

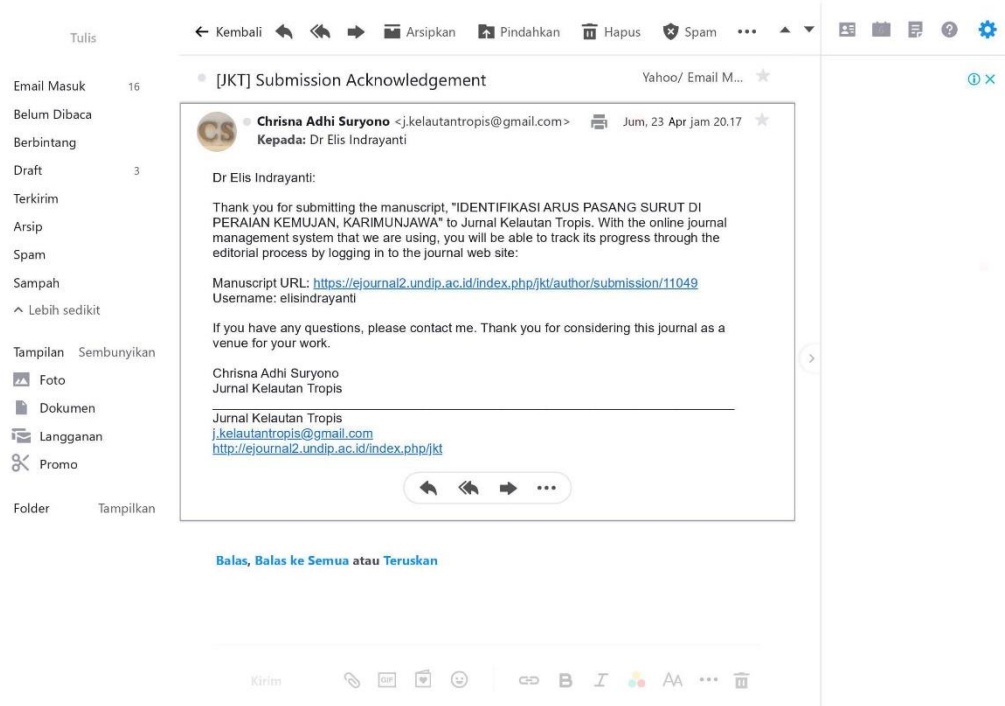
KORESPONDENSI PAPER

JUDUL : Identifikasi Arus Pasang Surut di Perairan Kemujan, Karimun Jawa Berdasarkan Data Pengukuran Acoustic Doppler Current Profiler

JURNAL : Jurnal Kelautan Tropis

NO	AKTIFITAS	TANGGAL	KETERANGAN	HALAMAN
1	Submitted	23 April 2021	Email : manuskrip telah diterima	2
2	Review	13 Mei 2021	Manuskrip hasil revisi dari reviewer (Nama file = 11049-36295-1-RV-docx)	3
3	Revisi	25 Mei 2021	Manuskrip revisi final	11
4	Accepted	28 Mei 2021		19
5	Published	30 Mei 2021	Published	19

1. Submit Manuskrip



2. Manuskrip hasil review dari reviewer (Nama file = 11049-36295-1-RV-docx)

IDENTIFIKASI ARUS PASANG SURUT DI PERAIAN KEMUJAN, KARIMUNJAWA

Elis Indrayanti^{1*}, Denny Nugroho Sugianto¹, Purwanto¹, Hendry Syahputra Siagian¹

¹Departemen Oseanografi, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro
Email: *elisindrayanti@yahoo.com

Abstract

Ocean currents are dynamic hydro-oceanographic parameters and play an important role in the transport of nutrients, larvae, sediment, and so on. Therefore, the identification of ocean currents including velocity, direction, sea level and circulation patterns need to be studied. The research was conducted in Kemujan Water, which is one of the islands in Karimunjawa. The research method used direct measurements using the Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP) for 3 x 24 hours. Furthermore, the raw data of the measurement are analyzed using least square methods to obtain the characteristic of tidal current. Result shown that the characteristic of current in Kemujan Water, Karimunjawa was tidal current. Tidal current moves bi-directional, toward the northeast and the southwest.

Keyword : tidal current, tides, Kemujan Island, ADCP

Abstrak

Arus laut merupakan parameter hidro-oseanografi yang dinamis dan mempunyai peran penting dalam transpor nutrisi, larva, material, dan lain sebagainya. Oleh karena itu identifikasi arus laut meliputi kecepatan, arah, elevasi muka air laut dan pola sirkulasinya perlu untuk dikaji. Penelitian dilaksanakan di Perairan Kemujan yang merupakan salah satu gugusan pulau di Karimunjawa. Metode penelitian dilakukan dengan pengukuran langsung menggunakan Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP) selama 3 x 24 jam. Selanjutnya raw data hasil pengukuran diolah dengan metode least square untuk mengetahui karakteristik arus pasang surut. Hasil penelitian menunjukkan bahwa arus di Perairan Kemujan, Karimunjawa merupakan arus yang dominan dibangkitkan oleh pasang surut. Arus bergerak secara bertolak belakang (bi-directional) yaitu pada saat surut menuju pasang arah arus menuju ke timur laut dan pada saat pasang menuju surut arah arus menuju ke barat daya.

Kata kunci : pasang surut, arus pasang surut, Pulau Kemujan, ADCP

PENDAHULUAN

Arus laut sebagai dasar gerakan di Samudra memegang peranan penting dalam transportasi nutrisi, transportasi larva, transportasi material, perkembangan perikanan laut, produktivitas primer permukaan, dan juga menunjang aktifitas manusia seperti dalam kegiatan pertambangan, penentuan lokasi peralatan bawah air, pariwisata dan lain sebagainya (Zheng et al., 2018). Studi intensif tentang angin permukaan, gelombang laut, arus laut, dan faktor lingkungan laut lainnya dapat memberikan dasar ilmiah dalam kegiatan monitoring dan pengembangan kawasan pesisir.

Arus laut dikategorikan berdasarkan gaya pembangkitnya di lautan, salah satunya adalah arus pasang surut yaitu gerak horizontal badan air menuju dan menjauhi pantai seiring

Commented [A1]: Perlu ditambahkan referensi yang terkait manfaat arus laut

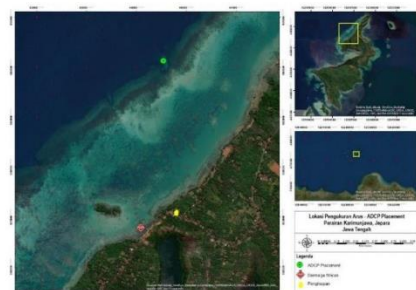
Commented [A2]: Perlu ditambahkan referensi dari penelitian-penelitian sebelumnya tentang pasang surut dan faktor yang membangkitkannya

dengan naik turunnya muka laut yang disebabkan oleh gaya-gaya pembangkit pasang surut. Kecepatan arus pasang surut maksimum dan minimum dipengaruhi oleh kondisi saat air tinggi atau air rendah (Purbandono dan Djunarsah, 2005; Mandang dan Yanagi, 2008; Siagian et al., 2019). Pulau Kemujan merupakan salah satu dari 27 gugusan pulau yang ada di Kepulauan Karimunjawa. Posisi Karimunjawa berada di Laut Jawa dimana kondisi hidrodinamikanya seperti gelombang, pasang surut dan arus laut dipengaruhi oleh iklim monsun barat dan timur (Ningsih et al., 2000).

Penelitian tentang arus di Karimunjawa sudah banyak dilakukan dan hasilnya menyatakan bahwa pergerakan arus di beberapa perairan Karimunjawa lebih didominasi oleh pasang surut diantaranya oleh BTNKJ (2016); Ismunarti et al., (2016) di Perairan Tanjung Batu Lawang, Karimunjawa; Indrayanti et al., (2020) di Perairan Pulau Cilik, Karimunjawa. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui apakah tipe arus di Perairan Pulau Kemujan juga dominan dibangkitkan oleh pasang surut, penelitian dilakukan dengan cara memisahkan antara arus pasang surut dan arus residu. Keluaran yang diperoleh berupa karakteristik arus pasang surut dapat dijadikan dasar teori untuk penelitian lanjutan yang berkaitan dengan hidrodinamika arus berskala global dan harapannya dapat menjadi salah satu informasi dalam pengembangan kawasan konservasi khususnya di Perairan Kemujan

MATERI DAN METODE

Penelitian dilakukan pada bulan September – Oktober 2020 di perairan bagian barat Pulau Kemujan, Karimunjawa dengan koordinat $10^{\circ} - 10^{\circ}$ LS dan $113 - 115$ BT (Gambar 1). Lokasi pengukuran ditentukan dengan mempertimbangkan geometri perairan yaitu dasar yang datar.



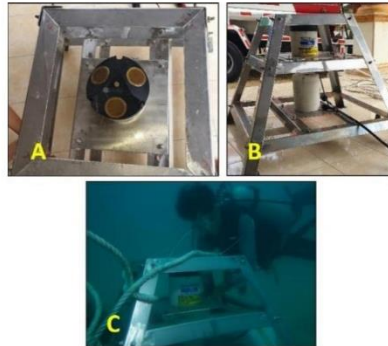
Gambar 1. Area penelitian Pulau Kemujan, Karimunjawa

Pengukuran Kecepatan, Arah Arus dan Elevasi Muka Air

Kecepatan dan arah arus diukur dengan menggunakan *Acoustic Doppler Current Profiler* (ADCP) tipe *Multi Cell Argonaut-XR* dengan frekuensi 0,75 MHz (Gambar 2). Akurasi yang dimiliki adalah 0.01 cm/det, dengan kedalaman kolom maksimal pengukuran 40m, maksimal banyak cell yang dapat diukur sebanyak 10 dan tebal minimal layer sebesar 0,8 m dengan kecepatan maksimal yang dapat terekam ukur adalah 6 m/dt (Sontek, 2006). Pengukuran dilakukan selama 3 x 24 jam (29 September sampai 2 Oktober 2020) dengan interval waktu rata-rata sebesar 300 detik, dan pelepasan gelombang akustik sampel

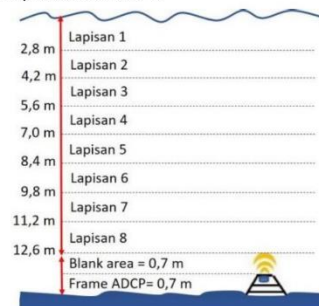
Commented [A3]: Referensi yang menyatakan bahwa arus pasut bisa diukur melalui data ADCP lebih baik bila ditambahkan

adalah 15 detik. Pengukuran ini dilakukan bersamaan dengan pengukuran elevasi muka air, modul ADCP dilengkapi dengan pembaca perubahan tinggi elevasi air, dengan cara mengkonversi perubahan tekanan terhadap kedalaman pada persamaan hidrostatik. Hal ini juga bertujuan agar kedalaman aliran pada saat pengukuran kecepatan dapat diketahui, sehingga dapat dilakukan evaluasi dalam proses selanjutnya.



Gambar 2. ADCP ditempatkan pada frame (A & B), ADCP pada kedalaman 14 m (C)

Kedalaman ukur adalah 12,6 m yang terbagi menjadi 8 lapisan dengan tujuan untuk mendapatkan profil kecepatan arus pada setiap lapisan secara vertikal. Sedangkan total kedalaman kurang lebih 14 m, hal ini dilakukan dengan pertimbangan adanya perubahan tinggi muka air pada kolom air di dekat permukaan (Ren et al., 2015), tinggi dudukan frame ADCP, dan blank distance pada kolom air dekat dasar (Kim Singh et al., 2017). Tebal tiap lapisan adalah 1,4 m. Titik kedalaman terakhir hingga permukaan merupakan daerah tunggang pasang surut, yang selanjutnya akan terukur pada layer dinamis, (*extende range*), ilustrasi ditampilkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Ilustrasi kolom lapisan ADCP di dalam air

Commented [A4]: Belum ada dalam daftar pustaka

Commented [A5]: Belum ada dalam daftar pustaka

Pengolahan Data Arus

Perhitungan kecepatan aliran menggunakan persamaan :

$$V_i = \sum_{j=1}^3 \frac{1}{4} (v_{0.2h} + 2v_{0.6h} + v_{0.8h})_i$$

dimana : $v_{0.2h}$, $v_{0.6h}$, dan $v_{0.8h}$ merupakan kecepatan aliran di kedalaman permukaan, tengah, dan dasar.

Raw data dari hasil perekaman ADCP selanjutnya dilakukan koreksi terhadap perubahan profil air. Total data yang didapatkan adalah sejumlah 1099 sampel terhadap semua parameter rekam perangkat, setelah dilakukan *screening* data yang ideal dapat digunakan adalah 1067 sampel. Data ini adalah sebesar 97,1% dari total data yang direkam, pengurangan ini terjadi karena beberapa faktor seperti pada saat pengukuran alat belum pada posisi duduk didalam air, dan pada saat selesai pengukuran perangkat belum dimatikan.

Proses pengolahan data lainnya adalah melakukan penyesuaian koreksi terhadap kondisi profil air. Beberapa penyesuaian adalah memasukkan data eksisting suhu, salinitas, dan tekanan/kedalaman. Ketiga parameter ini mempengaruhi kualitas gelombang suara yang diterima/perangkat. Suhu perairan pada saat pengukuran adalah 28 °C, Salinitas perairan adalah 33 ppt, dan koreksi kedalaman 14.4 m. Selanjutnya untuk mengetahui karakteristik arus di Perairan Kemujan dilakukan analisa komponen utara – selatan dan komponen barat – timur, dan dilanjutkan dengan pemisahan arus pasang surut dan arus residu. Hasil pengolahan data disajikan dalam bentuk grafik dan *scatter plot*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

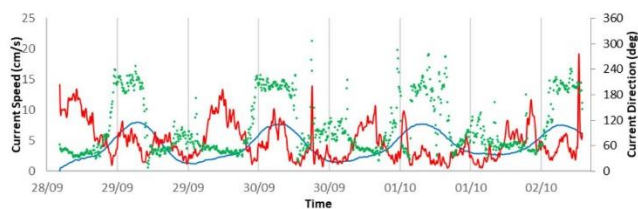
Hasil pengukuran arah, kecepatan dan elevasi muka air disajikan dalam Gambar 4, hasil yang ditampilkan merupakan fase pasang surut pada kondisi purnama (*spring*). Arah arus terlihat bertolak belakang (*bi-directional*) dengan arah perpindahan adalah barat daya dan timur laut, *range* sudut 45°-70° dan sudut balik 190°-210°. Sementara untuk kecepatan arus maksimum terjadi pada saat-saat antara air tinggi dan air rendah yaitu pada saat surut menuju pasang sebesar 13.5 *cm/det*, dan pada saat pasang menuju surut juga terdapa beberapa kali kejadian arus maksimum dengan nilai 19.2 *cm/det*. Hal ini sejalan dengan pernyataan Purbandono dan Djunarsah (2005), yang menyatakan bahwa periode kecepatan arus akan mengikuti periode pasang surut yang membangkitkannya. Yuningsih (2011) dan Sutirto et al. (2014), menyatakan bahwa pada saat kondisi air tinggi/pasang maksimum dan air rendah/surut minimum kecepatan arus relatif lebih kecil atau mendekati nol (*slack water*). Namun, pergerakan air laut akan tetap ada karena efek momentum, 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). Kedudukan bulan, bumi dan matahari (*spring* dan *neap*) juga berpengaruh terhadap perbedaan tinggi permukaan air laut yang akan mempengaruhi arah dan kecepatan arus yang terjadi. Penelitian sebelumnya oleh (Mandang dan Yanagi, 2008; Siagian, et al., 2019) menunjukkan bahwa kondisi elevasi pasang surut pada saat *spring* sangat mempengaruhi timbulnya arus maksimum, dibandingkan dengan kondisi pasut pada saat *neap*.

Commented [A6]: Sistematika pengolahan data arus masih perlu ditambahkan terutama untuk penyajian data dalam bentuk scatter plot, perlu ditambahkan alasan dan referensinya

Commented [A7]: Referensi darimana yang menyatakan hal tersebut

Commented [A8]: Secara keseluruhan untuk pembahasan masih kurang tajam, perlu ditambahkan pembahasan yang lebih mendetail terutama dalam analisa arus pasutnya

Commented [A9]: Korelasinya bagaimana apabila dihubungkan dengan hasil yang ditampilkan hanya pada saat spring??



Gambar 4. Grafik hubungan antara elevasi muka air, kecepatan dan arah arus laut (elevasi air - garis biru), kecepatan arus - garis merah) dan arah arus - hijau)

Kecepatan dan Arah Arus Pada Tiap Lapisan Kedalaman Pengukuran

Kecepatan dan arah arus pada tiap lapisan kedalaman pengukuran tersaji pada Tabel 5, arus pada seluruh lapisan kedalaman memiliki kecepatan minimum antara 0.8 – 1.2 cm/det dan kecepatan maksimum berkisar antara 14.6 – 28.6 cm/dt.

Tabel 5. Variasi kecepatan dan arah arus pada kolom vertikal air kawasan, perairan Pulau Kemujan, Karimunjawa, Jepara

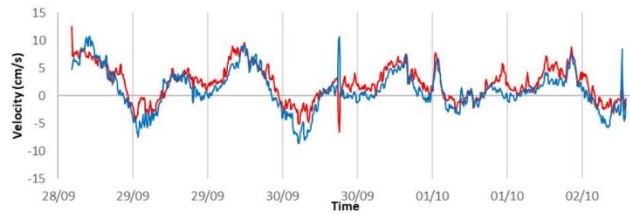
Lapisan	Kedalaman	Maksimum		Minimum		Kecepatan Rata-Rata (cm/det)
		Kecepatan (cm/det)	Arah (°)	Kecepatan (cm/det)	Arah (°)	
1	2,8 m	28.6	108.7	1.2	12.3	5.60
2	4,2 m	27.8	326.5	1.1	341.6	5.81
3	5,6 m	26.5	332.1	0.9	128.7	5.64
4	7 m	19.1	335.7	0.9	315	5.60
5	8,4 m	17.7	309.6	1.2	140.2	5.29
6	9,8 m	17.6	68	1	211.2	5.25
7	11,2 m	15.2	52.1	1.2	39.8	5.29
8	12,6 m	14.6	152.5	0.8	129.1	4.80

Secara umum berdasarkan hasil pada tabel 5, kecepatan arus berkurang seiring dengan bertambahnya kedalaman, terlihat bahwa kecepatan arus maksimal terbesar berada pada kolom perairan yang paling dekat dengan permukaan. Hal ini terjadi karena adanya gaya gesek antar kolom perairan. Partikel air pada setiap kedalaman ini saling berhubungan sehingga terjadi gesekan antara lapisan permukaan laut dengan lapisan yang berada di bawahnya. Gesekan ini membuat kecepatan arus di perairan semakin berkurang seiring dengan bertambahnya kedalaman. Selain itu juga ada keterkaitan dengan teori arus Ekman dan gaya Coriolis (Azis, 2006). Perairan Kemujan merupakan perairan dengan morfologi tubir, bentuk sisi barat pulau yang memanjang dari barat daya hingga selatan cukup mempengaruhi aliran arus laut.

Commented [A10]: Referensi tambahan diperlukan untuk mendukung pernyataan tersebut

Arus Komponen Barat – Timur dan Utara - Selatan

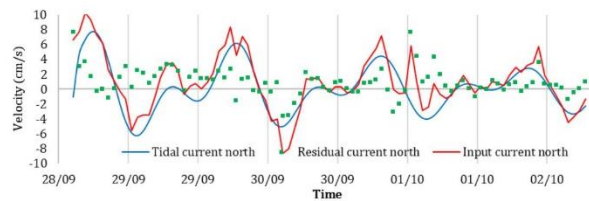
Hasil analisa komponen komponen arus timur – barat (zonal), maupun utara-selatan (meridional) mempunyai pola yang sama, dan tidak ada kecenderungan mendominasi. Kecepatan komponen arus timur-barat memiliki tunggang sebesar 19 cm/det, dengan minimum-maximum adalah -6.5 cm/det - 12.5 cm/det. Komponen utara-selatan memiliki nilai tunggang tertinggi 19.4 cm/det dan nilai terendah - 8.7 cm/det dan tertinggi 19.7 cm/det.



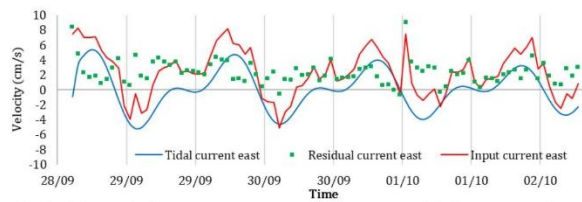
Gambar 5. Komponen kecepatan arus utara-selatan (garis biru) dan komponen kecepatan timur-barat (garis merah) Perairan Kemujan, Karimunjawa

Arus Pasang Surut dan Arus Residu

Hasil pemisahan arus pasang surut (pengaruh astronomi) dan arus residu tersaji pada Gambar 6 dan 7. Arus dominan dibangkitkan oleh pasang surut dengan prosentase arus pasang surut adalah 83,2% (komponen arus utara-selatan (v-velocity)) ditunjukkan pada Gambar 6, sedangkan untuk komponen arus timur-barat (u-velocity) sebesar 80,67 % (Gambar 7). Besar nilai dari komponen v pada lokasi penelitian tidaklah lebih besar dibandingkan dengan besar nilai komponen u, hal ini terjadi karena pergerakan arus di lokasi penelitian cenderung ke timur laut dan barat daya. Hal ini menunjukkan komponen pembangkit astronomis sangat memberikan kontribusi terhadap pergerakan masa air di perairan Pulau Kemujan, Karimunjawa. Pengaruh pembangkit non-pasut atau residual memberi tambahan nilai vektor terhadap kehadiran arus. Hal ini mengakibatkan pergerakan arus pada arah – arah tertentu mendapatkan tambahan kecepatan terhadap vektornya, dan atau mengalami pengurangan kecepatan.



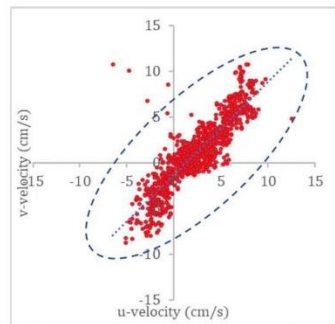
Gambar 6. Grafik pemisahan arus pasang surut dan arus residu komponen utara - selatan di Pulau Kemujan, Karimunjawa



Gambar 7. Grafik pemisahan arus pasang surut dan arus residu komponen barat - timur di Pulau Kemujan, Karimunjawa

Untuk memperoleh gambaran sebaran gerak dan pola arus pada saat pengukuran disajikan dalam bentuk scatter plot. Hasil sebaran terlihat membentuk pola ellips pada tiap lapisan kedalaman. Gambar 8 menunjukkan scatter plot untuk kecepatan dan arah rata-rata dimana polanya juga berbentuk ellips, hal ini menunjukkan bahwa arus di Perairan Kemujan, Karimunjawa di dominasi oleh arus pasang surut dan lengkungan ellips-nya menunjukkan arah dominasi dari sebaran data yaitu ke arah barat daya dan ke timur laut. Hal ini dapat disimpulkan bahwa kecepatan dan arah arus yang terjadi didominasi oleh faktor pasang surut, dengan pergerakan dua arah yang bertolakbelakang atau disebut *bi-directional*. Hasil penelitian sesuai dengan penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa untuk Perairan Karimunjawa arus lebih dominan dibangkitkan oleh pasang surut (BTKJ, 2016; Ismunarti et al., 2016; Indrayanti et al., 2020).

Commented [A11]: Maksudnya lapisan kedalaman yang mana?



Gambar 8. Scatter plot untuk arah dan kecepatan arus rata-rata Perairan Kemujan, Karimunjawa

KESIMPULAN

Arus di Perairan Kemujan, Karimunjawa merupakan arus yang dominan dibangkitkan oleh pasang surut, didominasi pasang surut sebesar 83,2% untuk komponen arus utara-selatan (v-velocity) dan 80,67 % untuk komponen arus timur-barat (u-velocity). Arus

bergerak secara bertolak belakang (*bi-directional*) yaitu pada saat surut menuju pasang arah arus menuju ke timur laut dan pada saat pasang menuju surut arah arus menuju ke barat daya. Kecepatan arus maksimum terjadi pada saat-saat antara air tinggi dan air rendah yaitu pada saat surut menuju pasang dan pasang menuju surut.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Dr. Eng. Widodo Setiyo Pranowo (Kementerian Kelautan dan Perikanan). FPIK UNDP atas pendanaan hibah No. 014/UN7.5.10..2/PP/2020 tahun 2020. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Balai Taman Nasional Karimunjawa atas ijin penelitian No. 1411/T.34/TU/SIMAKSI/09/2020. Terima kasih kepada reviewer yang telah menginvestasikan waktunya sehingga artikel ini menjadi lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Azis, M.F. 2006. Gerak Air di Laut. *J. Oseana* 31 (4): 9-21
- BTNKJ (Balai Taman Nasional Karimunjawa). 2016. Statistik Balai Taman Nasional Karimunjawa Tahun 2016. 133 hlm
- Indrayanti, E., Wijayanti, DP., Siagian, H.R.S. 2020. Pasang Surut, Arus dan Gelombang Berdasarkan Data Pengukuran Acoustic Doppler Current Profiler di Perairan Pulau Cilik, Karimunjawa. *Buletin Oseanografi Marina* 9(1): 37-44
- Ismunarti, D.H., Sugianto, D.N., Ismanto, A., 2017, Kajian Karakteristik Arus Laut di Kepulauan Karimunjawa, Jepara, Prosiding Seminar Nasional Hasil-Hasil Penelitian Perikanan dan Kelautan ke-VI, Semarang
- Mandang, I. and Yanagi, T. 2008. Tide and Tidal Current in the Mahakam Estuary, East Kalimantan, Indonesia', *Coastal marine science*, 32(1), pp. 1-8.
- Ningsih, S.N., Yamashita, T., Aouf, L., 2000, Three-Dimensional Simulation of Water Circulation in the Java Sea: Influence of Wind Waves on Surface and Bottom Stresses, *Natural Hazard* 21, p 145 - 171
- Poerbandono, D. E dan Djunarsah, E. 2005. Survei Hidrografi. Refika Aditama Bandung. 61 hlm
- Sontek/YSI. 2006. SonTek/YSI Argonaut Acoustic Doppler Current Meter Technical Documentation. SonTek/YSI, San Diego.
- Siagian, H., Sugianto, D. N. and Kunarso .2019. Current Velocity Impacts from Interaction of Semidiurnal and Diurnal Tidal Constituents for Tidal Stream Energy in East Flores', in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. doi: 10.1088/1755-1315/246/1/012056.
- Theoyana, T. A., W. S. Pranowo., Anastasia R.T.D.K., dan Purwanto. (2015). Karakteristik Arus Pasang Surut di Selat Badung, Bali. *Jurnal Segara*. Vol. 11 (2): 115 – 123.
- Zheng C., Xiao Z., Zhou W., Chen X., Chen X. 2018. Ocean Current Characteristics. In: 21st Century Maritime Silk Road: A Peaceful Way Forward. Springer Oceanography. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-10-7977-1_4

Commented [A12]: Pustaka minimal 15 yang bersumber dari artikel jurnal

3. Manuskrip revisi

IDENTIFIKASI ARUS PASANG SURUT DI PERAIAN KEMUJAN, KARIMUNJAWA BERDASARKAN DATA PENGUKURAN ADCP

Elis Indrayanti^{1*}, Denny Nugroho Sugianto¹, Purwanto¹, Hendry Syahputra Siagian¹

¹Departemen Oseanografi, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro
Email: *elisindrayanti@yahoo.com

Abstract

Ocean currents are dynamic hydro-oceanographic parameters which play an important role in the transport of nutrients, larvae, sediment, and so on. Therefore, the identification of ocean currents including velocity, direction, sea level and the type of currents need to be studied. The research was conducted in Kemujan Water, which is one of the islands in Karimunjawa. The research method used direct measurements using the Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP) for 3 x 24 hours. Furthermore, the raw data of the measurement are analyzed using least square methods to obtain the characteristic of tidal current. Result shown that the characteristic of current in Kemujan Water, Karimunjawa was tidal current. Tidal current moves bi-directional, toward the northeast and the southwest.

Keyword : tidal current, tides, Kemujan Island, ADCP

Abstrak

Arus laut merupakan parameter hidro-oseanografi yang dinamis dan mempunyai peran penting dalam transpor nutrisi, larva, material, dan lain sebagainya. Oleh karena itu identifikasi arus laut meliputi kecepatan, arah, elevasi muka air laut dan tipe arus laut perlu untuk dikaji. Penelitian dilaksanakan di Perairan Kemujan yang merupakan salah satu gugusan pulau di Karimunjawa. Penelitian dilakukan dengan metode pengukuran langsung menggunakan Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP) selama 3 x 24 jam. Selanjutnya raw data hasil pengukuran diolah dengan metode least square untuk mengetahui karakteristik arus. Hasil penelitian menunjukkan bahwa prosentase arus total lebih besar dari arus residu, sehingga arus di Perairan Kemujan, Karimunjawa teridentifikasi sebagai arus pasang surut. Arus bergerak secara bertolak belakang (bi-directional) yaitu pada saat surut menuju pasang arah arus menuju ke timur laut dan pada saat pasang menuju surut arah arus menuju ke barat daya.

Kata kunci : pasang surut, arus pasang surut, Pulau Kemujan, ADCP

PENDAHULUAN

Arus laut sebagai dasar gerakan di samudra memegang peranan penting dalam transpor nutrisi, transpor larva, transpor material, perkembangan perikanan laut, produktivitas primer permukaan, dan juga menunjang aktifitas manusia seperti dalam kegiatan pertambangan, pariwisata dan lain sebagainya (Zheng et al., 2018). Arus laut dapat dikategorikan berdasarkan gaya penggerakannya, salah satunya yaitu arus pasang surut. Arus pasang surut yaitu gerak horizontal badan air menuju dan menjauhi pantai seiring dengan perubahan naik turunnya muka laut. Perubahan naik turun muka laut disebabkan oleh gaya-gaya pembangkit pasang surut. Kecepatan arus pasang surut maksimum dan minimum dipengaruhi oleh perbedaan tinggi elevasi saat air tinggi atau air rendah (Purbandono dan Djunarsah, 2005; Mandang dan Yanagi, 2008; Siagian et al., 2019).

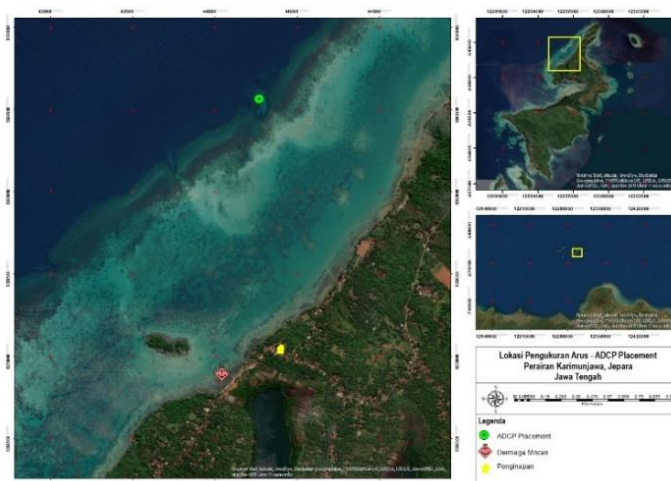
Pulau Kemujan merupakan salah satu dari 27 gugusan pulau-pulau di Kepulauan Karimunjawa, yang posisinya berada di Laut Jawa. Hidrodinamika pasang surut di Laut Jawa bersifat sangat kompleks, hal ini dikarenakan topografi dasar dangkal yang terjal, garis pantai yang rumit, dan terpengaruh gelombang pasang yang merambat dari Samudera Pasifik, Samudera Hindia, dan Laut Cina Selatan (Hasan and Rambabu, 2017). Penelitian tentang arus di Karimunjawa sudah

banyak dilakukan antara lain oleh Ismunarti et al., (2016) di Perairan Tanjung Batu Lawang, Karimunjawa, dan Indrayanti et al., (2020) di Perairan Pulau Cilik, Karimunjawa; dimana hasil penelitian menunjukkan bahwa perairan tersebut didominasi oleh arus pasang surut. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi apakah tipe arus di Perairan Pulau Kemujan juga dominan dibangkitkan oleh pasang surut, berdasarkan data pengukuran ADCP. Identifikasi dilakukan dengan memisahkan arus total menjadi arus pasang surut dan arus non-pasang surut/residu (Beliyana et al., 2020). Penggunaan data ADCP untuk analisa arus pasang surut sudah dilakukan pada penelitian-penelitian sebelumnya (Wang et al., 2004; Vindenes et al., 2018; Wisha et al., 2019, Siagian et al., 2021).

Karimunjawa merupakan kawasan perlindungan laut terbesar di Indonesia saat ini dan berperan penting dalam mendukung populasi lokal, termasuk perikanan lokal dan industri pariwisata yang terus berkembang (Hafsaridewi et al., 2018; Kennedy et al., 2020). Studi intensif tentang kondisi hidrodinamika perairan khususnya tipe arus laut dapat dijadikan dasar teori untuk penelitian lanjutan yang berkaitan dengan pola sirkulasi arus dan harapannya dapat menjadi salah satu informasi hidro-oseanografi dalam kegiatan monitoring dan pengembangan kawasan konservasi khususnya di Perairan Kemujan, Karimunjawa.

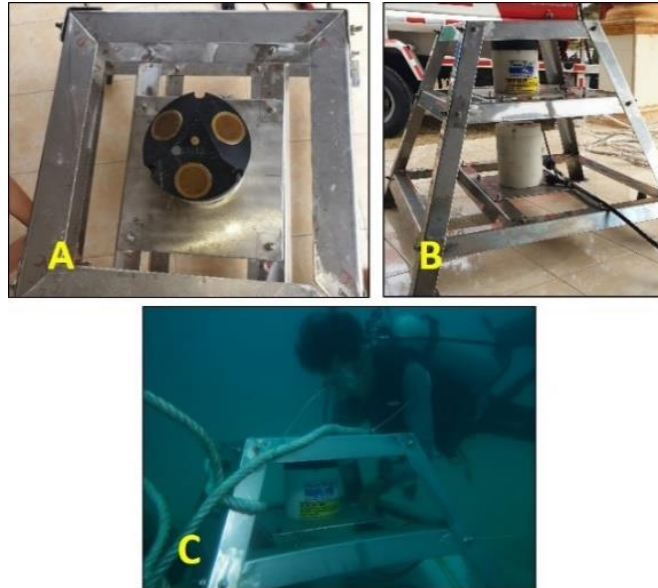
MATERI DAN METODE

Penelitian dilakukan pada bulan September – Oktober 2020 di perairan bagian barat Pulau Kemujan, Karimunjawa (Gambar 1). Data yang digunakan dalam penelitian adalah data hasil pengukuran ADCP dengan teknik *mooring* (tambatan di dasar laut) yaitu pada suatu titik tetap pada jangka waktu tertentu. Oleh karena itu lokasi pengukuran ditentukan dengan mempertimbangkan kondisi geometri perairan yaitu dasar yang datar.



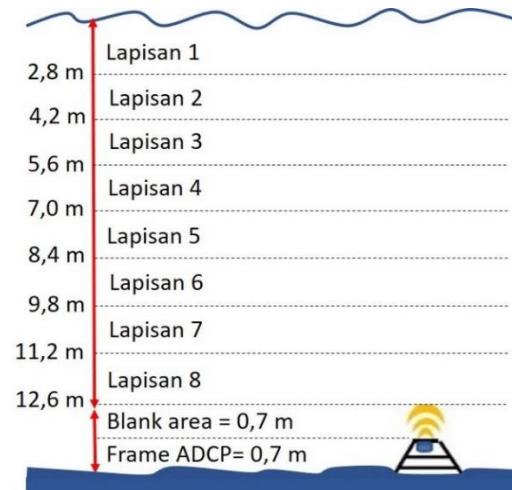
Gambar 1. Area penelitian Pulau Kemujan, Karimunjawa

Kecepatan dan arah arus diukur dengan menggunakan ADCP tipe *Multi Cell Argonaut-XR* dengan frekuensi 0,75 MHz (Gambar 2). Akurasi yang dimiliki adalah 0.01 cm/det, dengan kedalaman kolom maksimal pengukuran 40 m, maksimal lapisan (cell) yang dapat diukur adalah 10, dan tebal minimal lapisan adalah 0,8 m dengan kecepatan maksimal yang dapat terekam adalah 6 m/dt (Sontek, 2006). Pengukuran dilakukan selama 3 x 24 jam (29 September sampai 2 Oktober 2020) dengan interval waktu rata-rata sebesar 300 detik, dan pelepasan gelombang akustik sampel adalah 15 detik. Pengukuran ini dilakukan bersamaan dengan pengukuran elevasi muka air, modul ADCP dilengkapi dengan pembaca perubahan tinggi elevasi air, dengan cara mengkonversi perubahan tekanan terhadap kedalaman pada persamaan hidrostatik. Hal ini juga bertujuan agar kedalaman aliran pada saat pengukuran kecepatan dapat diketahui, sehingga dapat dilakukan koreksi dalam proses berikutnya.



Gambar 2. ADCP ditempatkan pada frame (A & B), ADCP pada kedalaman 14 m (C)

Kedalaman ukur adalah 12,6 m yang terbagi menjadi 8 lapisan dengan tujuan untuk mendapatkan profil kecepatan arus pada setiap lapisan secara vertikal. Sedangkan total kedalaman kurang lebih 14 m, hal ini dilakukan dengan pertimbangan adanya perubahan tinggi muka air pada kolom air di dekat permukaan (Ren et al., 2015), tinggi dudukan *frame* ADCP, dan *blank distance* pada kolom air dekat dasar. Tebal tiap lapisan adalah 1,4 m. Titik kedalaman terakhir hingga permukaan merupakan daerah tunggang pasang surut, yang selanjutnya akan terukur pada layer dinamis, (*extande range*), ilustrasi ditampilkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Ilustrasi kolom lapisan ADCP di dalam air

Total data yang didapatkan dari hasil pengukuran adalah 1099 data selanjutnya dilakukan *screening* data yang ideal dapat digunakan adalah 1067 sampel. Data ini adalah sebesar 97,1% dari total data yang direkam, pengurangan ini terjadi karena beberapa faktor seperti pada saat pengukuran alat belum pada posisi duduk didalam air, dan pada saat selesai pengukuran perangkat belum dimatikan. Proses pengolahan data lainnya adalah melakukan penyesuaian koreksi terhadap kondisi profil air. Beberapa penyesuaian adalah memasukan data eksisting suhu, salinitas, dan tekanan/kedalaman. Ketiga parameter ini mempengaruhi kualitas gelombang suara yang diterima perangkat. Suhu perairan pada saat pengukuran adalah 28 °C, Salinitas perairan adalah 33 ppt, dan koreksi kedalaman 14.4 m.

Data kecepatan arus selanjutnya dianalisis dengan pendekatan metode *least square* metode analisa ini memiliki kemiripan dengan analisis Fourier dengan regresi linear (Siagian et al., 2019). Metode ini mengabaikan faktor meteorologi, dan memungkinkan untuk menentukan faktor penyusun harmonik yang dominan. Persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$ht_i = S_0 + \sum_1^n H_n \cos [\omega_n t_1 + g_n] \quad (1)$$

$$ht_i = S_0 + \sum_1^n H_n [\cos (\omega_n t_1) \cos (g_n) - \sin (\omega_n t_1) \sin (g_n)] \quad (2)$$

$$ht_i = S_0 + \sum_1^n A_n \cos (\omega_n t_1) - \sum_1^n B_n \sin (\omega_n t_1) \quad (3)$$

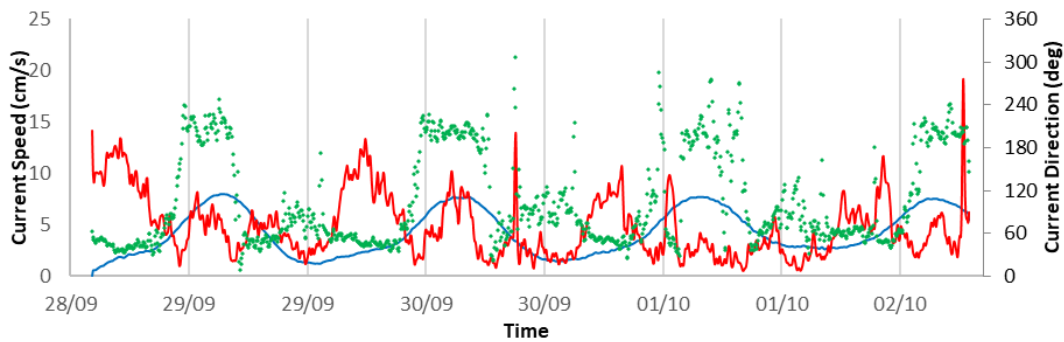
$$H_n = \sqrt{A_n^2 + B_n^2} \quad (4)$$

$$g_n = \arctg \left(\frac{B_n}{A_n} \right) \quad (5)$$

dimana, $A_n = H_n \cos (g_n)$ dan $B_n = H_n \sin (g_n)$ dalam meter; ht_i merupakan elevasi dari komponen tunggung kecepatan arus (velocity-i); H_n adalah amplitude dari komponen kecepatan; ω merupakan frekuensi yang diberikan masing – masing konstituen harmonik; t_1 adalah periode; g_n phase pada komponen kecepatan dan S_0 tinggi muka air tetap pada meter.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengukuran arah, kecepatan dan elevasi muka air disajikan dalam Gambar 4, hasil yang ditampilkan merupakan fase pasang surut pada kondisi purnama (*spring*). Arah arus terlihat bertolak belakang (*bi-directional*) dengan arah perpindahan adalah barat daya dan timur laut, *range* sudut 45° – 70° dan sudut balik 190° – 210° . Sementara untuk kecepatan arus maksimum terjadi pada saat-saat antara air tinggi dan air rendah yaitu pada saat surut menuju pasang sebesar 13.5 cm/det, dan pada saat pasang menuju surut juga terdapat beberapa kali kejadian arus maksimum dengan nilai 19.2 cm/det. Hal ini sejalan dengan Theoyana et al., (2015), yang menyatakan bahwa, nilai kecepatan arus dapat mencapai maksimum ketika muka air laut sesaat akan menuju nilai tertinggi dan juga sesaat menuju surut terendah. Kedudukan bulan, bumi dan matahari (*spring* dan *neap*) juga berpengaruh terhadap perbedaan tinggi permukaan air laut yang akan mempengaruhi arah dan kecepatan arus yang terjadi. Penelitian sebelumnya oleh (Mandang dan Yanagi, 2008; Siagian, et al., 2019) menunjukkan bahwa kondisi elevasi pasang surut pada saat *spring* sangat mempengaruhi timbulnya arus maksimum, dibandingkan dengan kondisi pasut pada saat *neap*.



Gambar 4. Grafik hubungan antara elevasi muka air, kecepatan dan arah arus laut (elevasi air - garis biru), kecepatan arus - garis merah) dan arah arus – garis hijau)

Kecepatan dan Arah Arus Pada Tiap Lapisan Kedalaman Pengukuran

Kecepatan dan arah arus pada tiap lapisan kedalaman pengukuran tersaji pada Tabel 5, arus pada seluruh lapisan kedalaman memiliki kecepatan minimum antara 0.8 – 1.2 cm/det dan kecepatan maksimum berkisar antara 14.6 – 28.6 cm/dt.

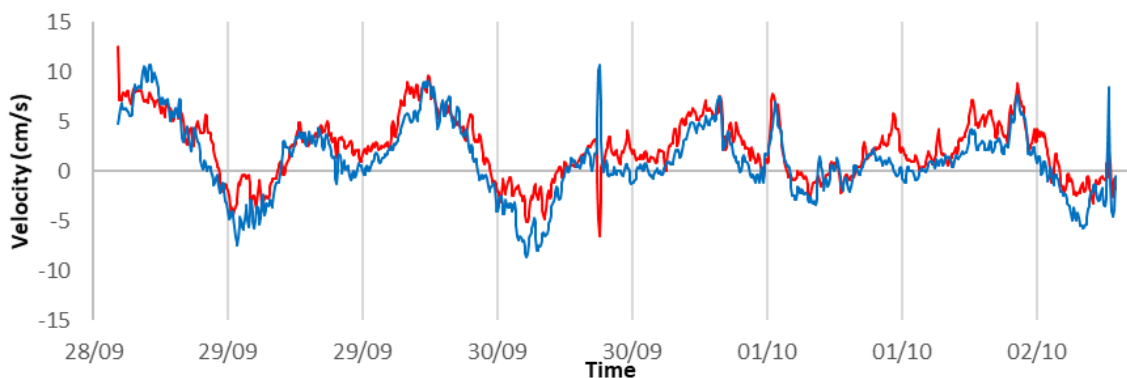
Tabel 1. Variasi kecepatan dan arah arus pada kolom vertikal air di Perairan Kemujan, Karimunjawa

Lapisan	Kedalaman	Maksimum		Minimum		Kecepatan Rata-Rata (cm/det)
		Kecepatan (cm/det)	Arah (°)	Kecepatan (cm/det)	Arah (°)	
1	2,8 m	28.6	108.7	1.2	12.3	5.60
2	4,2 m	27.8	326.5	1.1	341.6	5.81
3	5,6 m	26.5	332.1	0.9	128.7	5.64
4	7 m	19.1	335.7	0.9	315	5.60
5	8,4 m	17.7	309.6	1.2	140.2	5.29
6	9,8 m	17.6	68	1	211.2	5.25
7	11,2 m	15.2	52.1	1.2	39.8	5.29
8	12,6 m	14.6	152.5	0.8	129.1	4.80

Secara umum berdasarkan hasil pada tabel 1, kecepatan arus berkurang seiring dengan bertambahnya kedalaman, terlihat bahwa kecepatan arus maksimal terbesar berada pada kolom perairan yang paling dekat dengan permukaan. Pola profil kecepatan yang sama juga terjadi pada penelitian di Mandeh Bay, Sumatera Barat oleh Wisna et al., (2019), kecepatan arus di lapisan permukaan adalah yang terkuat dan secara bertahap menjadi lebih lemah dengan bertambahnya kedalaman. Hal ini karena adanya pengaruh gaya coriolis dan efek gesekan dasar.

Arus Komponen Barat – Timur dan Utara - Selatan

Hasil analisa komponen komponen arus timur – barat (*zonal*), maupun utara-selatan (*meridional*) mempunyai pola yang sama (Gambar 5). Kecepatan komponen arus timur - barat memiliki tunggang sebesar 19 cm/det, dengan minimum - maximum adalah -6.5 cm/det - 12.5 cm/det. Komponen utara - selatan memiliki nilai tunggang sebesar 19.4 cm/det dengan nilai minimum - 8.7 cm/det dan maksimum 19.7 cm/det.

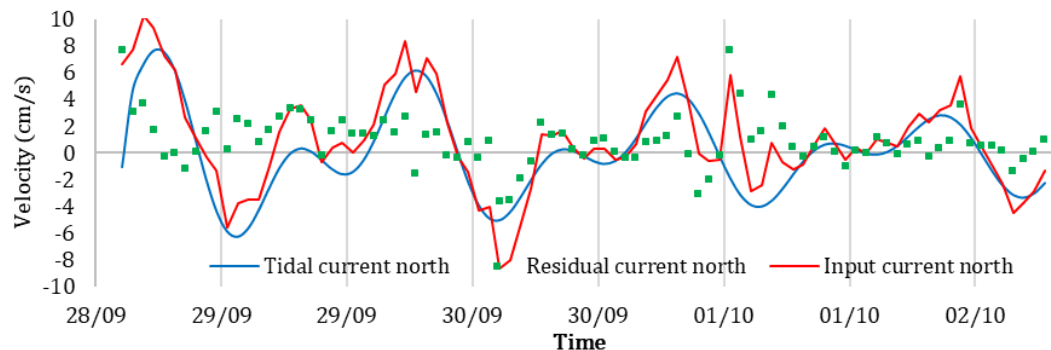


Gambar 5. Komponen kecepatan arus utara-selatan (garis biru) dan komponen kecepatan timur-barat (garis merah) Perairan Kemujan, Karimunjawa

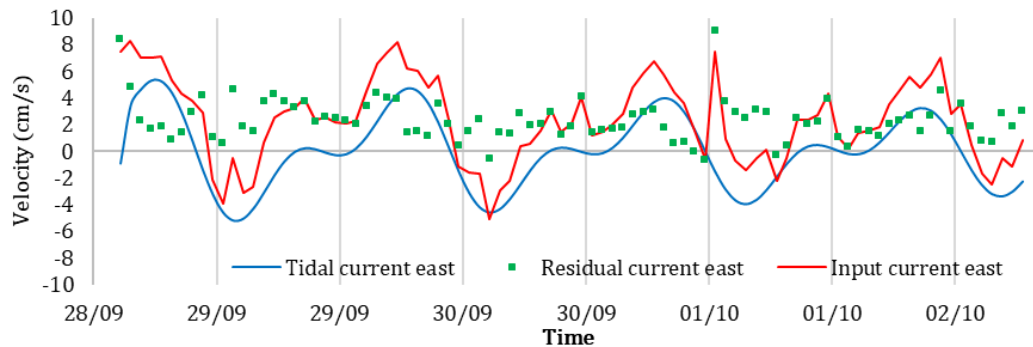
Arus Pasang Surut

Hasil pemisahan arus pasang surut (pengaruh astronomi) dan arus non-pasang surut (residu) tersaji pada Gambar 6 dan 7. Arus dominan dibangkitkan oleh pasang surut dengan prosentase arus pasang surut adalah 83,2% (komponen arus utara-selatan (*v-velocity*) ditunjukan pada Gambar 6, sedangkan untuk komponen arus timur-barat (*u-velocity*) sebesar 80,67 % (Gambar 7). Besar nilai dari komponen *v* pada lokasi penelitian tidaklah lebih besar dibandingkan dengan besar nilai komponen *u*, hal ini terjadi karena pergerakan arus di lokasi penelitian cenderung ke timur laut dan barat daya. Hal ini menunjukkan komponen pembangkit astronomi memberikan kontribusi

yang lebih dominan terhadap pergerakan masa air di perairan Pulau Kemujan, Karimunjawa. Pengaruh pembangkit non-pasut atau residu memberi tambahan nilai vektor terhadap kehadiran arus. Hal ini mengakibatkan pergerakan arus pada arah – arah tertentu mendapatkan tambahan kecepatan terhadap vektornya, dan atau mengalami pengurangan kecepatan. Komponen utama arus residu di pantai adalah arus yang dibangkitkan oleh pasang surut non-linear, arus yang dibangkitkan oleh angin permukaan dan arus yang dibangkitkan oleh gradien densitas horizontal (Yanagi, 1999).

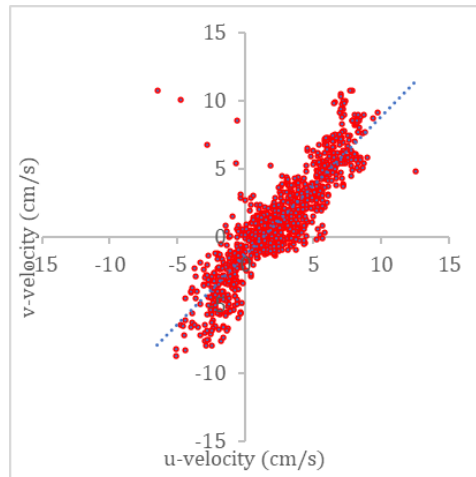


Gambar 6. Grafik arus pasang surut dan arus non pasang surut (residu) komponen utara - selatan di Pulau Kemujan, Karimunjawa



Gambar 7. Grafik arus pasang surut dan arus non pasang surut (residu komponen barat - timur di Pulau Kemujan, Karimunjawa

Untuk memperoleh gambaran sebaran gerak dan pola arus pada saat pengukuran disajikan dalam bentuk *scatter plot* (Gambar 8). Pola berbentuk ellips, ini menunjukkan bahwa arus di Perairan Kemujan, Karimunjawa di dominasi oleh arus pasang surut dan lengkungan ellips-nya menunjukkan arah dominasi dari sebaran data yaitu ke arah barat daya dan ke timur laut. Yanagi (1999) menyatakan bahwa terdapat tiga tipe yaitu gerak rotasi, gerak yang berubah arah (bolak-balik), dan tipe hidrolik. Dilaut lepas, gerak arus pasut adalah gerak rotasi yang berbentuk elips dimana arah rotasi adalah searah dengan putaran jarum jam di BBU dan berlawanan arah dengan jarum jam di BBS. Hasil penelitian juga sesuai dengan penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa untuk Perairan Karimunjawa arus lebih dominan dibangkitkan oleh pasang surut (BTNKJ, 2016; Ismunarti et al., 2016; Indrayanti et al., 2020).



Gambar 8. Scatter plot untuk arah dan kecepatan arus rata-rata Perairan Kemujan, Karimunjawa

KESIMPULAN

Pergerakan arus di Perairan Kemujan, Karimunjawa bertolak belakang (*bi-directional*) yaitu dominan ke timur laut dan ke barat daya. Arus pasang surut dominan terhadap arus residu sebesar 80,67 % pada arah zonal (timur - barat) dan 83,2 % pada arah meridional (utara – selatan). Kecepatan arus berkurang terhadap kedalaman. Kecepatan arus maksimum terjadi pada saat-saat antara air tinggi dan air rendah yaitu pada saat surut menuju pasang dan pasang menuju surut.

UCAPAN TERIMA KASIH

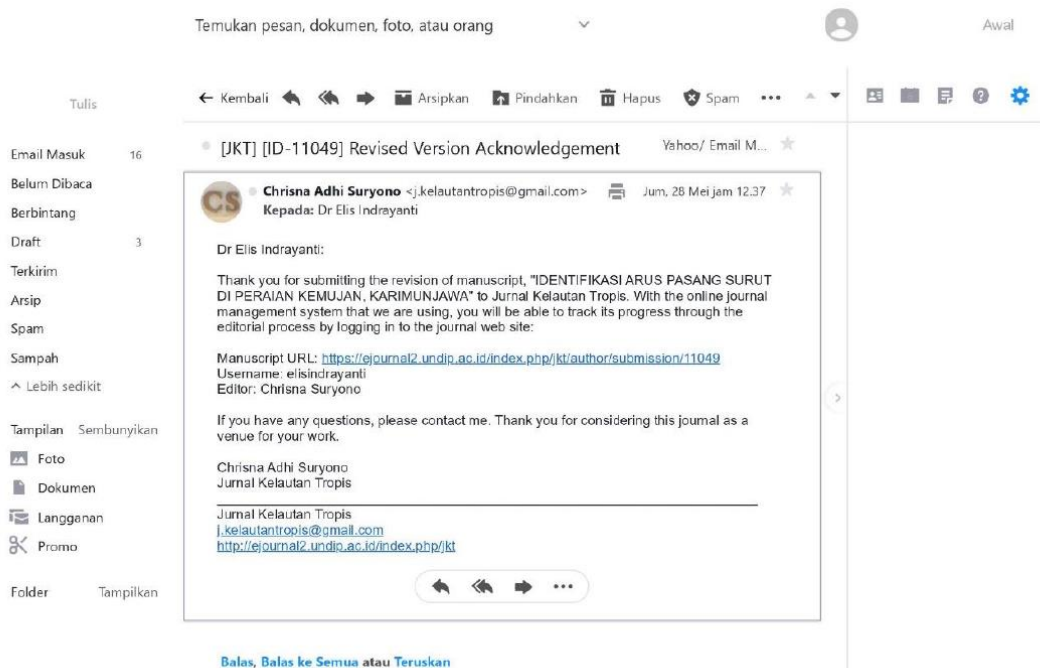
Terima kasih kepada FPIK UNDIP dengan pendanaan hibah No. 014/UN7.5.10..2/PP/2020 tahun 2020. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Balai Taman Nasional Karimunjawa atas ijin penelitian No. 1411/T.34/TU/SIMAKSI/09/2020. Terima kasih kepada reviewer yang telah menginvestasikan waktunya sehingga artikel ini menjadi lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Beliyana, E., Radjawane, I.M., Susanto, R.D. 2020. Identification of Tidal Current Vertical Structure in Ombai Strait and Timor Passage. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 618 (2020) 012010 doi:10.1088/1755-1315/618/1/012010
- BTNKJ (Balai Taman Nasional Karimunjawa). 2016. Statistik Balai Taman Nasional Karimunjawa Tahun 2016. 133 hlm
- Hafsaridewi, R., Sulistiono, F.A., Sutrisno, D., Koeshendrajana, S. 2018. Resource management in the Karimunjawa Islands, Central Java of Indonesia, through DPSIR approach. *Adv. Environ. Sci.*, 10, 7–22.
- Hasan, S., Rambabu, C. 2017. Enhanced Representation of Java Sea Tidal Propagation through Sensitivity Analysis. *Journal of Water Resource and Hydraulic Engineering* Mar. 6(1) : 9-21
- Indrayanti, E., Wijayanti, DP., Siagian, H.R.S. 2020. Pasang Surut, Arus dan Gelombang Berdasarkan Data Pengukuran Acoustic Doppler Current Profiler di Perairan Pulau Cilik, Karimunjawa. *Buletin Oseanografi Marina* 9(1): 37–44
- Ismunarti, D.H., Sugianto, D.N., Ismanto, A. 2017. Kajian Karakteristik Arus Laut di Kepulauan Karimunjawa, Jepara, Prosiding Seminar Nasional Hasil-Hasil Penelitian Perikanan dan Kelautan ke-VI, Semarang

- Kennedy, E.V; Vercelloni, J.; Neal, B.P; Ambariyanto; Bryant, D.E.P.; Ganase, A.; Gartrell, P.; Brown, K.; Kim, C.J.S.; Hudatwi, M.; Hadi, A.; Prabowo, A.; Prihatinningsih, P.; Haryanta, S.; Markey, K.; Green, S.; Dalton, P.; Lopez-Marcano, S.; Rodriguez-Ramirez, A.; Gonzalez-Rivero, M.; Hoegh-Guldberg, O. 2020. Coral Reef Community Changes in Karimunjawa National Park, Indonesia: Assessing the Efficacy of Management in the Face of Local and Global Stressors. *J. Mar. Sci. Eng.*, 8, 760. <https://doi.org/10.3390/jmse8100760>
- Mandang, I. and Yanagi, T. 2008. Tide and Tidal Current in the Mahakam Estuary, East Kalimantan, Indonesia', *Coastal marine science*, 32(1), pp. 1–8.
- Poerbandono, D. E dan Djunarsah, E. 2005. Survei Hidrografi. Refika Aditama Bandung. 61 hlm
- Ren, L., Nash S, Hartnett. 2015. Observation and Modeling of Tide- and Wind-induced Surface Currents in Galway Bay. *Water Science and Engineering* 8(4): 345 - 352
- Sontek/YSI. 2006. SonTek/YSI Argonaut Acoustic Doppler Current Meter Technical Documentation. SonTek/YSI, San Diego.
- Siagian, H.R.S., Sugianto, D. N., Kunarso . 2019. Current Velocity Impacts from Interaction of Semidiurnal and Diurnal Tidal Constituents for Tidal Stream Energy in East Flores, in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. doi: 10.1088/1755-1315/246/1/012056.
- Siagian, H.R.S., Ismanto, A., Putra, T., Pranata, A. 2021. Stratification on the Vertical Structure of the Tidal Ellipse and Power Density Estimation in the Larantuka Strait, East Flores Based on ADCP Measurement Data. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Doi: 10.1088/1755-1315/750/1/012023.
- Theoyana, T. A., W. S. Pranowo., Anastasia R.T.D.K., dan Purwanto. 2015. Karakteristik Arus Pasang Surut di Selat Badung, Bali. *Jurnal Segara*. Vol. 11 (2): 115 – 123.
- Zheng C., Xiao Z., Zhou W., Chen X., Chen X. 2018. Ocean Current Characteristics. In: 21st Century Maritime Silk Road: A Peaceful Way Forward. Springer Oceanography. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-10-7977-1_4
- Vindenes, H., Orvik, K. A., Soiland, H., Wehde, H. 2018. Analysis of tidal currents in the North Sea from shipboard acoustic Doppler current profiler data. *Continental Shelf Research* 162: 1–12. DOI : <https://doi.org/10.1016/j.csr.2018.04.001>
- Wang, Y. H., L.Y. Chiao, L.Y., Lwiza, K. M. M., Wang, D.P. 2004. Analysis of flow at the gate of Taiwan Strait, *J. Geophys. Res.*, 109, C02025, doi:10.1029/2003JC001937.
- Wisha, U.J., Dhiauddin, R., Gemilang, W.A. 2019. Tidal Ellipses Analysis Based on Flow Model Hydrodynamic Data Acquisition in Mandeh Bay, West Sumatera. *Journal of Geoscience, Engineering, Environment, and Technology* Vol 04 No 02 2019
- Yanagi, T. 1999. Coastal Oceanography. Ocean Science Research, Terra Sc Pbl, Tokyo. 162 p.

4. Revised and Accepted



5. Published

