

PEMETAAN SUHU LAUT DI PERAIRAN TELUK BALIKPAPAN MENGUNAKAN TEKNOLOGI AKUSTIK TOMOGRAFI PANTAI

MAPPING SEA TEMPERATURE OF BALIKPAPAN BAY WATERS USING COASTAL ACOUSTIC TOMOGRAPHY SYSTEM (CATs)

Teguh Arif Pianto^{1*}, Henry M. Manik², dan Indra Jaya²

¹Program Studi Teknologi Kelautan, Sekolah Pascasarjana-IPB, Bogor

²Departemen Ilmu dan Teknologi Kelautan, FPIK-IPB, Bogor

*E-mail: henrymanik@yahoo.com

ABSTRACT

Sea temperature in oceanography is an important factor to figure out the quality of waters that the conducted mapping spatially and temporally. One of the potential technologies effectively can be carried out by mapping sea temperature is a coastal acoustic tomography system (CATs). This technology has never been implemented conducted in Balikpapan Bay before. The technology is able to reach out of a wide range of seawater area and to map sea temperature according to its depth layers. The purpose of this study is to reconstruct tomographic acoustic data to obtain ocean temperature values from travel time data that obtained between pair of stations, so it became a map of sea temperature distribution in CAT's network. This research was taken by setting four reconstructed observational stations through inversion method of received acoustic travel time among paired stations. The average of temperatures in the formed tracks was analyzed by using Mackenzie formula. The results of reconstructing the seawater temperatures in the CATs tracking networks are in a range of 28°C – 30°C. A validation test of the seawater temperature data resulted from coastal acoustic tomography method by using a CTD (Conductivity Temperature Depth) generates the accuracies of the seawater temperature are more than 98% and a correlation coefficient $R = 0.79$. The finding of the study was the reconstruction of Acoustic Tomography data has succeeded in acquiring sea temperature data with a level of accuracy level of more than 97%.

Keyword: *balikpapan bay, coastal acoustic tomography, sea temperature, sound wave*

ABSTRAK

Suhu laut dalam oseanografi merupakan faktor penting yang menunjukkan kualitas suatu perairan sehingga pemetaan secara spasial dan temporal perlu dilakukan. Salah satu teknologi yang potensial efektif untuk dapat digunakan dalam melakukan pemetaan suhu laut adalah dengan menggunakan teknologi akustik tomografi pantai *Coastal Acoustic Tomography system (CATs)*. Penerapan teknologi akustik tomografi pantai di perairan teluk Balikpapan belum pernah dilakukan sebelumnya. Teknologi ini dapat menjangkau daerah yang luas dan dapat melakukan pemetaan suhu laut per lapisan kedalaman dengan resolusi temporal permenit. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk merekonstruksi data akustik tomografi untuk mendapatkan nilai suhu laut dari data waktu tempuh yang diperoleh antar pasangan stasiun sehingga menjadi peta sebaran suhu laut di jejaring CATs. Penelitian dilakukan dengan menempatkan 4 stasiun akustik yang direkonstruksi melalui metode inversi dari waktu tempuh akustik yang diperoleh antar pasangan stasiun dan suhu rata-rata di lintasan terbentuk menggunakan formula Mackenzie. Hasil rekonstruksi suhu rata-rata pada lintasan jejaring CATs berkisar 28°C sampai 30°C. Uji validasi data suhu laut hasil pengukuran dengan metoda akustik tomografi pantai dengan alat ukur CTD (*Conductivity Temperature Depth*) diperoleh akurasi antara nilai suhu laut hasil pengukuran dengan data CTD mencapai 98%, nilai koefisien korelasi $R=0,79$. Kesimpulan penelitian didapati bahwa rekonstruksi data Akustik Tomografi telah berhasil mengakusisi data suhu laut dengan tingkat ketelitian pada pengukuran yang dilakukan di perairan Teluk Balikpapan mencapai lebih dari 97%.

Kata kunci: akustik tomografi pantai, gelombang suara, teluk Balikpapan, suhu laut

I. PENDAHULUAN

Suhu laut bervariasi baik secara horizontal maupun vertikal sesuai dengan kedalaman. Sebaran atau variasi suhu laut secara vertikal di perairan Indonesia pada umumnya dapat dibedakan menjadi tiga lapisan, yaitu lapisan percampuran sempurna (*mixed layer*) di bagian atas, lapisan termoklin, dan lapisan dingin di bagian bawah. Pengamatan dan pemetaan suhu laut umumnya dilakukan dengan memanfaatkan perangkat *Conductivity Temperature Depth* (CTD) (Hadikusumah, 2008) maupun dengan memanfaatkan menggunakan data penginderaan jauh (Amri *et al.*, 2013; Zahroh dan Sukojo, 2016). Penerapan tersebut membutuhkan waktu, biaya, tenaga dan terbatas di daerah dengan cakupan yang luas tergantung dari resolusi citra satelit yang digunakan sedangkan dengan menggunakan teknologi akustik tomografi dapat menjangkau daerah yang luas dan dapat melakukan pemetaan suhu laut per lapisan kedalaman baik spasial maupun temporal, sehingga memunculkan kebutuhan akan pengukuran, pemetaan parameter laut dalam hal ini suhu laut. Parameter suhu laut di suatu perairan akan berubah-ubah mengikuti pola iklim yang terjadi sehingga pada penelitian ini mencoba memanfaatkan teknologi akustik kelautan untuk pemetaan suhu laut. Pemanfaatan teknologi akustik kelautan yang terkini dan sampai saat ini masih terus dikembangkan adalah teknologi akustik kelautan yang disebut *Tomography* atau jika teknologi ini diterapkan di perairan pesisir dan pantai disebut dengan sistem akustik tomografi pantai atau *Coastal Acoustic Tomography System* (CATs) (Purwandani, 2016). Meskipun teknologi CATs saat ini lambat dalam pengembangannya tetapi telah berkembang dengan baik sebagai aplikasi akustik tomografi pantai (Munk *et al.*, 1995; Zheng *et al.*, 1997; Yamaoka *et al.*, 2002), prospek penerapan dan pemanfaatan teknologi ini memiliki peluang yang cukup besar dan luas (Munk *et al.*, 1995).

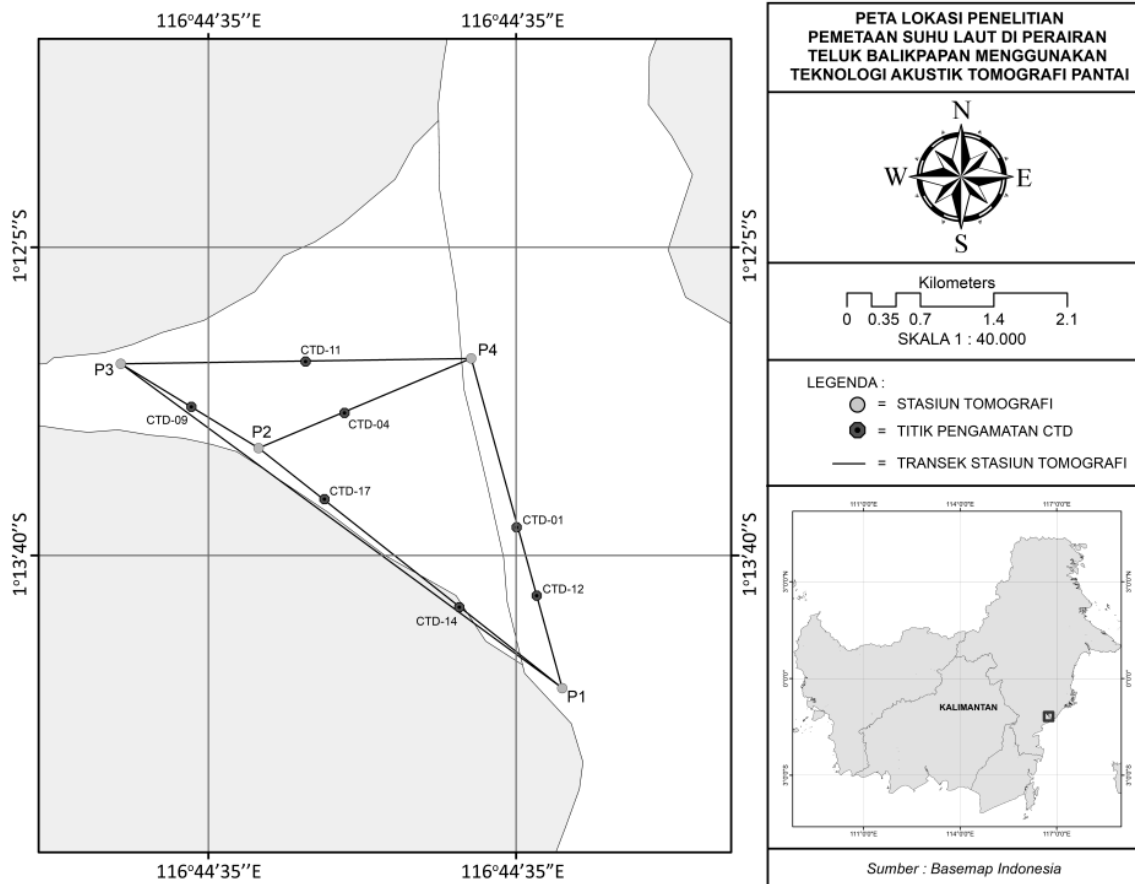
Penerapan teknologi akustik tomografi pantai di perairan Teluk Balikpapan belum pernah dilakukan sebelumnya. Perairan dalam skala yang luas memiliki karakteristik tertentu yang unik, suara yang dibangkitkan dari satu sisi perairan dapat terus merambat ratusan kilometer jauhnya sampai sisi perairan yang lain. Hal ini disebabkan karena adanya perbedaan suhu, salinitas, tekanan dan densitas di sepanjang kolom perairan sehingga energi gelombang suara dapat terus merambat dan terpantulkan kembali pada kedalaman tertentu tanpa kehilangan energi dari gelombang suara tersebut sampai ke sisi lain perairan tersebut. Lintasan rambatan suara di kolom air laut tersebut membentuk seperti kanal (*channel*) dimana kode komunikasi disisipkan dalam rambatan gelombang suara dengan media air laut sebagai *carrier*-nya (Urick, 1983).

Pemanfaatan teknologi CATs dengan keunggulannya dapat diterapkan secara langsung dimana resiprokal suara yang di terapkan di teluk ataupun selat berbasis CATs menyediakan metode observasi yang cocok untuk mengukur parameter laut (Adityawarman *et al.*, 2012; Zhu *et al.*, 2015; Huang and Naokazu, 2016). Pengamatan dengan menggunakan teknologi akustik tomografi pantai bertujuan untuk merekonstruksi data akustik tomografi untuk mendapatkan nilai suhu laut dari data waktu tempuh yang diperoleh antar pasangan stasiun sehingga menjadi peta sebaran suhu laut di jejaring CATs.

II. METODE PENELITIAN

2.1. Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan dengan menempatkan 4 stasiun akustik: P1(1°14'20.88"S;116°46'24.24"E),P2(1°13'6.90"S;116°44'50.52"E),P3(1°12'40.92"S;116°44'7.98"E), P4(1°12'39.24"S;116°45'56.16"E) (Gambar 1). Penelitian dilakukan untuk mengetahui secara ilmiah nilai suhu laut hasil rekonstruksi dari hasil pengamatan akustik



Gambar 1. Peta lokasi penelitian di Teluk Balikpapan Kalimantan Timur.

tomografi pantai yang berada di wilayah kajian. Pengukuran dilakukan pada tanggal 9 Agustus 2016 dan Jarak jejaring akustik tomografi pantai di antara masing-masing transek stasiun P1P2, P1P3, P1P4, P2P3, P2P4, P3P4 adalah 3,7 km, 5,3 km, 3,3 km, 1,6 km, 2,2 km dan 3,4 km.

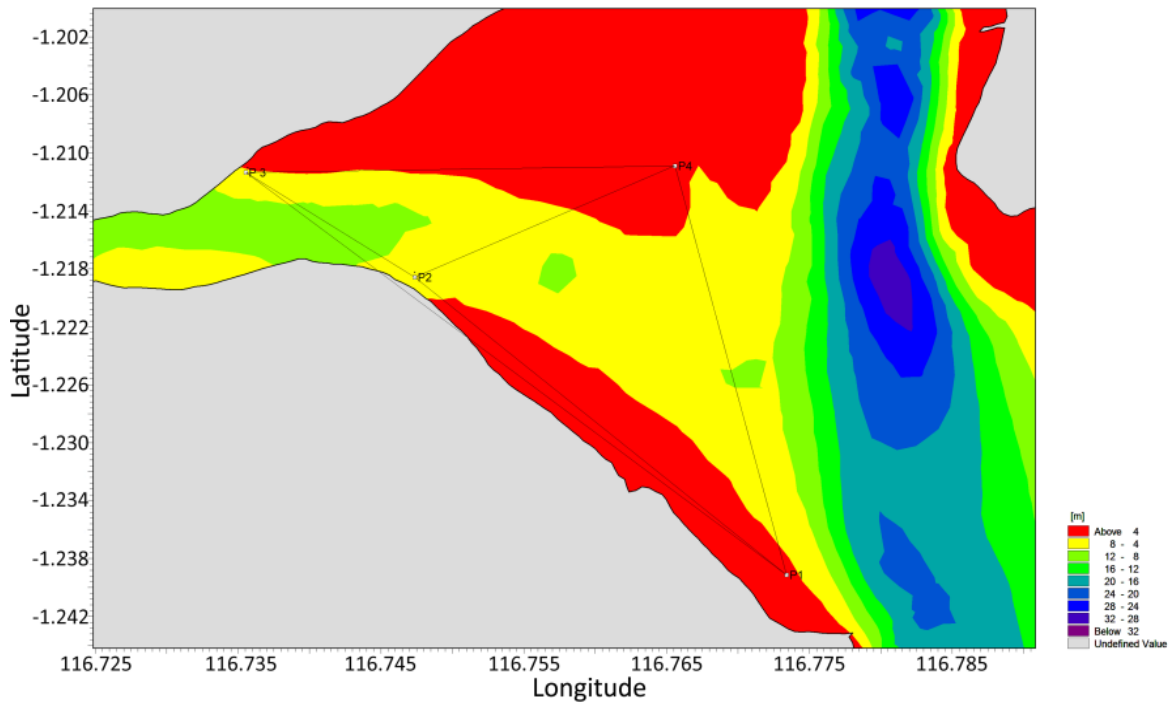
2.2. Data

Penelitian ini menggunakan data hasil pengamatan akustik tomografi pantai pada tanggal 9 Agustus 2016, peta batimetri dan CTD dengan tiga sensor utama yaitu suhu (*temperature*), konduktivitas (*conductivity*) dan kedalaman (*depth*) hasil pengamatan *in-situ* diperoleh tujuh titik. Pada masing-masing pasangan stasiun terdapat rata-rata dua titik pengukuran yang dilakukan pada tanggal 9 Agustus 2016 yang digunakan untuk validasi hasil rekonstruksi suhu laut dari keluaran data akustik tomografi pantai

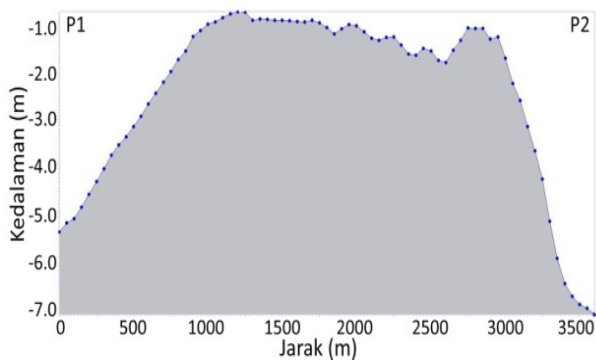
(CATs). Detail percobaan telah dilakukan dalam penelitian sebelumnya (Zhang *et al.*, 2015).

2.2.1. Batimetri Teluk Balikpapan

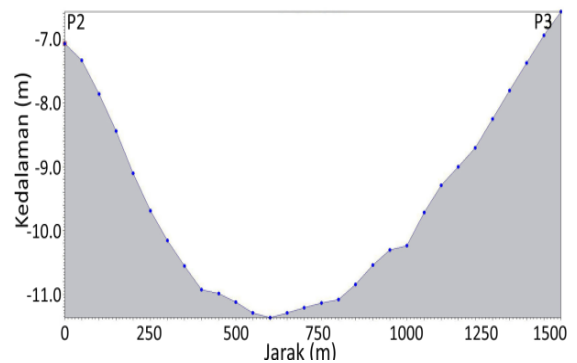
Data batimetri (Gambar 2) yang digunakan pada studi ini diperoleh dari hasil penggabungan data batimetri dari CMAP dan GEBCO (*General Bathymetric Chart of the Oceans*). Setelah data batimetri disiapkan, tahap berikutnya adalah membangun lintasan pasangan *ray* yang memiliki profil batimetri yang memungkinkan kedua sinyal dari unit CATs dapat saling mengirim dan menerima sinyal akustik antar pasang stasiun. Penggambaran penampang melintang (*Cross Section*) (Gambar 3 s/d 7) yang bertujuan untuk memperlihatkan bentuk batimetri penampang melintang di tiap lintasan pasangan stasiun CATs.



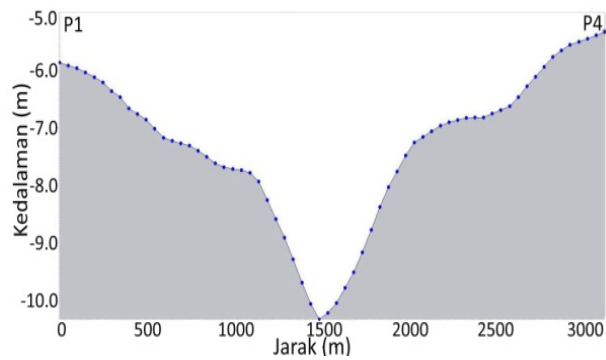
Gambar 2. Peta Batimetri.



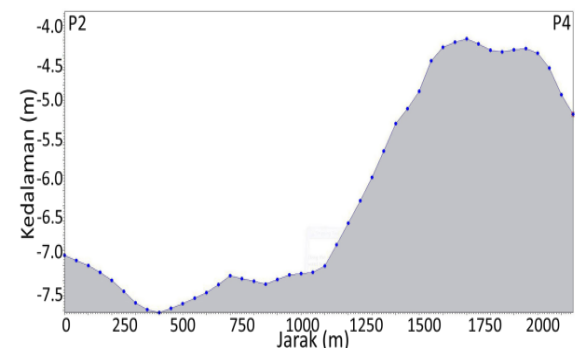
Gambar 3. Cross-Section P1P2.



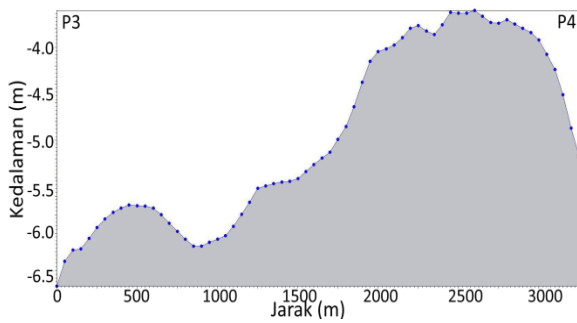
Gambar 4. Cross-Section P2P3.



Gambar 5. Cross-Section P1P4.



Gambar 6. Cross-Section P2P4.



Gambar 7. Cross-Section P3P4.

2.3. Pengolahan Data

Tahapan Studi ini dilakukan dalam beberapa tahap: Tahapan pertama yaitu dengan melakukan pengolahan data CATs melalui proses korelasi silang data untuk setiap pasangan stasiun dengan menggunakan formula *M sequence* tujuannya yaitu untuk mengetahui dan mengelompokkan sumber sinyal akustik yang dipancarkan dari setiap perangkat CATs lainnya.

Tahapan kedua yaitu dengan melakukan proses yang disebut *stack data*. Tujuannya yaitu untuk mengetahui waktu tempuh rambatan sinyal akustik dari setiap pasangan di masing-masing stasiun CATs (Holsteinet *al.*, 2004). Pemilahan sinyal akustik yang diterima dari masing-masing unit CATs terhadap noise suara di air laut dilakukan dengan memasukkan nilai SNR (*signal to noise ratio*). Menurut Adityawarman (2012) nilai SNR yang digunakan dalam pengolahan data tomografi yaitu >5.

Tahapan ketiga yaitu bertujuan untuk perhitungan nilai suhu rata-rata pada lintasan tomografi. Proses rekonstruksi suhu laut dilakukan dengan menggunakan metode inversi (*invers problem*). Penggunaan metode inversi tersebut membutuhkan nilai inisiasi yang dimasukkan kedalam perhitungan, yaitu nilai jarak antar pasang stasiun, salinitas dan kedalaman.

Tahapan terakhir yaitu dengan melakukan interpolasi dari hasil suhu rata-rata yang di dapat di sepanjang lintasan di jejaring CATs dengan menggunakan interpolasi linier untuk mendapatkan sebaran

suhu perairan di seluruh area yang tercakup oleh jejaring CATs.

2.4. Persamaan Mackenzie

Prinsip pengukuran dari akustik tomografi pantai yaitu transmisi suara timbal balik untuk setiap stasiun tomografi. Setiap stasiun tomografi menyimpan nilai waktu tempuh dari masing-masing pasangan tomografi. Nilai dari waktu tempuh merupakan fungsi dari jarak antar stasiun tomografi dan cepat rambat gelombang suara. Cepat rambat gelombang suara tersebut merupakan fungsi dari suhu, salinitas dan kedalaman. suhu rata-rata di lintasan terbentuk menggunakan formula *Mackenzie* (MacKenzie, 1981) dengan persamaanya yaitu :

$$C_m = 1448.96 + 4.591T - 0.05304T^2 + 2.734 \times 10^{-4}T^3 + 1.340(S - 35) + 1.630 \times 10^{-2}D + 1.675 \times 10^{-7}D^2 - 1.025 \times 10^{-2}T(S - 35) - 7.139 \times 10^{-13}TD^3 \dots \dots \dots (1)$$

Keterangan : C_m adalah cepat rambat gelombang suara (m/detik), T adalah suhu ($^{\circ}C$), S adalah salinitas (*persalinity unit/psu*), dan Z adalah kedalaman (m).

2.5. Metode Inversi

Metode inversi yang diterapkan di sini adalah untuk merekonstruksi rata-rata setiap pasangan stasiun. Persamaan utama dari metode inversi (Zhang *et al.*, 2015) ini adalah :

$$y = Ex + n \dots \dots \dots (2)$$

Dimana $y = \{\delta\tau_i\}$ dan $x = \{\Delta C_j\}$

Keterangan: y adalah matriks yang berisikan selisih waktu tempuh, E adalah matriks yang berisikan hasil set harmonik dari waktu tempuh, x adalah matriks yang berisikan nilai variabel yang dicari yaitu cepat rambat gelombang suara. n adalah matriks yang berisikan *error* yang timbul pada saat pengukuran.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian di wilayah kajian jejaring CATs Teluk Balikpapan telah berhasil dilakukan pemetaan suhu laut dengan menggunakan akustik tomografi pantai. Data akustik tomografi pantai yang berhasil direkonstruksi pada tanggal 9 Agustus 2016 berupa suhu rata-rata per lintasan antar pasangan stasiun akustik tomografi pada lapisan pertama yaitu antara kedalaman 0 m sampai dengan 12 m. yang disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Suhu rata-rata hasil rekonstruksi di 4 stasiun pengamatan.

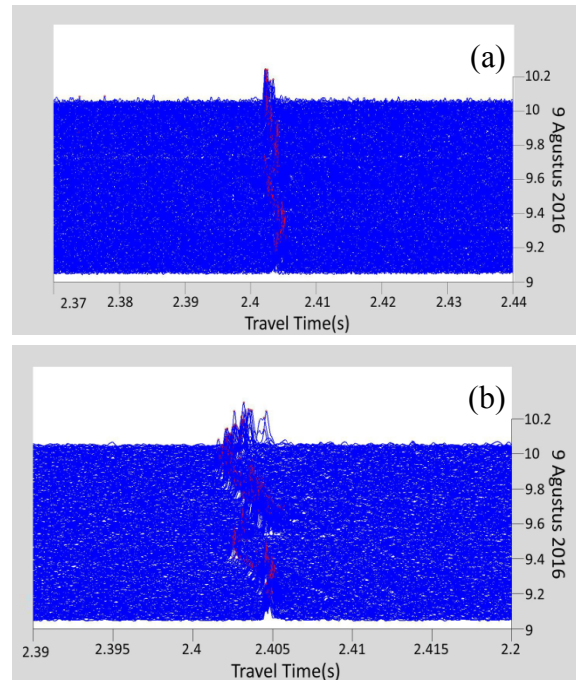
| Stasiun | Suhu (°C) |
|---------|-----------|
| P12 | 28,7 |
| P14 | 29,1 |
| P24 | 29,3 |
| P34 | 29,1 |
| P23 | 29,3 |

3.1. Korelasi Silang

Stack plot data dilakukan untuk mengetahui waktu tempuh rambatan sinyal akustik antar pasangan stasiun dan penapisan sinyal akustik yang diterima terhadap noise suara di lautan dilakukan dengan memasukkan nilai *signal to noise ratio* (SNR). Semakin besar nilai SNR maka sinyal yang ditampilkan akan semakin jelas, hal ini ditunjukkan pada diagram *stack plot* yang disajikan pada Gambar 8, puncak sinyal korelasi kedatangan pertama pada stasiun P1P4 tanggal 9 Agustus 2016 pada Gambar 8a ditunjukkan dengan warna merah.

Tabel 2. Validasi data.

| Nama | Nilai Pengukuran | | | |
|------------|------------------|--------------|--------------|--------------|
| | Stasiun P1P4 | Stasiun P3P4 | Stasiun P1P2 | Stasiun P2P4 |
| CTD | 29,3°C | 29,5°C | 29,7°C | 29,3°C |
| CATs | 29,0°C | 28,9°C | 30,3°C | 29,1°C |
| ΔT | 0,2°C | 0,6°C | 0,6°C | 0,2°C |
| Akurasi | 99,2% | 98,1% | 97,8% | 99,2% |



Gambar 8. Stack diagram bentuk gelombang korelasi yang diterima di: (a). P4 dari P1 dan (b). P1 dari P4 pada 9 Agustus 2016.

Gambar 8a menunjukkan sinyal akustik yang diterima di stasiun P1 dari stasiun P4, dan Gambar 8b menunjukkan sinyal akustik yang diterima di stasiun P4 dari stasiun P1.

3.2. Validasi Hasil Rekonstruksi Suhu Laut dengan Data pengukuran CTD

Validasi hasil dilakukan dengan menggunakan data suhu rata-rata lintasan tomografi dengan data suhu rata-rata lintasan yang dihasilkan dari pengukuran menggunakan CTD disajikan pada Tabel 2.

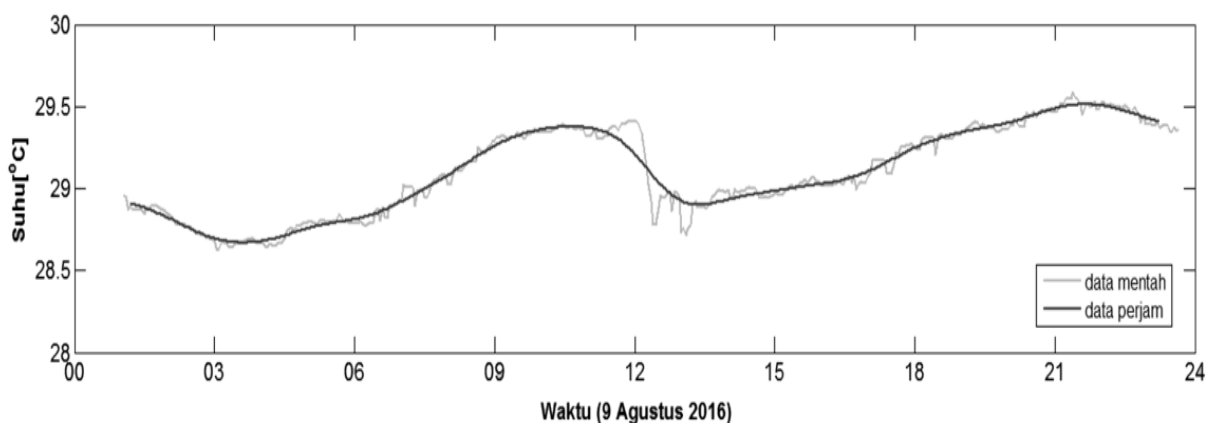
Pengukuran CTD di stasiun CTD 01 diantara stasiun P1P4 menunjukkan hasil kedalaman maksimum 9 m dan diukur pada pukul 14.55 WITA. Suhu rata-rata pada stasiun CTD 01 adalah 29,3°C. Adapun suhu rata-rata stasiun Tomografi pada pukul 14.55 WITA adalah 29,0°C. Hasil validasi dapat dilihat pada Tabel 2. Hasil akurasi pada stasiun P1P4 adalah 99% menunjukkan nilai keakuratan yang tinggi dengan nilai simpangan kurang dari 1%. Pengukuran CTD di stasiun CTD 11 diantara stasiun P3P4 menunjukkan hasil kedalaman maksimum 8 m dan diukur pada pukul 12.58 WITA. Suhu rata-rata pada stasiun CTD 11 adalah 29,5°C. Adapun suhu rata-rata stasiun Tomografi pada pukul 12.58 WITA adalah 28,9°C. Hasil validasi dapat dilihat pada Tabel 3. Hasil akurasi pada stasiun P3P4 yaitu 98% menunjukkan nilai keakuratan yang tinggi dengan nilai simpangan sebesar 1,9%.

3.3. Tomografi dan Suhu Laut

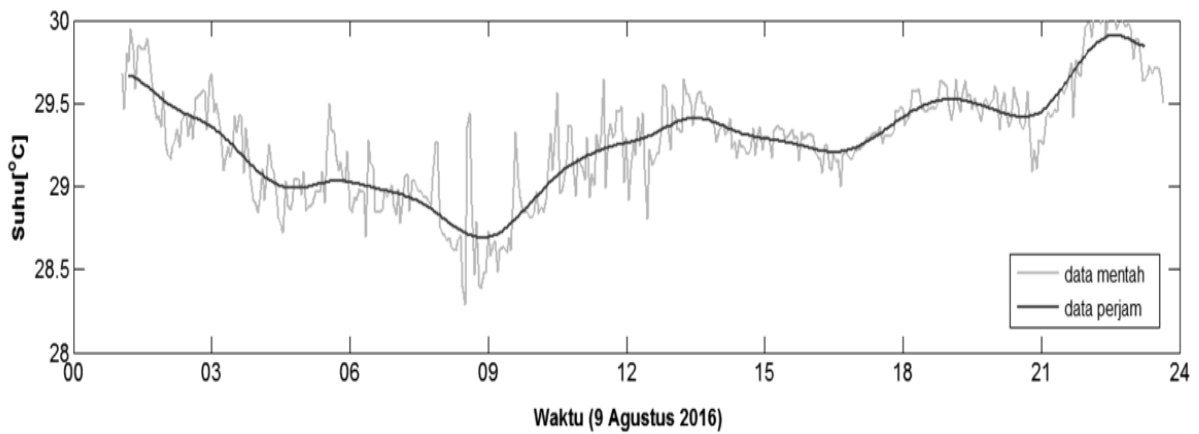
Transmisi suara timbal balik diukur pada 6 jalur transmisi yang mencakup 4 stasiun akustik. Data waktu tempuh sinyal akustik tomografi yang dihasilkan dari survei CATs di Teluk Balikpapan terdiri dari empat unit CATS. Data akustik tomografi yang

didapatkan pada tanggal 9 Agustus 2016 berupa suhu rata-rata per lintasan antar perangkat akustik tomografi yaitu P1P4, P2P3, P2P4 dan P3P4 yang disajikan berturut-turut pada Gambar 9 hingga Gambar 12. Rekonstruksi suhu rata-rata dilakukan dengan menggunakan metode inversi. Penggunaan metode inversi membutuhkan nilai awal dari suatu variabel yang dimasukkan ke dalam perhitungan diantaranya jarak antar pasangan stasiun dan kedalaman. Nilai tersebut didapatkan dari hasil pengukuran CTD secara *in-situ* pada masing-masing lintasan pasangan stasiun. Setiap pasangan stasiun terdapat dua pengukuran CTD.

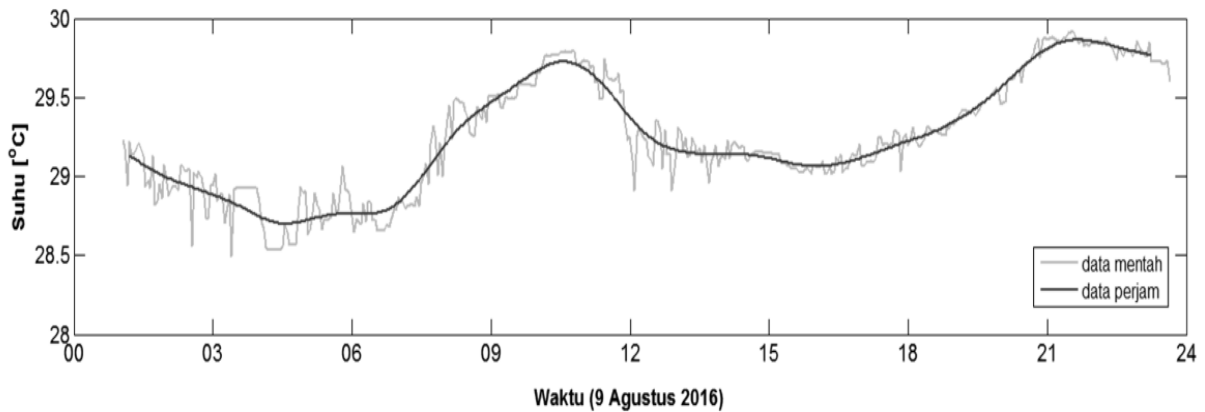
Gambar 9 sampai dengan Gambar 12 merupakan hasil dari keseluruhan rekonstruksi suhu rata-rata pada lapisan pertama yaitu antara kedalaman 0 sampai dengan 12 m. Variasi suhu laut yang didapatkan dari waktu ke waktu yaitu dari jam 00.00 sampai dengan jam 23.57 WITA tanggal 9 Agustus 2016. Hal tersebut menunjukkan bahwa kondisi suhu perairan disekitar wilayah kajian akan mengalami perubahan berdasarkan intensitas cahaya yang diterima. Suhu rata-rata di wilayah pengamatan P1P4 menunjukkan nilai 28,3°C di pagi hari dan 29,4°C pada siang hari.



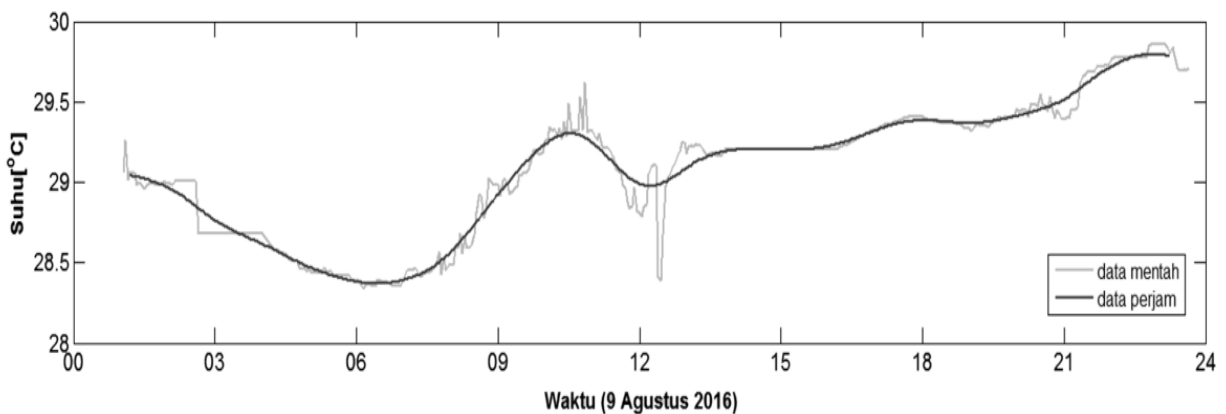
Gambar 9. Suhu rata-rata untuk puncak kedatangan pertama disepanjang stasiun P1P4. Data pengukuran dan rata-rata per jam ditunjukkan dibagian kanan bawah.



Gambar 10. Suhu rata-rata untuk puncak keatangan pertama disepanjang stasiun P2P3. Data pengukuran dan rata-rata per jam ditunjukkan dibagian kanan bawah.

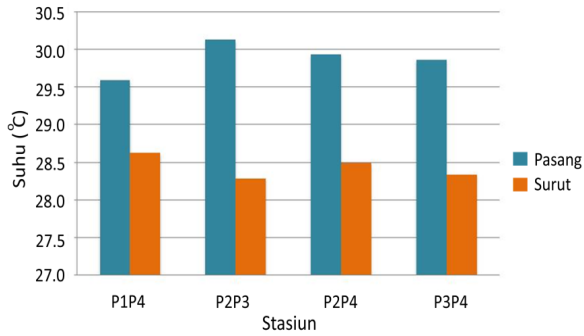


Gambar 11. Suhu rata-rata untuk puncak kedatangan pertama disepanjang stasiun P2P4. Data pengukuran dan rata-rata per jam ditunjukkan dibagian kanan bawah.



Gambar 12. Suhu rata-rata untuk puncak kedatangan pertama disepanjang stasiun P3P4. Data pengukuran dan rata-rata per jam ditunjukkan dibagian kanan bawah.

Hasil analisis suhu juga menunjukkan perbedaan pada saat pasang dan surut untuk masing-masing pasangan stasiun seperti yang ditunjukkan pada Gambar 13.



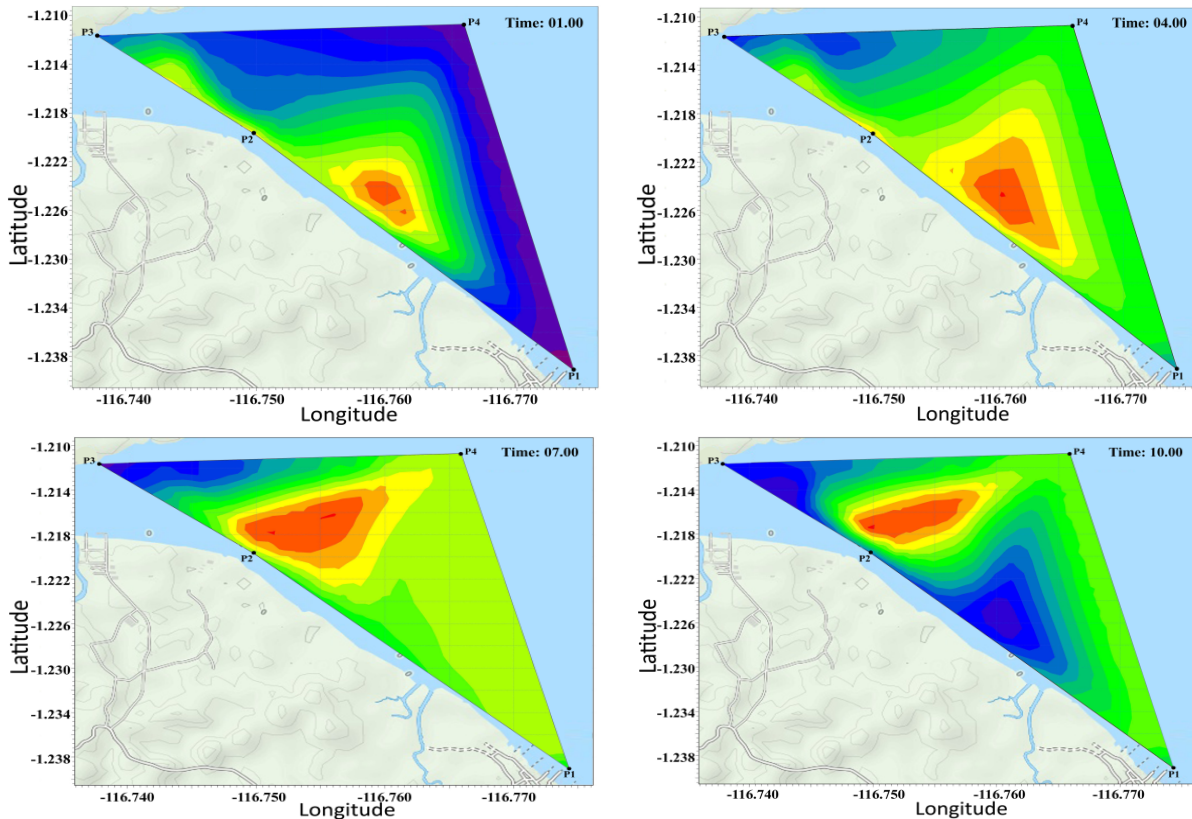
Gambar 13. Suhu rata-rata pada saat pasang dan surut.

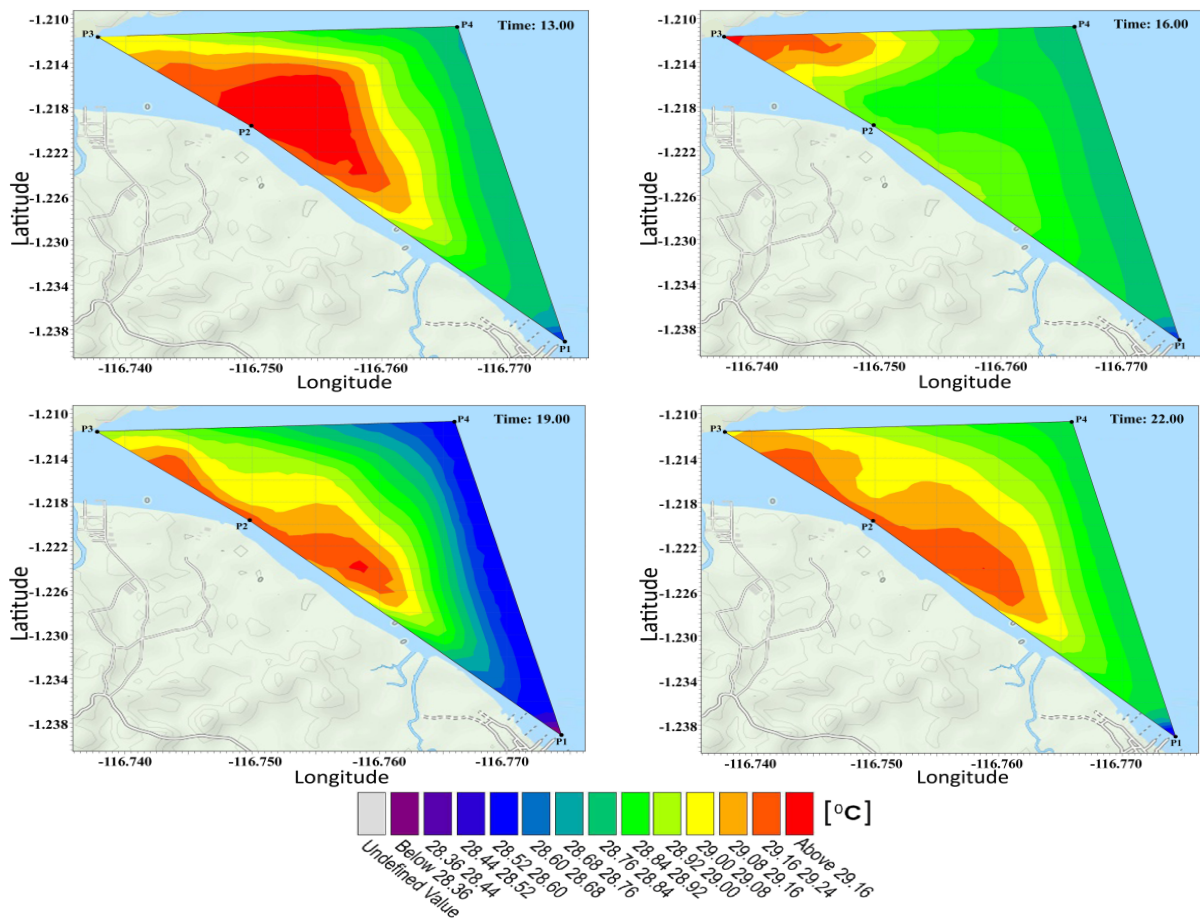
Gambar 13 menunjukkan bahwa suhu di jejaring CATs lebih tinggi pada saat kondisi pasang dari pada saat kondisi surut dimana nilai suhu tertinggi terdapat pada saat kondisi pasang di stasiun P2P3 yaitu sebesar

30,2°C dan pada saat kondisi surut terdapat pada stasiun P1P4 sebesar 29,4°C. Hal tersebut terjadi pada pukul 13.00-18.00 WITA yang disebabkan karena saat kondisi pasang mulai terjadi kenaikan air dan juga secara alami suhu laut mendapat pencahayaan matahari di siang hari. Suhu laut disuatu perairan tergantung dari intensitas cahaya matahari yang mengenai permukaan air laut.

3.4. Sebaran Suhu di Jejaring CATs

Sebaran suhu laut di area jejaring CATs berdasarkan interpolasi hasil pengukuran akustik tomografi pantai di tunjukkan pada Gambar 14. Nilai suhu laut tertinggi di tunjukkan dengan warna merah sementara nilai terendah ditandai dengan warna biru berada menjauhi garis pantai. Suhu di jejaring CATs terendah sebesar 28,3°C dan tertinggi sebesar 30,1°C serta nilai rata-rata suhu laut adalah sebesar 29,1°C.





Gambar 14. Sebaran horizontal suhu laut berdasarkan interpolasi hasil pengukuran akustik tomografi tanggal 9 Agustus 2016 dijejaring CATs, Gambar atas kiri menunjukkan waktu pukul 01.00 WITA meningkat 3 jam ke arah kanan.

Sebaran horizontal suhu laut berdasarkan hasil pengukuran akustik tomografi berkisar antara 28°C – 30°C , Stasiun yang memiliki suhu rendah mengalir pada Stasiun P3 sampai Stasiun P4 yang berada di pesisir mengarah ke Stasiun P4 sedangkan Suhu yang cenderung tinggi terdapat pada Stasiun P3 sampai Stasiun P4 yang daerahnya berada di mulut mengarah ke Sungai Riko. Suhu pada stasiun P2 sampai Stasiun P4 cenderung lebih tinggi yang berkisar $28,5^{\circ}\text{C}$ – $30,2^{\circ}\text{C}$ sebaran suhu pada saat surut $28,8^{\circ}\text{C}$ – $29,3^{\circ}\text{C}$. Perubahan suhu air laut baik horizontal maupun vertikal serta temporal dipengaruhi oleh intensitas cahaya dimana kondisi suhu perairan disekitar wilayah jejaring CATs akan mengalami perubahan berdasarkan intensitas cahaya yang diterima. Hasil analisis suhu laut juga

menunjukkan perbedaan pada saat pasang dan surut yang ditunjukkan pada Gambar 13 dimana suhu rata-rata laut pada saat pasang lebih tinggi daripada saat kondisi surut. Perubahan suhu laut tersebut juga berpengaruh terhadap kehidupan di laut. Hal ini sesuai dengan Awaluddin (2015) yang menyatakan bahwa pada suhu perairan berpengaruh secara langsung terhadap kehidupan di laut dalam laju fotosintesis tumbuhan dan proses fisiologi hewan.

IV. KESIMPULAN

Kesimpulan penelitian didapati bahwa rekonstruksi data Akustik Tomografi telah berhasil mengakusisi data suhu laut . Distribusi spasial suhu rata-rata hasil rekonstruksi pada lintasan jejaring CATs

pada lapisan pertama yaitu antara kedalaman 0 sampai dengan 12 m berkisar 28°C sampai 30°C. Tingkat ketelitian CATs pada pengukuran yang dilakukan di perairan Teluk Balikpapan dengan data pembandingan menggunakan CTD mencapai lebih dari 97%. Keterbatasan penerapan CATs adalah hanya dapat mengakuisisi data suhu laut pada satu lintasan saja dan diperlukan jejaring CATs yang rapat untuk mendapatkan data suhu laut dengan kualitas yang baik.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Balai Teknologi Survei Kelautan (BTSK), Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT) yang telah memberi dukungan *financial* (PROGRAM TA 2016) terhadap penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Adityawarman, Y., A. Kaneko, N. Taniguchi, H. Mutsuda, K. Komai, X. Guo, and N. Gohda. 2012. Tidal current measurement in the Kurushima Strait by the reciprocal sound transmission method. *Acoustic, Science and Technology*, 33:45-51. <https://doi.org/10.1250/ast.33.45>.
- Adityawarman, Y., A. Kaneko, K. Nakano, N. Taniguchi, K. Komai, X. Guo, and N. Gohda. 2011. Reciprocal sound transmission measurement of mean current and temperature variations in the central part (Aki-nada) of the Seto Inland Sea, Japan. *J. of Oceanography*, 67:173–182. <https://doi.org/10.1007/s10872-011-0016-5>.
- Amri, K., D. Manurung, J.L. Gaol, dan M.S. Baskoro. 2013. Karakteristik suhu permukaan laut dan kejadian upwelling fase indian ocean dipole mode positif di barat sumatera dan selatan Jawa Barat. *J. Segara*, 9(1):23-35. <https://www.researchgate.net/publication/273887034>.
- Awaludin. 2015. Laporan penelitian, pusat teknologi pengembangan sumberdaya wilayah: survey biofisik perairan Kabupaten Penajam Paser Utara. Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi. Jakarta. 150 p.
- Chen, Y.H., N. Taniguchi, C.T. Liu, and C.F. Huang. 2014. Acoustic current measurement using travel-time method in Bachimen Harbor, Taiwan. *OCEANS 2014*, Taipei. 1–5 pp. <https://doi.org/10.1109/OCEANS-TAIPEI.2014.6964414>.
- Hadikusumah. 2008. Variabilitas suhu dan salinitas di perairan Cisadane. *Makara, Sains*, 12(2):82-88. <http://journal.ui.ac.id/science/article/viewFile/499/495>.
- Hamilton, E.L. and R.T. Bachman. 1982. Sound velocity and related properties of marine sediments. *J. of the Acoustical Society of America*, 72(6):1891-1904. <https://doi.org/10.1121/1.388539>.
- Huang, C.F. and Naokazu. 2016. Estimating temperature and current using a pair of transceivers in a harbor environment. *J. of the Acoustical Society of America*, 140(1): 137 – 142. <https://doi.org/10.1121/1.4959069>.
- Holstein, P., A. Raabe, R. Muller, M. Barth, D. Mackenzie, and E. Starke. 2004. Acoustic tomography on the basis of travel-time measurement. *Measure. Science, Technology*, 15: 1420–1428.
- H. Zheng, N. Gohda, H. Noguchi, T. Ito, H. Yamaoka, T. Tamura, Y. Takasugi, and A. Kaneko. 1997. Reciprocal sound transmission experiment for current measurement in the Seto Inland Sea, Japan. *J. of Oceanography*, 53:117–127.
- MacKenzie, K.V. 1981. Nine-term equation for sound speed in the oceans. *J. of the Acoustical Society of America*,

- 70:807–812. <https://doi.org/10.1121/1.386920>.
- Munk, W., P. Worcester, and C. Wunsch. 1995. *Ocean acoustic tomography*. Cambridge University Press. USA. 161 p.
- Purwandani. 2016. Laporan penelitian, pusat teknologi pengembangan sumberdaya wilayah: teknologi eksplorasi pesisir dengan akustik tomografi. Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi. Jakarta. 252 p.
- Rajan, S.D., J.F. Lynch, and G.V. Frisk. 1987. Perturbative inversion methods for obtaining bottom geoacoustic parameters in shallow water. *J. of the Acoustical Society of America*, 82: 998–1017. <https://doi.org/10.1121/1.395300>.
- Robinson, A.R. and D. Lee. 1994. *Oceanography and acoustic*. AIP Press. New York (NY). 257 p.
- Urlick, R.J. 1983. *Principles of Underwater Sound*. 3rd ed. McGraw-Hill, New York. 423 p.
- Yamaoka, H., A. Kaneko, J.H. Park, H. Zheng, N. Gohda, T. Takano, X.H. Zhu. and Y. Takasugi. 2002. Coastal acoustic tomography system and its field application. *IEEE J. Oceanic Engineering*, 27:283-295. [10.1109/JOE.2002.1002483](https://doi.org/10.1109/JOE.2002.1002483)
- Zahroh, L., dan B.M. Sukojo. 2016. Analisa suhu permukaan laut untuk penentuan daerah potensi ikan menggunakan citra satelit modis level 1B. *J. Teknik ITS.*, 5(2):A846-A849. <https://doi.org/10.12962/j23373539.v5i2.17185>.
- Zhang, C., A. Kaneko, X.H. Zhu, and N. Gohda. 2015. Tomographic mapping of a coastal upwelling and the associated diurnal internal tides in Hiroshima Bay, Japan. *J. of Geophysical Research*, 120:4288–4305. <https://doi.org/10.1002/2014JC010676>.

Received : 24 September 2018

Reviewed : 07 December 2019

Accepted : 01 March 2019