

# SURVEI DIMENSIONAL DAN KALIBRASI SISTEM MULTIBEAM LAUT DALAM DI KAPAL RISET BARUNA JAYA I

(*Dimensional Survey and Calibration of Deep-water Multibeam System of RV Baruna Jaya I*)

**Dwi Haryanto, Hendra Kurnia Febriawan, Ahmad Fawaiz Safi`, dan Muhamad Irfan**

Balai Teknologi Survei Kelautan, Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT)

BPPT Gedung 2 Lantai 12 Jl. M.H. Thamrin No. 8 Jakarta Pusat, DKI. Jakarta 10340

E-mail: [dwi.haryanto@bppt.go.id](mailto:dwi.haryanto@bppt.go.id)

Diterima: 3 Februari 2020; Direvisi: 9 November 2020; Disetujui untuk Dipublikasikan: 20 November 2020

## ABSTRAK

Wilayah laut Indonesia bagian tengah dan timur merupakan perairan laut dalam dengan informasi batimetri yang masih terbatas. Data batimetri laut dalam dapat diperoleh menggunakan alat survei khusus, yaitu *Multibeam Echosounder* (MBES). MBES laut dalam pada Kapal Riset (KR) Baruna Jaya I mampu menghasilkan data batimetri hingga kedalaman 11 km. MBES laut dalam tersebut mempunyai dimensi fisik yang relatif besar, sehingga *transducer* MBES harus dipasang secara permanen pada tunas kapal. Sistem MBES laut dalam terdiri dari beberapa sensor yang terintegrasi dalam satu sistem akuisisi MBES. Agar menghasilkan data batimetri berkualitas tinggi, perlu dilakukan survei dimensional untuk memperoleh informasi sudut *miss-alignment* *transducer* MBES dan posisi secara 3D (tiga dimensi) sensor sistem MBES laut dalam secara akurat dalam satu referensi sistem koordinat. Paper ini bertujuan untuk memperoleh nilai ketidaklurusan (*miss-alignment*) *transducer* MBES dan nilai *offset* sensor - sensor yang terpasang pada KR Baruna Jaya I terhadap suatu sistem koordinat kapal menggunakan metode survei dimensional. Selain itu, hasil survei dimensional tersebut diverifikasi secara dinamis menggunakan metode kalibrasi *patch test*. Hasil survei dimensional menunjukkan pemasangan *fairing* sebagai rumah *transducer* MBES memenuhi toleransi dengan nilai *roll*:  $-0,089^\circ$  dan *yaw*:  $0,292^\circ$  sedangkan nilai *pitch* ( $-0,120^\circ$ ) tidak memenuhi toleransi. Hasil pemasangan *transducer* MBES menunjukkan nilai *roll* dan *yaw* memenuhi toleransi (*roll*:  $0,012^\circ$  dan *yaw*:  $0,200^\circ$ ), sedangkan nilai *pitch* di atas ambang toleransi (*pitch*:  $0,698^\circ$ ). Nilai kesalahan pemasangan *transducer* diverifikasi dengan hasil kalibrasi *Patch Test* MBES dan mendapatkan nilai *roll*:  $0,20^\circ$ , *pitch*:  $0,45^\circ$ , dan *yaw*:  $-1,43^\circ$ .

**Kata kunci:** batimetri laut dalam, *multibeam echosounder*, survei dimensional, *miss-alignment*, *sensor offset*, *patch test*

## ABSTRACT

The middle and eastern parts of Indonesia's water territory are deep-water ocean with very limited bathymetry information. That deep-water bathymetry information can be mapped using particular survey equipment, such as *Multibeam Echosounder* (MBES). The deep-water MBES system installed on RV Baruna Jaya I can produce bathymetry data that can reach the depth of 11 km. The MBES has a relatively huge physical dimension, thus the *transducer* must be installed permanently on the vessel hull. The MBES system consists of several sensors integrated into an MBES acquisition system. In order to produce a high-quality of bathymetry data, the dimensional survey needs to be carried out to obtain the *miss-alignment* angle information of the *transducer*. These values are commonly due to the *miss-alignment* and 3D position of the sensors based on the vessel reference frame (VRF). This paper is aimed to obtain *miss-alignment* values of MBES *transducer* estimation and *offset* values of sensors installed in RV Baruna Jaya I using dimensional survey method. In addition, the verification of the results was also carried out using *patch test* calibration method. The results of the dimensional survey indicated that the *fairing* installation was already below tolerance for *roll*:  $0,088^\circ$  and *yaw*:  $-0,292^\circ$  but out of tolerance for *pitch*:  $-0,120^\circ$ . The result of the *transducer* installation exhibited that the *roll* and *yaw* of the *transducer* were already below tolerance (*roll*:  $0,012^\circ$  and *yaw*:  $0,200^\circ$  respectively). In contrast, there was an out of tolerance of the *pitch* value ( $0,698^\circ$ ). Those *miss-alignment* values of the *transducer* installation then were verified using a *Patch Test* calibration and showing a result of *roll*:  $0,20^\circ$ , *pitch*:  $0,45^\circ$ , and *yaw*:  $-1,43^\circ$

**Keywords:** deep-water bathymetry, *multibeam echosounder*, dimensional survey, *miss-alignment*, *sensor offset*, *patch test*

## PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara kepulauan dengan dua pertiga luas wilayahnya berupa perairan laut dengan luas kurang lebih mencapai 5,8 juta km<sup>2</sup> (Ramdhan & Taslim, 2013). Wilayah perairan laut Indonesia bagian tengah dan timur didominasi oleh perairan laut dalam. Hal tersebut dijelaskan dalam Riadi et al. (2014) yang melakukan pengambilan sedimen di Selat Makassar pada kedalaman sampai 2500 - 5000 m. Disamping itu, Manik et al. (2018) melalui studi mereka tentang sebaran ikan pelagis di Laut Banda juga menyebutkan bahwa Laut Banda memiliki kedalaman mencapai 5800 m. Salah satu peralatan yang banyak digunakan untuk memetakan kedalaman wilayah laut dalam tersebut adalah *multibeam echosounder* (MBES) karena kemampuannya dalam melakukan kegiatan survei secara efisien dan menghasilkan informasi kedalaman yang rapat.

Sebagian besar kegiatan survei batimetri di Indonesia menggunakan sistem MBES yang tidak terpasang permanen pada suatu kapal survei. Hal tersebut memungkinkan pada kegiatan survei MBES pada perairan laut dangkal ataupun dengan kedalaman di bawah 3000 m. Akan tetapi untuk melakukan survei MBES di perairan laut dalam dengan kedalaman di atas 3000 m, diperlukan alat MBES yang bisa menjangkau kedalaman tersebut. Tipe alat MBES dengan spesifikasi tersebut biasanya memiliki dimensi fisik yang relatif besar. Sebagai contoh, MBES tipe HydroSweep DS mempunyai dimensi *transducer* berukuran sekitar 5-10 m (RESON, 2019). Hal tersebut menyebabkan alat MBES tersebut harus dipasang permanen pada lunas (*hull mounted*) kapal survei. Di Indonesia, tidak banyak kapal survei yang dilengkapi peralatan MBES dengan kemampuan untuk memetakan laut dalam di atas 3000 m.

Salah satu kapal survei Pemerintah Indonesia yang dilengkapi peralatan MBES laut dalam adalah Kapal Riset (KR) Baruna Jaya I. Kapal tersebut dioperasikan dan dikelola oleh Balai Teknologi Survei Kelautan (Balai Teksurla), Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT). Sejak tahun 2017, kapal tersebut telah dipasang sistem peralatan MBES laut dalam dengan kemampuan melakukan pengukuran kedalaman sampai dengan 11000 m (*full depth*). Sistem MBES tersebut dilengkapi sensor-sensor peralatan survei *multibeam* yang terpasang secara permanen pada KR Baruna Jaya I.

Sistem MBES yang terpasang permanen pada kapal survei terdiri dari *transducer* MBES dan beberapa sensor peralatan survei seperti GNSS receiver, *gyrocompass*, sensor pengukur pergerakan kapal (*motion reference unit*) (MRU), serta alat pengukur kecepatan gelombang suara yang terintegrasi ke dalam satu sistem. Agar dapat

menghasilkan data batimetri MBES dengan kualitas tinggi, diperlukan survei dimensional untuk mendapatkan posisi 3D (tiga dimensi) dari sensor-sensor (*sensor offset*) dan sudut *miss-alignment* transducer MBES (Roll, Pitch, dan Yaw) terhadap sistem koordinat kapal (*Vessel Reference Frame*) (VRF). Secara umum terdapat ketidakpastian (*uncertainty*) pada pengukuran posisi 3D tersebut.

Ketidakpastian ukuran *offset* sensor – sensor tersebut terhadap VRF dapat mempengaruhi keakuratan pengukuran posisi horizontal dan data kedalaman sewaktu survei (Nardez et al., 2011). Sehingga ukuran *offset* sensor – sensor dan sudut *miss-alignment* transducer (Roll, Pitch, dan Yaw) terhadap VRF penting untuk diukur secara akurat. Mereka menyebutkan bahwa pengukuran *offset* dan rotasi sensor tersebut harus dilakukan pada waktu kapal berada di dok kering untuk memastikan bahwa kapal berada pada posisi yang stabil. Maka dari itu, kegiatan pengukuran survei dimensional untuk mendapatkan informasi kemiringan lunas dan badan kapal sebelum pemasangan sensor peralatan survei dan informasi 3D sensor tersebut juga dilakukan pada KR Baruna Jaya I.

Secara global, studi dan prosedur survei dimensional sistem MBES secara detail dapat ditemukan pada beberapa referensi seperti White et al. (2007), Nardez et al. (2011), dan Picard et al. (2019). Akan tetapi, publikasi mengenai kegiatan, metode, dan hasil kalibrasi dan pengukuran *offset* sensor – sensor sistem MBES di Indonesia, terutama pada sistem *transducer* MBES yang terpasang pada lunas (*hull*) kapal, masih sangat terbatas.

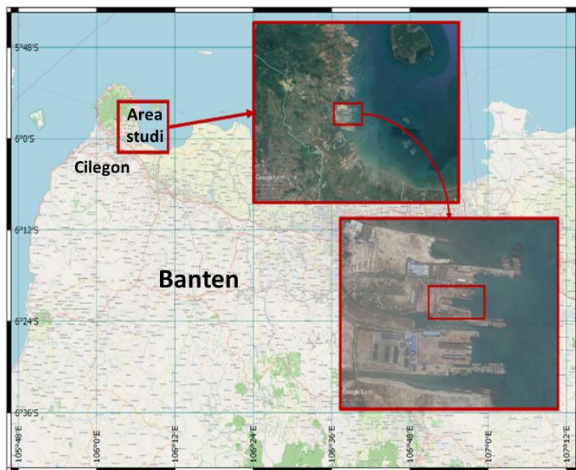
Penelitian ini mempunyai tujuan untuk mendapatkan nilai sudut ketidaklurusan (*miss-alignment*) *transducer* MBES dan nilai *offset* sensor-sensor yang terpasang pada KR. Baruna Jaya I terhadap VRF menggunakan metode survei dimensional. Setelah itu, dilakukan verifikasi hasil pengukuran tersebut secara dinamis dengan metode kalibrasi *patch test*. Hasil pengukuran yang akurat dari ketidaklurusan *transducer* MBES dan nilai *offset* sensor - sensor pada sistem MBES tersebut beserta kalibrasi *patch test* MBES merupakan faktor penting dalam mendukung aktivitas survei dan sebagai jaminan kualitas data yang didapatkan.

## METODE

### Lokasi Penelitian dan Sistem Koordinat Kapal

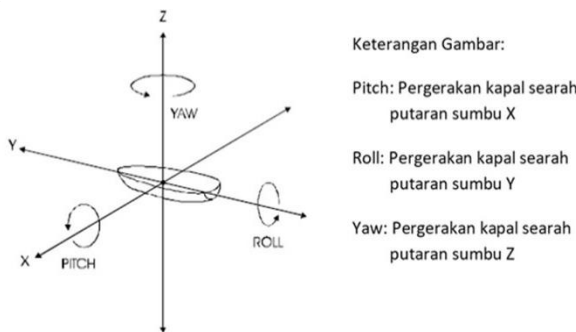
Lokasi penelitian berada di galangan kapal PT. Samudra Marine Indonesia, Bojonegara, Serang, Banten (**Gambar 1.**). Sebelum KR Baruna Jaya I melakukan kegiatan *docking* di galangan kapal, dilakukan survei batimetri untuk mengetahui kedalaman alur masuk dan keluar galangan. Sebagaimana *draft* lunas kapal akan bertambah karena pemasangan *fairing* dan *transducer* MBES,

informasi kedalaman tersebut sangat penting untuk keselamatan kapal.



**Gambar 1.** Lokasi galangan kapal PT. Samudra Marine Indonesia, Bojonegara, Serang, Banten.

Setiap sensor peralatan survei hidrografi yang terpasang di kapal memiliki titik acuan dan kerangka koordinat tertentu. Titik acuan dan kerangka koordinat ini digunakan untuk mendefinisikan data pengukuran secara valid. Dalam survei hidrografi terdapat banyak sensor yang digunakan dalam pengukuran. Untuk mendapatkan data survei yang terintegrasi maka diperlukan penentuan sistem koordinat kapal (*Vessel Reference Frame/VRF*), sehingga semua sensor pengukuran akan mengacu pada sistem koordinat tersebut. Seperti dalam penelitian Clarke (2003), sistem koordinat kapal ditentukan secara tiga dimensi. Sumbu X positif didefinisikan dari titik tengah kapal kearah kiri (*port*), sedangkan sumbu Y positif dari titik tengah kearah depan kapal (*fore*), dan sumbu Z positif dari titik tengah kearah bawah kapal (**Gambar 2**). Pada VRF tersebut secara umum terdapat tiga perputaran atau rotasi yang berefensi terhadap VRF. Perputaran atau rotasi pada sumbu Y disebut Roll, rotasi pada sumbu X disebut Pitch dan rotasi pada sumbu Z disebut Yaw (**Gambar 2**).



Sumber: Walter et al. (2017) (dimodifikasi)

**Gambar 2.** Sistem koordinat kapal dan perputaran pada sumbu koordinat.

## Survei Dimensional Kapal

### Pembuatan Titik Kontrol Horizontal dan Vertikal

Survei dimensional kapal diawali dengan pembuatan kerangka kontrol horizontal dan vertikal. Kerangka kontrol horizontal merupakan titik referensi posisi horizontal (X,Y) yang terdiri lebih lebih dari dua titik sehingga membentuk sebuah jaring poligon. Penentuan koordinat kerangka kontrol horizontal dilakukan dengan metode Bowditch (Ghilani & Wolf, 2012) dan diukur menggunakan alat Total Station Trimble M3. Koordinat titik – titik kontrol tersebut menggunakan sistem koordinat lokal. Terdapat empat titik kontrol sebagai titik – titik poligon (SMI-1, SMI-2, SMI-3, dan SMI-4) seperti pada **Gambar 3**. Titik kontrol SMI-1 dipilih sebagai acuan dengan koordinat lokal (X,Y,Z) 1000m, 1000m, 100m.

Kerangka kontrol vertikal merupakan titik yang dijadikan acuan untuk penentuan ketinggian (Z) titik lainnya dengan orde yang lebih rendah. Pengukuran kerangka kontrol vertikal dilakukan dengan menggunakan metode *levelling* teliti (metode pergi – pulang) (Yuwono & Prasetyo, 2019). Titik acuan koordinat vertikal (Z) mengacu pada titik SMI-1 yang sudah ditetapkan elevasinya yaitu 100 m. Pengukuran beda tinggi menggunakan alat waterpass otomatis Topcon AT-B4, ilustrasi metode pengukuran tersebut dapat dilihat pada **Gambar 3**.



**Gambar 3.** Ilustrasi poligon dan arah pengukuran kerangka kontrol vertikal.

### Pengukuran Kemiringan Kapal

Ketika kapal melakukan dok kering, kapal berada diatas penyangga yang mengakibatkan kapal dalam keadaan stabil, sehingga adanya ketidaklurusan kapal (*roll, pitch dan yaw*) terhadap *water line* dapat diketahui secara akurat. *Water line* merupakan bidang semu sebagai acuan penentuan referensi horizontal pada kapal (Dodd, et al., 2010) Penentuan sudut dan orientasi kemiringan kapal terhadap *water line* (WL) diawali dengan menentukan objek yang dapat mewakili kondisi kapal ketika dok kering. Objek yang dapat mewakili kondisi kapal adalah bagian *top tank* kapal, sehingga kemiringan orientasi kapal ditentukan

dengan pengukuran kemiringan garis *top tank* kapal (**Gambar 4a**). Plat *top-tank* tampak atas berbentuk segi empat (**Gambar 5**) dan keempat sudut *top-tank* diukur koordinat tiga dimensinya (X,Y,Z). Pengukuran titik sudut *top-tank* kapal dilakukan dengan menggunakan alat Total Station Trimble M3 dengan ketelitian 2". Perhitungan koordinat tiga dimensi titik sudut *top tank* menggunakan metode tachimetri (Schofield & Breach, 2007).

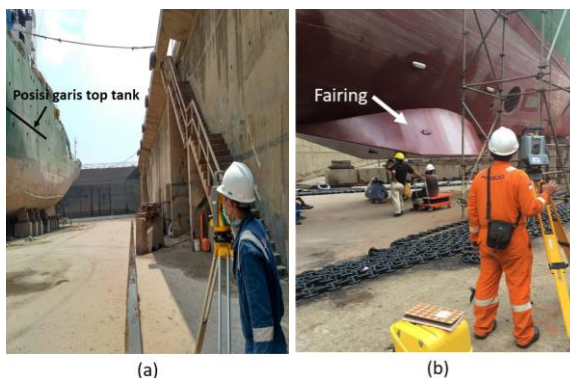
Metode trigonometri (Ghilani & Wolf, 2012) digunakan untuk menghitung simpangan nilai roll dan pitch. Metode tersebut membandingkan beda tinggi antar dua titik *top-tank* dengan jarak datar yang terbentuk dari dua titik tersebut sesuai dengan rumus berikut:

$$\alpha = \arctan\left(\frac{\Delta Z}{d}\right) \dots \dots \dots (1)$$

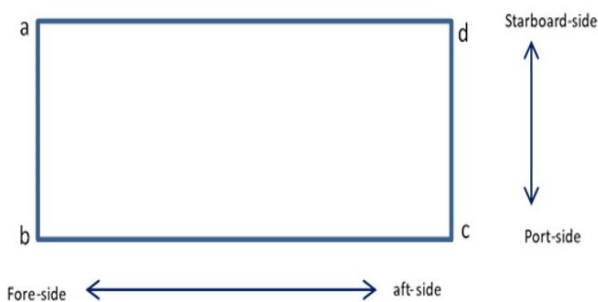
dimana:

- $\alpha$  : sudut kemiringan
- $\Delta Z$  : beda tinggi dari dua titik *top tank*
- $d$  : jarak datar dua titik *top tank*

Nilai roll dihitung dari perbandingan beda tinggi antara dua titik *top tank* yang terletak pada satu garis arah kanan-kiri kapal (*starboard-port*) dengan jarak datar yang dibentuk dari dua titik tersebut, mengacu **Gambar 5** maka titik yang dimaksud adalah titik a-b atau c-d. Nilai *pitch* dihitung dari perbandingan beda tinggi antara dua titik *top tank* yang terletak pada satu garis arah depan-belakang kapal (*fore-aft*) dengan jarak datar yang dibentuk dari dua titik tersebut, mengacu **Gambar 5** maka titik yang dimaksud adalah titik a-d atau b-c. Sedangkan nilai *yaw* (*heading*) dihitung menggunakan metode perhitungan azimuth dari dua koordinat XY titik *top tank* yang terletak pada satu garis arah belakang-depan kapal (*aft-fore*), mengacu **Gambar 5** maka titik yang dimaksud adalah titik d-a atau c-b.



**Gambar 4.** Pengukuran titik sudut *top tank* (a), posisi *fairing* pada lunas kapal (b).



**Gambar 5.** Ilustrasi *top tank* tampak atas.

*Pengukuran Kemiringan Fairing*

*Fairing* merupakan struktur tambahan yang digunakan sebagai dudukan (*bracket*) *transducer* MBES dan melindungi alat dari benturan dan korosi secara langsung (Wright, 2019). Dalam kondisi ideal, *fairing* diharapkan dapat dipasang pada lunas kapal dengan toleransi nilai ketidaklurusan (*miss-alignment*) *roll*, dan *yaw* terhadap *water-line* sebesar  $\pm 0,5^\circ$ , sedangkan untuk *pitch*  $0^\circ - +0,5^\circ$  (nilai *pitch* tidak boleh  $<0$ ). Pengukuran dilakukan dengan menggunakan alat TS Trimble M3 dengan ketelitian 2" (**Gambar 4b**). Metode pengukuran dan perhitungan nilai ketidaklurusan *fairing* menggunakan metode yang sama dengan yang digunakan pada perhitungan ketidaklurusan orientasi kapal. Pemasangan *transducer* MBES pada *fairing* dilakukan jika nilai ketidaklurusan *fairing* sudah memenuhi toleransi. Setelah nilai ketidaklurusan *fairing* terhadap *water line* diketahui, selanjutnya dihitung nilai ketidaklurusan *fairing* terhadap kapal. Nilai tersebut didapatkan dari perhitungan selisih nilai ketidaklurusan kapal terhadap *water line* dengan nilai ketidaklurusan *fairing* terhadap *water line*. Secara umum dapat ditulis dengan rumus berikut,

$$\Delta\alpha = \alpha' - \alpha \dots \dots \dots (2)$$

dimana:

- $\Delta\alpha$  : simpangan orientasi *fairing* terhadap kapal
- $\alpha'$  : simpangan orientasi *fairing* terhadap *water line*
- $\alpha$  : simpangan orientasi kapal terhadap *water line*

**Pengukuran Offset Sensor**

Terdapat beberapa sensor peralatan survei yang terpasang ataupun masih dalam rencana pemasangan (**Tabel 1**). Walaupun beberapa sensor belum dilakukan pemasangan, akan tetapi posisi dudukan sensor tersebut penting untuk diukur dan dipetakan.

**Tabel 1.** Sensor peralatan survei di KR Baruna Jaya I.

Sensor	Fungsi	Kondisi
GNSS Antenna L1 Phase	Positioning	Terinstal

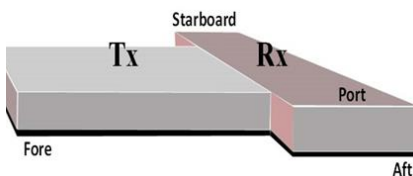
Sensor	Fungsi	Kondisi
HydroSweep DS TX Center	Depth	Terinstal
HydroSweep DS RX Center	Depth	Terinstal
Saturn-10 Reference Point	Motion sensor	Terinstal
Sub-bottom Profiler	Lapisan dasar laut	Belum terinstal
ADCP	Profiling arus	Belum terinstal

**Pengukuran Kemiringan Transducer**

Transducer MBES dipasang secara permanen di bawah *fairing* yang sudah terpasang pada lunas kapal dan dilakukan pengukuran ketidaklurusan (*miss-alignment*) sebelumnya (**Gambar 6a**). Pengukuran *alignment* posisi *transducer* tersebut perlu dilakukan untuk memastikan bahwa posisi *transducer* sudah searah dengan *fairing* dan sistem koordinat kapal ataupun jika terdapat ketidaklurusan (*miss-alignment*) sudah memenuhi toleransi yang ditentukan. Pengukuran dilakukan menggunakan alat total station (TS) Trimble M3 Robotic dengan ketelitian 1" (**Gambar 4b**). Alat Total Station tersebut sudah terbukti dapat memberikan kualitas data yang teliti seperti digunakan pada studi tentang modeling 3D untuk keperluan navigasi dalam ruangan (Jamali, et al., 2017). Referensi pengukuran *transducer* MBES menggunakan titik kontrol horizontal dan vertikal yang sudah dibuat sebelumnya.



(a)



(b)

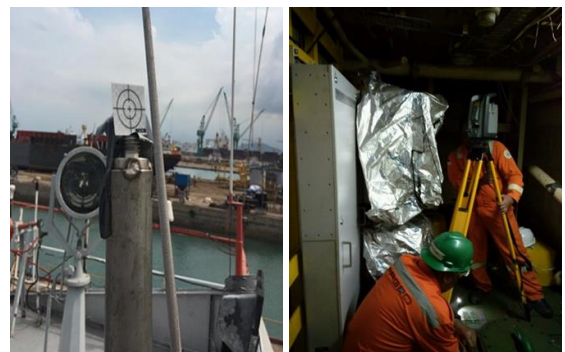
**Gambar 6.** Posisi transducer MBES yang terpasang pada *fairing* (a), transducer teledyne hydrosweep DS berbentuk *mills cross* (b).

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 6b**). *Transducer* yang berfungsi sebagai

penerima sinyal (RX) dipasang dengan arah kiri kanan kapal, sedangkan transducer pemancar sinyal (TX) dipasang searah haluan kapal. Pengukuran *alignment transducer* tersebut dimaksudkan untuk mengetahui nilai *pitch* dan *yaw* untuk *transmitter multibeam* (TX) dan nilai *roll* untuk *receiver multibeam* (RX).

**Pengukuran Offset Sensor Peralatan Survei**

Pengukuran *offset* sensor peralatan survei dilakukan untuk mendapatkan perhitungan ukuran *offset* sensor- sensor tersebut dan ketidaklurusan dari masing – masing peralatan survei dalam suatu sistem yang terintegrasi sehingga dapat menghasilkan data survei yang tergeoreferensi secara benar dan akurat. Dalam pengukuran *offset* sensor perlu ditetapkan bidang kerangka referensi kapal (*vessel reference frame/VRF*) sebagai referensi pengukuran. Sensor *Motion Reference Unit* (MRU) di KR Baruna Jaya I dipilih sebagai pusat VRF dan ditetapkan mempunyai koordinat VRF (0,0,0). Lokasi sensor MRU tersebut diasumsikan sudah sejajar dengan garis air (*water line*) dan sejajar dengan bidang horizontal dan vertikal kapal. Terdapat beberapa posisi sensor peralatan survei yang diukur posisinya terhadap VRF yaitu: *transducer transmitter* (TX) *multibeam*, *transducer receiver* (RX) *multibeam*, antena DGPS, *echosounder* navigasi, *singlebeam echosounder* kanan, *singlebeam echosounder* kiri, *transducer Sub-bottom Profiler* (SBP), dan *transducer Acoustic Doppler Current Profiler* (ADCP).



(a)

(b)

**Gambar 7.** Posisi antens DGPS yang terpasang target saat pengukuran *offset* (a), pembuatan poligon terbuka di dalam kapal (b).

Sensor - sensor tersebut diukur dengan metode terestris menggunakan alat Total Station Trimble M3 Robotic mengacu pada titik kontrol horizontal dan vertikal yang sudah dibuat sebelumnya. Koordinat masing - masing sensor tersebut dihitung dengan metode tachimetri. Pertama - tama, sensor – sensor yang terpasang pada luar badan kapal seperti *transducer multibeam*, antena DGPS, *transducer singlebeam*, SBP, dan ADCP diukur secara langsung menggunakan referensi titik – titik kontrol poligon

di sekeliling kapal (**Gambar 7a**). Hal tersebut akan menghasilkan koordinat posisi masing – masing sensor yang bereferensi terhadap koordinat lokal poligon. Setelah itu dilakukan pengukuran poligon terbuka ke arah dalam kapal untuk mendapatkan koordinat posisi sensor MRU (**Gambar 7b**). Setelah semua sensor terukur dan terpetakan berdasarkan sistem koordinat lokal poligon dan sesuai dengan akurasi yang sudah ditentukan, kemudian dilakukan perhitungan koordinat ulang (translasi) dengan posisi sensor MRU sebagai titik acuan VRF. Hal tersebut akan menyebabkan semua sensor – sensor yang terpasang pada kapal akan terintegrasi dalam satu VRF. Setelah itu dilakukan perhitungan ketidaklurusan (*miss-alignment*) ukuran *Pitch* dan Heading pada transducer *transmitter* (TX) *multibeam*, ukuran *roll* pada *transducer receiver multibeam*, serta ukuran *roll*, *pitch*, dan *heading* IMU terhadap bidang referensi kapal.

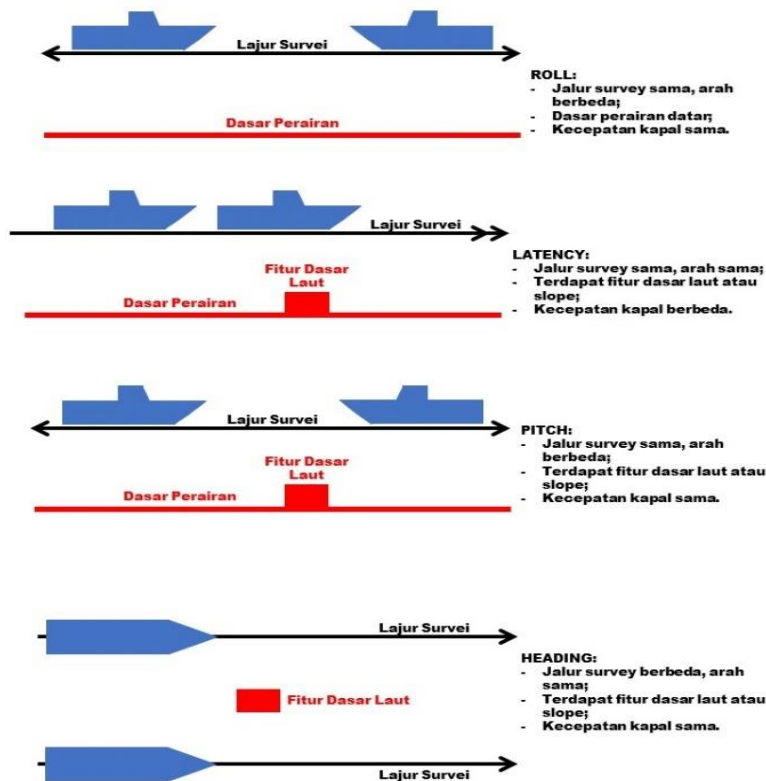
**Kalibrasi Patch Test Multibeam**

Kalibrasi *multibeam* (*Patch Test*) dilakukan untuk mengetahui koreksi ketidakejajaran (*miss-alignment*) dan *offset* pemasangan antara transducer (*sonar head*), *Motion Reference Unit* (MRU), dan kapal secara dinamis dan terintegrasi. Di dalam penelitian ini, kalibrasi *patch test* digunakan juga untuk memverifikasi nilai ketidaklurusan *transducer* MBES terhadap kapal yang sudah dilakukan pada kegiatan survei dimensional sebelumnya. *Patch test* dilakukan dengan merekam data *multibeam* melewati beberapa lajur survei yang paralel dan *overlap*

dengan kecepatan kapal, kedalaman, dan *terrain* dasar laut yang berbeda. Terdapat beberapa koreksi *miss-alignment* orientasi kapal yaitu: *roll*, *pitch*, dan *yaw*. Prosedur *patch test* secara umum dapat dilihat pada **Gambar 8**.

Kesalahan *roll* dapat menyebabkan kesalahan dalam pengukuran kedalaman, terutama pada *beam – beam* terluar dan jauh dari nadir. Kesalahan *Pitch* menyebabkan kesalahan posisi sepanjang lintasan (*along-track*) yang disebabkan oleh *offset pitch* dan semakin besar dengan bertambahnya kedalaman. Kesalahan *yaw* tidak terlalu berpengaruh pada beam di bawah nadir, tetapi mengakibatkan kesalahan posisi di beam terluar dan akan semakin besar dengan bertambahnya kedalaman. Prosedur dan penjelasan tentang kalibrasi *patch test* sudah dijelaskan secara lengkap oleh Gueriot, et al. (2000).

Kalibrasi *patch test* dilakukan pada tanggal 25-29 November 2017 di Samudra Hindia dengan koordinat lokasi 6°20'30.00"S dan 104°46'30.00"E. Lokasi tersebut mempunyai kedalaman yang relatif curam dan berkisar antara 300-1000 m. Seluruh *offset* sensor – sensor yang sudah diukur pada waktu dok kering dimasukkan ke dalam sistem akuisisi *multibeam* sehingga data yang didapat telah terintegrasi dalam satu sistem. Terdapat dua lajur survei paralel dengan arah 270° dan 90° dan satu lajur silang dengan arah 180° yang dilakukan pada waktu kalibrasi. Pengukuran kecepatan gelombang suara dalam air (SVP) dilakukan sebelum kegiatan kalibrasi sebagai koreksi terhadap data batimetri yang direkam.



Sumber: Godin (1998) (dimodifikasi)  
**Gambar 8.** Ilustrasi prosedur kalibrasi *patch test*.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**Survei Dimensional Kapal**

Hasil pengukuran survei dimensional kapal berupa nilai simpangan orientasi kapal yang diwakili *top tank* terhadap *water line* yang digunakan untuk dasar pemasangan *fairing transducer multibeam* dan sensor lainnya. Selain itu juga dilakukan pengukuran *fairing* untuk menentukan simpangan orientasi *fairing* terhadap *water line*. Sehingga dari nilai simpangan orientasi kapal dan *fairing* terhadap *water line* dapat ditentukan nilai simpangan orientasi *fairing* terhadap kapal (**Tabel 2**).

**Tabel 2.** Hasil pengukuran orientasi kapal dan *fairing*.

Hasil Pengukuran	Nilai		
	Roll	Pitch	Yaw
Orientasi kapal terhadap <i>water line</i>	1,086°	0,413°	275,015°
Orientasi <i>fairing</i> terhadap <i>water line</i>	0,997°	0,293°	275,307°
Orientasi <i>fairing</i> terhadap kapal	-0,089°	-0,120°	0,292°

Pada **Tabel 2** ditunjukkan nilai *roll* orientasi *fairing* terhadap kapal bernilai negatif yang berarti sisi kiri (*port*) *fairing* lebih rendah dari sisi kanan (*starboard*) *fairing* terhadap kapal. Nilai *pitch*

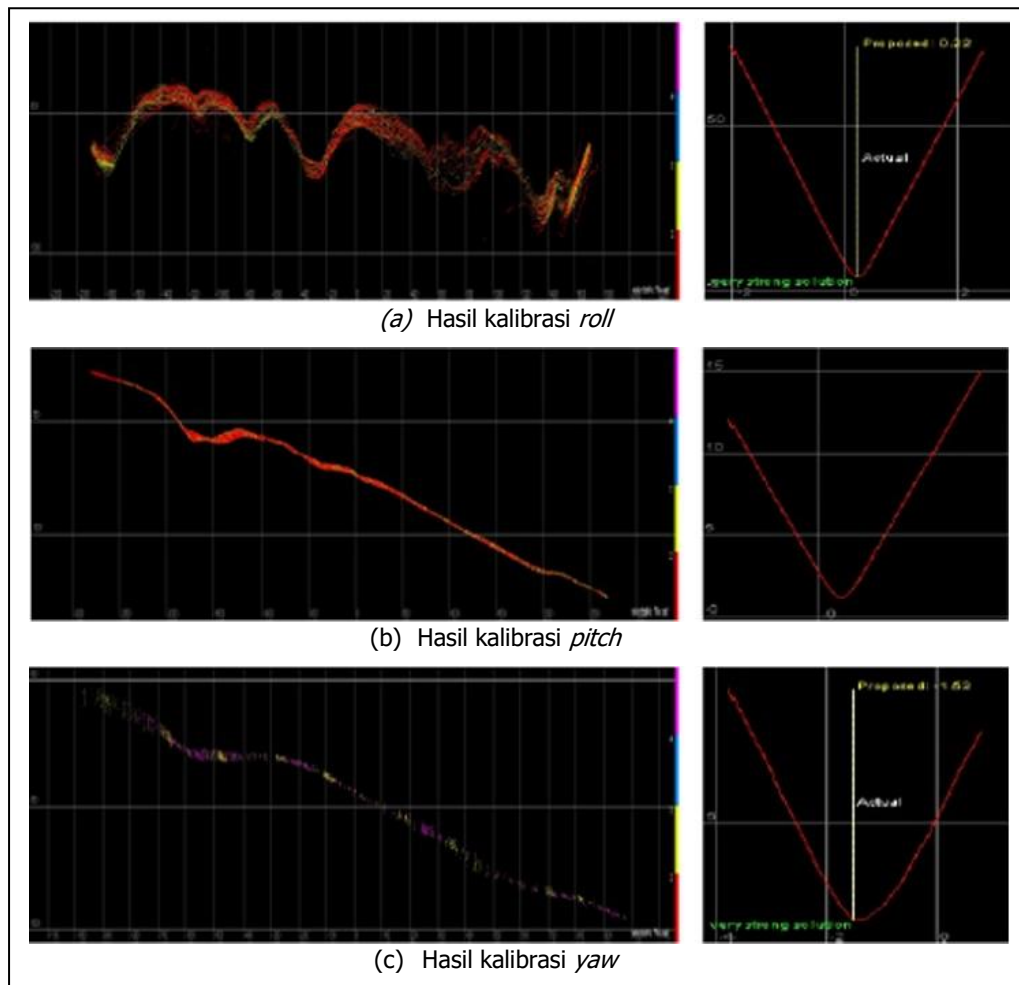
bernilai negatif yang berarti bahwa sisi depan *fairing* lebih rendah dari sisi belakang terhadap kapal. Nilai *yaw* positif yang berarti terdapat ketidaklurusan posisi *fairing* terhadap kapal sebesar 0,292° searah dengan arah jarum jam terhadap sumbu Y kapal. Keseluruhan, nilai orientasi *fairing* terhadap kapal menunjukkan nilai *roll* dan *yaw* memenuhi toleransi sedangkan nilai *pitch* tidak memenuhi toleransi, mengacu pada dokumen prosedur baku pemasangan *transducer* dari Teledyne yaitu nilai deviasi arah *roll* dan *yaw* maksimal ± 0,5° dan deviasi arah *pitch* antara 0° – +0,5°. Hal tersebut dimungkinkan karena adanya ketidaklurusan pada saat pemasangan *fairing* ke lunas kapal sehingga mengakibatkan adanya nilai ketidaklurusan yang melebihi toleransi.

**Pengukuran Offset Sensor Alat Survei**

Hasil pengukuran *offset* sensor peralatan survei yang terpasang pada KR Baruna Jaya I dapat dilihat pada **Tabel 3**. Untuk keperluan survei *multibeam* laut dalam, tidak semua ukuran *offset* sensor tersebut dimasukkan ke dalam sistem akuisisi *multibeam*. Posisi *offset* sensor – sensor yang diperlukan untuk sistem akuisisi MBES antara lain: posisi *offset* MRU, posisi *offset* antenna DGPS, posisi *offset* titik pusat *transducer transmitter* (TX), dan posisi *offset* titik pusat *transducer receiver* (RX).

**Tabel 3.** Hasil pengukuran *offset* sensor dan kemiringan *transducer* MBES.

Deskripsi titik referensi	Titik referensi <i>Motion Sensor</i> (IMU)			
Deskripsi kerangka referensi	Sumbu-Y ke arah depan kapal; sumbu-X ke arah kiri kapal; sumbu-Z ke arah atas/bawah kapal			
Sistem koordinat	Sistem koordinat tangan kanan (digunakan di Teledyne PDS)			
Sensor <i>Offset</i> VRF terhadap...	X	Y	Z	Keterangan
<i>Saturn-10 Refence Point</i>	0	0	0	-
<i>GNSS Antenna L1 Phase</i>	0,318	-0,025	13,875	-
<i>HydroSweep DS TX Center</i>	0,308	9,064	-3,473	-
<i>HydroSweep DS RX Center</i>	0,308	7,159	-3,490	-
<i>HydroSweep DS TX P1</i>	0,168	10,484	-3,464	Sudut <i>array transducer</i>
<i>HydroSweep DS TX P2</i>	0,462	10,483	-3,465	Sudut <i>array transducer</i>
<i>HydroSweep DS TX P3</i>	0,458	7,643	-3,492	Sudut <i>array transducer</i>
<i>HydroSweep DS TX P4</i>	0,158	7,645	-3,490	Sudut <i>array transducer</i>
<i>HydroSweep DS RX P1</i>	-1,108	7,314	-3,494	Sudut <i>array transducer</i>
<i>HydroSweep DS RX P2</i>	1,725	7,300	-3,495	Sudut <i>array transducer</i>
<i>HydroSweep DS RX P3</i>	1,720	7,004	-3,494	Sudut <i>array transducer</i>
<i>HydroSweep DS RX P4</i>	-1,108	7,017	-3,493	Sudut <i>array transducer</i>
<i>Navigation Echosounder</i>	0,931	10,308	-3,458	-
<i>Singlebeam Echosounder (port)</i>	0,560	9,179	-3,443	-
<i>Singlebeam Echosounder (stbd)</i>	1,131	9,172	-3,458	-
<i>Sub-bottom Profiler</i>	-0,601	8,134	-3,461	Belum terinstall
ADCP	1,124	8,078	-3,478	Belum terinstall
Sensor <i>Alignments</i> terhadap VRF	Roll	Pitch	Heading	Keterangan
<i>HydroSweep DS TX Array</i>	-	0,698°	0,200°	Diverifikasi dengan <i>patch test</i>
<i>HydroSweep DS RX Array</i>	0,012°	-	-	Diverifikasi dengan <i>patch test</i>
<i>Saturn-10 IMU</i>	-0,043°	1,882°	-1,682°	-



Gambar 9. Hasil kalibrasi patch test.

Dalam Tabel 3 juga dapat dilihat posisi offset sudut – sudut array transducer transmitter (TX) dan receiver (RX) yang masing – masing diukur pada keempat sisi ujung – ujungnya (P1, P2, P3, dan P4). Pengukuran ujung – ujung transducer tersebut dimaksudkan untuk mendapatkan nilai kemiringan (roll, pitch, dan heading) transducer TX dan RX terhadap bidang referensi kapal (VRF) dan water line. Dari hasil perhitungan alignment transducer juga dapat dilihat bahwa nilai kemiringan transducer MBES yaitu roll: 0,012°, pitch: 0,698°, dan yaw: 0,200°. Nilai orientasi transducer menunjukkan hanya nilai roll dan yaw yang memenuhi toleransi (maksimal ±0,5°), sedangkan nilai pitch di atas toleransi (0 – +0,5°). Hal tersebut kemungkinan disebabkan oleh faktor kesalahan acak pada waktu pengukuran survei dimensional. Untuk itu diperlukan pengecekan ulang dengan melakukan kalibrasi patch test MBES.

**Kalibrasi Patch Test Multibeam**

Pada proses kalibrasi patch test MBES tidak dilakukan kalibrasi latency karena sistem MBES Teledyne Hydrosweep DS menggunakan 1PPS untuk sinkronisasi waktu dan string NMEA ZDA untuk menghasilkan penyamaan waktu (timestamp) selama akuisisi MBES. Hasil kalibrasi patch

test ditunjukkan pada Tabel 4 dan Gambar 9. Kualitas hasil pemasangan dan pengukuran transducer multibeam dan sensor peralatan survei lainnya didapatkan dari perbandingan nilai hasil kalibrasi patch test dengan nilai hasil pengukuran terestris (Tabel 5).

Tabel 4. Nilai Hasil Kalibrasi Patch Test.

Kalibrasi	Nilai	Orientasi
Roll	0,20°	Port Up (+)
Pitch	0,45°	Bow Up (+)
Yaw	-1,43°	-

Tabel 5. Perbandingan Nilai Kalibrasi Patch Test dengan Survei Dimensional.

Komponen Kalibrasi	Hasil Survei Dimensional	Hasil Patch Test	Perbedaan (Resolusi)
Roll	0,015°	0,20°	0,19°
Pitch	0,698°	0,45°	0,25°
Yaw	0,200°	-1,43°	1,63°
Latency	-	0,00s	-

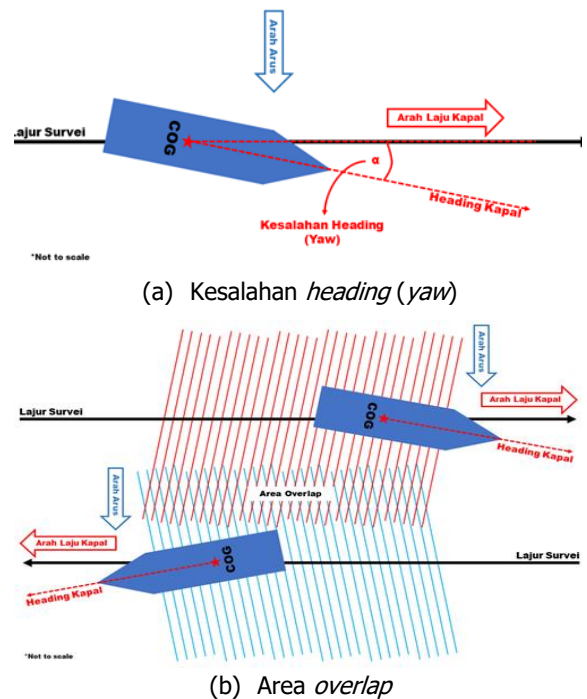
Pada Tabel 5 ditunjukkan nilai hasil kalibrasi patch test memiliki nilai lebih besar dari hasil survei dimensional dengan perbedaan yaw mencapai 1,63°. Clarke (2003) menyebutkan bahwa ketidaklurusan sensor – sensor yang terpasang di



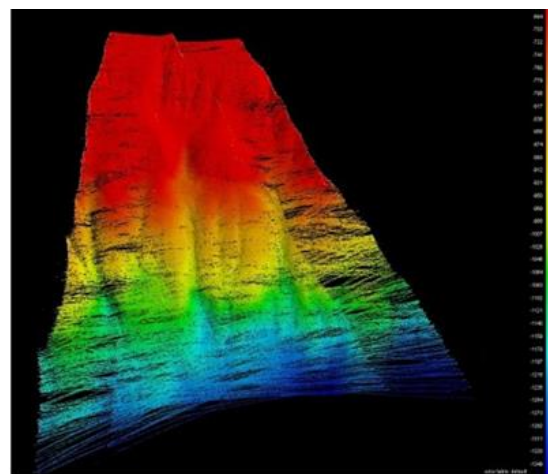
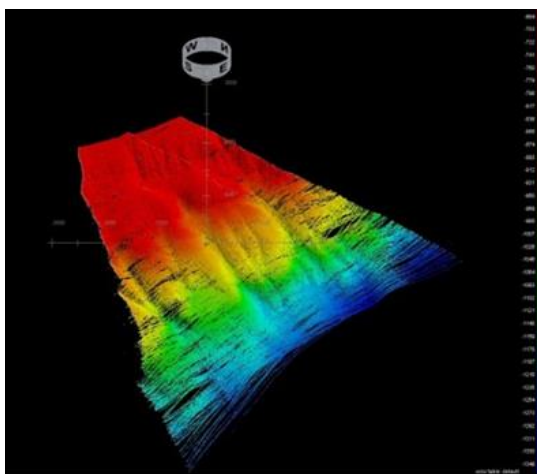
kapal secara umum tidak boleh melebihi  $2^\circ$  untuk nilai *yaw*,  $1^\circ$  untuk nilai *roll*, beberapa derajat untuk nilai *pitch*. Sehingga nilai ketidaklurusan nilai *yaw* pada penelitian ini ( $1,63^\circ$ ) masih dianggap masuk toleransi. Perbedaan nilai *yaw* tersebut dimungkinkan disebabkan adanya ketidaklurusan kapal terhadap lajur survei pada saat kalibrasi *patch test*. Dalam kondisi survei ideal, sensor merekam data dengan *heading* searah dengan lajur survei. Tetapi kondisi angin dan arus mengakibatkan kapal tidak bisa diarahkan searah dengan lajur survei sehingga mengakibatkan adanya kesalahan sudut *heading* (*yaw*) kapal dan berpengaruh pada sapuan data MBES dan data *digital elevation model* (DEM) yang dihasilkan (**Gambar 10**).

Richardson (1997), dalam penelitiannya menyebutkan bahwa faktor angin dan arus laut dapat berpengaruh pada pergerakan kapal dan dapat mengakibatkan kesalahan arah dan posisi. Pada kasus kalibrasi *patch test* MBES, dimana kapal merekam data kedalaman secara *overlap* dengan arah yang berbeda, kesalahan arah kapal dapat mengakibatkan dua kali lipat efek kesalahan pada data yang direkam karena dilakukan pada arah yang berbeda. Untuk mengetahui pengaruh nilai kalibrasi *patch test* terhadap data batimetri yang dihasilkan maka dilakukan perbandingan DEM antara data batimetri di lokasi tanpa nilai kalibrasi dan dengan menggunakan nilai kalibrasi, hasilnya dapat dilihat pada **Gambar 11**. Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa secara visual tidak terdapat perbedaan signifikan antara DEM sebelum dan sesudah diterapkan nilai kalibrasi. Hal ini dikarenakan nilai kalibrasi *roll* dan *pitch* yang relatif kecil ( $0,20^\circ$  dan  $0,45^\circ$ ), walaupun nilai kalibrasi *yaw* cukup besar ( $-1,43^\circ$ ). Untuk keperluan survei dan akuisisi data selanjutnya, akan digunakan data hasil kalibrasi *patch test* tersebut. Data tersebut akan

dibandingkan dengan data hasil kalibrasi–kalibrasi selanjutnya yang akan dilakukan sebelum survei multibeam sebagai prosedur operasi baku. Perbedaan data hasil kalibrasi *patch test* selanjutnya harus lebih kecil dari  $0,1^\circ$  (Gueriot et al., 2000). Nilai tersebut menunjukkan bahwa posisi *transducer* dan sistem sensor yang terpasang pada kapal masih terletak pada posisi yang sama. Perbedaan nilai hasil kalibrasi yang melebihi  $0,1^\circ$ , mengharuskan dilakukan pengulangan pengukuran survei dimensional. Hal tersebut dimungkinkan karena ada pergeseran posisi, rotasi, ataupun ketidaklurusan antar sensor – sensor dengan VRF.



**Gambar 10.** Ilustrasi pengaruh angin dan arus laut.



**Gambar 11.** Tampilan data batimetri sebelum diterapkan nilai *patch test* (a), tampilan data batimetri sesudah diterapkan nilai *patch test* (b).

## KESIMPULAN

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai ketidaklurusan *transducer* MBES dan nilai *offset* sensor – sensor yang terpasang pada KR. Baruna Jaya I. Metode survei dimensional digunakan dalam pengukuran tersebut dan dilanjutkan dengan pengukuran kalibrasi *patch test* sebagai verifikasi. Pada survei dimensional tersebut, dilakukan beberapa tahap pengukuran ketidaklurusan yaitu pengukuran kemiringan kapal terhadap *water line*, pengukuran orientasi *fairing* terhadap *water line*, dan perhitungan ketidaklurusan *fairing* terhadap kapal. Hasil pengukuran *fairing* terhadap kapal (*roll*:  $-0,089^\circ$ , *pitch*:  $-0,120^\circ$ , dan *yaw*:  $0,292^\circ$ ) menunjukkan nilai *roll* dan *yaw* memenuhi toleransi  $\pm 0,5^\circ$ , sedangkan nilai *pitch* tidak memenuhi toleransi  $0^\circ - +0,5^\circ$ . Hasil pengukuran *transducer* MBES juga menunjukkan hanya nilai *roll* ( $0,012^\circ$ ) dan *yaw* ( $0,200^\circ$ ) yang sudah memenuhi toleransi, sedangkan nilai *pitch* tidak memenuhi toleransi ( $0,698^\circ$ ), sehingga diverifikasi dengan hasil kalibrasi *patch test*. Hasil kalibrasi *patch test* menunjukkan *roll*  $0,200^\circ$ , *pitch*  $0,45^\circ$  dan *yaw*  $-1,43^\circ$ , simpangan nilai *yaw* dimungkinkan karena pengaruh arus dan angin ketika proses kalibrasi *patch test* berlangsung. Arah penelitian lebih lanjut dapat mengkaji penggunaan metode *Real Time Kinematic* (RTK) GPS dalam pengukuran *offset* sensor–sensor tersebut. Metode pemetaan *laser scanning* juga dapat digunakan untuk mengetahui kemiringan kapal pada waktu *docking* dan juga kemiringan *transducer* MBES setelah pemasangan.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis dan rekan mengucapkan terimakasih kepada Balai Teknologi Survei Kelautan, Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT) atas terselenggaranya kegiatan pengukuran survei dimensional tersebut dan juga atas izin yang diberikan dalam menggunakan data dan laporan kegiatan untuk dipublikasikan dalam paper ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- Clarke, J. (2003a). A Reassessment of Vessel Coordinate System: What Is it That We Are Really Aligning? In *Proceedings of the U.S. Hydrographic Conference 2003* (pp. 1–12).
- Clarke, J. (2003b). A reassessment of vessel coordinate systems: what is it that we are really aligning? *Proceedings of the U.S. Hydrographic Conference 2003*, 1–12. <https://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2>
- Dodd, D., Mills, J., Battilana, D., & Gourley, M. (2010). Hydrographic Surveying Using the Ellipsoid as the Vertical Reference Surface. *FIG Congress 2010: Facing the Challenges-Building the Capacity*, (April 2010), 1–15.
- Ghilani, C. D., & Wolf, P. R. (2012). *Elementary Surveying: An Introduction to Geomatics* (13th ed.). New Jersey: Pearson Education, Inc.
- Godin, A. (1998). *The Calibration of Shallow Water Multibeam Echo-Sounding Systems*. UNB Geodesy and Geomatics Engineering. Fredericton, New Brunswick, Canada.
- Gueriot, D., Chedru, J., Daniel, S., & Maillard, E. (2000). The patch test: a comprehensive calibration tool for multibeam echosounders. *Proceedings of the OCEANS 2000 MTS/IEEE Conference and Exhibition.*, 3, 1655–1661. <https://doi.org/10.1109/OCEANS.2000.882178>
- Jamali, A., Abdul Rahman, A., Boguslawski, P., Kumar, P., & Gold, C. M. (2017). An automated 3D modeling of topological indoor navigation network. *GeoJournal*, 82(1), 157–170. <https://doi.org/10.1007/s10708-015-9675-x>
- Manik, H. M., Sujatmiko, T. N., Ma'mun, A., & Priatna, A. (2018). Penerapan teknologi hidroakustik untuk pengukuran sebaran spasial dan temporal ikan pelagis kecil di laut banda. *Marine Fisheries: Journal of Marine Fisheries Technology and Management*, 9(1), 39. <https://doi.org/10.29244/jmf.9.1.39-52>
- Nardez, N., Krueger, C. P., & Vargas, S. L. (2011). METHODOLOGY TO OBTAIN THE OFFSETS BETWEEN SENSORS OF HYDROGRAPHIC SHIPS. In JSTOR (Ed.), *PROCEEDINGS OF THE 11th INTERNATIONAL COASTAL SYMPOSIUM ICS2011* (pp. 1712–1717). Poland: Journal of Coastal Research.
- Nardez, N. N., Krueger, C. P., & Vargas, S. L. (2011). Methodology to Obtain the Offsets Between Sensors of Hydrographic Ships. *Journal of Coastal Research*, 1712–1717.
- Picard, K., Austine, K., Bergersen, N., Cullen, R., Dando, N., Donohue, D., ... Waterson, C. (2019). *Australian Multibeam Guidelines*. *Geoscience Australia* (Vol. 1.1). Retrieved from <https://doi.org/10.1080/23311975.2018.1492869> %0Ahttps://doi.org/10.1080/00036846.2018.1558351
- Ramadhan, M., & Taslim, A. (2013). Aplikasi Sistem Informasi Geografis Dalam Penilaian Proporsi Luas Laut Indonesia ( Application of Geographic Information System for Assessment of Indonesia Marine Proportion ). *Jurnal Ilmiah Geomatika*, 19(6), 141–146.
- RESON, T. (2019). Atlas hydrosweep DS. Retrieved from [http://www.sea-landtech.com/wp-content/uploads/2018/07/Teledyne-Hydrosweep-DS\\_Data-Sheet.pdf](http://www.sea-landtech.com/wp-content/uploads/2018/07/Teledyne-Hydrosweep-DS_Data-Sheet.pdf)
- Riadi, E., Zainuri, M., & Wijaya, P. H. (2014). STUDI KONDISI DASAR PERAIRAN MENGGUNAKAN CITRA SUB-BOTTOM PROFILER DI PERAIRAN TARAKAN KALIMANTAN TIMUR. *Jurnal Oseanografi*, 3(September 2012), 26–35.
- 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/10.1016/S0967-0637\(97\)00059-9](https://doi.org/10.1016/S0967-0637(97)00059-9)
- Schofield, W., & Breach, M. (2007). *Engineering surveying. Construction Research and Innovation* (6th ed., Vol. 1). Elsevier Ltd.
- Walter, H., Wagman, J., Stergiou, N., Erkmen, N., & Stoffregen, T. (2017). Dynamic perception of dynamic affordances: walking on a ship at sea.

- Experimental Brain Research*, 235.  
<https://doi.org/10.1007/s00221-016-4810-6>
- White, J., Jegat, V., Lancker, V. Van, Deleu, S., & Vanstaen, K. (2007). *Review of standards and protocols for seabed habitat mapping - Acoustic system techniques*.
- Wright, J. (2019). Fairing Basics. Retrieved February 19, 2020, from <https://www.epoxyworks.com/index.php/fairing-basics/>
- Yuwono, B. D., & Prasetyo, Y. (2019). Analysis Deformation Monitoring Techniques Using GNSS Survey and Terrestrial Survey ( Case Studi: Diponegoro University Dam, Semarang, Indonesia). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 313(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/313/1/012045>

*Halaman ini Sengaja Kami Kosongkan*