

KARAKTERISTIK ARUS LAUT BERDASARKAN DATA MODEL GLOBAL DI PERAIRAN BENOA, BALI

CHARACTERISTICS OF OCEAN CURRENTS BASED ON GLOBAL MODEL DATA IN BENOA WATERS, BALI

Agus Hirmawan¹, Ibnu Abdul Azies¹, & Widodo Setiyo Pranowo^{1, 2}

¹Program Studi Oseanografi. Sekolah Tinggi Teknologi Angkatan Laut (STTAL), Jakarta, Indoensia

²Pusat Riset Iklim dan Atmosfer, Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN), Bandung, Indonesia

E-mail: agush56sttal@gmail.com

ABSTRAK

Perairan Benoa Bali merupakan sebuah wilayah perairan yang terletak disekitar Selatan Pulau Bali, Indonesia yang memiliki keunikan lingkungan geografis dan memengaruhi kehidupan laut serta adanya aktivitas kapal yang keluar masuk ke pelabuhan di dalam Teluk Benoa. Oleh sebab itu diperlukan kajian-kajian yang dapat memberikan informasi terkait parameter oseanografi terutama arus laut guna menunjang keberlangsungan aktivitas laut tersebut. Penelitian ini dilakukan dengan tujuan menganalisis data arus model global untuk melihat karakteristik arus yang terdiri dari arus sirkulasi umum, arus pengaruh angin, arus pengaruh gaya pasang surut, arus yang dibangkitkan oleh gelombang, dan arus sirkulasi total pada rentan waktu 1 tahun yaitu tahun 2022. Data yang diperoleh kemudian diolah menggunakan perangkat lunak atau program komputer *Ocean Data View (ODV)*, untuk mengkonversi data *netcdf* menjadi data ASCII-txt. Selanjutnya data ASCII-txt ini kemudian diplot sebagai mawar arus kemudian dianalisis lebih lanjut. Data arus di Perairan Benoa menunjukkan kecepatan yang kuat (0,4–1,2 m/s) dari Juni hingga Oktober, dengan kecepatan maksimum arus sirkulasi umum (u_0 , v_0) dan arus sirkulasi total (U_{total} , V_{total}) yang mencapai lebih dari 1 m/s, sementara arus pengaruh pasut (U_{tide} , V_{tide}) dan arus pengaruh gelombang (V_{sdx} , V_{sdy}) memiliki kecepatan maksimum di bawah 1 m/s. Arah arus maksimum dominan pada kecepatan maksimum menuju selatan dan baratdaya, dengan pengaruh pasut yang signifikan di depan perairan Teluk Benoa.

Kata kunci: Karakteristik Arus, Arus Sirkulasi Umum, Arus Pengaruh Pasut, Arus Pengaruh Gelombang, Arus Sirkulasi Total, Perairan Benoa.

ABSTRACT

Benoa Waters in Bali is a marine area situated around the south of Bali Island, Indonesia, characterized by unique geographical features that influence marine life and the movement of ships entering and leaving the ports within Benoa Bay. Therefore, studies are needed to provide information on oceanographic parameters, especially current patterns, to support the sustainability of maritime activities. This research aims to analyze global model current data to examine the characteristics of currents,

including general circulation, wind-induced currents, tidal-induced currents, wave-induced currents, and total circulation currents during the vulnerable period of one year, specifically in the year 2022. The obtained data were processed using Ocean Data View (ODV) software or computer programs to convert netcdf data into ASCII-txt data. Subsequently, this ASCII-txt data was plotted as a current rose and further analyzed. The current data in Benoa Waters indicate strong velocities (0.4–1.2 m/s) from June to October, with maximum speeds of general circulation currents (u_o , v_o) and total circulation currents (u_{total} , v_{total}) exceeding 1 m/s. Meanwhile, tidal-induced currents (u_{tide} , v_{tide}) and wave-induced currents (v_{sdx} , v_{sdy}) have maximum speeds below 1 m/s. The dominant direction of maximum currents is towards the south and southwest, with significant tidal influence in front of Benoa Bay.

Keywords: Current Characteristics, General Circulation Currents, Tidal-Induced Currents, Wave-Induced Currents, Total Circulation Currents, Benoa Waters.

PENDAHULUAN

Arus merupakan salah satu faktor penting dalam bidang hidro-oseanografi yang memiliki peran sentral dalam menentukan kondisi suatu perairan. Dalam pergerakannya, arus memiliki arah dan kecepatan, sehingga membentuk pola pergerakan khas di suatu wilayah perairan tertentu. (Permadi *et al.*, 2015). Dalam analisis arus laut, data yang diperoleh diuraikan menjadi sejumlah komponen arus sesuai dengan penyebabnya. Penguraian arus laut tersebut sangat membantu dalam mengklasifikasikan sistem sirkulasi arus. (Theoyana *et al.*, 2015). Arus laut sebagai gerakan horizontal massa air laut yang disebabkan oleh gaya penggerak yang bekerja pada air laut seperti stress angin, gradient tekanan (timbul akibat gradient densitas horizontal, pengaruh angin dan gradient atmosfer), gelombang laut dan pasang surut. (Hendra *et al.*, 2022).

Arus pasang surut terjadi karena tarikan gravitasi bulan dan matahari terhadap air laut, yang mengakibatkan pergerakan horizontal air di sepanjang

pantai dan di dalam perairan. (Hadianto, 2012). Gelombang laut adalah fenomena naik dan penurunan air secara periodik yang terjadi di permukaan air dan disebabkan adanya peristiwa pasang surut. Arus akibat gelombang hanyut, atau *Stokes drift*, adalah pergerakan bersih partikel air dalam lintasan orbital melingkar yang disebabkan oleh gerakan orbital gelombang. Arus ini bertanggung jawab atas transportasi arus permukaan dan pergerakan benda mengapung di permukaan air. (Irawan *et al.*, 2018).

Perairan Benoa Bali merupakan sebuah wilayah perairan yang terletak di sekitar selatan Pulau Bali, Indonesia yang memiliki keunikan lingkungan geografis dan memengaruhi kehidupan laut serta adanya aktivitas kapal yang keluar masuk ke pelabuhan di dalam Teluk Benoa. Perairan Benoa seringkali menjadi pusat perhatian karena memiliki nilai ekologis yang tinggi dan menjadi tempat berbagai kegiatan seperti nelayan, pariwisata, dan transportasi laut. Oleh sebab itu pada perairan ini diperlukan kajian-kajian yang dapat memberikan informasi terkait parameter oseanografi terutama arus laut

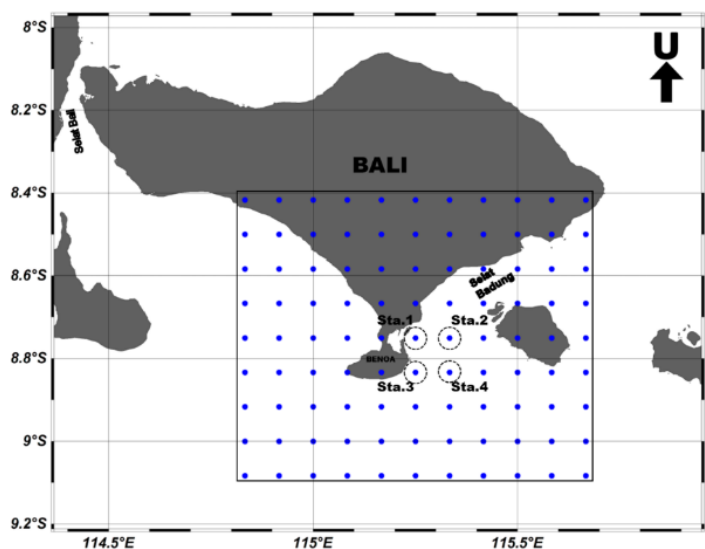
guna menunjang keberlangsungan aktivitas laut tersebut (Tanto *et al.*, 2017). Penelitian ini dilakukan dengan tujuan menganalisis data arus model global untuk melihat karakteristik arus yang terdiri dari arus sirkulasi umum, arus pengaruh angin, arus pengaruh gaya pasang surut, arus yang dibangkitkan oleh gelombang, dan arus sirkulasi total pada rentan waktu 1 tahun yaitu tahun 2022.

BAHAN DAN METODE

Penelitian ini berlokasi di depan perairan Teluk Benoa, sebelah selatan Pulau Bali dengan pengambilan data arus permukaan dari data *marine copernicus* pada koordinat area 08° 30' - 09° 00' LS dan 114° 45' - 115° 30' BT yang ditandai dengan nama Stasiun 1, Stasiun 2, Stasiun 3, dan Stasiun 4. Penelitian mengambil data dari basis data global selama 1 tahun dari 01 Januari sampai dengan 31 Desember 2022. Peta lokasi pengambilan data dapat dilihat dalam Gambar 1.

Data untuk penelitian ini di unduh dari *Global Ocean Physics Analysis and Forecast, Copernicus Marine Environment Monitoring Service (CMEMS)*. Data arus laut pemodelan global ini memiliki resolusi horisontal yang cukup tinggi dengan resolusi temporal sampai dengan per jam. (Armansyah *et al.*, 2022). Produk data berskala global, grid standar dengan resolusi 1/12 derajat (sekitar 9,25 km). Data tersebut berisi satu kumpulan data: *dataset-hourly-merged-uv*, yang mendistribusikan medan kecepatan permukaan zonal (u) dan meridional (v) setiap jam (resolusi temporal penuh) untuk tiga komponen fisik, yaitu arus sirkulasi umum (u_o , v_o), arus pengaruh pasang-surut (u_{tide} , v_{tide}), dan arus pengaruh gelombang (v_{sdx} , v_{sdy}). Penjumlahan linear (total) dari ketiga komponen fisik juga didistribusikan sebagai (u_{total} , v_{total}). Data ini merupakan gabungan dari model-model data asimilasi yang menggambarkan sirkulasi laut, pasang-surut, dan gelombang (Copernicus, 2023)

– u_o (*Eastward sea water velocity*) adalah parameter komponen ke arah timur dari



Gambar 1. Area Penelitian, Sebaran stasiun data observasi yang digunakan pada penelitian ini.

kecepatan air laut. Kecepatan horizontal air yang bergerak ke arah timur bernilai positif sedangkan ke arah barat bernilai negatif. v_o (*Northward sea water velocity*) adalah parameter komponen kecepatan air laut ke arah utara. Kecepatan horizontal air yang bergerak ke arah utara bernilai positif sedangkan ke arah selatan bernilai negatif.

- u_{tide} (*Surface sea water x velocity due to tide*) adalah kecepatan komponen x (ke arah timur) air laut permukaan yang disebabkan oleh pasang-surut (*tide*). v_{tide} (*Surface sea water y velocity due to tide*) adalah kecepatan komponen y (ke arah utara) air laut permukaan dalam yang disebabkan oleh pasang-surut (*tide*).
- v_{sdx} (*Sea surface wave stokes drift x velocity*) adalah kecepatan komponen x (ke arah timur) dari arus Stokes di permukaan laut yang dihasilkan oleh pengaruh gelombang laut. v_{sdy} (*Sea surface wave stokes drift y velocity*) adalah kecepatan komponen y (ke arah utara) dari arus stokes di permukaan laut yang dihasilkan oleh pengaruh gelombang laut.
- u_{total} (*Surface sea water x velocity*) mengacu pada komponen kecepatan arus laut permukaan ke arah timur pada suatu lokasi tertentu yang dipengaruhi oleh sirkulasi umum, pasang-surut, dan gelombang laut. v_{total} (*Surface sea water y velocity*) mengacu pada komponen kecepatan arus laut permukaan ke arah utara pada suatu lokasi tertentu yang dipengaruhi oleh sirkulasi umum, pasang-surut, dan gelombang laut.

Menurut Semba *et al.* (2019) dalam Rori *et al.*, (2023) menjelaskan bahwa untuk menentukan kecepatan arus permukaan yang diketahui komponen u (kecepatan ke arah timur) dan v

(kecepatan ke arah utara) maka dapat dilakukan dengan perhitungan:

$$V = \sqrt{u^2 + v^2}$$

dimana:

- V : *current velocity* (kecepatan arus) (m/s)
- u : *Eastward velocity* (kecepatan ke arah timur) (m/s)
- v : *Northward velocity* (kecepatan ke arah utara) (m/s).

Selanjutnya menurut Rampengan (2009) dalam Rori *et al.*, (2023) menyatakan bahwa arah arus dapat dihitung dengan menentukan sudut alfa (α) terlebih dahulu dengan persamaan sebagai berikut:

$$\alpha^\circ = |\text{atg}(X/Y)|$$

dimana:

- α° = sudut alfa
- atg = *arctangen*
- X = koordinat bujur
- Y = koordinat lintang.

Kemudian menurut Rampengan (2009) dalam Modalo (2018) menjelaskan bahwa dalam menentukan arah arus, dilakukan perhitungan mengikuti beberapa syarat kondisi terhadap koordinat X dan Y sebagai berikut:

- Jika $X = (+)$ dan $Y = (+)$, maka arah = $90^\circ - \alpha$
- Jika $X = (-)$ dan $Y = (+)$, maka arah = $90^\circ + \alpha$
- Jika $X = (-)$ dan $Y = (-)$, maka arah = $270^\circ - \alpha$
- Jika $X = (+)$ dan $Y = (-)$, maka arah = $270^\circ + \alpha$
- Jika $X = 0$ dan $Y = (+)$, maka arah = 0°
- Jika $X = 0$ dan $Y = (-)$, maka arah = 180°
- Jika $X = (+)$ dan $Y = 0$, maka arah = 90°
- Jika $X = (-)$ dan $Y = 0$, maka arah = 270°

Data yang diperoleh kemudian diolah menggunakan perangkat lunak atau

program komputer *Ocean Data View* (ODV) (Schlitzer, 2023), untuk mengkonversi data *netcdf* menjadi data ASCII-txt. Data ASCII-txt ini kemudian diplot sebagai mawar arus kemudian dianalisis lebih lanjut.

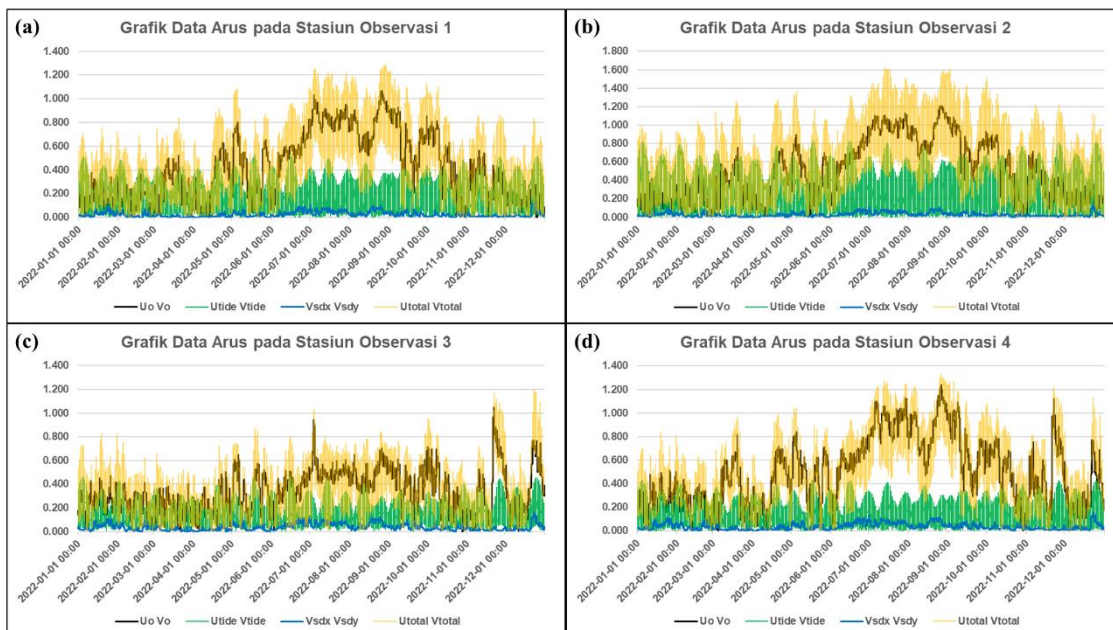
HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Kecepatan dan Arah Arus di 4 Stasiun Observasi Virtual

Dari stasiun observasi virtual tersebut didapatkan data arus selama 1 tahun mulai dari 1 Januari sampai dengan 31 Desember 2022, yang terdiri dari arus sirkulasi umum (u_o, v_o), arus pengaruh pasut (u_{tide}, v_{tide}), arus pengaruh gelombang (v_{sdx}, v_{sdy}), dan arus sirkulasi total (u_{total}, v_{total}). Data arus tersebut ditampilkan Gambar 2.

Menurut Emery & Thomson (1998) dalam Theoyana *et al.*, (2014), penyajian data di bidang oseanografi ke dalam grafik *timeseries* mempermudah pendeskripsian

perubahan yang terjadi dilapangan dalam fungsi waktu, hal ini memungkinkan penyaji atau pengguna data memberikan komentar ataupun kesimpulan atas data yang didapatkan. Gambar 2, menampilkan kecepatan arus pada komponen arus sirkulasi umum (u_o, v_o) dengan warna hitam, arus pengaruh pasut (u_{tide}, v_{tide}) dengan warna hijau, arus pengaruh gelombang (v_{sdx}, v_{sdy}) dengan warna biru dan arus sirkulasi total (u_{total}, v_{total}) dengan warna kuning. Dari data arus sirkulasi umum dan arus sirkulasi total selama 1 tahun pada tahun 2022 di 4 stasiun observasi virtual terlihat nilai kecepatan arus yang kuat yaitu bulan Juni sampai dengan Oktober yaitu pada rentan 0,2 – 1,2 m/s. Data arus tersebut kemudian diolah sehingga didapatkan nilai kecepatan arus maksimum, arus minimum dan arus rata-rata di setiap stasiun observasi. Tabel 1 menyajikan nilai arus maksimum, arus minimum dan arus rata-rata pada 4 stasiun observasi.



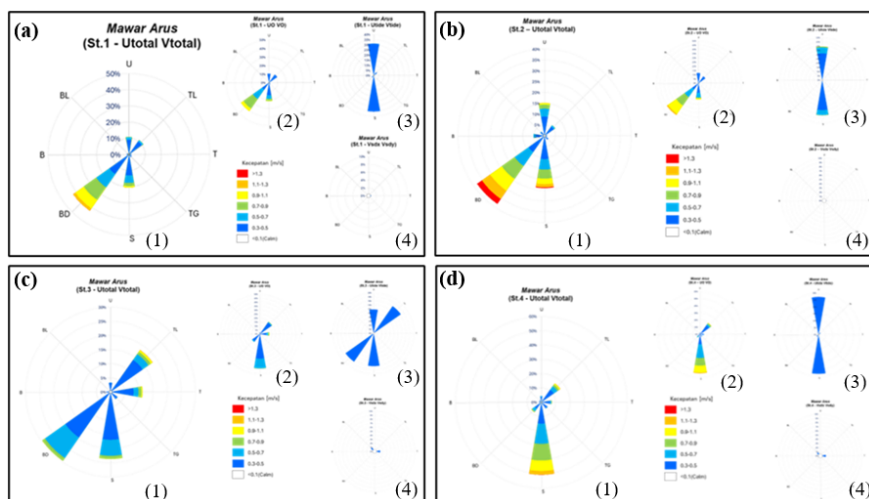
Gambar 2. Grafik Data Arus Pada Stasiun Observasi Virtual : (a) Stasiun 1; (b) Stasiun 2; (c) Stasiun 3; (d) Stasiun 4.

Tabel 1. Nilai Kecepatan Arus Maksimum, Arus Minimum dan Arus Rata-rata di 4 Stasiun Observasi Virtual.

Stasiun	Komponen	uo vo (m/s)	utide vtide (m/s)	vsdx vsdy (m/s)	utotal vttotal (m/s)
1	Arus Maksimum	1.069	0.530	0.136	1.287
	Arus Minimum	0.000	0.001	0.000	0.003
	Arus Rata-rata	0.410	0.183	0.027	0.444
2	Arus Maksimum	1.209	0.834	0.136	1.620
	Arus Minimum	0.007	0.001	0.000	0.001
	Arus Rata-rata	0.486	0.286	0.029	0.565
3	Arus Maksimum	1.049	0.461	0.158	1.197
	Arus Minimum	0.002	0.003	0.000	0.002
	Arus Rata-rata	0.334	0.140	0.037	0.356
4	Arus Maksimum	1.237	0.428	0.158	1.329
	Arus Minimum	0.003	0.000	0.000	0.003
	Arus Rata-rata	0.496	0.141	0.037	0.508

Tabel 1 menunjukkan bahwa kecepatan arus maksimum pada komponen arus sirkulasi umum (u_o , v_o) dan arus sirkulasi total (U_{total} , V_{total}) pada semua stasiun observasi nilainya lebih dari 1 m/s, sedangkan komponen arus pengaruh pasut (U_{tide} , V_{tide}) dan arus pengaruh gelombang (V_{sdx} , V_{sdy}) nilainya

kurang dari 1 m/s. Komponen arus pengaruh gelombang (V_{sdx} , V_{sdy}) pada semua stasiun observasi memiliki nilai kecepatan arus maksimum yang kecil yaitu 0,136 m/s dan 0,158 m/s. Untuk menentukan arah arus, data arus pada setiap stasiun observasi diplot menggunakan mawar arus. Gambar 3



Gambar 3. Diagram Mawar Arus pada 4 Stasiun Observasi Virtual. (a) Stasiun 1; (b) Stasiun 2; (c) Stasiun 3; (d) Stasiun 4. Terdiri dari komponen (1) Arus Sirkulasi Total (u_{total} , v_{total}); (2) Arus Sirkulasi Umum (u_o , v_o); (3) Arus Pengaruh Pasut (u_{tide} , v_{tide}); (4) Arus Pengaruh Gelombang (v_{sdx} , v_{sdy}).

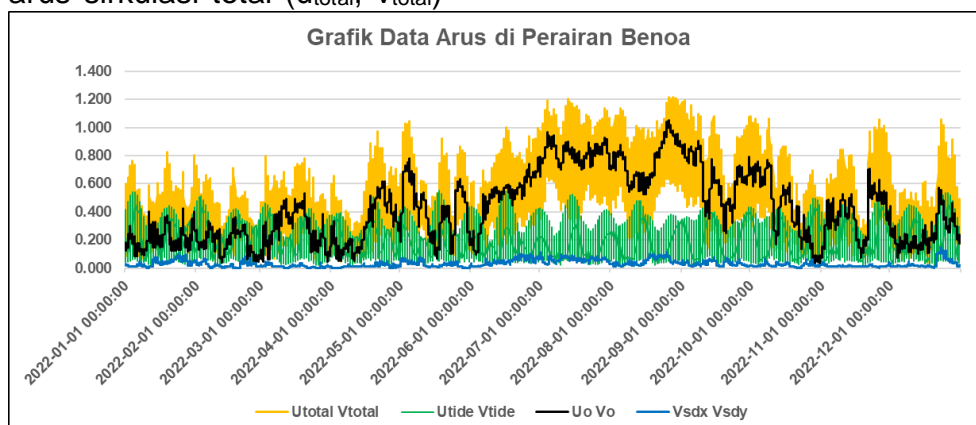
menyajikan diagram mawar arus pada 4 stasiun observasi virtual yang menampilkan arah arus masing-masing komponen arus. Tanto *et al.*, (2017) menyatakan bahwa nilai kecepatan arus dapat mencapai maksimum ketika muka air laut sesaat akan menuju nilai tertinggi dan juga sesaat menuju surut terendah.

Theoyana *et al.*, (2015) menyatakan dengan bantuan mawar arus, kita dapat melihat dominasi arah arus di lokasi penelitian dengan tingkat volume datanya. Masukan yang dibutuhkan dalam tampilan ini adalah kecepatan dan arah dari arus yang sudah direkam. Arus dibaca dari pusat menuju ke arah luar (arah mata angin). Dari gambar 3, diagram mawar arus diatas dapat dilihat pada stasiun 1 menunjukkan komponen arus sirkulasi total (u_{total} , v_{total}) dominan arah arus menuju utara, timurlaut, selatan dan baratdaya dengan arah arus signifikan terbesar yaitu arus menuju arah baratdaya. pada stasiun 2 menunjukkan komponen arus sirkulasi total (u_{total} , v_{total}) dominan arah arus menuju utara, selatan dan baratdaya dengan arah arus signifikan terbesar yaitu arus menuju arah baratdaya. Pada stasiun 3 menunjukkan komponen arus sirkulasi total (u_{total} , v_{total})

dominan arah arus menuju timurlaut, timur, selatan dan baratdaya dengan arah arus signifikan terbesar yaitu arus menuju arah baratdaya. Pada stasiun 4 menunjukkan komponen arus sirkulasi total (u_{total} , v_{total}) dominan arah arus menuju timurlaut dan selatan dengan arah arus signifikan terbesar yaitu arus menuju arah selatan. Komponen arus sirkulasi umum (u_o , v_o) pada semua stasiun menampilkan arah arus yang relatif sama dengan komponen arus sirkulasi total (u_{total} , v_{total}). Komponen arus pengaruh pasut (u_{tide} , v_{tide}) menunjukkan arah yang sama pada semua stasiun yaitu arah arus menuju utara dan selatan. Sedangkan komponen arus pengaruh gelombang (v_{sdx} , v_{sdy}) memiliki nilai yang kecil sehingga arah arus tidak terlihat dan tidak berpengaruh terhadap arah komponen arus sirkulasi total (u_{total} , v_{total}).

Karakteristik Kecepatan dan Arah Arus di Perairan Benoa Bali

Data Arus di Perairan Benoa Bali diperoleh dari perataan data arus di 4 stasiun observasi virtual. Berikut grafik data arus di Perairan Benoa selama 1 tahun.

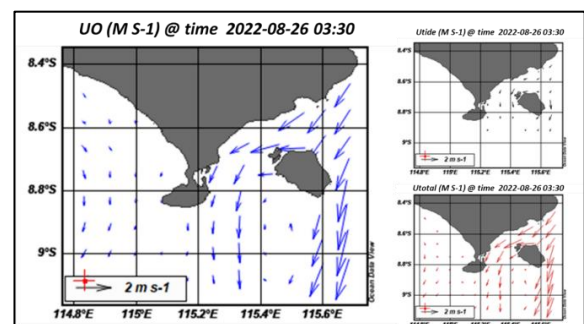


Gambar 4. Grafik Data Arus Hasil Perataan Data di 4 Stasiun Observasi Virtual pada gambar 2 di depan Perairan Benoa, Bali.

Rochaddi *et al.*, (2021) menyatakan bahwa informasi tentang arus secara *time series* ini sangat penting dilakukan, harapannya dapat menjadi salah satu pertimbangan dalam pengambilan kebijakan terkait dengan pemanfaatan kawasan tersebut. Grafik data arus pada Gambar 4 menampilkan kecepatan arus pada komponen arus sirkulasi total (u_{total} , v_{total}) dengan warna kuning, arus yang dipengaruhi pasut (u_{tide} , v_{tide}) dengan warna hijau, arus sirkulasi umum (u_o , v_o) dengan warna hitam dan arus yang dipengaruhi gelombang (v_{sdx} , v_{sdy}) dengan warna biru. Dari data arus sirkulasi total dan arus sirkulasi umum selama 1 tahun pada tahun 2022 terlihat nilai kecepatan arus yang kuat terjadi pada bulan Juni sampai dengan Oktober yaitu pada rentan 0,4 – 1,2 m/s. Data tersebut kemudian diolah sehingga didapatkan nilai kecepatan arus maksimum, arus minimum dan arus rata-rata di Perairan Benoa. Tabel 2 menyajikan nilai arus maksimum, arus minimum dan arus rata-rata di Perairan Benoa.

Tabel 2 menunjukkan bahwa kecepatan arus maksimum pada komponen arus sirkulasi umum (u_o , v_o) dan arus sirkulasi total (u_{total} , v_{total}) nilainya lebih dari 1 m/s, sedangkan komponen arus pengaruh pasut (u_{tide} , v_{tide}) dan arus pengaruh gelombang (v_{sdx} , v_{sdy}) nilainya kurang dari 1 m/s. Komponen arus

pengaruh gelombang (v_{sdx} , v_{sdy}) memiliki nilai kecepatan arus maksimum yang kecil yaitu 0,147 m/s. Data arus maksimum pada komponen arus kemudian dicari waktunya dan selanjutnya diplot pada *software* ODV untuk melihat pola arah arus pada kecepatan arus maksimum tiap komponen. Kecepatan arus maksimum pada komponen arus sirkulasi umum (u_o , v_o) yaitu 1,053 m/s terjadi pada tanggal 26 Agustus 2022 jam 03.30. Kecepatan arus maksimum pada komponen arus pengaruh pasut (u_{tide} , v_{tide}) yaitu 0,551 m/s terjadi pada tanggal 18 Mei 2022 jam 17.30. Kecepatan arus maksimum pada komponen arus sirkulasi total (u_{total} , v_{total}) yaitu 1,217 m/s terjadi pada tanggal 26 Agustus 2022 jam 08.30. Berikut gambar 5 yang menampilkan *surface windows* ODV arus sirkulasi umum (u_o , v_o) maksimum, arus pengaruh pasut (u_{tide} ,



Gambar 5. Tampilan *Surface Windows* ODV Arah dan Kecepatan Arus Pada Waktu Arus Sirkulasi Umum Maksimum; (a) Arus Sirkulasi Umum (u_o , v_o); (b) Arus Pengaruh Pasut (u_{tide} , v_{tide}); dan (c) Arus Sirkulasi Total (u_{total} , v_{total}).

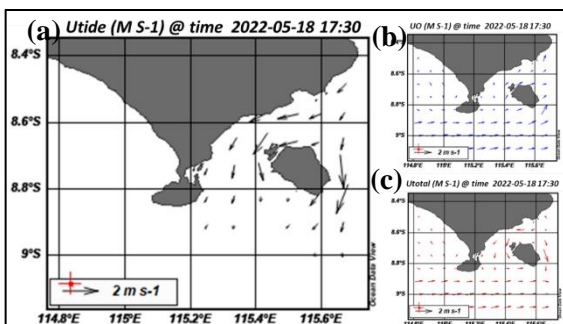
Tabel 2. Nilai Kecepatan Arus Maksimum, Arus Minimum dan Arus Rata-rata di Perairan Benoa.

Komponen	u_o v_o	u_{tide} v_{tide}	v_{sdx} v_{sdy}	u_{total} v_{total}
Arus Maksimum	1,053	0,551	0,147	1,217
Arus Minimum	0,025	0,015	0,000	0,041
Arus Rata2	0,431	0,187	0,032	0468
Waktu Arus Maks	2022-08-26 03:30	2022-05-18 17:30	2022-12-23 11:30	2022-08-26 08:30

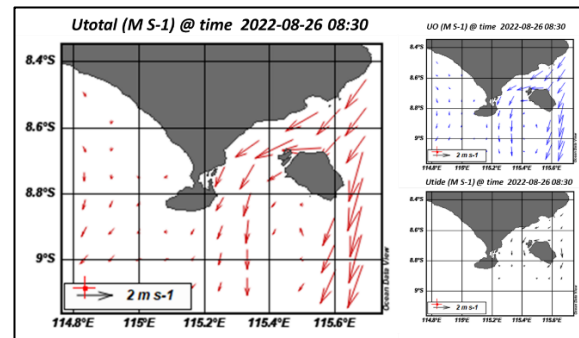
V_{tide}) maksimum dan arus sirkulasi total (U_{total} , V_{total}) maksimum.

Menurut Hendrawan *et al.*, (2014), sirkulasi laut di dalam Teluk Benoa dikendalikan oleh aliran masuk dari Selat Badung dan Samudra Hindia. Pasang surut dan arus pasang merupakan ciri khas sirkulasi air di Teluk Benoa, yang sebagian besar dipengaruhi oleh air laut dari Selat Badung. Gambar 5 menampilkan arah komponen arus sirkulasi umum (u_o , v_o). Pada saat kecepatan arus maksimum yang terjadi pada tanggal 26 Agustus 2022 jam 03.30, arah arus dominan menuju selatan dan baratdaya. Pada waktu yang sama komponen arus pengaruh pasang (U_{tide} , V_{tide}) dan komponen arus sirkulasi total (u_{total} , v_{total}) menunjukkan arah yang sama dengan komponen arus sirkulasi umum (u_o , v_o).

Gambar 6 menampilkan arah komponen arus pengaruh pasang (U_{tide} , V_{tide}). Data arus yang dipengaruhi oleh pasang terlihat berada pada area sekitar Selat Badung (depan Teluk Benoa). Hal itu menunjukkan di daerah tersebut pasang berpengaruh besar terhadap arus. Hasil penelitian Tanto *et al.*, (2017) Arus laut yang terjadi di perairan Teluk Benoa Bali secara umum dipengaruhi secara



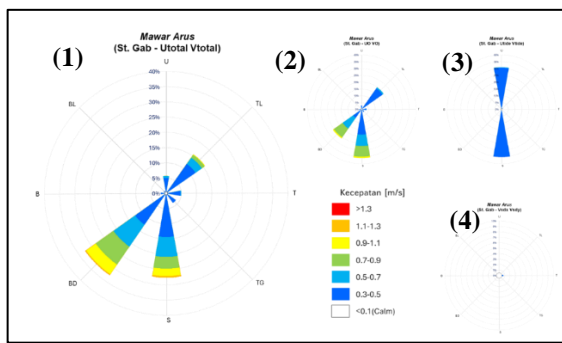
Gambar 6. Tampilan *Surface Windows* ODV Arah dan Kecepatan Arus pada waktu Arus Pasang Maksimum; (a) Arus Pengaruh Pasut (u_{tide} , v_{tide}); (b) Arus Sirkulasi Umum (u_o , v_o); dan (c) Arus Sirkulasi Total (u_{total} , v_{total}).



Gambar 7. Tampilan *Surface Windows* ODV Arah dan Kecepatan Arus pada waktu Arus Sirkulasi Total Maksimum; (a) Arus Sirkulasi Total (u_{total} , v_{total}); (b) Arus Sirkulasi Umum (u_o , v_o); dan (c) Arus Pengaruh Pasut (u_{tide} , v_{tide}).

signifikan oleh pasang surut air laut. Sehingga hal tersebut membuktikan bahwa adanya kesamaan antara pengamatan langsung dengan data arus model global. Pada saat kecepatan arus maksimum yang terjadi pada tanggal 18 Mei 2022 jam 17.30, arah arus dominan menuju selatan dan baratdaya. Pada waktu yang sama komponen arus sirkulasi umum (u_o , v_o) dan komponen arus sirkulasi total (U_{total} , V_{total}) menunjukkan arah yang sama terhadap komponen arus pengaruh pasang (U_{tide} , V_{tide}).

Gambar 7 menampilkan arah dan kecepatan arus pada waktu arus sirkulasi total maksimum. Pada saat kecepatan arus maksimum yang terjadi pada tanggal 26 Agustus 2022 jam 08.30, arah arus dominan menuju selatan dan baratdaya. Pada waktu yang sama komponen arus sirkulasi umum dan komponen arus pengaruh pasang menunjukkan arah yang sama dengan komponen arus sirkulasi total. Untuk menentukan arah arus dominan, data arus di Perairan Benoa diplot menggunakan mawar arus. Berikut



Gambar 8. Diagram Mawar Arus Hasil dari Perataan Data di 4 Stasiun Observasi Virtual. Terdiri dari komponen (1) Arus Sirkulasi Total (U_{total} , V_{total}); (2) Arus Sirkulasi Umum (u_o , v_o); (3) Arus Pengaruh Pasut (U_{tide} , V_{tide}); (4) Arus Pengaruh Gelombang (v_{sdX} , v_{sdy}).

Gambar 8 yang menyajikan diagram mawar arus yang menampilkan arah arus masing-masing komponen arus. Dari Gambar 8, dapat dilihat di Perairan Benoa menunjukkan komponen arus sirkulasi total (U_{total} , V_{total}) dominan arah arus menuju timurlaut, selatan dan baratdaya dengan arah arus signifikan terbesar yaitu arus menuju arah baratdaya. Komponen arus sirkulasi umum (u_o , v_o) dominan arah arus menuju timurlaut, selatan dan baratdaya dengan arah arus signifikan terbesar yaitu arus menuju arah selatan. Komponen arus pengaruh pasut (U_{tide} , V_{tide}) menunjukkan arah arus menuju utara dan selatan. Sedangkan komponen arus pengaruh gelombang (v_{sdX} , v_{sdy}) memiliki nilai yang kecil sehingga arah arus tidak terlihat dan tidak berpengaruh terhadap arah komponen arus sirkulasi total (U_{total} , V_{total}). Menurut Tanto *et al.*, (2017) untuk arah arus secara umum di mulut Teluk Benoa adalah ke arah baratdaya saat air laut menuju pasang dan arah timurlaut saat air laut menuju surut, yang dapat berarti kejadian arus dominan dipengaruhi oleh kondisi tinggi muka air laut di perairan

Teluk Benoa. Hal ini menunjukkan bahwa data arah arus dari data global dibandingkan dengan data primer dominan arah yang sama yaitu menuju baratdaya.

KESIMPULAN

Data arus Perairan Benoa menunjukkan kecepatan yang kuat (0,4–1,2 m/s) dari Juni hingga Oktober, dengan kecepatan maksimum arus sirkulasi umum (u_o , v_o) dan arus sirkulasi total (U_{total} , V_{total}) yang mencapai lebih dari 1 m/s, sementara arus pengaruh pasut (U_{tide} , V_{tide}) dan arus pengaruh gelombang (v_{sdX} , v_{sdy}) memiliki kecepatan maksimum di bawah 1 m/s. Arah arus maksimum dominan pada kecepatan maksimum menuju selatan dan baratdaya, dengan pengaruh pasut yang signifikan di depan perairan Teluk Benoa.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami mengucapkan terima kasih kepada Dosen Ilmu Kebumihan Lanjutan atas bimbingan, saran dan masukan dalam penyusunan penelitian ini. Kami juga mengucapkan terima kasih kepada Kaprodi S2 beserta seluruh Staf Prodi Oseanografi STTAL yang telah memberikan fasilitas belajar, dan kepada rekan-rekan Mahasiswa S2 Prodi Oseanografi STTAL angkatan XI (sebelas) serta semua pihak yang telah berperan membantu dalam proses penyusunan penelitian dan penulisan naskah ilmiah ini.

DAFTAR PUSTAKA

Armansyah, D., Sukoco, N.B., Kamija, Adrianto, D., Dewantono, L., & Pranowo, W.S. (2019). Purwarupa Dukungan Data Arus Laut Operasional Bersumber dari *Copernicus Marine Environment Monitoring Service* (CMEMS) dalam

- Format AML IWC Arus Laut untuk TNI AL. *Jurnal Chart Datum*, 5(1), 1-16.
<https://doi.org/10.37875/chartdatum.v5i1.142>
- Copernicus, (2023). *Product User Manual For Global Ocean Physical Analysis and Forecasting Product November 2023*. s.l.:Copernicus EU.
<https://doi.org/10.48670/moi-00016>
- Hadianto, T. R. (2012). *Kajian Karakteristik Arus di Pantai Tamban Kabupaten Malang Jawa Timur*. Skripsi. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan: Universitas Brawijaya. Diakses 5 Desember 2023, dari <http://repository.ub.ac.id/id/eprint/132942>
- Hendra, H., Pranowo, W.S., Aji, T., Mukhlis, & Agustinus, A. (2022). Karakteristik Arus Musiman di Selat Sunda. *Jurnal Chart Datum*, 8(2), 117–124.
<https://doi.org/10.37875/chartdatum.v8i2.146>
- Hendrawan I Gede & Asai Koji. (2014). *Numerical study on tidal currents and seawater exchange in the Benoa Bay, Bali, Indonesia*. *Acta Oceanologica Sinica*, 33(3): 90–100.
<https://doi.org/10.1007/s13131-014-0434-5>
- Irawan, S., Fahmi, R., & Roziqin, A. (2018). Kondisi Hidro-Oseanografi (Pasang Surut, Arus Laut, Dan Gelombang) Perairan Nongsa Batam. *Jurnal Kelautan*, 11(1), 56-68.
<http://doi.org/10.21107/jk.v11i1.4496>
- Modalo, R. J. (2018). Arah dan Kecepatan Arus Perairan Sekitar Pulau Bunaken pada Periode Umur Bulan Perbani di Musim Pancaroba II. *Jurnal Pesisir dan Laut Tropis*, 1(1), 61-68.
<https://doi.org/10.35800/jplt.6.1.2018.20201>
- Permadi, L.C., Indrayanti, E., & Rochaddi, B. (2015). Studi Arus pada Perairan Laut di Sekitar PLTU Sumuradem Kabupaten Indramayu, Provinsi Jawa Barat. *Jurnal Oseanografi*, 4(2), 516-523.
- Rampengan, R. M. (2009). Pengaruh Pasang Surut pada Pergerakan Arus Permukaan di Teluk Manado. *Jurnal Perikanan dan Kelautan*, 5(3), 15-19.
- Rochaddi, B., Ismanto, A., Suryono, C.A., & Widada, S. (2021). Variasi Temporal Karakteristik Arus di Perairan Tanjung Jati, Jepara. *Jurnal Kelautan Tropis*, 24(2), 255-264.
<https://doi.org/10.14710/jkt.v24i2.11073>
- Rori J., Angmalisang P.A., Pelle, W.E., Kumampung, D.R.H., Djamaluddin R., & Rampengan, R.M. (2023). Karakteristik Arus Laut di Selat Lembeh Sulawesi Utara. *Jurnal Ilmiah Platax*, 11(2), 577-588.
<https://doi.org/10.35800/jip.v11i2.48869>
- Schlitzer, Reiner (2023). *Ocean Data View*, <https://odv.awi.de>.
- Semba, M., Limpkin, R., Kimirei, I., Shanghude, Y., & Nyandwi, N.

(2019). *Seasonal and Spatial Variation of Surface Current in the Pemba Channel, Tanzania*. *Plos One*, 1- 21.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0210303>

Tanto, A.T., Wisna, U.J., Kusumah, G., Pranowo, W.S., Husrin, S., Ilham, I., & Putra, A. (2017). Karakteristik Arus Laut Perairan Teluk Benoa-Bali. *Jurnal Ilmiah Geomatika*, 23(1), 37-48.

<https://doi.org/10.24895/JIG.2017.23-1.63137>

Theoyana, T. A., Purwanto, P., & Pranowo, W.S. (2014). Potensi Energi Arus Laut pada Berbagai Kedalaman untuk Pembangkit Listrik di Selat Badung, Bali. *Journal of Oceanography*, 4(1), 262–269.

Theoyana, T.A., Widodo, S.P., Anastasia, R. T. D. K., & Purwanto. (2015). Pola dan Karakteristik Arus Pasang Surut di Selat Badung, Bali. *Jurnal Segara*, 11(2), 115-123.

<http://dx.doi.org/10.15578/segara.v11i2.9086>