

**PERBANDINGAN DATA PASANG SURUT, ARUS DAN ANGIN DENGAN PREDIKSI
PADA MUSIM PERALIHAN KEDUA DI LAUT TIMOR TAHUN 2023**

**COMPARISON BETWEEN TIDE, CURRENT AND WIND DATA WITH PREDICTION
DURING SECOND MONSOON TRANSITION IN TIMOR SEA 2023**

¹Candrasa Surya Dharma*, ¹Sigit Cahyono, ¹Deirus Rizki Khair, ¹Alin Abimanyu, ¹Affan Fadhilah,
¹Nawanto Budi Sukoco, ¹Arochim, ¹Tomy Ronaldi, ²Dedi Sugiyanto, ³Widodo Setiyo Pranowo,
⁴Sandy Herho, ⁵Ahmad Yusron, ⁶Furqon Alfahmi, ⁶Akhmad Fahim, ⁷Andika

¹Pusat Hidro-Oseanografi TNI Angkatan Laut, Jakarta, Indonesia

²Badan Keamanan Laut Republik Indonesia

³Kelompok Riset Ocean Climate, Pusat Riset Iklim dan Atmosfer, Badan Riset dan Inovasi Indonesia

⁴Department of Earth and Planetary Sciences, University of California, Amerika

⁵Laboratorium Hidro-Oseanografi, Sekolah Tinggi Teknologi Angkatan Laut, Jakarta, Indonesia

⁶Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, Jakarta, Indonesia

⁷Departemen Geofisika, FMIPA, Universitas Hasanuddin, Sulawesi, Indonesia

*Koresponden penulis: meteorobo@gmail.com

Abstrak

Laut Timor memiliki peran geostrategis yang sangat tinggi bagi negara Indonesia dan Australia. Latihan survey bersama perdana antara kedua negara diberi nama *Coordinated Hydrography Survey Exercise (CHSE)* diselenggarakan pada tahun 2023. CHSE dilaksanakan dengan menggerakkan kapal riset perang KRI Spica milik TNI-AL Indonesia dan HMS Leeuwin milik Royal Navy Australia, yang masing-masing melakukan survey hidro-oseanografi dan meteorologi di wilayah teritorialnya. Data arus dan angin dari hasil survey kemudian dibandingkan dengan data sekunder Copernicus, sedangkan untuk data angin terhadap prediksi BMKG. Tidak terjadi kemunculan siklon selama kegiatan latihan, Kondisi batimetri di Perairan Laut Timor dalam penelitian ini bervariasi dari kedalaman 16,8 s.d. 218,7 meter, dengan luas area sebesar 302 NM². Sirkulasi arus diukur menggunakan underway vessel *mounted* ADCP hingga kedalaman 40 meter, dengan interval rekaman data bervariasi antara 1 menit sampai 45 menit. Selain itu dipasang pula *fix mooring current meter* pada satu stasiun tetap. Hasil pengukuran menunjukkan pola sirkulasi arus dominan bergerak antara Timur Laut dan Barat Daya, dengan pola keseragaman secara vertikal. Kecepatan arus maksimum 0,273 m/s, dan minimum 0,005 m/s ke arah Barat Daya. Hal ini sejalan dengan data klimatologis yang menunjukkan pola arus dominan menuju ke Barat Daya dengan kecepatan 0,1 – 0,5 knot. Pola sirkulasi tersebut menunjukkan bahwa Laut Timor dipengaruhi oleh Indonesian Throughflow (ITF), dengan 30% dari variabilitasnya dipengaruhi oleh siklus musiman dari angin monsoon. Laut Timor, pada lapisan kolom airnya, mendapatkan pengaruh lokal dari gelombang kelinan pada kedalaman di bawah 600 meter, dilapisan yang lebih dangkal, arus dibangkitkan oleh kopling siklus gaya pasang surut diurnal dari Laut Banda, semidiurnal dari Samudera Hindia, dan siklus musiman dari gaya angin monsoon.

Kata Kunci: ITF, Arus Permukaan, ADCP, Angin, CTD

Abstract

The Timor Sea holds significant geostrategic importance for both Indonesia and Australia. The first joint survey exercise between the two nations, named the Coordinated Hydrography Survey Exercise (CHSE), was conducted in 2023. The CHSE involved the deployment of the Indonesian Navy's research warship KRI Spica and the Royal Australian Navy's HMS Leeuwin, each carrying out hydro-oceanographic and meteorological surveys within their respective territorial waters. Current and wind data obtained from the survey were compared against secondary data from the Copernicus program, while wind data were also compared with forecasts from the Indonesian Meteorology, Climatology, and Geophysics Agency (BMKG). No cyclonic events occurred during the exercise. Bathymetric conditions in the Timor Sea, as observed in this study, ranged from 16,8 to 218,7 meters in depth, covering an area of 302 NM². Current circulation was measured using an underway vessel-mounted ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) to a depth of 40 meters, with data recording intervals varying from 1 to 45 minutes. Additionally, a fixed mooring current meter was installed at a single permanent station. The measurements revealed a dominant current circulation pattern flowing between the northeast and southwest directions, exhibiting vertical uniformity. Maximum and minimum current velocities were recorded at 0,273 m/s and 0,005 m/s, respectively, both towards the southwest. These findings align with climatological data, which indicate a prevailing

southwestward current pattern with speeds ranging from 0,1 to 0,5 knots. The circulation pattern suggests that the Timor Sea is influenced by the Indonesian Throughflow (ITF), with approximately 30% of its variability driven by the seasonal monsoonal wind cycle. Within the water column, the Timor Sea is also subject to local influences from Kelvin waves at depths below 600 meters. In shallower layers, currents are generated by the coupling of diurnal tidal forces from the Banda Sea, semidiurnal forces from the Indian Ocean, and seasonal monsoonal wind forces.

Keyword: ITF, Surface Current, ADCP, Wind, CTD

1. PENDAHULUAN

Dinamika arus di Indonesia dipengaruhi oleh siklus musiman angin monsun, dan juga dari Arus Lintas Indonesia (Arlindo), secara lokal pengaruh aliran arus permukaan dipengaruhi oleh transpor ekman, *upwelling* dan *downwelling*, kondisi batimetri (Pranowo, 2012). Pengaruh regional sirkulasi arus laut mendapat pengaruh dari angin monsun. Angin dapat berperan dalam memperkuat kondisi arus laut, baik secara lokal maupun regional, namun dengan adanya kondisi batimetri yang kompleks, dapat terjadi fenomena *eddy* yang melemahkan sirkulasi arus laut di wilayah perairan Timor, arus dari Perairan Timor / *Timor Passage* (Sprintal *et al.*, 2009), dari Laut Banda jalur menuju ke Samudera Hindia, melalui Selat Lifamatola ke Selat Ombai, Pulau Tapa, dan Timur Saumlaki (Gordon *et al.*, 2010) dan penelitian terbaru mendeteksi Arlindo berasal dari dua Jalur di sebelah Barat Pulau Leti dan Pulau Tapa (Pena-Molino *et al.*, 2022).

Kondisi Arus di Pesisir Timur Pulau Timor Timur, memiliki karakteristik aliran yang sangat cepat sepanjang tahun, hal tersebut dapat disebabkan karena dominasi oleh Angin Monsun Timur (Mustikasari *et al.*, 2015). Angin Monsun Timur / Tenggara yang bertiup selama bulan Juni-Juli-Agustus membawa udara kering ke Indonesia memberikan pengaruh terbesar dalam sirkulasi arus laut permukaan di bagian Timur pulau Timor Timur (Pranowo *et al.*, 2005). Sedangkan Angin Monsun Barat yang membawa udara lembab dan basah dari Barat / Barat Laut, memiliki pengaruh yang tidak terlalu signifikan dalam sirkulasi arus di Laut Timor, karena secara geografis terhalang oleh badan Pulau Timor Timur.

Pola Sirkulasi arus laut di laut lepas, dekat dengan Perbatasan Zona Ekonomi Eksklusif antara Indonesia dengan Australia, pada siklus musiman mendapat pengaruh

yang sama dari Angin Monsun Barat, Angin Monsun Timur, *Intertropical Convergence Zone* muncul di antara dua musim monsun tersebut memberikan dinamika arus laut permukaan lainnya di Laut Timor (Umam *et al.*, 2024).

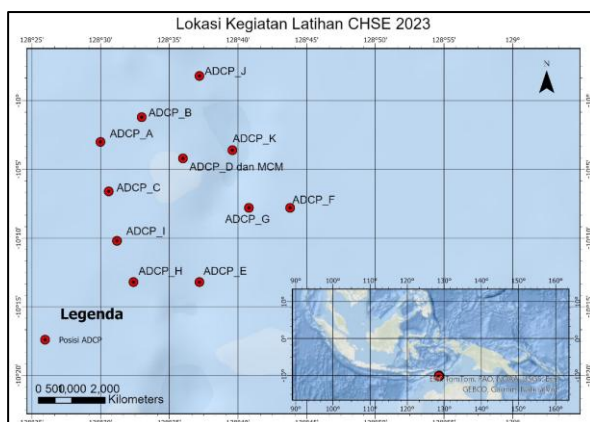
Libin Ma *et al.*, (2024) menyampaikan dalam penelitiannya, bahwa faktor lain dari efek penguatan sirkulasi MJO sebesar 42% yang berpropagasi ke Timur di benua maritim disebabkan oleh pengaruh Arlindo. Kehadiran Arlindo di Laut Timor di kuantifikasi dalam kegiatan INSTANT (*International Nusantara Stratification and Transport Program*) yang dilaksanakan pada tahun 2004-2006, (Gordon *et al.*, 2008; Gordon *et al.*, 2010). Transpor massa air dari Laut Banda ke Laut Timor, mencakup setengah dari massa air Arlindo, sebesar 7.5Sv, dan variasi tahunannya sebesar 5Sv (Gordon *et al.*, 2008; Gordon *et al.*, 2010). Pola transpor terbesar terjadi pada bulan April s.d. Juni, didukung oleh kemunculan propagasi Gelombang Kelvin (Pranowo *et al.*, 2005; Drushka *et al.*, 2010).

Kegiatan *Coordinated Hydrographic Survey Exercise* (CHSE) merupakan sebuah bentuk kerja sama antara TNI AL dengan *The Royal Australian Navy*, dalam bidang survei hidrografi, dan direncanakan untuk dilaksanakan secara rutin setiap dua tahun sekali, dengan lokasi survei di Zona Ekonomi Eksklusif antara Indonesia dan Australia. Pada tahun 2023 dilaksanakan oleh KRI Spica-934 yang melaksanakan survei hidro-oseanografi di wilayah Indonesia, dengan HMS Leuwin yang melaksanakan survei di wilayah Australia. Artikel ilmiah ini menyampaikan hasil pengukuran survei, pengolahan, pemodelan dan analisis data hidro-oseanografi dan meteorologi dengan parameter: arus, dan angin, yang dibandingkan dengan literatur dan data sekunder lainnya pada bulan Oktober sampai November 2023.

2. METODE PENELITIAN

Terdapat beberapa sirkulasi arus laut permukaan di Perairan Laut Timor yang bersebrangan dengan Perairan Barat Australia, diantaranya adalah Arlindo, *South Equatorial Current*, dan *Leuwin Current*. (Gordon *et al.*, 2008; Gordon *et al.*, 2010; Utamy *et al.*, 2015; Purba *et al.*, 2024). Kondisi Arus yang paling mendekati dengan daerah survei adalah Arlindo dengan lokasi penelitian di sebelah Timur Pulau Kupang. Lokasi survei berada sejauh 180 km ke sebelah Timur dari Kedangkalan Velona (Wahab, *et al.*, 2018). Data arus laut direkam menggunakan data dari *Acoustic Doppler Current Profiler* (ADCP) dengan sensor *beam* terpasang dilambung kapal (*mounted portable*) menghadap ke bawah (*downward*), ADCP dipasang pada sebelas Lokasi stasiun, dengan, rentang kedalaman 20-40 meter di bawah permukaan laut. Perekaman data dilakukan selama 8 menit di Stasiun ADCP_A hingga Stasiun ADCP_I, Stasiun ADCP_D dan *Mooring Current Meter* (MCM) berada pada posisi yang sama lihat Gambar 1. Pada stasiun MCM terdapat alat lain yakni RBR duo (untuk mengukur gelombang laut), dan pengukur arus tipe Valeport CM-106 yang dirangkai dengan jangkar pada area kedangkalan yang sudah ditentukan selama 28 hari di Stasiun MCM. lihat Gambar 1.

Sedangkan data arah dan kecepatan angin direkam oleh alat MAWS Vaisala 430 yang terpasang di Kapal, daftar data dapat dilihat pada tabel 1, dan tabel 2,



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian dan stasiun pemasangan alat, Alat ADCP dan MCM dipasang pada stasiun yang sama (simbol bulat merah).

Kondisi pasang surut diperoleh dari data RBR duo. Prediksi pasang surut sebagai data sekunder diperoleh dari *Commonwealth of Australia* (COA) 2023 pada posisi -10,32° LS – 128,40° BT, dan menggunakan Mike 21/3 *suite*, (Mustikasari *et al.*, 2015; Muliati *et al.*, 2018; Malik *et al.*, 2023). Hasil pengamatan pasang surut diperbandingkan dengan dua data sekunder dari mike dan COA. Sedangkan hasil pengamatan arus diperbandingkan dengan hasil prediksi *Ocean Forecast System* (OFS BMKG) secara *onsite cruise* selama survey pelayaran pelatihan berlangsung, untuk mengetahui prediksi kondisi angin terkini.

Pengamatan Pasang Surut dihasilkan dari konversi nilai tekanan dari alat pengamatan gelombang RBR duo yang dipasang pada lokasi yang sama dengan MCM. Persamaan 1 untuk proses konversi yang digunakan, adalah sebagai berikut,

$$\Delta h = \left(\frac{\Delta P}{\rho \times g} \right) \dots \dots \dots (1)$$

Dengan keterangan:

- Δh adalah perubahan tinggi gelombang dalam meter;
- ΔP adalah perubahan tekanan air dalam Pascal;
- ρ adalah massa jenis air (sekitar 1025 kg/m³ untuk air laut)
- g adalah percepatan gravitasi (sekitar 9,8 m/s²)

Perhitungan Ekman Transport yang dipengaruhi oleh angin, dilaksanakan untuk mengetahui sebaran transport Ekman di Perairan Laut Timor saat terjadinya Siklon, namun pada pelaksanaan kegiatan CHSE, tidak dijumpai adanya fenomena Siklon di area survei. Pelaksanaan kegiatan CHSE pada bulan Oktober sampai November 2024, yang berada pada musim peralihan kedua di Indonesia.

$$\text{Gaya Coriolis} = \rho f \hat{k} \times \vec{u}; f = 2\Omega \sin \phi \dots \dots (2)$$

Keseimbangan momentum Ekman adalah antara gaya vertikal dengan gradien vertikal dari tegangan gesekan,

$$\vec{\tau} = (\tau^x, \tau^y) \dots \dots \dots (3)$$

$$\frac{\partial \vec{\tau}}{\partial z} = \rho f \hat{k} \times \vec{u} \dots\dots\dots(4)$$

Di permukaan laut, tegangan gesek sama dengan tegangan angin $\vec{\tau}_0$,

$$\vec{\tau}_0 = \rho_{air} C_D \vec{U}_{10} |\vec{U}_{10}| \dots\dots\dots(5)$$

Tabel 1. Data yang digunakan dalam Penelitian

No	Data	Tanggal
1.	Data ADCP	Lihat tabel 2.
2.	Data Mooring Current Meter	14 Okt – 11 Nov 2023
3.	Data RBR duo	14 Okt – 11 Nov 2023
4.	Data MAWS Vaisala	11 Okt – 15 Nov 2023
5.	Komponen U dan V Arus Permukaan Tiap Jam dari Copernicus Marine	11 Okt – 15 Nov 2023
6.	Prediksi Angin dan Arus BMKG	13 dan 15 Oktober 2023
7.	Data Pasang Surut	11 Okt – 15 Nov 2023
8.	Prediksi Pasang Surut Mike 21/3	11 Okt - 15 Nov 2023
9.	Data Pasang Surut Commonwealth of Australia	11 Okt - 15 Nov 2023
10.	Data Cross-Calibrated Multi-Platform (CCMP) versi 2.1	1 – 31 Oktober 2024

Transport Ekman komponen Timur, dan transport Ekman komponen utara, dapat diturunkan dengan mengasumsikan bahwa gaya gesek hanya bekerja di lapisan permukaan hingga kedalaman tertentu.

$$M_x = \frac{\vec{\tau}_0^y}{\rho f} \dots\dots\dots(6)$$

$$M_y = -\frac{\vec{\tau}_0^x}{\rho f} \dots\dots\dots(7)$$

Keterangan:

ρ = Densitas air laut

f = Gaya Coriolis

$\hat{k}$ = Unit vektor dalam arah vertikal lokal

$\vec{u}$ = Vektor Timur (u) dan Utara (v)

ϕ = lintang

$\vec{\tau}$ = tegangan gesekan

τ^x = tegangan gesekan arah-x

τ^y = tegangan gesekan arah-y

ρ_{air} = Densitas udara

C_D = Koefisien drag

$\vec{U}_{10}$ = Kecepatan Angin 10 meter di atas permukaan laut

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Data Arus

Data klimatologi arus, dilengkapi dengan data klimatologi angin dan gelombang digunakan untuk mendukung proses perencanaan latihan. Data diolah dengan merata-ratakan kondisi arus, angin dan gelombang selama 10 tahun, dari tahun 2014 sampai dengan tahun 2024.

Visualisasi hasil pengukuran dan pemodelan arus dilakukan menggunakan perangkat lunak Python (Siagian *et al.*, 2023), ArcGIS, modul python Ekman Pumping, dan *Ocean Data View* (Malik *et al.*, 2023; Kurniawan *et al.*, 2023; Oktaviano *et al.*, 2023).

Tabel 2. Waktu Pengamatan Arus tahun 2023

No	Tanggal	Titik Pengamatan	Awal (WIT)	Akhir (WIT)
1	11 Oktober 2023	ADCP_A	14:48:07	15:44:17
2		ADCP_A1	08:15:36	08:32:24
3		ADCP_A2	08:34:46	11:10:30
4		ADCP_A3	06:16:53	06:17:05
5		ADCP_A4	06:24:43	06:31:25
6		ADCP_A5	06:33:03	06:34:41
7		ADCP_A6	06:41:02	06:56:32
8		ADCP_A7	08:07:55	08:08:41
9		ADCP_A8	08:09:15	08:09:43
10	12 Oktober 2023	ADCP_B	15:07:44	15:17:54
11	14 Oktober 2023	ADCP_C	15:35:47	16:17:59
12	15 Oktober 2023	ADCP_D	14:37:58	15:04:56
13	2023	ADCP_D1	08:43:22	09:22:22
14		ADCP_E	16:04:10	16:04:22
15		ADCP_E1	16:04:48	16:06:52

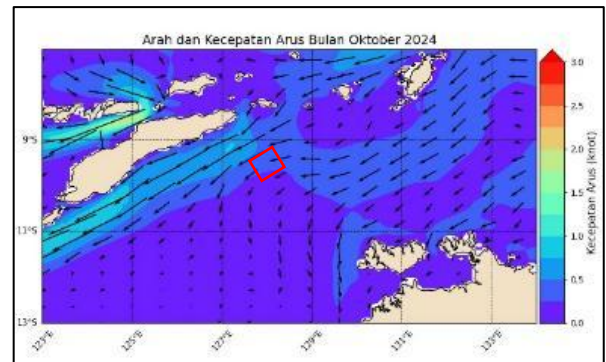
16		ADCP_E2	16:07:41	16:07:51
17	27 Oktober 2023	ADCP_E3	16:08:52	16:09:06
18		ADCP_E4	16:10:46	16:13:26
19		ADCP_E5	16:13:57	16:24:57
20	28 Oktober 2023	ADCP_F	15:52:53	16:16:47
21	29 Oktober 2023	ADCP_G	14:52:23	15:08:37
22	30 Oktober 2023	ADCP_H	14:54:18	15:26:14
23	10 November 2023	ADCP_I	15:31:28	16:03:11
24	12 November 2023	ADCP_J	07:21:30	08:27:46
25	13 November 2023	ADCP_K	09:37:12	09:44:38
26		ADCP_K1	10:50:16	11:25:52
27	14 Oktober–11 November	MCM, RBR duo	00:00:00	23:00:00

Tabel 3. Posisi Pengamatan Arus tahun 2023

No	Tanggal	Titik Pengamatan	Lintang	Bujur
1	11 Oktober 2023	ADCP_A	-10.05	128.50
2	12 Oktober 2023	ADCP_B	-10.01	128.54
3	14 Oktober 2023	ADCP_C	-10.11	128.51
4	15 Oktober 2023	ADCP_D, MCM, RBR duo	-10.07	128.59
5	27 Oktober 2023	ADCP_E	-10.22	128.62
6	28 Oktober 2023	ADCP_F	-10.12	128.72

7	29 Oktober 2023	ADCP_G	-10.12	128.68
8	30 Oktober 2023	ADCP_H	-10.22	128.54
9	10 November 2023	ADCP_I	-10.17	128.52
10	12 November 2023	ADCP_J	-9.97	128.62
11	13 November 2023	ADCP_K	-10.06	128.66

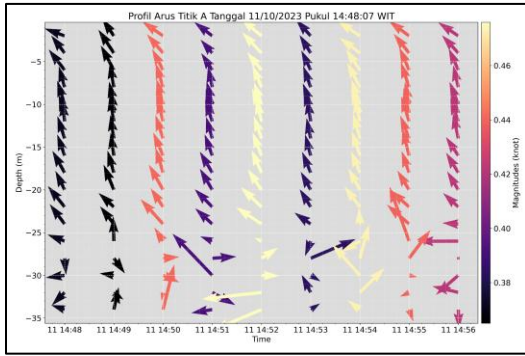
Hasil perbandingan rata-rata klimatologi dari arah dan kecepatan arus pada Bulan Oktober tahun 2023 dengan 2024, dari gambar 2, kondisi klimatologi arus permukaannya secara spasial relatif sama antara pola arah dan kontur kecepatannya, dengan kondisi pada tahun 2024.



Gambar 2. Klimatologi Arus Bulan Oktober 2024

Terdapat beberapa pengamatan ADCP lainnya pada titik yang sama sesuai dari tabel 2, yaitu pada titik ADCP_A, ADCP_D, ADCP_E, dan ADCP_K. Hal tersebut dilaksanakan dengan interval waktu yang lebih singkat yang menyebabkan sekala waktu pada setiap gambar arus ADCP menjadi tidak sama. Pengamatan lainnya yang berada disekitar dititik yang berdekatan, dilaksanakan sebagai uji coba manuver kapal saat didaerah latihan.

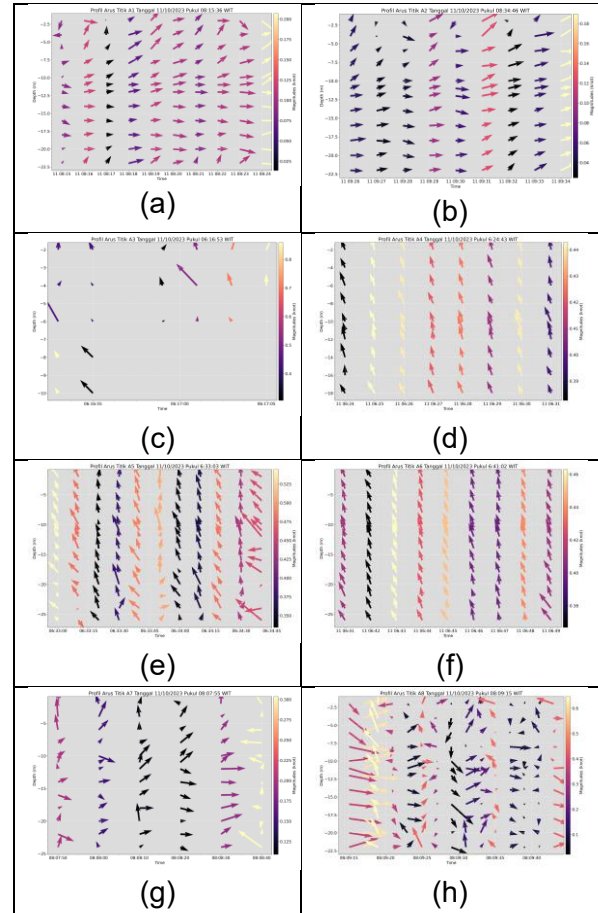
Hasil pengamatan ADCP_A, pada gambar 3, kondisi air menuju pasang, arus permukaan mengalir ke Barat Laut, dengan kecepatan 0,38 s.d. 0,46 knot,



Gambar 3. Profil arus pada titik ADCP_A

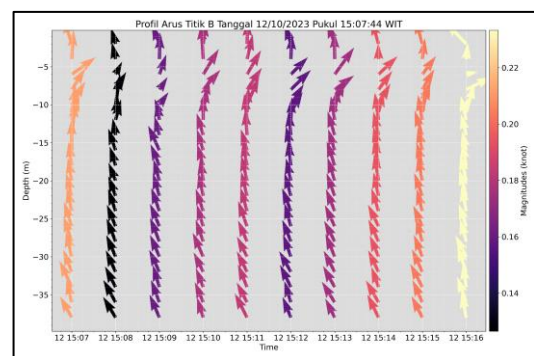
Berdasarkan tabel 2, Titik Pengamatan ADCP_A3 (Gambar 4.c), ADCP_A7 (Gambar 4.g), dan ADCP_A8 (Gambar 4.h) merekam kondisi arus dalam interval waktu detik. Pada titik pengamatan ADCP_A dari gambar 3, pola arus mengalir ke Barat Laut, dengan kecepatan yang bervariasi dari 0,38 s.d. 0,46 knot. Titik pengamatan ADCP_A1 pada gambar 4.a, menghasilkan pola arus yang mengalir ke Timur dengan kecepatan bervariasi antara 0,025 s.d. 0,2 knot, ADCP_A2, pada gambar 4.b, pola arus mengalir ke Timur dengan kecepatan bervariasi antara 0,01 s.d. 0,8 knot, ADCP_A4, pada gambar 4.d, kondisi menuju surut, pola arus mengalir ke Barat Laut, dengan kecepatan bervariasi antara 0,39 s.d. 0,44 knot, ADCP_A5, pada gambar 4.e, kondisi menuju surut, pola arus mengalir ke Barat Laut, dengan kecepatan bervariasi antara 0,35 s.d. 0,52 knot, ADCP_A6, kondisi menuju surut, pada gambar 4.g, pola arus mengalir ke Barat Laut dengan kecepatan bervariasi antara 0,38 s.d. 0,46.

Profil arus pada titik ADCP_A, ADCP_A1, hingga ADCP_A8, memiliki pola yang stabil jika diamati dalam interval menit, dibandingkan pengamatan yang diamati pada interval detik, hal ini disebabkan pola arus yang diamati pada interval waktu detik, secara dominan dipengaruhi oleh turbulensi arus, sehingga tidak representatif pola arusnya, ketika akan dianalisa lebih lanjut. Hasil pengamatan arus mengindikasikan arus umum berperan lebih besar dibandingkan arus pasang surut. Demikian juga dengan pola klimatologinya yang mengalir menuju ke arah Barat Daya.



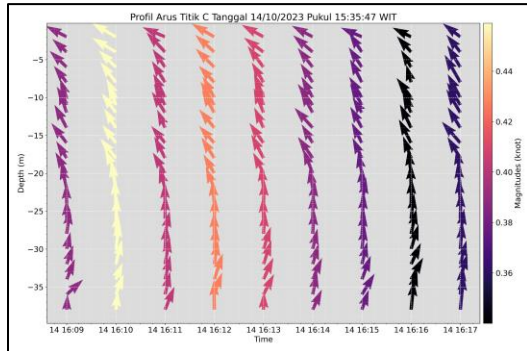
Gambar 4. Profil arus pada titik (a) ADCP_A1, (b) ADCP_A2, (c) ADCP_A3, (d) ADCP_A4, (e) ADCP_A5, (f) ADCP_A6, (g) ADCP_A7, (h) ADCP_A8

Pola Arus pada titik pengamatan ADCP_B, dari gambar 5, kondisi pasang surut menuju pasang, menunjukkan arah arus dominan mengalir ke Barat Laut, dengan perbedaan arah aliran pada kedalaman 5 sampai dengan 10 meter yang menuju ke arah Timurlaut. Pada durasi pengamatan selama 15 menit, perbedaan arah aliran tersebut perlu diteliti lebih lanjut.



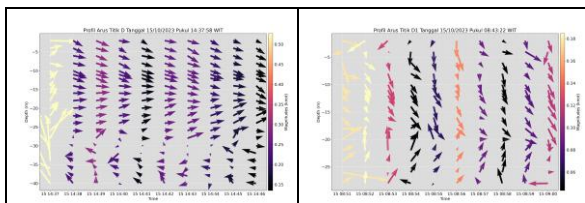
Gambar 5. Profil arus pada titik ADCP_B

Pada titik pengamatan ADCP_C, pada gambar 6, kondisi air laut menuju pasang, dengan pola aliran arus menuju ke Baratlaut dari kedalaman 0 – 15 meter menuju ke Utara pada kedalaman 15 – 20 meter, dan menuju ke Timurlaut di kedalaman 20 – 25 meter.



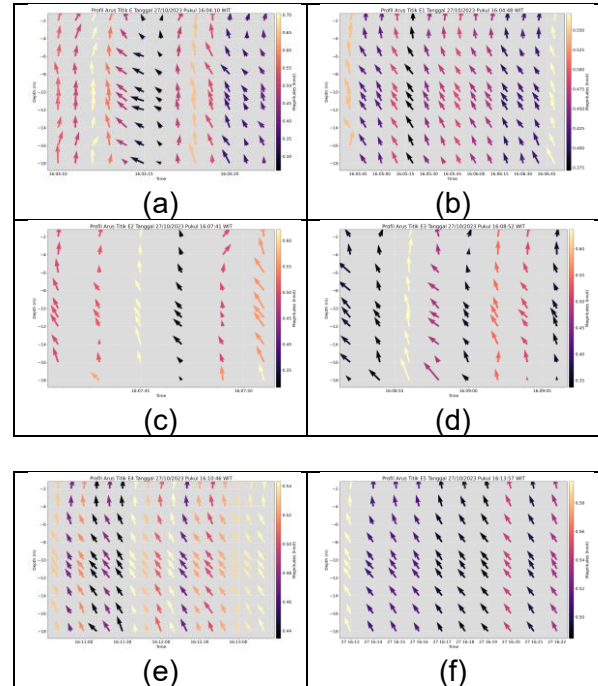
Gambar 6. Profil arus pada titik ADCP_C

Pada titik pengamatan ADCP_D, pada gambar 7.a, kondisi air laut menuju pasang, pola aliran arus menuju ke Timur/Tenggara di kedalaman 0 – 20 meter dan berbalik ke Barat di kedalaman 20 – 25 meter. Titik pengamatan ADCP_D1, pada gambar 7.b, kondisi air laut menuju surut, pada gambar 15, menunjukkan pola arus mengarah ke Selatan pada kedalaman 0 – 20 meter, arah arus bergerak ke Utara pada kedalaman 20 – 25 meter dan terdapat beberapa pengamatan arus yang mengalir ke Barat pada kedalaman 25 meter.



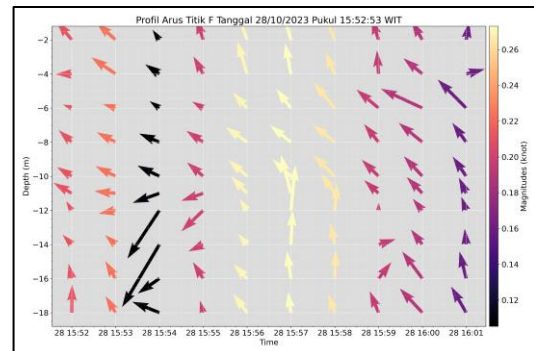
Gambar 7. Profil arus pada titik (a) ADCP_D, (b) ADCP_D1

Titik pengamatan ADCP_E sampai dengan ADCP_E5, dari gambar 8.a sampai gambar 8.f, kondisi air laut saat pasang tertinggi (*Spring tide*), memiliki indikasi keseragaman pola aliran arus yang secara dominan mengalir ke Barat Laut/Utara, dengan perbedaan pola aliran arus pada kedalaman 5 – 10 meter di pengamatan ADCP_E yang mengalir ke arah Barat.



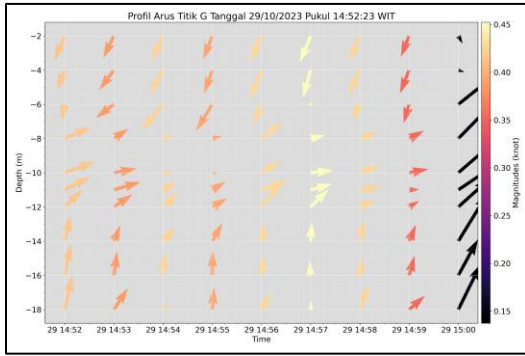
Gambar 8. Profil arus pada titik (a) ADCP_E, (b) ADCP_E1, (c) ADCP_E2, (d) ADCP_E3, (e) ADCP_E4, (f) ADCP_E5

Titik pengamatan ADCP_F, pada gambar 9, kondisi air menuju pasang, menunjukkan arah aliran arus ke Barat Laut, dan pada waktu singkat di kedalaman 10 – 25 meter mengalir ke Baratdaya.



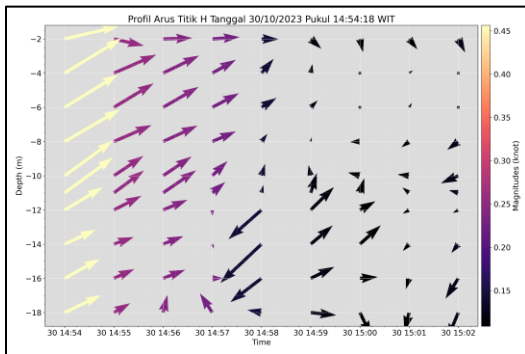
Gambar 9. Profil arus pada titik ADCP_F

Titik pengamatan ADCP_G, pada gambar 10, kondisi air menuju pasang, menghasilkan pola arus menuju ke Baratdaya di kedalaman 0 – 8 meter, ke Timur pada kedalaman 8 – 12 meter, dan ke Utara pada kedalaman 12 – 18 meter.



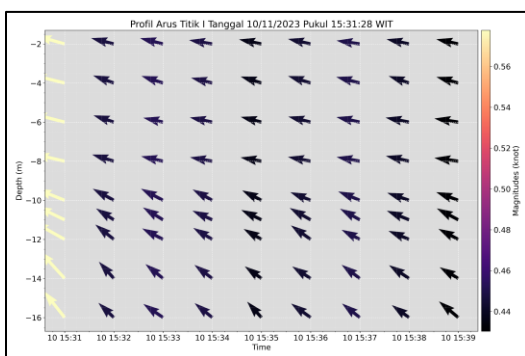
Gambar 10. Profil arus pada titik ADCP_G

Titik pengamatan ADCP_H, pada gambar 11, kondisi air menuju pasang, menunjukkan pola arus menuju ke Timur Laut, dengan beberapa bagian dalam waktu singkat pada kedalaman 12 – 16 meter menuju ke Barat Daya.



Gambar 11. Profil arus pada titik ADCP_H

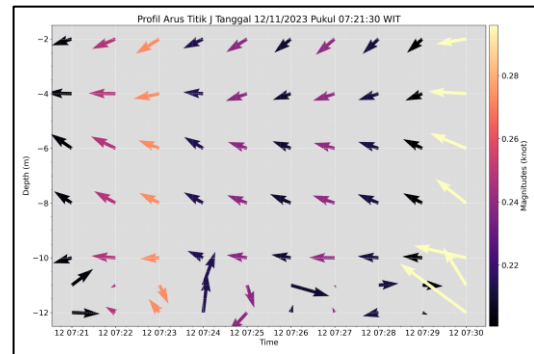
Titik pengamatan ADCP_I, pada gambar 12, kondisi air menuju surut, menunjukkan pola arus dominan menuju ke Barat.



Gambar 12. Profil arus pada titik ADCP_I

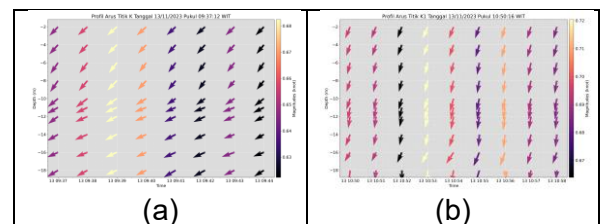
Titik pengamatan ADCP_J, pada gambar 13, kondisi air menuju surut, menunjukkan pola arus dominan menuju ke Barat, dengan beberapa pola aliran arus

bergerak ke Timur dikedalaman 10 – 13 meter. Perairan Timor mendapatkan pengaruh lokal dari Sirkulasi Gelombang Kelvin pada kedalaman 600 meter (Pena-Molino *et al.*, 2022), namun hal tersebut belum dapat dikonfirmasi pada pengamatan saat ini karena kedalaman pengamatan ADCP maksimal pada kedalaman 40 meter.



Gambar 13. Profil arus pada titik ADCP_J

Titik pengamatan ADCP_K, dan ADCP_K1, pada gambar 14.a dan 14.b, kondisi air menuju surut, menunjukkan pola arus dominan menuju ke Selatan / Barat Daya, Karakteristik arus yang terlihat dari pola klimatologi dan temuan penelitian oleh Pena-Molino., *et al.*, (2022) menunjukkan bahwa arus di Pesisir Timur hingga lepas pantai Laut Timor memiliki pola arus yang mengarah ke Timur Laut, dan Barat Laut. Hal tersebut dapat terekam oleh peralatan *Mooring Current Meter (MCM)* dengan pola aliran mengarah antara Timurlaut – Barat laut terlihat pada gambar 40 dan 41.



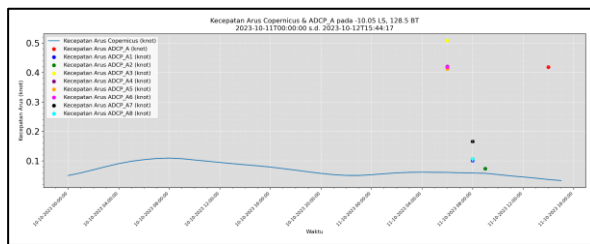
Gambar 14. Profil arus pada titik (a) ADCP_K, (b) ADCP_K1

3.2 Perbandingan Data Arus

Hasil pengamatan yang diperoleh berusaha dibandingkan dengan data dari Copernicus, pada waktu yang sama, untuk nilai kecepatan arus dari kelompok pengamatan A sampai dengan K, hasil penelitian dari *Togneri et al.*, (2017), menemukan adanya kesesuaian nilai

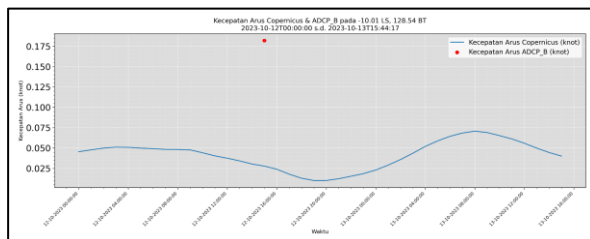
kecepatan arus yang diamati selama satu bulan, antara pengamatan dengan model, dengan koefisien korelasi sebesar 0.86.

Pada gambar 15, diperoleh hasil, berupa perbedaan kecepatan arus rata-rata berkisar antara 0,08 – 0,51 knot, dan arus maksimum pada kelompok pengamatan A dengan hasil model Copernicus sebesar 0.1 – 0.4 knot. Hasil pemodelan mika menunjukkan kecepatan arus berkisar antara 0,01 – 0,02 knot.



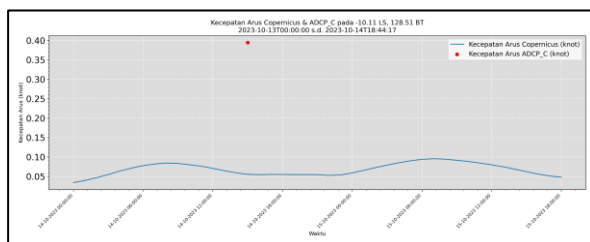
Gambar 15. Perbandingan Kecepatan Arus antara Model Copernicus dengan Kelompok Pengamatan ADCP_A

Pada pengamatan ADCP_B, gambar 16, terdapat perbedaan kecepatan arus rata-rata terhadap data Copernicus sebesar 0,176 knot dan arus maksimum sebesar 0,2 knot.



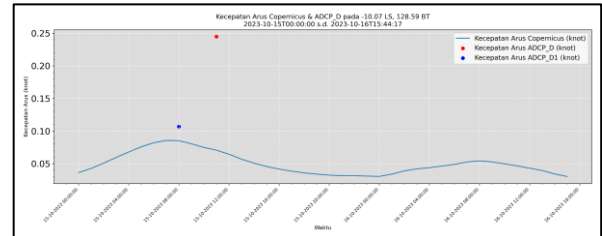
Gambar 16. Perbandingan Kecepatan Arus antara Model Copernicus dengan Pengamatan ADCP_B

Pada pengamatan ADCP_C, gambar 17, terdapat perbedaan kecepatan arus rata-rata terhadap data Copernicus sebesar 0,40 knot, dan arus maksimum sebesar 0,44 knot.



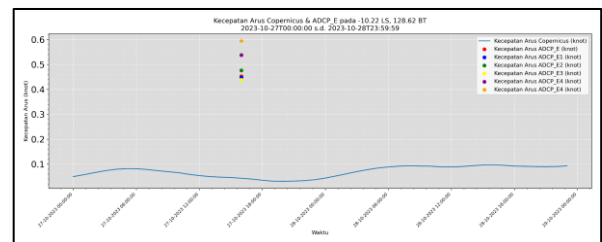
Gambar 17. Perbandingan Kecepatan Arus antara Model Copernicus dengan Pengamatan ADCP_C

Pada kelompok pengamatan ADCP_D, gambar 18, terdapat perbedaan kecepatan arus rata-rata sebesar 0,11 dan 0,24 knot, dan arus maksimum dengan Copernicus sebesar 0,2 dan 0,5 knot, dan dengan prediksi BMKG sebesar 0,1 dan 0,2 knot.



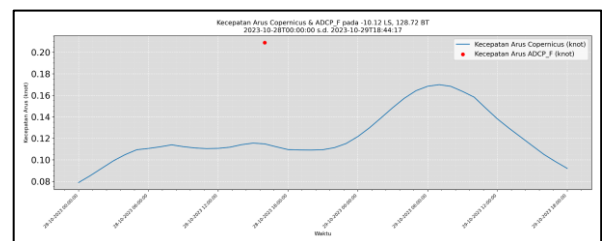
Gambar 18. Perbandingan Kecepatan Arus antara Model Copernicus dengan Kelompok Pengamatan ADCP_D

Pada pengamatan ADCP_E, gambar 19, terdapat perbedaan kecepatan terhadap data Copernicus dengan arus rata-rata berkisar antara 0,41 – 0,51 knot, dan arus maksimum berkisar antara 0,4 – 0,6 knot.



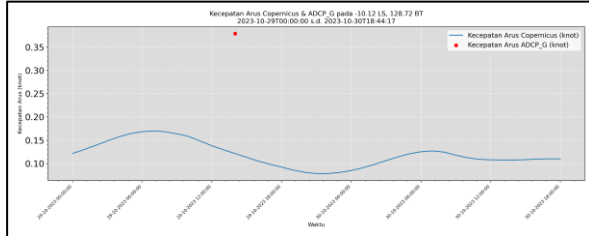
Gambar 19. Perbandingan Kecepatan Arus antara Model Copernicus dengan Kelompok Pengamatan ADCP_E

Pada pengamatan ADCP_F, gambar 20, terdapat perbedaan terhadap data Copernicus dengan kecepatan arus rata-rata sebesar 0,21 knot, dan arus maksimum sebesar 0,25 knot.



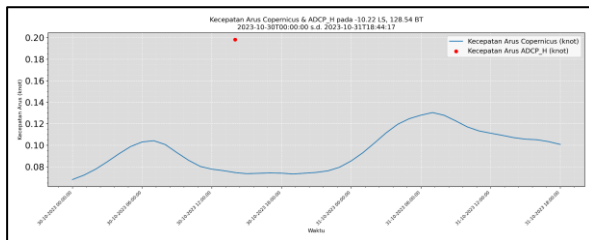
Gambar 20. Perbandingan Kecepatan Arus antara Model Copernicus dengan Pengamatan ADCP_F

Pada pengamatan ADCP_G, gambar 21, terdapat perbedaan terhadap data Copernicus dengan kecepatan arus rata-rata sebesar 0,37 knot, dan arus maksimum sebesar 0,4 knot.



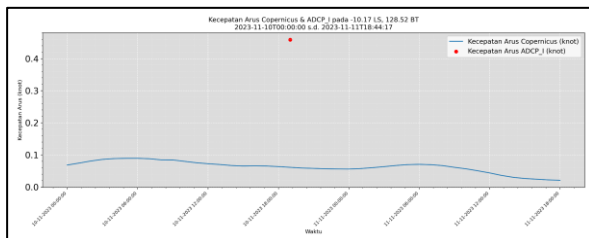
Gambar 21. Perbandingan Kecepatan Arus antara Model Copernicus dengan Pengamatan ADCP_G

Pada pengamatan ADCP_H, gambar 22, terdapat perbedaan terhadap data Copernicus dengan kecepatan arus rata-rata sebesar 0,19 knot, dan arus maksimum sebesar 0,4 knot.



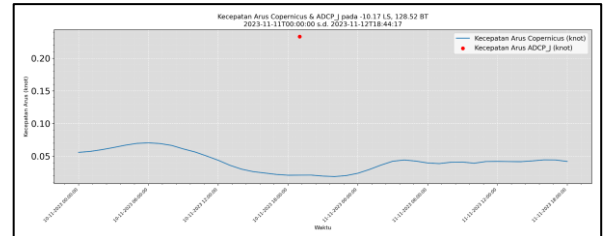
Gambar 22. Perbandingan Kecepatan Arus antara Model Copernicus dengan Pengamatan ADCP_H

Pada pengamatan ADCP_I, gambar 23, terdapat perbedaan terhadap data Copernicus dengan kecepatan arus rata-rata sebesar 0,43 knot, dan arus maksimum sebesar 0,6 knot.



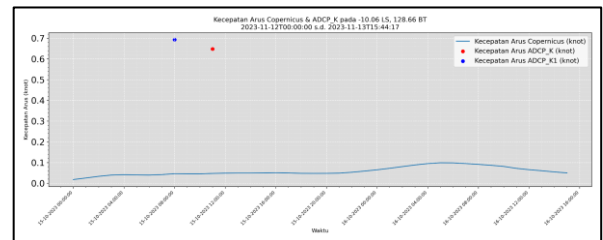
Gambar 23. Perbandingan Kecepatan Arus antara Model Copernicus dengan Pengamatan ADCP_I

Pada pengamatan ADCP_J, gambar 24, terdapat perbedaan terhadap data Copernicus dengan kecepatan arus rata-rata sebesar 0,23 knot, dan arus maksimum sebesar 0,3 knot. Hasil pemodelan mike menunjukkan kecepatan arus berkisar antara 0.06 – 0.12 knot.



Gambar 24. Perbandingan Kecepatan Arus antara Model Copernicus dengan Pengamatan ADCP_J

Pada pengamatan ADCP_K, gambar 25, terdapat perbedaan kecepatan terhadap data Copernicus dengan arus maksimum sebesar 0,7 knot. Hasil pemodelan mike menunjukkan kecepatan arus berkisar antara 0,0006 – 0,007 knot.



Gambar 25. Perbandingan Kecepatan Arus antara Model Copernicus dengan Kelompok Pengamatan ADCP_K

3.3 Prediksi Arus dan Angin

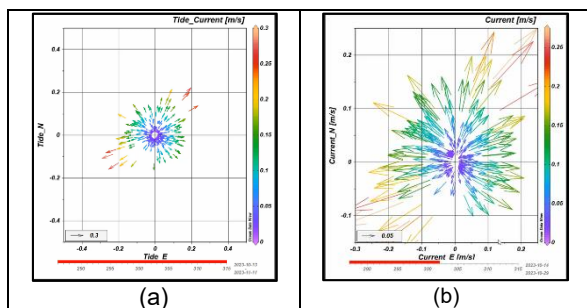
Perbandingan hasil observasi dan prediksi dilaksanakan hanya dua hari mengingat keterbatasan internet di lapangan, beberapa cuplikan prediksi dari portal OFS BMKG yang berhasil didownload, dapat dilihat pada gambar 26, adapun hasil perbandingan yang diperoleh untuk parameter arus dan angin, adalah sebagai berikut,

3.3.1 Prediksi Arus

Hasil pengolahan data Arus Pasut dari data MCM diperoleh arus pasang surut memiliki pola Timur laut dan Barat daya dengan kecepatan maksimum 0,278 m/s, dan kecepatan minimum 0,0055 m/s, dapat dilihat pada Gambar 26.a. Sedangkan arus umum memiliki pola yang sama dengan arus lain hampir sama kuat kecepatannya, kecepatan arus maksimum sebesar 0,273 m/s dan kecepatan arus minimum sebesar 0,00 m/s, dapat dilihat pada Gambar 26.b.

Kondisi arah dan kecepatan arus pengamatan dan prediksi dilaksanakan pada tanggal 15 Oktober 2023, dapat dilihat pada tabel 4.

Pada tanggal 15 Oktober 2023, terdapat pengamatan ADCP pada pukul 09 dan 15 UTC, namun hasilnya masih berbeda dengan prediksi arus permukaan dari Mike 21/3 dan OFS BMKG (Gambar 27). Kecepatan arus yang diamati lebih kecil pada pukul 09 UTC, sedangkan pada pukul 15 UTC sama dengan prediksi BMKG, namun terlalu kecil di prediksi Mike 21/3.



Gambar 26. Profil Arus Pasut (a) *Mooring Current Meter*, (b) Profil Arus Non-Pasut *Mooring Current Meter*

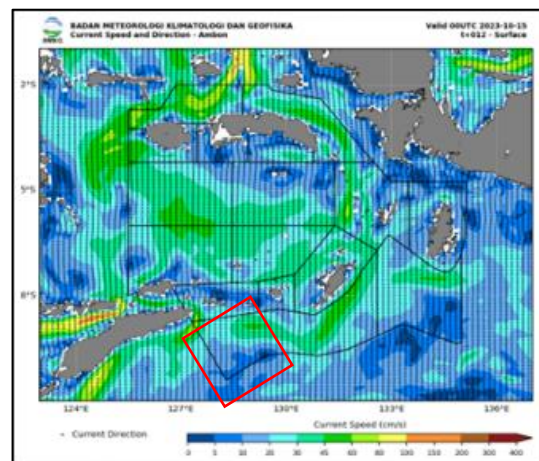
3.3.2 Prediksi Angin

Kondisi arah dan kecepatan angin dibandingkan dengan asumsi bahwa angin dapat mempengaruhi aliran dari arah arus laut permukaan, hasil pengamatan dan prediksi yang dibandingkan adalah pada 15 Oktober 2023, dapat dilihat pada tabel 4, dan tabel 5, kecepatan angin yang teramati oleh AWS Vaisala bervariasi dari lebih rendah 7 knot hingga lebih tinggi mencapai 5 knot dari prediksi OFS BMKG (Gambar 28).

Tabel 4. Perbandingan Prediksi dan Observasi Arus Tanggal 15 Oktober 2023

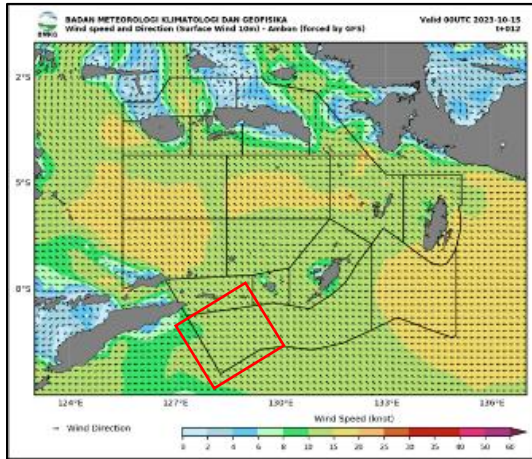
15 Oktober 2023						
UTC	Arah ADCP (deg)	Kec. ADCP (Knot)	Arah BMKG (deg)	Kec. BMKG (Knot)	Arah Mike (deg)	Kec. Mike (knot)
0			225	0.2	315	0.3
3			225	0.1	315	0.35
6			225	0.1	315	0.3
9	120	0.08	225	0.1	315	0.35
12			225	0.2	315	0.25
15	100	0.2	225	0.2	315	0.08
18			225	0.2	315	0.24
21			225	0.1	315	0.36

Pada tanggal 15 Oktober 2023, kondisi angin berbeda hasil arah anginnya antara pengamatan dengan prediksi. Namun untuk kecepatan angin memiliki kesamaan, dengan perbedaan pada beberapa nilai kecepatan angin lebih tinggi 6 knot antara prediksi dengan observasi.



Gambar 27. Prediksi Arus BMKG tanggal 15 Oktober 2023, kala waktu T+012

Hasil pengamatan lainnya dari MAWS mengindikasikan bahwa, kondisi temperatur, tekanan, dan kelembaban udara di perairan Zona Ekonomi Eksklusif, perbatasan antara Indonesia dan Australia yang merupakan area penelitian, memiliki pola yang normal, dan tidak jauh berbeda dengan kondisi klimatologinya, adapun kondisi angin yang teramati berada pada musim peralihan II, pada bulan Oktober 2023.



Gambar 28. Prediksi Angin BMKG tanggal 15 Oktober 2023, kala waktu T+012.

Tabel 5. Perbandingan Prediksi dan Observasi Angin Tanggal 15 Oktober 2023.

UTC (WIB+9)	Arah Vaisala (Deg)	Kec. Vaisala (Knot)	Anomali Kec. Vaisala	Arah BMKG (Deg)	Kec. BMKG (Knot)	Anomali Kec. BMKG
0	E	25,3	5,7	NW	15	4,1
3	ESE	23,5	3,9	NW	15	4,1
6	ENE	25,1	5,5	NW	15	4,1
9	NE	21,4	1,8	SW	8	-2,9
12	SSE	12,4	-7,2	SW	6	-4,9
15	S	14,1	-5,5	W	6	-4,9
18	SSE	17,7	-1,9	W	7	-3,9
21	S	17,4	-2,3	W	15	4,1

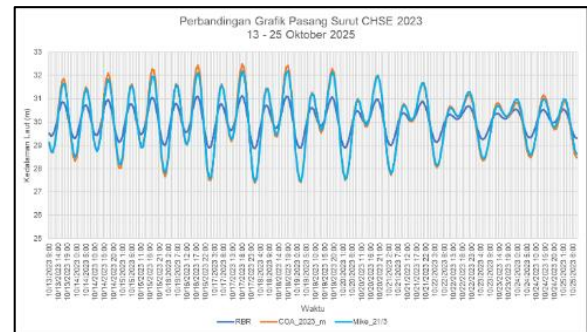
3.3 Pengamatan Pasang Surut

Pengamatan Pasang Surut dilaksanakan dengan menggunakan data tekanan yang dikonversi menjadi ketinggian air dari RBR duo, dengan lokasi dan waktu pengamatan pada tabel 2, dan tabel 3, serta dua data pembandingan yang masing-masing diperoleh dari prediksi COA 2023 pada posisi $-10,32^{\circ}$ LS – $128,40^{\circ}$ BT, dengan datum prediksi sebesar 1.79 meter di bawah MSL, dan prediksi model Mike 21/3. Perbandingan nilai pasang surut dapat dilihat pada gambar 29 dan 30, sedangkan untuk overlay grafik pasang surut dengan waktu pengamatan ADCP dapat dilihat pada gambar 31. Tipe pasang surut dari hasil pengamatan RBR duo adalah Campuran Condong Harian Ganda.

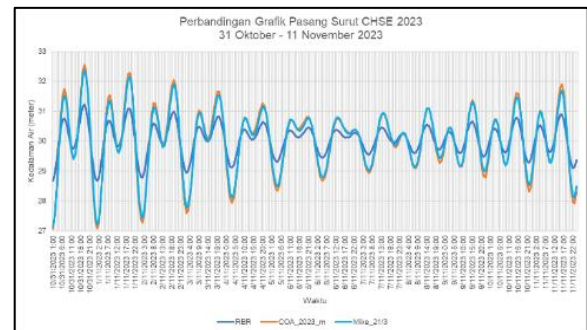
3.4 Transport Ekman

Proses perencanaan latihan, perlu mengetahui beberapa fenomena alam diantaranya adalah Siklon Tropis, wilayah Laut Timor, sering dijumpai pembentukan bibit siklon, dan kadang-kadang muncul Siklon Tropis Seroja (R. Kurniawan *et al.*, 2021), (Riza, Y. S., *et al.*, 2021). Selain itu Siklon

Tropis Ilsa, yang muncul pada bulan April tahun 2023.



Gambar 29. Grafik Pasang Surut RBR_Duo, COA dan Mike 21/3 tanggal 13 s.d. 25 Oktober 2023.



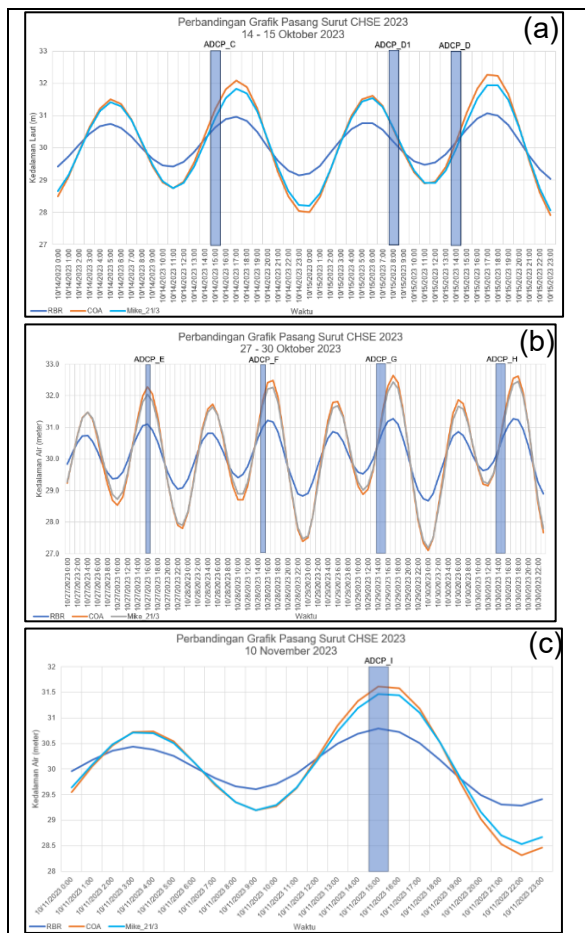
Gambar 30. Grafik Pasang Surut RBR_Duo, COA dan Mike 21/3 tanggal 31 Oktober 2023 s.d. 11 November 2023.

Fenomena tersebut dikhawatirkan muncul saat kegiatan latihan pada bulan oktober s.d. November, namun tidak terjadi dan kondisi laut tenang dengan ketinggian 0,1 – 0,5 meter. Perlu penelitian lebih lanjut terhadap dampak siklon tropis dan berpotensi untuk mengakibatkan *upwelling* di pusat siklon, dan *downwelling* di sekitar pusat siklon dan wilayah lainnya (Gambar 32). Faktor lain penyebab *upwelling* adalah dari dinamika pasang surut, dimana saat pasang cenderung terjadi *upwelling*, dan sebaliknya untuk *downwelling* (Pranowo *et al.*, 2024). Parameter *Ekman Pumping Velocity* (EPV) digunakan untuk mengetahui proses *upwelling* dan *downwelling*, saat nilai EPV positif terjadi *upwelling*, (Ningsih *et al.*, 2025).

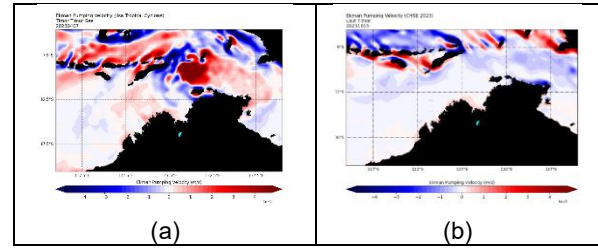
Pada kondisi normal, nilai transport Ekman, pada tanggal 11 dan 12 Oktober 2023, berkisar antara $1,65 - 0,95 \text{ m}^2/\text{s}$. Pada tanggal 14 dan 15 Oktober 2023, berkisar antara $0,15 - 0,9 \text{ m}^2/\text{s}$. Pada tanggal 27, 28,

berkisar antara 0,1 – 0,6 m²/s. Pada tanggal 29 dan 30 Oktober 2023, berkisar antara 0,15 – 0,75 m²/s. Nilai transport Ekman pada kondisi normal lebih kecil dibandingkan saat terjadinya siklon tropis Ilsa, pada tanggal 7 April 2023 yaitu berkisar antara 9,00 – 10,25 m²/s.

Nilai *Ekman Pumping Velocity*, Pada kondisi normal, tanggal 11 dan 12 Oktober 2023, tanggal 14 dan 15 Oktober 2023 dan tanggal 29 – 30 Oktober 2023, berkisar antara 0 – -1 m/s. Pada tanggal 27, 28, berkisar antara -0,8 – 0,8 m/s. Nilai *Ekman Pumping Velocity* pada kondisi normal lebih kecil dibandingkan saat terjadinya siklon tropis Ilsa, pada tanggal 7 April 2023 yaitu berkisar antara 3 - 4 m/s.



Gambar 31. Pengamatan ADCP terhadap kondisi Pasang Surut (a) Tanggal 14 s.d. 15 Oktober 2023, (b) Tanggal 27 s.d. 30 Oktober 2023, (c) Tanggal 10 November 2023.



Gambar 32. Perbedaan Transport Ekman, (a) saat terjadi siklon tropis Ilsa 7 April 2023, dan tanpa siklon tropis, (b) saat kegiatan latihan CHSE 15 Oktober 2023.

4. KESIMPULAN

Proses perencanaan kegiatan latihan dapat didukung dengan data klimatologi arus, angin dan gelombang. Proses *upwelling* maupun *downwelling* dari data ADCP yang dikaitkan dengan kondisi pasang surut, pada setiap pengamatan belum dapat terekam dengan baik proses fisisnya karena durasi observasi yang cukup singkat pada setiap titiknya. Pengamatan ADCP pada setiap pengamatan dipengaruhi oleh arus umum. Pengamatan menggunakan ADCP untuk mengetahui kondisi arus, disarankan agar dilaksanakan dalam rentang waktu yang lebih lama dan stasioner pada satu titik. Arus di Perairan Timor memiliki arah arus pasut menuju ke Timur Laut dan Barat Daya.

Hasil prediksi BMKG dalam portal Ina-Wave, dan Ina-Current sangat bermanfaat dalam memberikan informasi harian kondisi angin, arus dan gelombang di daerah latihan.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Kami mengucapkan banyak terima kasih kepada Pushidrosal atas kesempatan yang diberikan dalam mengikuti kegiatan CHSE, demikian juga atas bantuan teknis dari UNDIP, dan modul python Ekman pumping dari Konferensi Indonesia, sehingga jurnal ini dapat diterbitkan.

6. DAFTAR PUSTAKA

Drushka, K., Sprintall, J., Gille, S.T., Brodjonegoro, I. (2010). Vertical structure of Kelvin waves in the Indonesian Throughflow exit passages. *Journal of Physical Oceanography* 40 (9): 1965-1987.

E.U. Copernicus Marine Service Information (CMEMS). (2023). Timor Sea – Global

- Ocean Physics Analysis and Forecast. *Marine Data Store (MDS)*. DOI: 10.48670/moi-00170 (Accessed on 04 Jul 2023).
- Gordon, A., J. Sprintall, H. M. Van Aken, D. Susanto, S. Wijffels, R. Molcard, A. Ffield, W. Pranowo, & S. Wirasantosa. (2010). The Indonesian Throughflow during 2004-2006 as observed by the INSTANT program. *Dyn. Atmosph. Ocean* 50(2): 115-128. doi:10.1016/j.dynatmoce.2009.12.002.
- Gordon, A. L., R. D. Susanto, A. Ffield, B. A. Huber, W. Pranowo, & S. Wirasantosa. (2008). Makasar strait troughflow, 2004 to 2006. *Geophys. Res. Lett.*, 35, L24605, doi:10.1029/2008GL036372.
- Hendry Siagian, Aris Ismanto, Indra Budi Prasetyawan, Yoga Sukmadewa, Ilham Fathul Hoir, Tri Widya Laksana Putra, Adi Pranata. (2023). Application of Accoustic Doppler Current Profile (ADCP) to Estimate Suspended Solid Concentration (SSC) During the Tidal Phase, Case Study: Donggala, Palu. ICTCRED 7th-2022. IOP Conf. Series: Earth and Environ. Sci. 1224. 012030. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1224/1/012030>
- Kurniawan, A., Pranowo, W. S., Khakim, N., Santoso, A. I., Yasra, E., & Malik, K. (2023). Karakteristik Natuna Off-Shelf Current (NOC) Berdasarkan Komputasi Data Laut Skala Kecil Berbasis Awan: Characteristics of Natuna Off-Shelf Current (NOC) on Cloud-Based Small-Scale Marine Data Computation. *Jurnal Chart Datum*, 9(1), 61–76. <https://doi.org/10.37875/chartdatum.v9i1.259>.
- Libin Ma., Mingting Li., Fei Liu., dan Juan Li. (2024). Indonesian Throughflow promoted eastward propagation of the Madden Julian Oscillation. *npj Clim Atmos Sci* 7, 247. <https://doi.org/10.1038/s41612-024-00787-y>
- Kurniawan R., H. Harsa., M. H. Nurrahmat., A. Sasmito., N. Florida., E. E. S. Makmur., Y. S. Swarimoto., M. N. Habibie., T. F. Hutapea., Hendri., R. S. Sudewi., W. Fitria., A. S. Praja., and F. Adrianita. (2021). The Impact of Tropical Cyclone Seroja to The Rainfall and Sea Wave Height in East Nusa Tenggara. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 925. 012049. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/925/1/012049>
- Majid Samiee-Zenoozian, Mehrdad Shokatian-Beiragh, Masoud Banan-Dallalian, and Aliasghar Golshani. (2023). Study of the effects of coastal structures on the currents inside the bay of Chabahar using coupled flow/wave modeling. 14th International conference on coasts, Ports and Marine Structures. <https://10.13140/RG.2.2.28041.83046>
- Malik, K., Pranowo, W.S., Sukoco, N.B., Adrianto, D., Setiyadi, J., Handoko, D. (2023). Hydrodynamic characteristics of the Lombok Strait during the 2022 West Monsoon peak and estimation of ocean current power generation potential. *Computational And Experimental Research In Materials And Renewable Energy* 6(2): 72-88.
- Mears, C., Lee, T., Ricciardulli, L., Wang, X., Wentz F., (2022). RSS Cross-Calibrated Multi-Platform (CCMP) 6-hourly ocean vector wind analysis on 0.25 deg grid, Version 3.0, Remote Sensing Systems, Santa Rosa, CA. Available at www.remss.com <https://doi.org/10.56236/RSS-uv6h30>
- M. Togneri, Matt L., Simon N., Ian Masters. (2017). Comparison of ADCP observations and 3D model simulations of turbulence at a tidal energy site. Elsevier. *Renewable Energy*. <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2017.03.061>. 114 (2017) 273-282.
- Muliati, Y., Tawekal, R.L., Wurjanto, ., Kelvin, J., Pranowo, W.S. (2018). Application of SWAN model for hindcasting wave height in Jepara Coastal Waters, North Java, Indonesia. *GEOMATE Journal* 15 (48): 114-120.
- Mustikasari, E., L.C. Dewi, A. Heriati, & W.S. Pranowo. (2015). Pemodelan Pola Arus Barotropik Musiman 3 Dimensi (3D)

- Untuk Mensimulasikan Fenomena Upwelling di Perairan Indonesia. *J. Segara* 11(1): 25-35.
- Ningsih NS, Beliyana E, Kamila IH and Tarya A (2025) Long-term characteristics of marine heatwaves (1982–2021) in Indonesian water and their impact on upwelling (case study: Southern Java). *Front. Mar. Sci.* 12:1504995. doi: 10.3389/fmars.2025.1504995
- Noir P. Purba., Noor C.D. Aryanto., Hendra K., Febriawan., Adam B. Nugroho., Mohd. Fazil Akhir., Afifi Johari., Syawaludin A. Harahap., Ghelby M. Faid., M. Hafidz Ilmi., Anom P. Hascaryo., Dyan P. Sobarudin., Candrasa Surya Dharma., Budi Muljana., Cipta Endyana. (2025). Water mass stability and mixing in the Banda Sea derived from global data repository and the Jalacitra II Expedition. *Oceanologia, Polish Academy of Sciences*, <https://doi.org/10.5697/NRGN3078>.
- Pranowo, W.S. (2012). Upwelling-Downwelling Dynamics of Arafura and Timor Seas. *J. Widya Riset* 15(2): 415-424.
- Pranowo, W.S., H. Phillips, S. Wijffels. (2005). Upwelling Event 2003 Along South Java Sea & The Sea of Lesser Sunda Islands. *J. Segara* 1(3): 116-123.
- Peña-Molino, B., Sloyan, B. M., Nikurashin, M., Richet, O., & Wijffels, S. E. (2022). Revisiting the Seasonal Cycle of the Timor Throughflow: Impacts of Winds, Waves and Eddies. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 127(4), e2021JC018133. <https://doi.org/10.1029/2021JC018133>.
- Riza Y. S., R. Dwi Susanto., Anindya Wirasatriya., Inovasita Alifdini., Ardiansyah Desmont Puryajati., Lilik Maslukah. (2021). Impacts of Tropical Cyclone Seroja on the Phytoplankton Chlorophyll-a and Sea Surface Temperature in the Savu Sea Indonesia. *IEEE Xplore*. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3125605>.
- Schlitzer, R. (2023). Ocean Data View, <https://odv.awi.de>.
- Sprintall, J., S. E. Wijffels, R. Molcard, and I. Jaya (2009). Direct estimates of the Indonesian Throughflow entering the Indian Ocean: 2004–2006, *J. Geophys. Res.*, 114, C07001, doi:10.1029/2008JC005257.
- Sutterley, T., Alley, K., Bishop-Taylor, R., Brunt, K., Howard, S., Padman, L., & Siegfried, M. (2025). pyTMD (Version 2.2.2) [Computer software]. <https://doi.org/10.5281/zenodo.555539>
- Umam, C., Pranowo, W.S., Azhari, F.A., Hendra, H., Setiyadi, J. (2024). Analysis of Influence of Cyclone Seroja on Wave Height and Tide in the Indian Ocean. *Omni-Akuatika* 20 (1): 38-49.
- Utamy, R.M., Purba, N.P., Pranowo, W.S., & Suherman, H. (2015). The Pattern of South Equatorial Current and Primary Productivity in South Java Seas. *International Proceedings of Chemical, Biological and Environmental Engineering* 90(24): 152-156. DOI: 10.7763/IPCBE.2015.V90.24.p.152-156.
- Wahab Muhammad A.A, Ben R., Mike C., Jamie C., Marcus S., Martial D., Karen M., Andrew H. (2018). Biodiversity and Spatial Patterns of Benthic Habitat and Associated Demersal Fish Communities at Two Tropical Submerged Reef Ecosystem. *Springer: Coral Reefs*, 37(2). <https://doi.org/10.1007/s00338-017-1655-9>.
- Zhang Y, Han K, Sun Y, Lin Y, Zhai P, Guo X and Zhong W (2024) Impact of ocean mixed layer depth on tropical cyclone characteristics: a numerical investigation. *Front. Mar. Sci.* 11:1395492. doi: 10.3389/fmars.2024.1395492

