

# **PENGAMATAN JANGKA PENDEK PERILAKU ARUS DAN KEKERUHAN RELATIF PADA KANAL ANTAR-TERUMBU PASCA-PASANG PERBANI**

Studi Kasus: Perairan Pulau Panggang dan Pulau Pramuka, Kepulauan Seribu

*(Short Term Observation of the Behaviour of Current and Relative Turbidity in an Inter-Reef Channel during the Post-Spring Tide, Case Study: Nearshore Waters of Pramuka and Panggang Islands, Seribu Islands)*

**Poerbandono<sup>1</sup>, Eka Djunarsjah<sup>1</sup>, dan Wiwin Windupranata<sup>1,2,3</sup>**

<sup>1</sup>Kelompok Keahlian Hidrografi, Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumihan, Institut Teknologi Bandung

<sup>2</sup>Pendidikan Hidrografi Kategori A, Sub-Program Studi Teknik Geodesi dan Geomatika, Program Studi - Program Profesi Insinyur, Institut Teknologi Bandung

<sup>3</sup>Laboratorium Riset Hidrografi, Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumihan, Institut Teknologi Bandung  
Jalan Ganesha 10, Bandung 40132, Indonesia

E-mail: [poerbandono@itb.ac.id](mailto:poerbandono@itb.ac.id)

*Diterima: 4 Februari 2020; Direvisi: 9 November 2020; Disetujui untuk Dipublikasikan: 17 November 2020*

## **ABSTRAK**

Makalah ini membahas perilaku jangka pendek arus dan kekeruhan relatif. Pembahasan didasarkan pada analisis data dari pengamatan lapangan di satu titik pada kedalaman sekitar 30 m. Titik pengamatan terletak di kanal antar-terumbu sekitar 600 m timur laut Pulau Pramuka ke arah Pulau Panggang. *Acoustic Doppler Current Profiler* (ADCP) berfrekuensi 614,4 kHz digunakan dalam pengukuran selama 25 jam dan 50 menit, sekitar dua hari setelah pasang perbani. ADCP mengukur profil arus dan hamburan balik dengan interval 1 m. Analisis dilakukan dengan menghubungkan saat perubahan kecepatan arus dengan pasang. Selain itu, kekeruhan relatif dihitung dari hamburan balik menggunakan persamaan kalibrasi empiris. Dari analisis, diperoleh korelasi positif antara tunggang pasang dengan kecepatan arus. Kecepatan arus tertinggi (yaitu 0,42 meter per detik) berkorelasi dengan saat air tinggi yang lebih rendah (*lower high water*). Kecepatan arus terdistribusi secara merata di sepanjang kolom air. Dibandingkan dengan di lapisan bawah, kecepatan arus di lapisan atas meningkat lebih cepat. Kekeruhan relatif yang dihitung dari hamburan balik menunjukkan bahwa material padat tersuspensi lebih banyak terkumpul di lapisan bawah. Peningkatan kekeruhan relatif diidentifikasi terjadi saat air rendah setelah air pasang tinggi (*higher high water*). Arah gerak arus saling berkebalikan dengan jumlah kejadian yang dua kali lebih banyak dan kecepatan arus yang dua kali lebih kuat ke arah ke arah 33° dibandingkan dengan ke arah 226°.

**Kata kunci:** pengamatan lapangan, arah arus, kecepatan arus, kekeruhan relatif, tunggang pasang

## **ABSTRACT**

*This paper discusses the short-term behavior of current and relative turbidity based on analyses of data from stationary field observation at an approximate depth of 30 m. The observation station is situated in an inter-reef channel roughly about 600 m northeast of Pramuka Island towards Panggang Island. A 614.4 kHz frequency system of Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP) is deployed for 25 hours and 50 minutes, about two days subsequent to spring tide. The ADCP measures the profile of current and backscatter at 1 m vertical interval. The analyses are done by correlating the timing of changes of current speed with respect to the tide. Moreover, relative turbidity is calculated according to the measured backscatter employing an empirical calibration formula. From the analyses, it is seen that the tidal range and the expected current speed is positively correlated. Apparently, the maximum current speed (i.e. 0.42 m/s) during the observation is correlated to the lower high water event. The speed of the current seems to be equally distributed throughout the water column. Compared to the lower layer, there is a slight time advance of increasing current at the upper layer. The relative turbidity calculated from the observed backscatter indicates that denser suspended solid is distributed at the lower layer. Increasing turbidity is identified during low water following higher high water. The direction of current is reversible. The corresponding occurrence and speed are twice much and twice strong as in the direction of 33° compared to the direction of 226°, respectively.*

**Keywords:** field observation, current direction, current magnitude, relative turbidity, tidal range

## PENDAHULUAN

Kepulauan Seribu disebut sebagai kompleks potongan terumbu karang (*patch reef complexes*) yang tersebar di perairan barat daya Laut Jawa di sebelah barat laut Teluk Jakarta (Tomascik et al., 1997). Tegakan-tegakan terumbu karang di wilayah ini membentuk batimetri yang rumit dan unik utamanya berupa rata-rataan terumbu, cekungan terumbu, dan kanal-kanal antar-terumbu (Brock et al., 2008; Leon & Woodroffe, 2013).

Pulau Pramuka adalah tempat kedudukan pusat pemerintahan Kabupaten Administrasi Kepulauan Seribu yang sekaligus menjadi bagian dari Taman Nasional Laut (Daerah Khusus Ibu kota Jakarta, 2002) yang dewasa ini dikungkung oleh budidaya perikanan laut (*mariculture*) dan wisata bahari yang kegiatannya terus meningkat dari tahun ke tahun (Nurjanah, 2012; Windupranata & Hayatiningsih, 2011). Kungkungan ini memberi tekanan terhadap kualitas perlindungan dan pengelolaan wilayah yang akan memerlukan penanganan yang lebih baik (Poerbandono, 2012). Untuk itu, dibutuhkan pengetahuan-pengetahuan yang terkini dan akurat yang dapat menjadi salah satu dasar dalam merencanakan program perlindungan dan pengelolaan kawasan. Salah satu pengetahuan tersebut adalah dinamika arus di perairan sekitar pulau-pulau di Kepulauan Seribu.

Arus merupakan gerakan massa air yang bertanggung jawab memindahkan materi melalui badan air. Sebagaimana diuraikan dalam literatur klasik, di perairan pesisir yang didominasi pasut kecepatan arus minimum biasanya terjadi pada kedudukan air terendah (atau tertinggi), sedangkan kecepatan arus maksimum biasanya terjadi saat muka air berada pada kedudukan rata-ratanya (Krümmel, 1911). Beberapa pendapat dan laporan teknis tentang perilaku arus di perairan sekitar Pulau Pramuka menyebutkan bahwa arus lebih dibangkitkan oleh angin (dibandingkan oleh pasut dan gelombang) dengan kisaran kecepatan dari beberapa cm/detik hingga beberapa dm/detik yang arahnya bergantung pada musim (Munier et al., 2012; Rahardjo, 2013). Walaupun demikian, hingga saat makalah ini disusun belum banyak yang dapat dikenali tentang pewaktuan dan hubungan perubahan kecepatan arus dengan pasut di lokasi kajian.

Pada makalah ini karakteristik perilaku arus di sekitar Pulau Pramuka akan dibahas, termasuk hubungannya dengan tinggi pasut. Pembahasan akan didasarkan pada hasil pengukuran lapangan menggunakan *Acoustic Doppler Current Profiler* (ADCP). ADCP memungkinkan pengumpulan data arus pada sepanjang kolom air. Selain itu, pada makalah ini juga akan dibahas perubahan persebaran materi padat tersuspensi yang mengikuti denyut perubahan kecepatan arus. Tujuan dari pembahasan tersebut dilakukan untuk

mendapatkan korelasi antara tunggang pasut dan kedudukan muka air dengan kecepatan arus, profil kecepatan arus di sepanjang kolom air, waktu perubahan kecepatan arus, distribusi arah dan kecepatan arus pasut, serta distribusi vertikal kekeruhan relatif yang dihitung dari hamburan balik akustik.

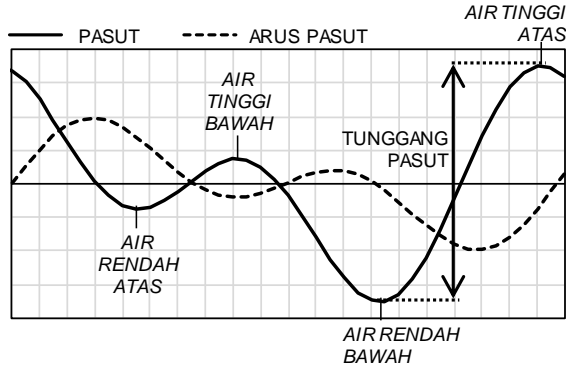
## METODE

Penelitian ini menganalisis data pengukuran lapangan menggunakan ADCP yang merekam kecepatan arus dan hamburan balik akustik pada setiap lapisan kolom air. Untuk mengukur kecepatan arus, ADCP memanfaatkan materi padat tersuspensi di kolom air yang menghamburkan frekuensi gelombang akustik yang dipancarkannya. Karena arus, materi padat tersuspensi akan bergerak relatif terhadap ADCP, sehingga gelombang akustik yang terhamburkan balik akan mengalami efek Doppler dan berubah frekuensinya. Kecepatan arus akan sebanding dengan besarnya perubahan frekuensi karena efek Doppler (Gordon, 1996). Untuk mendapatkan arah arus, ADCP memanfaatkan geometri transduser yang mengarah ke sumbu-sumbu pengukuran yang saling tegak lurus. Dengan bantuan kompas, sumbu-sumbu tersebut ditera untuk mendapatkan komponen-komponen arus pada arah utara dan timur. Pengukuran di sepanjang kolom air didapatkan dari penggerbangan waktu dengan asumsi, hamburan balik yang tiba terlebih dahulu berasal dari lapisan pengukuran yang terdekat. Selain itu, ADCP juga mengumpulkan data tinggi muka air selama pengukuran berlangsung yang diperoleh dengan penghitungan berdasarkan data dari sensor tekanan. Data ini memungkinkan penghitungan muka air rata-rata secara aritmetika (Poerbandono, 2018).

Analisis data dari pengukuran ADCP dilakukan dengan melihat hubungan antara kecepatan arus yang berubah menurut waktu dengan perubahan tinggi muka air terhadap muka air rata-rata (MAR) yang dihitung dengan perata-rataan aritmetika dari data selama pengukuran berlangsung. Arus pasut minimum biasanya terjadi pada kedudukan air saat pasut terendah (atau tertinggi), sedangkan arus pasut maksimum biasanya terjadi saat muka air berada pada kedudukan rata-rata (Pugh & Woodworth, 2014). Pada **Gambar 1** diperlihatkan idealisasi hubungan menurut waktu (*time series*) antara tinggi pasut tipe campuran dengan kecepatan arus pasut yang terbangkitkan selama satu siklus pasut.

Walaupun demikian, perilaku arus di celah antar-daratan yang sempit dapat berbeda dengan idealisasi yang diperlihatkan pada **Gambar 1**. Perubahan kecepatan arus akan mengikuti kedudukan air tinggi (Pugh & Woodworth, 2014). Oleh karena itu, hubungan antara kecepatan dan

arah arus dengan perubahan tinggi muka air karena pasut akan diulas lebih rinci untuk mengungkap rentang kecepatan arus yang terjadi, distribusi kecepatan arus ke arah yang berbeda, perbedaan kecepatan arus antar-lapisan pengukuran, pertukaran perpindahan volume air, dan hubungan antara tunggang pasut dengan kecepatan arus yang dapat terjadi.



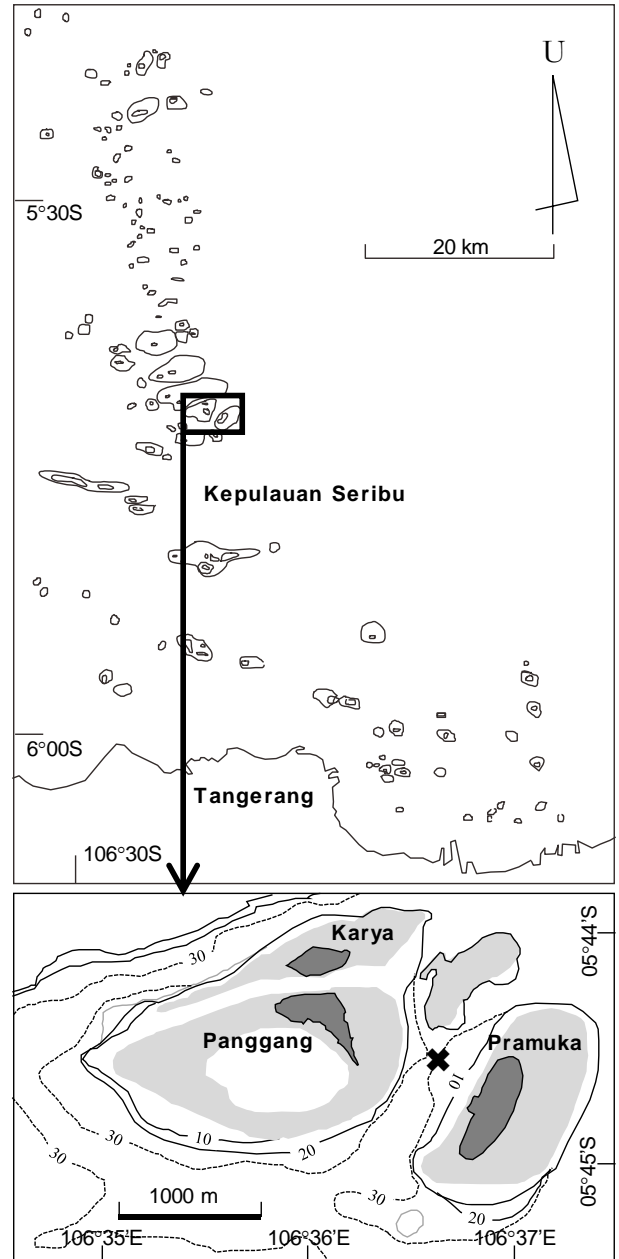
**Gambar 1.** Idealisasi pasut jenis setengah harian campuran dan hubungannya dengan arus pasut yang dibangkitkan.

Berbeda dengan arus dan tinggi muka air, peningkatan kekeruhan akan tertinggal beberapa saat setelah naiknya kecepatan arus karena efek keterlambatan dari *resuspension*. Ini adalah proses teraduknya sedimen dari dasar perairan kembali ke kolom air karena tegangan geser dasar (*bed shear stress*) yang bekerja di dasar perairan karena arus pasut tersebut (Dyer, 1986). Akibatnya, puncak konsentrasi kekeruhan tidak akan terjadi bersamaan dengan puncak kecepatan arus melainkan tertinggal beberapa menit hingga beberapa jam di belakang puncak kecepatan arus pasut.

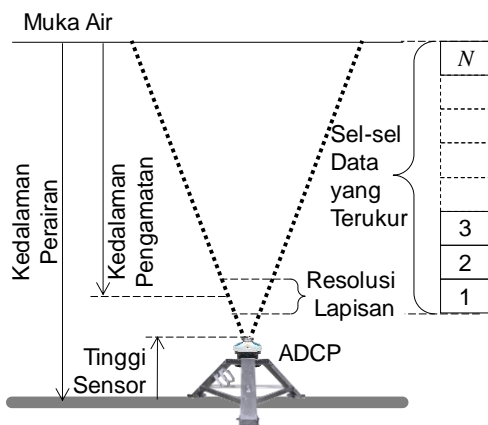
Pada penelitian ini, pengukuran dilakukan di satu titik dengan posisi 5°44'31,53" LS dan 106°36'38,13" BT pada kedalaman sekitar 30 m di kanal antar-terumbu sekira 600 m timur laut Pulau Pramuka ke arah Pulau Panggang (**Gambar 2**). ADCP berfrekuensi 614,4 kHz digunakan dalam pengukuran selama 25 jam dan 50 menit dengan kerapatan antardata 10 menit, sekitar dua hari setelah pasang perbani (Hydrography Research Laboratory, 2019). ADCP tersebut diletakkan di dasar perairan dengan menghadap ke atas untuk mengukur profil arus dan hamburan balik dengan selang vertikal 1 m (**Gambar 3**).

Pada **Gambar 4** diperlihatkan foto ADCP yang telah dikonfigurasi dan rangka penyangga di atas perahu sebelum dipasang dan diletakkan di dasar perairan dan lokasi peletakan ADCP yang ditandai dengan pelampung putih dipandang ke arah sisi barat laut Pulau Pramuka. Dari pengukuran diperoleh sebanyak 156 *ensemble* (kumpulan data). Setiap kumpulan data terdiri atas data waktu (tahun, bulan, tanggal, jam, menit, detik), arah, tekanan, suhu, sudut angguk (*pitch*), sudut guling

(*roll*), serta arus dan intensitas hamburan balik akustik dari empat transduser dan 30 lapisan pengukuran. Data arus dan intensitas hamburan balik akustik direkam dari penerokan (*sampling*) sebanyak 50 kali per *ensemble* dengan waktu per terok sepanjang 12 detik. Saat pengukuran berlangsung, cuaca sangat cerah dan angin bertiup lemah.



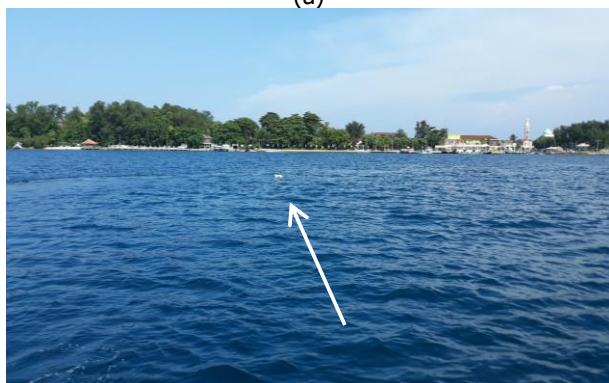
**Gambar 2.** Lokasi stasiun pengukuran pada kanal antar-terumbu di sisi timur laut dari Pulau Pramuka ke arah Pulau Panggang, Kepulauan Seribu.



**Gambar 3.** Rancangan peletakan ADCP di dasar perairan dan diagram lapisan pengukuran sepanjang kolom air (Poerbandono, 2018)



(a)



(b)

**Gambar 4.** (a) ADCP yang telah dikonfigurasi dan rangka penyangga sebelum dipasang dan diletakkan di dasar perairan, (b) lokasi peletakan ADCP yang ditandai dengan pelampung putih dipandang ke arah sisi barat laut Pulau Pramuka.

Selain kecepatan arus, pembahasan juga akan mencakup perilaku hamburan balik akustik. Hamburan balik akustik diinterpretasikan sebagai kepadatan materi padat tersuspensi. Nilai hamburan balik akustik menyatakan kepadatan materi padat tersuspensi secara relatif. Hubungan antara intensitas hamburan balik (*backscatter* - BS) dalam dB dengan konsentrasi materi padat tersuspensi (*C*) dalam mg/l dinyatakan sebagai (Gartner, 2004):

$$10\log C = a \times BS + b \dots\dots\dots(1)$$

dengan *C* = konsentrasi materi padat tersuspensi dalam mg/l, BS = intensitas hamburan balik dalam dB, serta *a* dan *b* adalah tetapan-tetapan empirik yang diperoleh melalui regresi dengan prinsip kuadrat terkecil. Dari **Persamaan 1**, akan dapat diketahui bahwa perubahan intensitas akustik sebesar 3 dB akan setara dengan perubahan densitas atau konsentrasi materi padat tersuspensi sebesar dua kali lipat. Untuk keperluan analisis, intensitas hamburan balik yang diukur oleh ADCP terlebih dahulu dikoreksi terhadap kehilangan intensitas saat perambatan dengan pendekatan (Poerbandono & Mayerle, 2005):

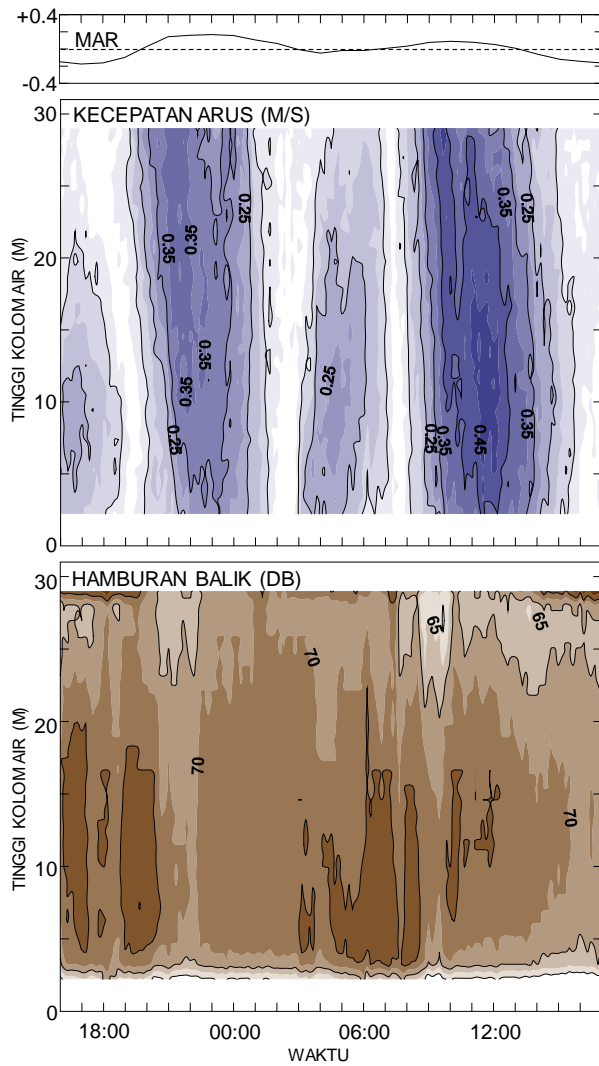
$$BS = 0,43 \times BS' + 2\alpha R + 20\log R \dots\dots\dots(2)$$

dengan *BS'* = intensitas hamburan balik yang terekam oleh ADCP dalam satuan *count*, serta  $\alpha$  = laju pelemahan intensitas akustik yakni 0,224 dB/m (Lohrmann, 2001) dan *R* adalah jarak ke lapisan di kolom air yang diukur.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

Pada **Gambar 5** diperlihatkan hasil pengukuran tinggi muka air, kecepatan arus, dan intensitas hamburan balik akustik. Pengukuran dimulai saat menjelang kedudukan air rendah bawah dan berakhir pada air rendah berikutnya setelah sekitar hampir 26 jam kemudian. Dari **Gambar 5** dapat dilihat bahwa kecepatan arus mengalami peningkatan seiring dengan kedudukan pasut di atas muka air rata-rata (MAR). Kecepatan arus menurun bersamaan dengan kedudukan-kedudukan pasut menjelang air tinggi dan menjelang air rendah. Hal ini mencirikan fenomena perilaku arus di celah sempit yang mekanismenya menyerupai perilaku gelombang berdiri.

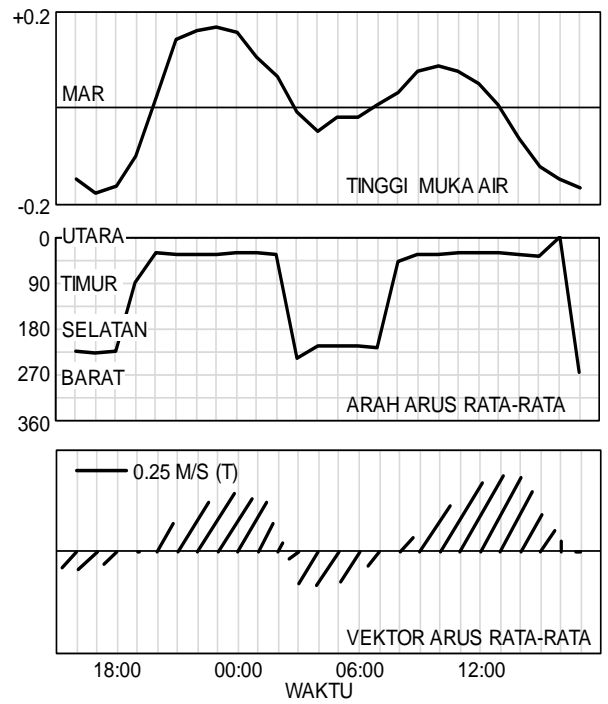
Peningkatan kecepatan arus terjadi saat air tinggi dan saat air rendah. Dari **Gambar 5** juga terlihat bahwa kekeruhan relatif terjadi dari ketinggian kolom air sekitar 3 m hingga sekitar 20 m atau di bagian tengah kolom air yang dapat diinterpretasikan sebagai mekanisme perpindahan materi secara lateral dan bukan pasokan materi secara vertikal dari dasar perairan. Peningkatan aktivitas kekeruhan relatif berlangsung saat terjadinya kecepatan arus yang lebih rendah. Saat kecepatan arus yang lebih tinggi, aktivitas kekeruhan relatif terlihat menurun. Hal ini memperlihatkan keterlambatan proses *resuspension* yang tidak serta merta mengikuti kecepatan arus puncak, melainkan terjadi berapa jam setelah kejadian kecepatan arus maksimum.



**Gambar 5.** Perubahan menurut waktu dari tinggi muka air (atas) relatif terhadap muka air rata-rata (MAR), kecepatan arus (tengah), dan intensitas hamburan balik akustik (bawah) dari pengukuran

**Arah dan Kecepatan Arus**

Perubahan arah arus rata-rata seiring dengan perubahan kedudukan muka air ditunjukkan pada **Gambar 6**. Dari **Gambar 6** dapat dilihat bahwa arah arus terbagi menjadi dua, sebagian besar ke arah timur laut dan sebagian kecil sisanya ke arah barat daya. Arus ke arah timur laut berlangsung selama kedudukan pasut di atas MAR, sedangkan arus ke arah barat daya berlangsung selama kedudukan pasut di bawah MAR. Ringkasan kejadian arah dan kecepatan arus selama pengukuran berlangsung dirangkum pada **Tabel 1**. Dari **Tabel 1** dapat dilihat bahwa 60% arus rata-rata bergerak ke arah timur laut dengan kecepatan maksimum 0,44 m/detik dengan sudut jurusan rata-rata 33°, sedangkan 32% arus rata-rata bergerak ke arah barat daya dengan kecepatan hingga 0,22 m/detik dengan sudut jurusan rata-rata 226°.



**Gambar 6.** Perubahan menurut waktu dari tinggi muka air (atas) relatif terhadap muka air rata-rata (MAR), arah arus rata-rata (tengah), dan vektor (kecepatan dan arah) arus rata-rata (bawah) dari pengukuran

**Tabel 1.** Catatan kejadian serta kecepatan dan arah arus rata-rata selama pengukuran dari jumlah data sebanyak 156.

Arah Cacah %	Durasi (Jam: Menit)		Kecepatan (m/detik)		
			Maksimum	Rata-rata	
33°	94	60	15:34	0,44	0,23
226°	50	32	08:17	0,22	0,12

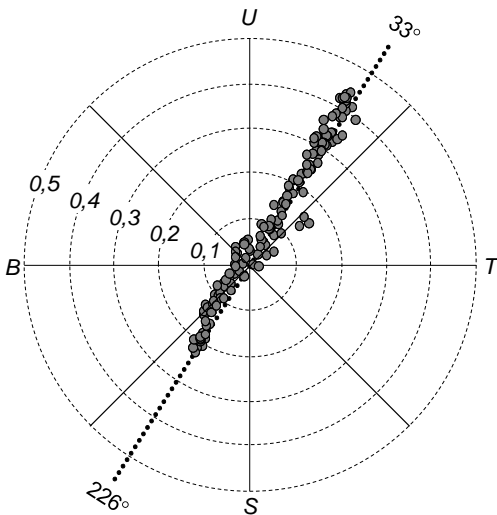
Dari **Gambar 6** dan **Tabel 1** menunjukkan bahwa arus dengan arah timur laut terjadi hampir dua kali lipat arus dengan arah barat daya. Jika dengan perkiraan durasi 15 jam dan 34 menit (**Tabel 1**), maka arus timur laut berperan dalam memindahkan air sebanyak sekitar  $56 \times 10^3 \text{ m}^2/\text{m}$ , sementara itu dengan perkiraan durasi 8 jam dan 17 menit maka arus barat daya memindahkan air sebanyak sekitar  $30 \times 10^3 \text{ m}^2/\text{m}$ . Dari penghitungan ini, diketahui bahwa lokasi yang dipilih sebagai tempat pengukuran merupakan wilayah yang mengalirkan lebih banyak air ke arah timur laut. Pengaliran tersebut berlangsung selama kedudukan pasut berada di atas MAR.

Pada **Gambar 7** diperlihatkan pencaran kejadian arus selama pengukuran berlangsung. Dengan penerapan regresi linier dan penguncian titik potong garis regresi di sumbu tegak sebagai nol, maka dapat diperoleh koefisien rata-rata perbandingan arah arus di komponen utara ( $v$ ) terhadap arah arus di komponen timur ( $u$ ) sebagai:



$$v = 1,56u \dots\dots\dots (3)$$

Garis regresi linier yang ditunjukkan di **Persamaan 3** memberikan ukuran koefisien determinasi ( $R^2$ ) sebesar 0,96. Ukuran ini memberikan gambaran bahwa garis regresi linier tersebut sangat mewakili sifat arah arus yang *bi-directional* atau secara bergantian menuju ke dua arah yang saling berkebalikan.



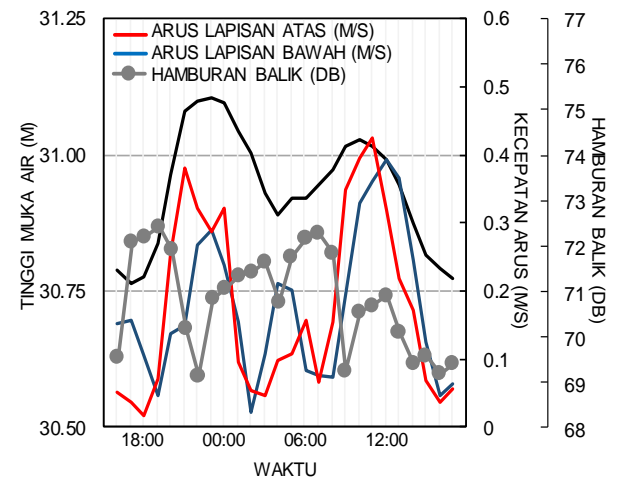
**Gambar 7.** Sebaran data kecepatan (dalam m/detik) dan arah (dalam derajat dari utara) arus rata-rata selama pengukuran

**Aktivitas Kekeruhan Relatif dan Lapisan Kecepatan**

Sebagaimana telah diperlihatkan pada **Gambar 5**, kekeruhan relatif (yang dideteksi dari intensitas hamburan balik akustik) lebih banyak terjadi di bagian tengah kolom air dibandingkan di lapisan atas atau bawah. Selain itu, peningkatan aktivitas kekeruhan relatif berlangsung saat terjadinya kecepatan arus yang lebih rendah. Saat kecepatan arus yang lebih tinggi, aktivitas kekeruhan relatif terlihat menurun. Aktivitas kekeruhan relatif menunjukkan perubahan menurut waktu dari tinggi muka air, kecepatan arus di lapisan atas, dan kecepatan arus di lapisan bawah, serta intensitas hamburan balik rata-rata selama pengukuran (**Gambar 8**). Kekeruhan relatif minimum terjadi bersamaan dengan kedudukan muka air tinggi (baik atas maupun bawah). Sementara itu, peningkatan kekeruhan relatif berlangsung dari kedudukan pasut di antara muka air rendah ke muka air tinggi atau pada fase menuju pasang dan dari kedudukan pasut di antara muka air tinggi ke muka air rendah atau pada fase menuju surut.

Dari **Gambar 8** dapat dilihat pula bahwa arus di lapisan atas relatif lebih kuat dengan peningkatan kecepatan yang mendahului arus di lapisan bawah. Dengan kata lain, arus di lapisan bawah relatif lebih lemah dengan peningkatan kecepatan yang

berlangsung setelah peningkatan kecepatan arus di lapisan atas. Fenomena ini terjadi pada kedudukan pasut di atas MAR. Pada kedudukan pasut di bawah MAR, terlihat bahwa arus di lapisan bawah lebih kuat dari arus di lapisan atas dan peningkatan kecepatannya mendahului.



**Gambar 8.** Perubahan tinggi muka air, kecepatan arus di lapisan atas (28 m dari dasar), dan kecepatan arus di lapisan bawah (8 m dari dasar).

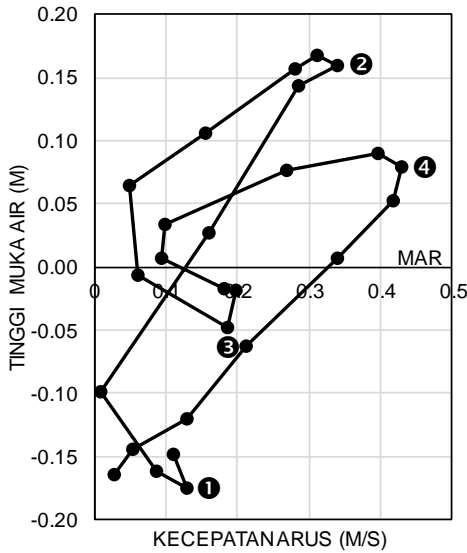
Pada **Gambar 8** terlihat bahwa peningkatan dan penurunan aktivitas kekeruhan relatif dapat mencapai selisih deteksi hingga 3 dB. Selisih ini menandakan kesetaraan perubahan konsentrasi materi padat tersuspensi hingga dua kali lipat sebagai akibat ayunan perubahan kecepatan arus yang terjadi.

**Tanggung Pasut dan Kecepatan Arus**

**Gambar 9** menunjukkan hubungan antara kecepatan arus rata-rata dengan beberapa kedudukan tinggi muka air (1 = air rendah bawah, 2 = air tinggi atas, 3 = air rendah atas, 4 = air tinggi bawah) dengan selang waktu sekitar enam jam. Dari **Gambar 9** dapat dilihat bahwa kecepatan arus maksimum terjadi pada saat air tinggi bawah. Kecepatan arus kembali meningkat hingga saat air tinggi atas, namun kecepatan arus pada saat air tinggi atas ini tidak sebesar kecepatan arus maksimum saat air tinggi bawah.

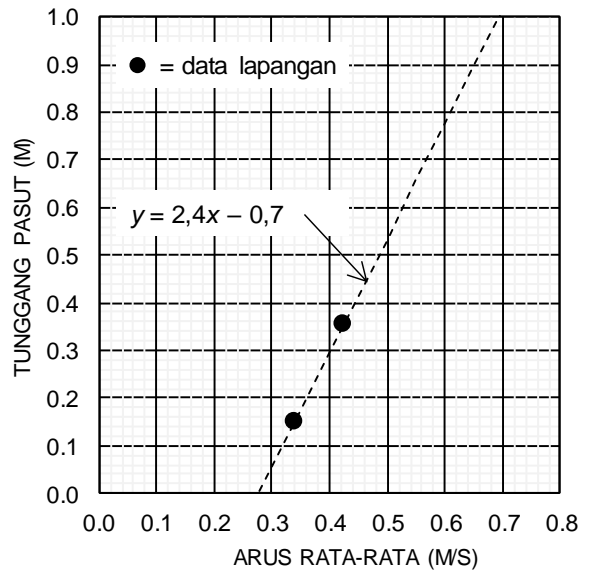
Pada **Gambar 10** ditunjukkan kurva empirik hubungan antara tanggung pasut dengan perkiraan kecepatan arus rata-rata. Dari pengukuran diperoleh dua tanggung pasut, yakni: 0,15 m dan 0,35 m serta dua kecepatan arus maksimum yang berhubungan dengan dua tanggung pasut tersebut, yakni: 0,44 m/detik dan 0,34 m/detik. Hubungan ini divisualisasikan di **Gambar 10** sebagai kurva empirik yang menghubungkan tanggung pasut maksimum harian dengan perkiraan kecepatan arus rata-rata maksimum yang dapat terjadi.

Seiring dengan naiknya muka air karena pasut, kecepatan arus di lapisan atas meningkat lebih cepat (mendahului hingga sekitar satu jam) dibanding dengan peningkatan kecepatan arus di lapisan bawah. Selain peningkatan kecepatan arus yang dihubungkan dengan naiknya muka air karena pasut, terdapat pula aktivitas peningkatan kecepatan arus yang terjadi saat air rendah dengan kecepatan mencapai 0,22 m/detik. Saat air rendah peningkatan kecepatan arus di lapisan bawah terjadi sebelum lapisan atas.



**Gambar 9.** Hubungan antara kedudukan tinggi muka air (1 = air rendah bawah, 2 = air tinggi atas, 3 = air rendah atas, 4 = air tinggi bawah) dengan kecepatan arus rata-rata.

Dari tunggang pasut harian dapat diperoleh perkiraan kecepatan arus maksimum yang dapat terjadi berdasarkan tunggang pasut 0,15 m dan 0,35 m yang berhubungan dengan kecepatan arus 0,44 m/detik dan 0,34 m/detik. Dari pasangan data kecepatan arus dan tunggang pasut harian yang divisualisasikan di **Gambar 10**, kemudian dihitunglah hubungan empirik antara tunggang pasut maksimum harian dengan perkiraan kecepatan arus rata-rata maksimum (**Tabel 2**). Pasangan data tersebut memberikan konfirmasi tentang korelasi positif antara naiknya tunggang pasut dengan meningkatnya kecepatan arus rata-rata maksimum. Perlu diingat bahwa skenario yang diurutkan di **Tabel 2** harus dibaca sebagai perkiraan harian, mengingat kejadian arus maksimum tidak bersamaan dengan tunggang pasut maksimum, melainkan bersamaan dengan kejadian tunggang pasut minimum harian. **Gambar 10** dapat digunakan untuk memprediksi besarnya arus pasut maksimum yang dapat terjadi jika diketahui tunggang pasutnya seperti yang diperlihatkan di **Tabel 2**.



**Gambar 10.** Persamaan garis yang menghubungkan tunggang pasut maksimum harian dengan perkiraan kecepatan arus rata-rata maksimum yang dapat terjadi.

**Tabel 2.** Skenario beberapa tunggang pasut (Y) harian maksimum dengan perkiraan kecepatan arus rata-rata maksimum (V) yang dapat terjadi.

Y(m)	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,70	0,90
V(m/det.)	0,32	0,36	0,40	0,44	0,49	0,57	0,65
V(knot)	0,62	0,70	0,78	0,86	0,95	1,11	1,26

**KESIMPULAN**

Perilaku arus ditandai oleh kecepatan rata-rata maksimum yang berkorelasi positif dengan tunggang pasut. Hal ini adalah ciri pembangkitan arus karena pasut yang ditandai dengan arah yang saling berkebalikan (*bi-directional*), yakni ke arah 33° (sekitar timur laut) dan 226° (sekitar barat daya). Kecepatan arus berubah seiring dengan perubahan kedudukan muka air. Kecepatan arus tertinggi, 0,42 m/detik, terjadi saat tunggang pasut tertinggi, 0,35 m. Kecepatan arus cenderung lebih tinggi saat kedudukan air tinggi. Kecepatan arus minimum cenderung terjadi saat kedudukan air rendah. Lokasi pengukuran yang berada di kanal antar terumbu menghasilkan distribusi kejadian arus yang tak simetris. Sebagian besar, 60%, arus menuju timur laut, sementara setengahnya, 32%, menuju barat daya. Perbedaan kecepatan arus sepanjang kolom air hampir tidak terlihat. Kecepatan arus cenderung seragam di sepanjang kolom air. Sementara itu, kekeruhan terlihat di kolom air bagian tengah yang berlangsung dengan kedudukan air rendah.

## UCAPAN TERIMA KASIH

ADCP yang digunakan di penelitian ini didukung oleh PT Geotronix Pratama Indonesia. Logistik penelitian didukung oleh Program Studi Teknik Geodesi dan Geomatika ITB dalam rangka praktik lapangan mata kuliah GD3202 Hidrografi II Semester II Tahun 2018/2019. Penulis berterima kasih kepada para mitra bestari yang telah melakukan pratinjau terhadap *draft* makalah ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- Brock, J. C., Palaseanu-Lovejoy, M., Wright, C. W., & Nayegandhi, A. (2008). Patch-reef morphology as a proxy for Holocene sea-level variability, Northern Florida Keys, USA. *Coral Reefs*, 27(3), 555–568. <https://doi.org/10.1007/s00338-008-0370-y>
- Daerah Khusus Ibu Kota Jakarta. (2002). Surat Keputusan Nomor 6310/Kpts-II/2002 tentang Penetapan Kawasan Pelestarian Alam Perairan Taman Nasional Laut Kepulauan Seribu seluas 107.489 hektare di Kabupaten Administrasi Kepulauan Seribu Provinsi Daerah Khusus Ibu kota Jakarta, Tahun 2002.
- Dyer, K. R. (1986). *Coastal and Estuarine Sediment Dynamics* (2nd Editio). John Wiley and Sons.
- Gartner, J. W. (2004). Estimating suspended solids concentrations from backscatter intensity measured by acoustic Doppler current profiler in San Francisco Bay, California. *Marine Geology*, 211(3–4), 169–187. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2004.07.001>
- Gordon, R. L. (1996). *Acoustic Doppler Current Profiler: Principles of Operation*. RD Instruments.
- Hydrography Research Laboratory. (2019). *ADCP survey in an inter-reef channel of Pramuka and Panggang cays 22-23 March 2019*.
- Krümmel, O. (1911). *Handbuch der Ozeanographie: Die Bewegungsformen des Meeres*. Verlag von J. Engelhorn's Nachfolger.
- Leon, J. X., & Woodroffe, C. D. (2013). Morphological characterisation of reef types in Torres Strait and an assessment of their carbonate production. *Marine Geology*, 338, 64–75. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2012.12.009>
- Lohrmann, A. (2001). Monitoring sediment concentration with acoustic backscattering instruments. *Nortek AS*, 3(I), 1–5.
- Munier, M. T., Soedharma, D., Prariono, T., & Damar, A. (2012). Analisis beban limbah dan pengayaan nutrisi pada kegiatan keramba jaring apung di perairan Pulau Panggang dan Pramuka, Kabupaten Kepulauan Seribu. *Omni-Akuatika*, 11(14), 18–27.
- Nurjanah, R. (2012). Studi persepsi dampak perubahan pemanfaatan lahan terhadap kunjungan wisata di Pulau Pramuka Kepulauan Seribu. *Jurnal Perencanaan Wilayah Dan Kota*, 23(2), 139–156.
- Poerbandono. (2012). The seribu islands patch reef complexes: A geospatial revisit toward a compendium of risks on Indonesia's small islands. *11th International Symposium and Exhibition on Geoinformation*. Kuala Lumpur.
- Poerbandono. (2018). *Survei hidroakustik: Pengukuran dan deteksi kolom air di perairan dangkal*. Penerbit ITB.
- Poerbandono, & Mayerle, R. (2005). Effectiveness of acoustic profiling for estimating the concentration of suspended material. *Die Kuste*, 69, 393–407.
- Pugh, D., & Woodworth, P. (2014). *Sea level science: Understanding tides, surge, tsunamis, and mean sea-level changes*. Cambridge University Press.
- Rahardjo, P. (2013). Pendekatan ekosistem untuk mitigasi akibat perubahan iklim pada pulau kecil (Pulau Pramuka Kepulauan Seribu). *Seminar Nasional Penataan Ruang Berkearifan Lokal Dalam Pembangunan Berkelanjutan*. Denpasar.
- Tomascik T., Mah A.J., Nontji A., M. M. K. (1997). *The ecology of the Indonesian seas*. Periplus Editions.
- Windupranata, W., & Hayatiningsih, I. (2011). Optimization of mariculture sites in the tourism area of Seribu Islands, Java Sea, Indonesia. *Tourism in Marine Environments*, 7(3–4), 133–140.