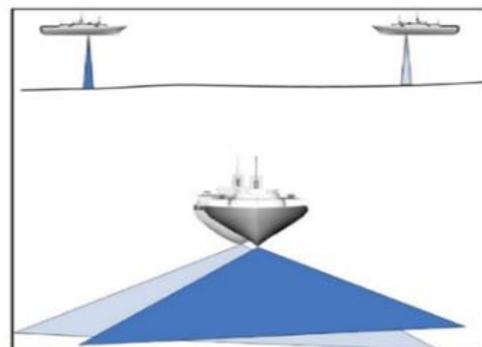
**Gambar 5.** Ilustrasi survei *pitch test*.

Kalibrasi *pitch* merupakan proses mengoreksi kesalahan akibat pergerakan oleng/rotasi wahana atau kemiringan pemasangan transducer pada sumbu Y atau gerak depan/belakang sonar *multibeam* dengan sensor gerak (MRU) (Gambar 5).

Prosedur pengumpulan data *pitch test* adalah dengan menentukan lajur perum dengan kontur kemiringan (*slope*) dasar laut curam atau terdapat obyek terdefinisi di dasar laut. Satu baris lajur perum disurvei dua kali dalam arah timbal balik dengan memakai kecepatan survei yang sama.

### (3) *Roll Test*

Hampir sama seperti kalibrasi *pitch*, kalibrasi *roll* merupakan proses mengoreksi kesalahan akibat pergerakan rotasi kapal pada sumbu X atau gerak kanan/kiri sonar *multibeam* dengan sensor gerak (MRU) (Gambar 6). Proses survey untuk kalibrasi ini cukup dengan satu lajur perum pada dasar laut dengan kondisi yang datar (*flat*). Kecepatan wahana sama dilakukan

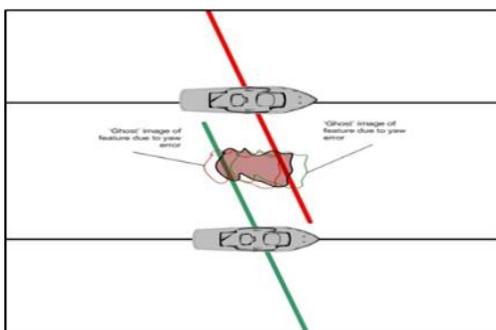


**Gambar 6.** Ilustrasi survei *roll test*.

secara timbal balik (dalam arah yang berlawanan).

(4) *Yaw Test (heading)*

Kalibrasi Yaw disebut juga kalibrasi azimuthal atau kalibrasi gyro merupakan kalibrasi untuk mengkoreksi kesalahan yang disebabkan rotasi kapal pada sumbu Z atau heading kapal selama survei berlangsung (Gambar 7)[16]. Hal ini diterapkan untuk menentukan ketidaksejajaran sudut antara orientasi kepala sonar multibeam dengan antena GPS. Untuk menentukan *offset Yaw*, diperlukan dua lajur perum paralel diatas objek yang terdefinisi dengan baik atau tegak lurus terhadap kemiringan.

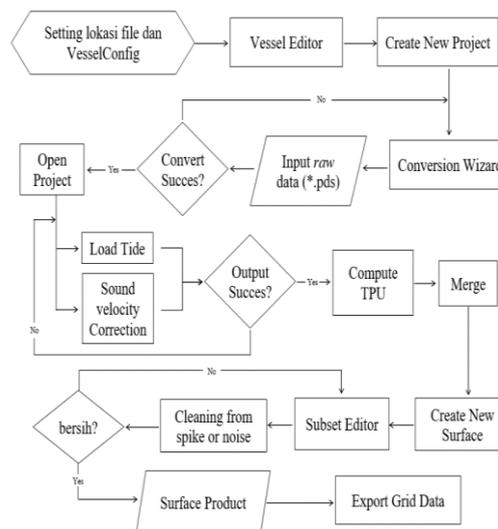


Gambar 7. Ilustrasi survei Yaw test.

2.6. **Prosedur Pengolahan Data**

Proses pengolahan data menggunakan *software* (perangkat lunak) Caris HIPS&SHIP versi 9.0 dengan garis besar pengolahan terbagi dalam 5 tahap yaitu *preparation*, *load data*, *process data*, *data QC*, dan *product*. Tahap pertama yaitu membuat konfigurasi file kapal (*create new vessel*) dalam vessel editor dan mempersiapkan proyek baru (*create new project*). Tahap kedua, terlebih dahulu *raw data multibeam (\*.pds)* dikonversi menggunakan *tools Conversion Wizard*. Kemudian dibuka proyek yang sedang dikerjakan menggunakan *tools open project* dan terlihat tampilan lajur pemeruman [13].

Pada tahap ketiga *process data* yang dilakukan adalah memasukan data koreksi dari data pendukung yaitu data surutan (tide file) menggunakan *load tide* dan data profil kecepatan suara (SVP file) menggunakan *sound velocity corection*. Data surutan diperoleh dari hasil pengolahan dalam MS Excel yang diinput menggunakan tide editor begitu juga dengan data kecepatan suara per kedalaman yang di input menggunakan SVP editor. Kemudian melakukan *compute TPU* untuk membaca semua nilai ketidakpastian dari file kapal (Gambar 8). Langkah terakhir dalam tahap ini adalah *Merge*



Gambar 8. Diagram alir pengolahan data multibeam di Caris Hips and Ship.

semua lajur yaitu proses ini mengkonversi sepanjang trek pemeruman menjadi lintang, bujur, dan kedalaman dengan menggabungkan navigasi kapal dengan *offset horizontal* dan vertikal dari file kapal. Tahap keempat membuat tampilan permukaan batimetri menggunakan *new surface* dengan pengaturan resolusi 1x1 meter menggunakan tipe *surface Combined Uncertainty and Bathymetry Estimator (CUBE)* dan pilihan kategori standar batimetri *special orde*. Untuk melakukan data editing menggunakan *tools subset editor* yang di dalamnya termasuk membersihkan data (*cleaning proses*) dengan menarik luasan berbentuk persegi atau persegi panjang. Secara manual, data *noise* atau *spike* dipilih menggunakan kursor *rectangel* atau *lasso* untuk direject. Selanjutnya membuat data product dengan mengeksport hasil surface batimetri yang sudah bersih menjadi data berbentuk XYZ (lintang-bujur-kedalaman) menggunakan pilihan *export surface to ASCII*. Keluaran data hasil *export* berformat \*.txt yang selanjutnya dapat diolah menggunakan *software ArcGIS* dan *Surfer* untuk membuat peta batimetri.

2.7. **Prosedur Uji Kualitas Data Pemeruman**

Untuk menjaga kualitas data hasil pengukuran dilakukan pengujian yang disebut kontrol kualitas data (*quality control*) untuk menentukan probabilitas nilai sebenarnya dari ketidakpastian suatu pengukuran kedalaman berdasarkan standar ketetapan yang dipublikasikan oleh *International Hydrographic Organization (IHO)* dalam *IHO Standards for Hydrographic Surveys (S-44)* tahun 2008 [7, 8]. Data *multibeam* yang akan di uji kualitas orde berdasarkan standar IHO (Tabel 1 dan 2).

**Tabel 1.** Klasifikasi daerah surveil hidrografi (IHO 2008) [7, 8]

No	Kelas Orde	Deskripsi area surveil
1	Orde Khusus	Pelabuhan tempat sandar dan alur kritis (berbahaya) dengan kedalaman hingga 40 meter. Area dengan cakupan batimetri 100% yang memetakan keseluruhan wilayah dibawah lunas kapal.
2	Orde 1a	Daerah-daerah di mana lautnya cukup dangkal dengan fitur alami atau buatan manusia di dasar laut. Cakupan batimetri 100% namun tidak harus terpetakan keseluruhan dibawah lunas kapal. Kedalaman 40 - 100 meter, biasanya digunakan untuk alur pendekatan pelabuhan dan alur pelayaran.
3	Orde 1b	Area yang lebih dangkal dari 100 meter di mana pencarian dasar laut penuh tidak diperlukan untuk jenis wilayah yang aman. Tidak diperlukan cakupan batimetri 100%
4	Orde 2	Daerah perairan yang lebih dalam dari 100 meter di mana gambaran umum dasar laut dianggap memadai. Wilayah ini dapat diperhitungkan sebagai perairan laut dalam

Terdapat dua pengukuran ketidakpastian dari bidang (1D) atau *Total Vertical Uncertainty* (TVU) dan ketidakpastian dari pengukuran posisi (2D) atau *Total Horizontal Uncertainty* (THU). Pengujian THU tidak dilakukan karena sudah dilakukan sebelum pelaksanaan *sounding* dengan validasi GPS pada BM yang *fix* dan telah diketahui posisinya dari hasil pengamatan geodetik, serta dilakukan kontrol kualitas THU pada saat pengukuran garis pantai menggunakan metode *Real Time Kinematik* (RTK) dengan sistem yang sama DGPS [14].

Uji kualitas data dalam bidang vertikal (TVU) atau ketelitian kedalaman dilakukan pada daerah pertampalan dari lajur silang (*cross line*). Dalam navigasi kapal dibutuhkan data yang akurat tentang kedalaman air untuk sarana

kegiatan lalu lintas pelayaran yang aman. Dalam hal ini dapat memenuhi tingkat kepercayaan sebesar 95% *confidence level* dengan nilai sebesar 1,96 x standar deviasi. Rumus yang digunakan dalam perhitungan standar toleransi batimetri ini sebagai *error value* (5) dan *limit error* (6) adalah sebagai berikut :

$$|s| = d_u - d_{cr} \quad (5)$$

$$\sigma = \pm \sqrt{a^2 + (b \times d)^2} \quad (6)$$

Keterangan:

|s| = error value (m),

$\sigma$  = limit error,

$d_u$  = kedalaman lajur utama/awal (m),

$d_{cr}$  = kedalaman jalur silang/akhir (m),

a = konstanta kesalahan tidak bergantung pada kedalaman bersifat *independent*/tetap,

b = koefisien dari kesalahan yang bergantung pada kedalaman dengan ketidakpastian bervariasi bersifat *dependent*/tidak tetap,

d = kedalaman (*depth*) terkecil dari lajur utama dan lajur silang ( $d_u$  &  $d_{cr}$ ).

**Tabel 2.** Standar untuk akurasi pengukuran kedalaman air (IHO 2008) [8]

Orde	Spesial	1a	1b	2
Nilai Maksimum TVU	a = 0.25 meter b = 0.0075	a = 0.5 meter b = 0.013	a = 0.5 meter b = 0.013	a = 1.0 meter b = 0.023
Pencarian dasar laut penuh	Wajib	Wajib	Tidak Wajib	Tidak Wajib

Langkah untuk memperoleh titik-titik yang bertampalan atau berdekatan menggunakan *software ArcGIS. Tools* yang digunakan adalah *intersect* yang berfungsi mengambil data yang beririsan dari bagian lajur utama dan lajur silang dan membentuk kelas baru dari hasil irisan tersebut. Hasil yang diperoleh akan memuat koordinat dan titik-titik kedalaman dari kedua lajur.

Pada proses pengolahan data, pembuatan *seabed surface* dari data *multibeam* menggunakan resolusi *grid* sebesar 1x1 meter untuk perairan dangkal kurang dari 100 meter [15, 16] serta algoritma CUBE. Algoritma CUBE ini dipakai karena mampu mengurangi waktu pemrosesan sehingga lebih efisien serta memenuhi standar IHO dalam mengalkulasi *Total Propagate Error* (TPE).

Selain itu algoritma ini berfungsi untuk menyoroti area yang lebih penting pada navigasi, karena algoritma CUBE mampu menyoroti area kritis seperti batuan dan bangkai kapal di mana para hidrografer atau surveyor perlu memberikan perhatian khusus dan membuat analisis yang cermat [6, 17].

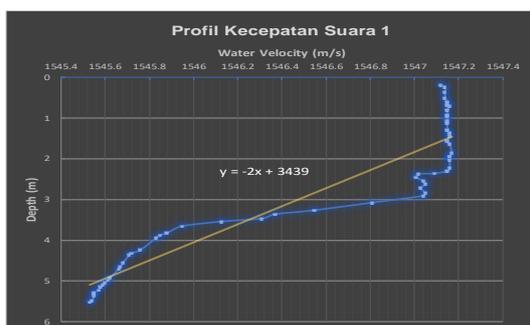
### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1. Koreksi Data Kecepatan Suara

Pentingnya melakukan koreksi kecepatan suara dikarenakan pulsa suara yang melalui kolom air lebih dipengaruhi oleh suhu, salinitas dan tekanan atau kedalaman dengan banyak kasus di lapangan tidak tercampur secara merata [10]. Hal tersebut akan mempengaruhi perhitungan jarak kedalaman dari pemeruman yaitu  $D = \frac{1}{2} (v \cdot \Delta t)$  di mana cepat rambat gelombang suara ( $v$ ) menjadi variable *independent* atau variable yang mempengaruhi variable lain.

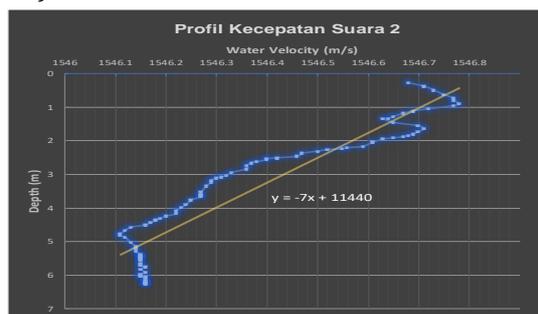
Profil dari kecepatan suara apabila diambil garis tren menunjukkan semakin dalam suatu kedalaman maka nilai kecepatan akan semakin turun. Hal ini terjadi karena faktor suhu pada kolom perairan semakin kedalam semakin turun meskipun salinitas dan tekanan cenderung meningkat. Pada perairan yang dangkal faktor suhu lebih berpengaruh pada perubahan cepat rambat suara.

Nilai kecepatan suara pada tanggal 7 November 2019 (kecepatan 1) menunjukkan kecepatan tertinggi 1547.17 m/s, terendah 1545.53 m/s, dan rata-rata 1546.54 m/s. Untuk pengambilan akhir tanggal 8 November 2019 (kecepatan 2) kecepatan suara tertinggi sebesar 1546.78 m/s, terendah 1546.17 m/s dan rata-rata 1546.48 m/s. Dengan nilai rata-rata kecepatan yang hampir sama namun berbeda pada rentang nilai tertinggi dengan terendah (gradien) yaitu 1.64 m/s untuk tanggal 7 November 2019 dan 0.61 m/s untuk tanggal 8 November 2019. Perbedaan gradien tersebut karena faktor suhu sangat dipengaruhi oleh



**Gambar 4.** Sound velocity profile tanggal 7 November 2019.

cuaca pada waktu pemeruman (Gambar 9 dan 10).



**Gambar 5.** Sound velocity profile tanggal 8 November 2019.

#### 3.2 Koreksi Data Pasang Surut

Pengurangan nilai pengukuran multibeam melibatkan koreksi dari data pasang-surut yang dikaitkan dengan *chart datum* dengan akurasi yang cukup agar sesuai untuk keperluan navigasi serta memastikan kondisi kegiatan pelayaran yang paling aman (Gambar 11).



**Gambar 6.** Data koreksi pasang surut.

Prosedur dalam metode ini diambil dari perhitungan Admiralty metode Doodson. Perhitungan koreksi dari data pasang-surut menggunakan metode duduk tengah sementara (DTS) karena penggunaannya tidak membutuhkan waktu sesuai standar pengamatan penuh (15 atau 29 hari) menyesuaikan waktu pemeruman. Faktor pengali ( $F$ ) menjadi nilai tetapan dalam perhitungan DTS mempengaruhi nilai pengamatan per satuan waktu (jam). Ketentuan faktor pengali diperoleh dari ketentuan rumus bilangan Formzahl. Dengan masing-masing nilai DTS sebesar 219.63 cm; 218.69 cm; dan 217.9 cm diperoleh rata-rata sebesar 219 cm kemudian dikurangi nilai  $Z_0$  sebesar 60 cm (Pushidrosal) untuk diperoleh muka surutan (*chart datum*) yaitu sebesar 159 cm. Nilai dari tinggi air waktu pengamatan (per jam) dikurangi dengan muka surutan disebut nilai surutan atau nilai reduksi kedalaman. Nilai surutan inilah yang dimasukkan kedalam tide editor untuk

**Tabel 3.** Bagan Perhitungan DTS

No	Jam	T(cm)	F	T x F	No	Jam	T(cm)	F	T x F
1	00:00	190	1	190	21	20:00	223	2	446
2	01:00	184	0	0	22	21:00	218	1	218
3	02:00	181	1	181	23	22:00	213	1	213
4	03:00	182	0	0	24	23:00	205	2	410
5	04:00	188	0	0	25	00:00	200	0	0
6	05:00	198	1	198	26	01:00	193	1	193
7	06:00	213	0	0	27	02:00	192	1	192
8	07:00	223	1	223	28	03:00	194	0	0
9	08:00	234	1	234	29	04:00	199	2	398
10	09:00	242	0	0	30	05:00	208	0	0
11	10:00	245	2	490	31	06:00	218	1	218
12	11:00	244	0	0	32	07:00	228	1	228
13	12:00	241	1	241	33	08:00	236	0	0
14	13:00	237	1	237	34	09:00	241	1	241
15	14:00	234	0	0	35	10:00	240	0	0
16	15:00	232	2	464	36	11:00	236	0	0
17	16:00	230	1	230	37	12:00	232	1	232
18	17:00	229	1	229	38	13:00	229	0	0
19	18:00	228	2	456	39	14:00	227	1	227
0	19:00	227	0	0	Jumlah			$\Sigma F = 30$	$\Sigma(TxF) = 6589$

mereduksi nilai pengukuran kedalaman oleh multibeam (Tabel 3).

Konfigurasi instalasi peralatan pada wahana sounding boat dengan posisi offset MRU/IMU dianggap sebagai pusat kesetimbangan kapal (*center of gravity*) dengan posisi (x,y,z) adalah (0,0,0). Untuk posisi *Differential* GPS berada di sisi kiri, belakang dan atas MRU/IMU berturut-turut sebesar 1.9 meter, 0.5 meter, 3.8 meter. Untuk Transduser posisi pemasangan berada dekat MRU/IMU dengan selisih posisi 10 cm kebelakang dan 15 cm diatas kepala transduser. Tinggi permukaan air sampai lunas kapal sebesar 1.2 meter.

### 3.3. Kalibrasi Data *Offset Static*

Dalam kalibrasi offset dan saat pemeruman multibeam diperlukan sistem referensi posisi yang tinggi. DGPS adalah teknik penentuan posisi umum di mana dua atau lebih pasangan antena penerima digunakan untuk memposisikan titik yang tidak diketahui relatif terhadap titik yang diketahui [14]. Dalam praktiknya, teknik pemosisian DGPS memungkinkan untuk mengurangi atau menghilangkan sejumlah kesalahan sistematis dalam pengukuran satelit GNSS (Tabel 4) [11].

**Tabel 4.** Nilai koreksi offset peralatan *multibeam* Kal-Vega 02

No	Nama Peralatan	Posisi		
		X	Y	Z
1	MRU/IMU sensor	0 m	0 m	0 m
2	GPS	-1.9 m	-0.5 m	3.8
3	Transduser	0 m	-0.1 m	0.1 m
Waterline/Draft		1.2 m		

### 3.4. Kalibrasi Data *Patch Test*

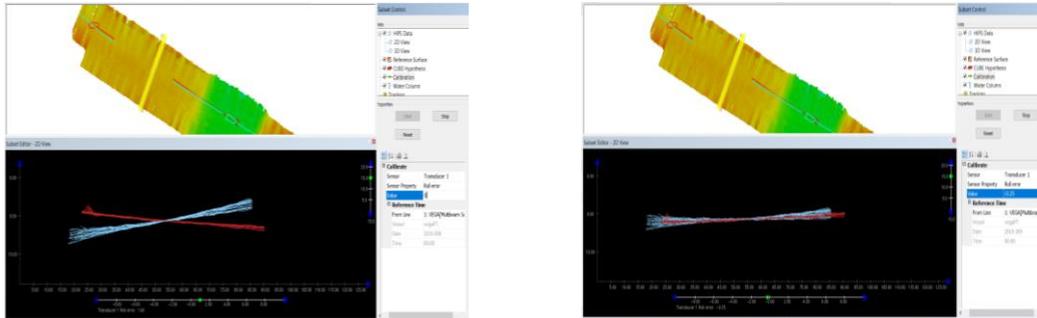
Kalibrasi *patch test* diambil sekali sebelum dilaksanakan pemeruman. Hasilnya diperoleh nilai *roll error* sebesar  $-0.25^\circ$  (Gambar 12), nilai *pitch error* sebesar  $-11^\circ$  (Gambar 13), dan nilai *Yaw error* sebesar  $0.14^\circ$  (Gambar 14). Nilai negatif (-) menunjukkan seberapa turun posisi bagian *port* untuk *roll* dan *bow* untuk *pitch* transduser begitu pula sebaliknya serta berputar

berlawanan arah jarum jam untuk nilai *Yaw*. Sedangkan nilai *latency* tidak pernah negatif selalu positif di akhir proses kalibrasi data [1, 13].

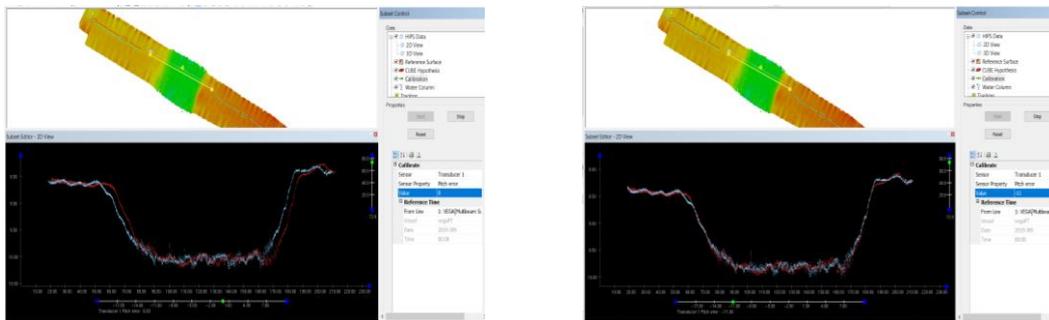
Akurasi sistem pada tingkat kepercayaan 95%, adalah  $0,05^\circ$  untuk *roll and pitch*, *heading/Yaw* sebesar  $0,2^\circ$  (Gambar12,13,14). Nilai kesalahan *roll* dan *Yaw* dapat memenuhi

standar sedangkan untuk nilai pitch terlalu besar melampaui standar. Hal ini disebabkan awal posisi pemasangan yang kurang tepat akibat dari tarik menarik tali penguat serta lebih rawan guncangan di sumbu Y atau sejajar badan kapal.

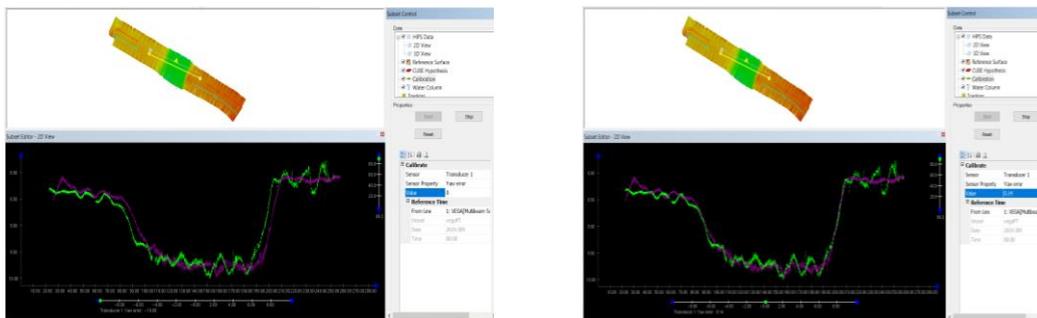
Untuk pengolahan data pada nilai latensi (*time navigation delay*), pengaturan waktu pada MBES Teledyne T50-P telah disinkronisasi dengan PPS (*pulse per second*) dan waktu dalam bentuk string NMEA ZDA untuk menghasilkan penyamaan waktu (*time-stamp*) selama akuisisi.



Gambar 7. Data MBES sebelum proses kalibrasi roll (kiri) dan sesudah kalibrasi roll (kanan).



Gambar 8. Data MBES sebelum proses kalibrasi pitch (kiri) dan sesudah kalibrasi pitch (kanan).



Gambar 9. Data MBES sebelum proses kalibrasi Yaw (kiri) dan sesudah kalibrasi Yaw (kanan).

### 3.5. Analisis Kualitas Data *Multibeam*

Koreksi pengukuran kedalaman perairan *multibeam* sangat menentukan tingkat keakuratan data batimetri. Hal ini penting mengingat pentingnya kualitas data untuk perencanaan dan atau penentuan suatu pekerjaan yang membutuhkan informasi batimetri. Data di titik koordinat bertampalan atau pada lokasi sama tersebut digunakan untuk mengetahui perbedaan kedalaman yang akan ditentukan toleransinya sesuai dengan perhitungan standard dari IHO sesuai dengan klasifikasi orde pengukuran.

Hasil klasifikasi menunjukkan bahwa perairan teluk Jakarta pada area penelitian termasuk orde spesial/khusus. Hal ini karena lokasi survei dekat dengan pelabuhan tempat sandar yaitu di dermaga Marina Ancol dengan kedalaman berkisar antara 5 - 11 meter. Dari keseluruhan data yang diuji, menunjukkan persentase sebesar 97,5% masuk kedalam orde spesial/khusus. Dengan tingkat kepercayaan (*confidence level*) sebesar 95% maka data hasil pemeruman *multibeam* yang digunakan pada penelitian ini masih dikategori layak dan memenuhi standar (Tabel 5).

**Tabel 5.** Prosentase Uji Kualitas Data *Multibeam*

Total Data	Persentase Orde			Tidak masuk kriteria	Persentase Data Bersih
	Spesial	1A/1B	2		
162869	97.4697 %	2.3528 %	0.1596 %	0.0178 %	99.9822 %

Dari hasil perhitungan yang dapat dilihat pada Tabel 5 menghasilkan orde yang bervariasi. Hal ini terjadi ketika nilai selisih kedalaman lebih besar pada ketentuan orde yang lebih spesifik (contoh orde spesial) namun lebih kecil pada standar orde lain. Ketika nilai selisih kedalaman suatu data lebih besar dari semua orde maka data tersebut tidak memenuhi standar toleransi IHO-S44 (ditolak).

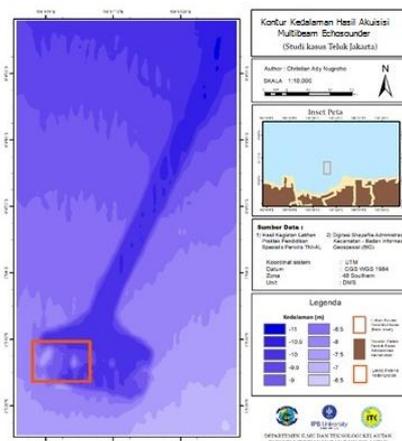
Sebagai contoh pada Tabel 6, data kedalaman No (1) pada koordinat 6.08571 LS; 106.85046 BT memiliki selisih kedalaman sebesar 0.791 meter. Selanjutnya menghitung nilai *limit error* ( $\sigma$ ) dengan memasukkan nilai (a) dan (b) sesuai orde dari tabel 3. Hasil perhitungan terhadap data no (1) nilai selisih kedalaman lebih besar dari nilai *limit error* ( $\sigma$ ) orde spesial dan 1A/1B namun lebih kecil dari nilai *limit error* ( $\sigma$ ) orde 2 maka nilai toleransi data tersebut masuk pada kategori orde 2.

### 3.6. Pemetaan Kedalaman Teluk Jakarta

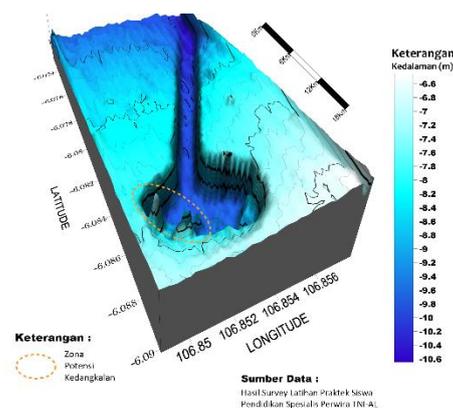
Secara umum perairan Teluk Jakarta merupakan perairan dengan karakteristik yang masuk kedalam kategori wilayah perairan dangkal serta memiliki indikasi sedimentasi yang tinggi yang membuat pendangkalan di Teluk Jakarta akan semakin cepat dan dapat berdampak pada kegiatan lalu-lintas laut (navigasi), seperti karamnya kapal. Untuk itu diperlukan perencanaan yang tepat dan akurat dalam mengelola perairan wilayah ini.

Data pengukuran *multibeam echosounder* yang sudah divalidasi melalui uji kualitas data berdasarkan standar pengukuran dari IHO SP-44, selanjutnya dilakukan pemetaan profil dasar laut (Gambar 15). Kontur kedalaman yang dihasilkan menggunakan bantuan *software ArcGIS* dengan *tools Topo to Raster*. Fungsi dari *tools* ini adalah menginterpolasi permukaan raster dari data titik, garis, dan poligon. Tipe data yang dimasukan adalah *point elevation* karena keluaran (*output*) data *multibeam* berbentuk titik. Untuk profil batimetri dalam bentuk 3 dimensi (3D), diolah menggunakan bantuan *software Surfer* membentuk grid data dengan metode interpolasi krigging (Gambar 16).

Dari peta batimetri dan profil batimetri dalam bentuk 3D yang diperoleh memperlihatkan topografi dasar laut (*seabed surface*) membentuk alur cekungan seperti parit dengan bagian pangkal (sisi selatan) melebar (Gambar 17). Berdasarkan profil batimetri tersebut diasumsikan bahwa morfologi dasar laut tersebut adalah hasil bentukan dari kegiatan manusia berupa hasil pengerukan. Hal ini didukung oleh riset yang dilakukan oleh peneliti sebelumnya [17, 18]. Apabila diasumsikan kembali hasil pengerukan yang seharusnya ‘rapi’ maka pada bagian pangkal sisi barat daya terdapat lokasi potensi kedangkalan yang bisa menjadi salah satu penyebab bahaya navigasi pada pelayaran [18].



**Gambar 15.** Kontur kedalaman lokasi penelitian 2D.



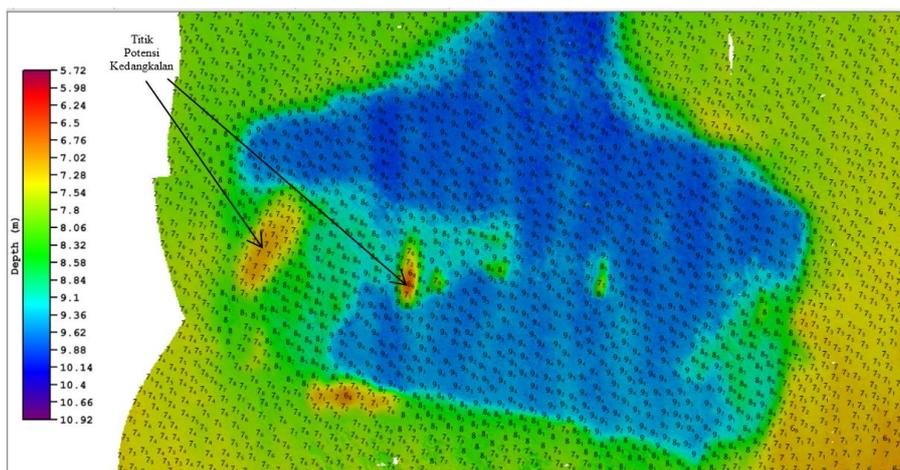
**Gambar 16.** Kontur kedalaman lokasi penelitian 3D.

Hasil pengukuran kedalaman multibeam yang diperoleh memiliki kedalaman maksimal sebesar 10.92 m dan minimal sebesar 5.84 m dengan rata-rata kedalaman 8.26 meter. Dari lokasi kedangkalan melalui gambaran surface

multibeam diperoleh 2 titik kedangkalan dengan posisi 06°05.211940'S, 106°50.997232'E dan 06°05.225940'S, 106°51.068428'E yang kedalamannya lebih dangkal dari pada sekitarnya.

**Tabel 6.** Contoh data hasil perhitungan uji kualitas data kedalaman perairan.

No	Posisi		Kedalaman (m)		Selisih atau Error value (m)	Orde Ketentuan IHO (limit error)			Orde
	Lintang	Bujur	Lajur Utama	Lajur Silang		Special	1A/1B	2	
1	-6.08571	106.85046	-9.772	-8.981	0.791	0.25892	0.51345	1.02111	2
2	-6.08571	106.85047	-10.016	-9.039	0.977	0.25903	0.51362	1.02138	2
3	-6.08571	106.85048	-10.152	-9.11	1.042	0.25917	0.51383	1.02172	Ditolak
4	-6.08571	106.85053	-9.806	-9.354	0.452	0.25966	0.51457	1.02288	1A/1B
5	-6.08571	106.85054	-9.542	-9.387	0.155	0.25972	0.51468	1.02304	Special
6	-6.08571	106.85055	-9.527	-9.462	0.065	0.25988	0.51491	1.02341	Special
7	-6.08571	106.85056	-9.47	-9.438	0.032	0.25983	0.51483	1.02329	Special
8	-6.08571	106.85057	-9.462	-9.459	0.003	0.25987	0.51490	1.02339	Special
9	-6.08571	106.85058	-9.469	-9.471	0.002	0.25989	0.51493	1.02344	Special
10	-6.08571	106.85058	-9.404	-9.471	0.067	0.25976	0.51473	1.02312	Special
11	-6.08571	106.85058	-9.469	-9.509	0.040	0.25989	0.51493	1.02344	Special
12	-6.08571	106.85058	-9.404	-9.509	0.105	0.25976	0.51473	1.02312	Special
13	-6.08571	106.85059	-9.494	-9.7	0.206	0.25994	0.51501	1.02356	Special
14	-6.08571	106.8506	-9.457	-9.544	0.087	0.25987	0.51489	1.02338	Special
15	-6.08571	106.85061	-9.446	-9.431	0.015	0.25981	0.51481	1.02326	Special



**Gambar 17.** Surface multibeam dengan digit point kedalaman.

## 5. Kesimpulan

Pengukuran kedalaman laut dan pengolahan data (*post processing*) hasil survei instrumen *multibeam echosounder* di Perairan Teluk Jakarta telah mengikuti syarat dari IHO dengan tahapan koreksi kecepatan suara dan surutan serta melakukan kalibrasi (*patch test* dan *offset static*). Hasil uji kualitas data *multibeam echosounder* di Perairan Teluk Jakarta telah memenuhi standar toleransi IHO dengan orde spesial sebesar 97.47%. Selanjutnya dihasilkan peta batimetri serta profil

batimetri (3D) dengan nilai kedalaman maksimum 10.92 m; minimum 5.84 m; dan rata-rata 8.26 m.

Profil dasar laut (*seabed surface*) diinterpretasikan membentuk alur cekungan seperti parit melebar di bagian selatan pada posisi 06°05.211940'S, 106°50.997232'E dan di bagian barat daya pada posisi 06°05.225940'S, 106°51.068428'E. Pada posisi tersebut terdapat potensi kedangkalan dengan indikasi terdapat penurunan kedalaman dibandingkan daerah sekitarnya yang berpotensi menjadi bahaya dalam pelayaran laut.

## Daftar Pustaka

- [1] Brennan, C.W., R2Sonic LLC Multibeam Training – The New Patch Test, pp. 1-10, 2017.
- [2] Fahrulian., Manik H.M., Hartoyo D., Dimensi gunung bawah laut dengan menggunakan multibeam echosounder di perairan Bengkulu, *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, **5**(1), pp. 93-102, 2013.
- [3] Hovem J.M., Underwater acoustics: propagation, devices and systems. *Journal of Electroceramics*, **19**(4), pp. 339-347, 2007.
- [4] Manik H.M., Hartoyo D., Rohman S., Underwater multiple objects detection and tracking using multibeam and side scan sonar. *International Journal of Applied Information Systems*, **7**(4), pp. 5-8, 2014.
- [5] Manik H.M., Junaedi L., Harsono G., Pemrosesan citra side scan sonar untuk pemetaan dasar laut pelabuhan Benoa. *Jurnal Nasional Teknik Elektro dan Teknologi Informasi*, **5**(2), pp. 93-100, 2016.
- [6] Muljawan D., Haryanto D., Ilyas M., Kalibrasi patch test untuk multibeam echosounder laut dalam di KR. Baruna Jaya-I. *Oceanika Jurnal Riset dan Rekayasa Kelautan*, **1**(1), pp. 1-13, 2020.
- [7] IHO., IHO Standards For Hydrographic Survey Standards and Specifications No.44. Monaco 5th ed., International Hydrographic Bureau, 2008.
- [8] IHO., IHO Manual on Hydrography (Depth Determination) 1st Ed., Capacity Building Publications No.13. Monaco International Hydrographic Bureau, 2011.
- [9] Junior L.A., and Jeck C.I., Multibeam processing for nautical charts using CUBE and “surface filter” to enhance multibeam processing. *International Hydrographic Review*, **63**(1), pp. 63-73, 2009.
- [10] Lucieer V., Picard K., Siwabessy J., Jordan A., Tran M., Monk J., Seafloor mapping field manual for multibeam sonar, In *Field Manuals for Marine Sampling to Monitor Australian Waters*, Przeslawski R, Foster S (Eds). National Environmental Science Programme (NESP), pp. 42-64, 2018.
- [11] Krasuski K., and Ćwiklak J., Application of the DGPS method for the precise positioning of an aircraft in air transport. *Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport*, **98**(1), pp. 65-79, 2018.
- [12] Khasanah I.U., dan Heliani L.S., Perhitungan nilai chart datum stasiun pasang surut Jepara berdasarkan periode pergerakan bulan, bumi, dan matahari menggunakan data pasut tahun 1994 s.d. 2013. *Jurnal Geospasial Indonesia*, **10**(10), pp. 1-11, 2014.
- [13] Levin E., Meadows G.A., Shults R., Karacelebi U., Kulunk H.S., Bathymetric surveying in Lake Superior: 3D modeling and sonar equipments comparing. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, **42**(2), pp. 101-106, 2019.
- [14] NOAA., Hydrographic Specifications and Deliverables, Office of Coast Survey, 159 p, 2018.
- [15] Rahmawan G.A., Wisna J.U., Husrin S., Ilham., Analisis batimetri dan pasang surut di muara Sungai Kampar: pembangkit penjalaran gelombang pasang surut undular bore (bono). *Geomatika*, **22**(2): 57-64, 2016.
- [16] Setiadarma A.P., Sasmito B., Amarrohman F.J., Analisis pengaruh data SVP (Sound Velocity Profiler) pada hasil pengolahan data multibeam echosounder menggunakan perangkat lunak EIVA (Studi kasus : marine station Teluk Awur, Jepara). *Jurnal Geodesi Undip*, **8**(1), pp. 83-92, 2019.
- [17] Zirek E., and Sunar F., Change detection of seafloor topography by modeling multitemporal multibeam echosounder measurements. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, **40**(7), pp. 221-227, 2014.
- [18] Asmoro, W.N., Pratomo, D.G., Adhi, K.N. dan Santoso, A.I., Studi Penentuan Dimensi dan Posisi Wreck Menggunakan Data Batimetri – Data Kolom Air Multibeam Echosounder (Studi Kasus di Perairan Teluk Jakarta). *Jurnal Chart Datum*, **4**(2), pp. 117-126, 2018.