KALIBRASI *PATCH TEST* UNTUK MULTIBEAM ECHOSOUNDER LAUT DALAM DI KR. BARUNA JAYA-I

PATCH TEST CALIBRATION OF DEEP WATER MULTIBEAM ECHOSOUNDER IN RV. BARUNA JAYA-I

Djunaedi Muljawan^{1*}, Dwi Haryanto¹, dan M. Ilyas¹

¹Balai Teknologi Survei Kelautan, Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT),
Jl. MH. Thamrin No. 8, Jakarta

*E-mail: Djunaedi.muljawan@bppt.go.id atau muljawand@yahoo.co.id

ABSTRAK

KR. Baruna Jaya I telah melakukan revitalisasi peralatan melalui pemasangan sistem Multibeam Echosounder (MBES) laut dalam dengan transducer terpasang secara permanen di lunas kapal. Untuk memperoleh kedalaman dasar laut yang berkualitas baik melalui sistem MBES, diperlukan kesejajaran transducer terhadap sistem koordinat kapal. Ketidaksejajaran transducer ini menyebabkan adanya sudut rotasi transducer terhadap sistem koordinat kapal dan dinyatakan dengan komponen roll, pitch, dan yaw. Dengan metode kalibrasi Patch Test, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui sudut simpangan roll, pitch, dan yaw dari pemasangan transducers MBES KR. Baruna Jaya I. Hasil kalibrasi patch test menunjukkan komponen roll sebesar 0.20° dan komponen pitch sebesar 0.45° . Komponen roll dan pitch memenuhi toleransi dengan rentang kesalahan $\pm 0.5^{\circ}$. Sedangkan untuk komponen yaw sebesar 1.43° di atas toleransi $\pm 0.5^{\circ}$. Kalibrasi yaw melewati batas toleransi dikarenakan perbedaan arah kapal terhadap lajur survei kalibrasi yaw.

Kata kunci: multibeam echosounder, ketidaksejajaran transducer, patch test, roll-pitch- yaw

ABSTRACT

[Patch Test Calibration of Deep Water Multibeam Echosounder in RV. Baruna Jaya-I] RV. Baruna Jaya I has revitalized the equipment through the installation of a deep sea Multibeam Echosounder (MBES) system with a transducer permanently installed in the vessel's keel. To get a good quality of seabed depth through the MBES system, the transducer alignment to the ship coordinate system is needed. This transducer misalignment causes the transducer rotation angle to the ship's coordinate system and is expressed in terms of roll, pitch and yaw components. Using the Patch Test calibration method, this study aims to determine the angle of roll, pitch, and yaw displacement of the MBES's transducer installed in Baruna Jaya I. The Patch Test calibration results showed roll component of 0.20° and pitch component of 0.45° in which all components meet tolerances with an error range of $\pm 0.5^{\circ}$. Whereas, the yaw component is 1.43° above tolerance of $\pm 0.5^{\circ}$. Yaw calibration exceeds the tolerance limit due to differences in the direction of the vessel to the yaw calibration survey line.

Keywords: multibeam echosounder, transducer miss-alignment, patch test, roll-pitch- yaw

1. PENDAHULUAN

Pengukuran kedalaman pada suatu perairan atau laut dengan menggunakan *singlebeam echosounder* (SBES) biasanya hanya menggunakan parameter pergerakan wahana survei berupa parameter *heave*, sedangkan pergerakan wahana survei yang meliputi *roll*, *pitch*, dan *yaw* bukan menjadi parameter yang mempengaruhi hasil pengukuran kedalaman. Hal ini tidak berlaku untuk pengukuran kedalaman menggunakan *multibeam echosounder* (MBES). Pergerakan wahana survei menjadi

parameter yang harus diketahui secara *real time* untuk proses perhitungan nilai kedalaman. MBES tidak mengukur kedalaman, tapi hanya mengukur *range* dan *bearing*. Kedalaman perairan dengan posisi yang *fix* diperoleh melalui perhitungan *range*, *bearing*, *position*, *motion* (*roll*, *pitch*, dan *yaw*) dan *refraction*. Sehingga data *roll*, *pitch*, dan *yaw* mempunyai peranan penting untuk menghasilkan data kedalaman hasil akuisisi data MBES. Hal ini menjadi alasan bahwa kalibrasi harus dilakukan untuk menentukan sudut kesalahan pemasangan *transducer* MBES yaitu sudut kesalahan *roll*, *pitch* dan *heading*. Untuk mendapatkan sudut kesalahan tersebut dapat ditentukan dengan melakukan pengukuran dengan pola lajur tertentu.

Menurut IHO (2011), kalibrasi MBES atau *patch test* merupakan langkah yang utama untuk menentukan sudut simpangan antara *transducer*, sensor gerak dan sistem koordinat kapal. Sementara itu, setiap pemasangan baru *transducer* MBES atau apabila *transducer* MBES dipindahkan maka harus dilakukan *patch test* (Brennan, 2009). Dalam kaitan ini, salah satu contoh kasus kalibrasi *patch test* adalah yang dilakukan pada MBES laut dalam yang dipasang di Kapal Riset (KR.) Baruna Jaya I dalam rangka revitalisasi peralatan survei pada KR. Baruna Jaya milik Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT) (Muljawan, 2017). Kegiatan ini merupakan bagian dari peremajaan dan penambahan peralatan survei yang dilakukan pada tahun 2017 oleh Balai Teknologi Survei Kelautan, BPPT (Muljawan, 2017). Sistem MBES laut dalam yang dipasang pada KR. Baruna Jaya I adalah MBES untuk pengukuran kedalaman laut hingga 11 km, sehingga kapal riset ini merupakan satu-satunya kapal milik pemerintah Indonesia yang memiliki kemampuan untuk mengukur kedalaman laut terdalam dibandingkan dengan kapal riset lainnya di Indonesia. Adapun MBES yang dipasang adalah MBES *Hydrosweep DS* yang di produksi oleh Teledyne (Teledyne RESON, 2019).

Untuk memperoleh hasil pengukuran kedalaman yang berkualitas baik melalui sistem MBES *hydrosweep*, maka data ketidaksejajaran *transducer* yang diwakili oleh sudut rotasi *roll*, *pitch*, dan *yaw* harus diketahui. Dengan demikian *patch test* merupakan faktor penting dalam mendukung aktivitas survei dan sebagai jaminan kualitas data MBES yang didapatkan. Dalam kaitannya dengan pemasangan MBES, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui sudut simpangan *roll*, *pitch* dan *yaw* dari pemasangan *transducer* MBES pada KR. Baruna Jaya I melalui *patch test*.

2. BAHAN DAN METODE

2.1. *Transducer* MBES Teledyne Hydrosweep DS

Transducer MBES Teledyne Hydrosweep DS bertipe *single transducer* dan terpasang permanen (*Hull Mounted*) di KR. Baruna Jaya I (Teledyne RESON, 2019). *Transducer* MBES mengikuti konfigurasi “T” (*mills cross*), yaitu bentuk yang saling menyilang antara kedua *transducer* tersebut dan terdiri dari dua bagian yaitu *transmitter* (TX) dan *receiver* (RX) (Gambar 1). *Transducer* yang berfungsi sebagai penerima sinyal (RX) dipasang dengan arah kiri kanan kapal, sedangkan *transducer* pemancar sinyal (TX) dipasang searah haluan kapal. *Transducer* MBES terpasang pada *Fairing* yang menempel pada lunas KR. Baruna Jaya I (Gambar 1).

Gambar 1. *Transducer Teledyne HydroSweep DS berbentuk Mills Cross.*

2.2. Sistem Koordinat Kapal dan Gerakan Rotasi Kapal

Pergerakan wahana survei yang dinyatakan dengan parameter *roll*, *pitch*, dan *yaw* pada prinsipnya merupakan nilai sudut perputaran atau rotasi pada sumbu Y disebut *Roll*, rotasi pada sumbu X disebut *Pitch* dan rotasi pada sumbu Z disebut *Yaw*. Bidang yang dibentuk oleh ketiga sumbu (X, Y, dan Z) dikenal sebagai sistem koordinat kapal (*Vessel Reference Frame/VRF*). Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan (Clarke, 2003), sistem koordinat kapal ditentukan secara tiga dimensi, dimana sumbu X positif didefinisikan dari *Reference Point* (RP) ke arah kiri (*port*), sedangkan sumbu Y positif dari RP ke arah depan kapal (*fore*), dan sumbu Z positif dari RP ke arah bawah kapal (Gambar 2).

Gambar 2. Sistem koordinat kapal dan perputaran (Modifikasi dari Walter *et al.*, 2017).

Pada pelaksanaan survei MBES, parameter *roll*, *pitch*, dan *yaw* harus diukur secara *real time*. Sehingga posisi *transducer* MBES harus stabil dan tidak terjadi gerakan yang tidak searah dengan gerakan kapal. Pemasangan *transducer* MBES harus meminimalisasi kesalahan pemasangan atau ketidaksejajaran *transducer* terhadap sistem koordinat kapal (VRF). Ketidaksejajaran *transducer* dapat diukur besarnya dengan metode statis maupun metode dinamis. Metode statis dilakukan dengan melakukan survei dimensional untuk mendapatkan sudut ketidaksejajaran *transducer* dengan VRF. Survei dimensional merupakan prosedur pengukuran dimensi kapal secara tiga dimensi (3D) guna mendapatkan kerangka 3D dari sistem koordinat kapal (VRF)

sekaligus ketidaksejajaran *transducer* terhadap VRF. Survei dimensional dilakukan saat kapal berada dalam dok kering (*dry dock*), ketika kapal berada di atas penyangga yang mengakibatkan kapal dalam keadaan stabil, sehingga adanya ketidaksejajaran *transducer* (*roll*, *pitch* dan *yaw*) terhadap VRF dapat diketahui secara akurat.

Metode dinamis untuk mendapatkan nilai *roll*, *pitch*, dan *yaw* akibat *transducer miss-alignment* adalah dengan kalibrasi *patch test*. Kalibrasi *patch test* dilakukan dengan merekam data MBES melewati beberapa lajur survei yang paralel dan *overlap* dengan kecepatan kapal, kedalaman, dan *terrain* dasar laut dengan spesifikasi tertentu.

MBES *Teledyne Hydrosweep DS* merupakan sebuah sistem yang terintegrasi yang meliputi alat pengukur jarak atau *range* (MBES), alat penentuan posisi global (DGPS), alat pengukur gerakan rotasi (*roll*, *pitch*, dan *yaw*) dan translasi kapal atau *heave* (*Inertial Motion Unit* / IMU), alat pengukur arah atau *heading* (*Gyro Compas* atau *GPS Gyro*), dan kecepatan suara dalam kolom air atau pengaruh refraksi (*Sound Velocity Profile* atau SVP dan *Surface Sound Velocity* atau SVS). *Offset static* kedudukan *transducer* MBES dan alat-alat atau sensor-sensor lainnya seperti DGPS, IMU, dan *Gyro Compas* terhadap RP dilakukan menurut Mann (1998) seperti ditunjukkan dalam Gambar 3. Pengukuran akurat lokasi sensor adalah prasyarat untuk menjaga agar data yang diperoleh sesuai dengan spesifikasi yang ditentukan. Kesalahan pengukuran kedudukan ini (*miss alignments offset static*) yang tidak terhitung dengan baik akan menghasilkan kesalahan kedalaman dan posisi, yang terwujud sebagai artefak data dalam bentuk riak *heave* (*ripples*) dan *cross-talk* antara *roll* dan *pitch*. Pengukuran kedudukan *transducer* dan sensor-sensor terhadap RP dilakukan dengan metode survei dimensional.

Gambar 3. *Offset Static* atau kedudukan *transducer* & GPS, MRU, Gyro, garis air terhadap RP (Mann, 1998).

2.3. Kalibrasi *Patch Test*

Pitch, *Roll* dan *heading* merupakan gerakan memutar terhadap sumbu X, Y dan Z. Idealnya *transducer multibeam* harus sejajar dengan bidang X dan Y, dan tegak lurus terhadap sumbu Z. Namun pada kenyataannya sulit untuk memasang *transducer* dengan kondisi ideal sehingga mengakibatkan kesalahan sudut atau penyimpangan terhadap bidang X dan Y (Gambar 2).

Akibat dari adanya penyimpangan tersebut akan menyebabkan kesalahan pada data posisi dan kedalaman hasil akuisisi dan penghitungan dari sistem MBES. Besarnya penyimpangan (*transducer miss-alignment*) tersebut harus diketahui nilainya dan nilainya perlu dimasukkan ke perangkat lunak (*software*) sistem akuisi data MBES. Di

dalam perangkat lunak sistem akusisi MBES, nilai *transducer miss-alignment* tersebut diaplikasikan untuk mengkoreksi semua data hasil perekaman MBES secara otomatis.

2.3.1. Kalibrasi Roll

Kesalahan *roll* (*roll offset*) menyebabkan dasar laut yang datar terlihat miring ketika kapal melewati lajur survei yang sama dengan arah berlawanan. *Roll offset* dapat diukur dengan memeriksa data kedalaman (*sounding data*) antara lajur survei yang sama, yang dijalankan dalam arah yang berlawanan pada kecepatan yang sama. Kasus ini untuk *single transducer* seperti tipe *transducer* dari sistem MBES *Teledyne Hydrosweep DS*. Sedangkan untuk tipe *dual transducer*, *Roll offset* dapat diukur dengan memeriksa data kedalaman (*sounding data*) antara dua lajur survei paralel, yang dijalankan dalam arah yang berlawanan pada kecepatan yang sama.

Jika ada *Roll offset* pada *transducer* MBES maka profil yang dihasilkan akan tidak sama. Antara profil 1 dengan profil 2 akan merupakan persilangan dengan membentuk sudut (Gambar 4). Gambar 4 menunjukkan kondisi yang menggunakan *single transducer*, sedangkan untuk kondisi *dual transducer* tidak dibahas pada penelitian ini.

Gambar 4. Lajur survei yang berlawanan arah (gambar kiri) dan profil *seabed* dari dua lajur survei yang disebabkan adanya *Roll offset* (gambar kanan).

Gambar 5. Geometri *Roll Offset*.

Sudut “a” merupakan dua kali *roll offset* (Gambar 4), sedangkan sudut “b” merupakan *roll offset* (Gambar 5) yang dapat ditentukan dengan mengacu pada persamaan menurut Mann (1998):

$$b = \arctan (Y/X) \quad \dots\dots\dots (1)$$

dimana:

$b = \text{offset roll}$

Y = kedalaman titik pada lajur survei terluar

X = lebar lajur survei dari garis tengah

2.3.2. Kalibrasi *Pitch*

Kesalahan *pitch* (*pitch offset*) menyebabkan fitur-fitur atau objek-objek tampak bergeser di sepanjang lintasan di tengah sapuan (*coverage*) MBES, hal ini disebabkan adanya penyimpangan *transducer* terhadap sumbu Y. *Pitch offset* dapat ditentukan dengan menjalankan lajur survei yang sama di atas fitur dasar laut yang menonjol atau yang memiliki kemiringan yang curam dengan lajur survei berlawanan arah dan pada kecepatan yang sama.

Apabila terjadi *pitch offset* pada *transducer* MBES maka akan terjadi pergeseran objek antara profil 1 dan profil 2 (Gambar 6). Gambar 6 menunjukkan kondisi yang menggunakan *single transducer*, sedangkan untuk kondisi *dual transducer* tidak dibahas pada penelitian ini.

Gambar 6. (Kiri) Geometri lajur survei untuk kalibrasi *Pitch*, dan (kanan) pergeseran profil hasil lajur 1 dan lajur 2 akibat adanya *pitch offset*.

Sudut *pitch offset* yang disimbulkan dengan sudut “a” (Gambar 6) dapat ditentukan dengan mengacu pada persamaan menurut Mann (1998):

$$a = \arctan \left(\frac{d}{2} \right) / Z \quad \dots\dots\dots (2)$$

dimana:

a = sudut *pitch offset*

Z= kedalaman objek

d= jarak titik objek hasil pengukuran lajur 1 dan lajur 2

2.3.3. Kalibrasi *Yaw*

Kesalahan *Yaw* (*Yaw offset*) menyebabkan objek-objek di dasar laut tampak bergeser di sepanjang lajur survei tepat di tengah sapuan (*coverage*) MBES (Gambar 7). Perpindahan objek-objek sepanjang lajur survei akan meningkat dengan jarak yang jauh dari lajur survei. *Yaw offset* dapat dikuantifikasi dengan memeriksa data kedalaman (*sounding data*) pada area yang tumpang-tindih (*overlap*) antara dua lajur survei yang

saling berdekatan. Sapuan kedua lajur survei ini dilewatkan di kedua sisi objek dasar laut dengan arah lajur survei yang berlawanan dan pada kecepatan yang sama. Bagian sapuan kanan (*starboard*) lajur 1 *overlap* dengan sapuan bagian kanan lajur 2, begitu juga untuk bagian sapuan kiri (*port*).

Gambar 7. Geometri lajur survei untuk kalibrasi yaw (gambar kiri) dan pergeseran profil hasil lajur 1 dan lajur 2 akibat adanya yaw offset (gambar kanan) (Modifikasi dari Lugsdin and Schultze, 2006).

Sudut yaw offset yang disimbulkan dengan sudut “ γ ” (Gambar 6) dapat ditentukan dengan mengacu pada persamaan menurut Mann (1998):

$$\gamma = \sin^{-1} \left(\frac{da}{2} \right) / X \quad \dots\dots\dots (3)$$

dimana:

γ = sudut yaw offset

da= jarak titik objek hasil pengukuran lajur 1 dan lajur 2

X = jarak melintang *relative* terhadap beam no ke-i

2.3.4. Kalibrasi Navigation Delay (Latency)

Navigation delay menyebabkan fitur-fitur tampak bergeser di sepanjang lajur survei relatif terhadap posisi transduser (Gambar 8). *Navigation delay* dapat ditentukan dengan menjalankan lajur survei dua kali dalam arah yang sama pada objek dasar laut yang menonjol, lajur survei satu pada kecepatan tercepat dan lajur survei kedua pada kecepatan yang paling lambat.

Navigation delay yang disimbulkan dengan sudut “TD” (Gambar 7) dapat ditentukan dengan mengacu pada persamaan menurut Mann (1998):

$$TD = \frac{da}{V_h - V_i} \quad \dots\dots\dots (4)$$

dimana:

TD = Navigation delay dalam satuan detik

Da = jarak titik objek hasil pengukuran dengan kecepatan tinggi dan rendah

V_h = Kecepatan kapal (tinggi)

V_i = Kecepatan kapal (rendah)

Gambar 8. (Kiri) Geometri lajur survei untuk kalibrasi *navigation delay* (gambar kiri) dan pergeseran profil hasil lajur 1 dan lajur 2 akibat adanya *navigation delay* (gambar kanan) (Modifikasi dari Lugsdin and Schultze, 2006).

2.4. Kalibrasi *Navigation Delay (Latency)*

Kalibrasi *patch test* MBES dilaksanakan tanggal 26 Nopember 2017 di sekitar Selat Sunda pada kedalaman antara 500 - 1500 meter dengan posisi sekitar 6°20'44.15"S, 104°45'44.31"E (Gambar 9). Kalibrasi *patch test* dilaksanakan dengan melakukan survei pada 2 (dua) lajur survei yang sejajar dan 1 lajur survei yang melintang (*crossing*) pada dua lajur survei yang sejajar. Setiap lajur survei dilewati dan direkam data MBES secara bolak balik. Ilustrasi lajur survei untuk kalibrasi *patch test* disajikan pada Gambar 10.

Gambar 9. Lokasi penelitian kalibrasi *patch test* transduser MBES KR. Baruna Jaya I di perairan Selat Sunda.

Gambar 10. Lajur survei untuk kalibrasi *patch test*.

Lokasi kalibrasi *patch test* area harus memenuhi kriteria dengan *seabed topography* berupa: dasar laut yang memiliki objek atau artefak yang menonjol seperti gundukan atau pipa, atau dasar laut memiliki kemiringan yang curam (*slope*) dan dasar laut yang rata (*flat*). Lokasi yang memenuhi kriteria *seabed topography* yang dimaksud berada pada *latitude* 6°20'30.00"S dan *longitude* 104°46'30.00"E. Lokasi ini memiliki *slope* yang curam dengan kedalaman 300 m sampai dengan 1000 m (Gambar 11).

Gambar 11. *Seabed topography* pada lokasi kalibrasi *patch test*.

Prosedur kalibrasi *roll* dilakukan dengan dua buah lajur survei yang arahnya saling berlawanan, dengan kecepatan kapal yang sama, melintasi area yang datar, dan saling bertampalan (*overlap*). Kalibrasi *pitch* dilaksanakan mirip seperti kalibrasi *roll*, tetapi harus melintasi daerah yang memiliki *slope* yang curam atau objek yang menonjol. Sedangkan kalibrasi *yaw* mensyaratkan dua lajur yang memiliki arah yang sama dan melintasi objek yang menonjol atau tegak lurus *slope*. Semua proses kalibrasi harus diusahakan dengan kecepatan kapal yang relatif sama. Sedangkan untuk koreksi *latency* diabaikan karena telah dilakukan sinkronisasi waktu dengan teliti.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Sebelum memulai kalibrasi *patch test* MBES, profil kecepatan suara pada kolom air harus diukur menggunakan peralatan *Sound Velocity Profile* (SVP) atau alat *Conductivity Temperature Depth* (CTD). Lokasi pengambilan SVP berada di lokasi penelitian dengan penurunan SVP di air hingga kedalaman maksimum lokasi penelitian. Profil kecepatan suara pada kolom air disajikan pada Gambar 12. Data SVP merupakan syarat mutlak untuk mendapatkan data kedalaman yang akurat hasil penghitungan perhitungan *range*, *bearing*, *position*, *motion* (*roll*, *pitch*, dan *yaw*) dan *refraction*. SVP berkaitan dengan proses refraksi gelombang suara dalam media air.

Pada kalibrasi *patch test* MBES tidak dilakukan kalibrasi *navigation delay* karena sistem MBES *Teledyne Hydrosweep DS* sudah disinkronisasi dengan waktu dalam bentuk *string* NMEA ZDA untuk menghasilkan penyamaan waktu (*time-stamp*) selama akuisisi MBES. Karena itu dalam kalibrasi *patch test* MBES hanya untuk parameter *roll*, *pitch*, dan *yaw*. Lajur survei dan lokasi baik *roll*, *pitch*, dan *yaw* untuk kalibrasi *patch test* MBES disajikan pada Gambar 13, sedangkan koordinat posisi lajur disajikan pada Tabel 1.

Gambar 12. SVP yang digunakan untuk kalibrasi *patch test*.

Gambar 13. Lajur survei dan lokasi untuk kalibrasi *patch test*.

Tabel 1. Lajur survei untuk kalibrasi *patch test*.

<i>Line</i>	<i>Start of Line (SOL)</i>	<i>End of Line (SOL)</i>	<i>Heading</i>	<i>Comment</i>
1	06-20.682 S/104-48.171 E	06-20.779 S/104-43.538 E	270/90	<i>Pararel Line</i>
2	06-20.044 S/104.47.816 E	06-20.119 S/104-43.872 E	270/90	<i>Pararel Line</i>
3	06-18.488 S/104-46.177 E	06-22.133 S/104-46.083 E	170	<i>Crossing Line</i>

Lajur survei 1 digunakan untuk kalibrasi *roll* dan *pitch*. Kalibrasi *roll* dilakukan pada topografi dasar laut yang relatif datar (*flat*) dan lokasi berada dibagian timur (ditunjukkan pada Gambar 10 di bagian bawah), sedangkan kalibrasi *pitch* dilakukan pada topografi dasar laut yang relatif curam dan lokasi berada di bagian tengah-tengah lajur survei 1 (Gambar 13). Kombinasi dari lajur survei 1 dan lajur survei 2 digunakan untuk kalibrasi *yaw*. Kalibrasi *yaw* dilakukan pada topografi dasar laut yang relatif curam dan lokasi berada di bagian tengah-tengah lajur survei 1 dan lajur survei 2

(Gambar 13). Lajur survei 3 dilakukan secara tegak lurus terhadap lajur survei 1 dan lajur survei 2 tepat di atas lokasi kalibrasi *patch test* untuk memverifikasi validitas parameter kalibrasi *patch test*. Hasil kalibrasi *patch test* ditunjukkan pada Tabel 2 dan Gambar 14.

Tabel 2. Ringkasan parameter kalibrasi *patch* dari MBES *Teledyne Hydrosweep DS*.

<i>System Components</i>	<i>Calibration Parameters</i>	<i>Orientation</i>
<i>Roll</i>	0.20°	<i>Port Up (+)</i>
<i>Pitch</i>	0.45°	<i>Bow Up (+)</i>
<i>Heading</i>	1.43°	
<i>Navigation Delay (Latency)</i>	0.00s

(a) Hasil Kalibrasi *Roll*.

(b) Hasil Kalibrasi *Pitch*.

(c) Hasil Kalibrasi *Yaw*.

Gambar 14. Hasil kalibrasi *Patch Test*.

Pada Tabel 2 ditunjukkan nilai hasil kalibrasi *patch test*, yang mana parameter *roll* nilainya $+0.20^\circ$ (*transducer* bagian *port* naik sebesar $+0.20^\circ$) dan parameter *pitch* nilainya $+0.45^\circ$ (*transducer* bagian *bow* naik sebesar $+0.45^\circ$). Hasil kalibrasi *roll* dan *pitch* memenuhi toleransi kesalahan *transducer miss-alignment* yang disyaratkan oleh Teledyne (rentang kesalahan *transducer miss-alignment* $\pm 0.5^\circ$). Sedangkan parameter *yaw* nilainya $+1.43^\circ$, sehingga *transducer* seolah-olah berputar terhadap sumbu Z searah jarum jam sebesar 1.43° . Besarnya nilai kalibrasi *yaw* kemungkinan disebabkan adanya ketidaklurusan kapal terhadap lajur survei pada saat kalibrasi *patch test*. Faktor angin dan arus menyebabkan kapal survei sulit dikendalikan agar *heading* kapal searah dengan lajur survei, sehingga sapuan data MBES tidak tegak lurus dengan lajur survei. Hal ini akan menyebabkan data *Digital Elevation Model* (DEM) yang dihasilkan akan kurang sesuai untuk area yang bertampalan (*overlap*) antar dua lajur survei.

Bedasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Richardson (1997), faktor angin dan arus laut dapat mempengaruhi pergerakan kapal survei sehingga menyebabkan kesalahan baik pada arah (*heading*) maupun posisi kapal. Pada proses kalibrasi *patch test* MBES khususnya kalibrasi *yaw*, yang mana harus menggunakan dua lajur survei yang sapuannya harus bertampalan (*overlap*) maka arah kapal yang tidak sesuai dengan arah lajur survei akan menyebabkan kesalahan sebesar dua kali lipat efek kesalahan pada data yang direkam.

Parameter kalibrasi *patch test* (Tabel 2), selanjutnya diinputkan ke perangkat lunak akuisisi data MBES dan disimpan dalam *ship parameter (vessel file)*. Parameter kalibrasi *patch test* merupakan nilai koreksi akibat dari ketidaksejajaran dari *transducer* MBES terhadap *Vessel Reference Frame*.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui simpangan *roll*, *pitch* dan *yaw* melalui kalibrasi *patch test* MBES laut pada K.R Baruna Jaya I - BPPT. Dari hasil proses kalibrasi diperoleh ketidaksejajaran *transducer* MBES terhadap *Vessel Reference Frame* untuk komponen *roll* sebesar 0.20° dan kesalahan ketidaksejajaran *transducer* MBES untuk komponen *pitch* sebesar 0.45° . Ketidaksejajaran *transducer* untuk komponen *roll* dan *pitch* memenuhi toleransi yang disyaratkan oleh Teledyne dengan rentang kesalahan $\pm 0.5^\circ$. Sedangkan kesalahan ketidaksejajaran *transducer* MBES komponen *yaw* sebesar 1.43° . Ketidaksejajaran *transducer* untuk komponen *yaw* melewati batas toleransi yang disyaratkan oleh Teledyne dengan rentang kesalahan $\pm 0.5^\circ$. Ketidaksejajaran *transducer* untuk komponen *yaw* yang melewati batas toleransi dikarenakan adanya ketidaklurusan kapal terhadap lajur survei pada saat kalibrasi *patch test*. Untuk keperluan survei dan akuisisi data selanjutnya, disarankan untuk melakukan kalibrasi *patch test* MBES guna memverifikasi hasil kalibrasi MBES yang dilakukan pada penelitian ini. Secara keseluruhan hasil dan metode penelitian dapat dipertanggungjawabkan dalam menghasilkan nilai *miss-alignment transducer* sistem MBES laut dalam.

UCAPAN TERIMA KASIH

Tulisan ini merupakan bagian dari hasil Kegiatan Revitalisasi Peralatan Survei KR. Baruna Jaya – BPPT yang dibiayai oleh DIPA Balai Teknologi Survei Kelautan, BPPT pada TA 2017. Penulis mengucapkan terima kasih kepada segenap manajemen Balai Teknologi Survei Kelautan, atas segala arahan dan dorongan untuk keberhasilan

kegiatan kalibrasi *patch test* ini. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada teknisi dan kru KR. Baruna Jaya I yang telah banyak membantu dalam keberhasilan kegiatan di lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

- Brennan, C.W. (2009). Multibeam Calibration: The Patch Test. R2Sonic LLC. USA
- Clarke, J. (2003). A Reassessment of Vessel Coordinate System: What Is it That We Are Really Aligning? In: *Proceedings of the U.S. Hydrographic Conference 2003*, 1–12. Retrieved from <https://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7>.
- Muljawan, D. (2017). Sea Trial Sea Acceptance Test (SAT) Peralatan Multibeam Hydrosweep DS di KR. Baruna Jaya I, Selat Sunda - Samudera Hindia - Selat Sunda - Muara Baru, 25 – 29 November 2017. *Laporan Sea Trial*. Balai Teknologi Survei Kelautan, Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi. p. 30.
- Lugsdin, A. and Schulze, B. (2006). Multibeam Calibration Guide for Sea Beam 1180 & 1050 / Elac Sw & Mw System. L3-Communications Elac Nautik GmbH, Kiel, Germany.
- IHO. (2011). Manual on Hydrography, C-13, Chapter Depth Determination. International Hydrographic Organization (IHO), 1st Edition.
- Richardson, P. L. (1997). Drifting in The Wind: Leeway Error in Shipdrift Data. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 44(11), 1877–1903. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0967-0637\(97\)00059-9](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0967-0637(97)00059-9)
- Mann, R. (1998). Field Calibration Procedures for Multibeam Sonar Systems, U.S. Army Corps of Engineers Topographic Engineering Center, Virginia, USA.
- Teledyne RESON. (2019). *Atlas Hydrosweep DS*. Retrieved from http://www.sealandtech.com/wp-content/uploads/2018/07/Teledyne-Hydrosweep-DS_Data-Sheet.pdf
- Walter, H., Wagman, J., Stergiou, N., Erkmén, N., & Stoffregen, T. (2017). Dynamic perception of dynamic affordances: walking on a ship at sea. *Experimental Brain Research*, 235(2), 517–524. <https://doi.org/10.1007/s00221-016-4810-6>