



Observasi Pasang Surut dan Arus di Muara Porong untuk Mendukung Pengembangan Pulau Lusi

Observation of Tide and Current in Muara Porong to Support Lusi Island Development

AGUS SUFYAN^{1*}, JOHAN RISANDI², RUDHY AKHWADY¹

¹Pusat Riset Konservasi Sumber Daya Laut dan Perairan Darat, Badan Riset dan Inovasi Nasional, Bogor, 16911, Indonesia

²Pusat Riset Oseanografi, Badan Riset dan Inovasi Nasional, Jakarta, 14430, Indonesia

*agussufyan@gmail.com

ARTICLE INFO

Article history:

Received 12 August 2022

Accepted 03 May 2023

Published 31 July 2023

Keywords:

Currents

Estuary

Observation

Tides

Porong

ABSTRACT

Tides and currents are essential factors that affect activities in estuary waters. The observation of tides and currents at the estuary of the Porong River is very important to support the development of Lusi Island, Sidoarjo Regency, East Java. The observation results in the form of tidal and current characteristics can be used to support the development of Lusi Island. Currently Lusi Island has been used as ecotourism to improve the economy of the people around the coast. This study aims to determine the characteristics of the tides and current velocity to support the development of Lusi Island. Analysis of the observed data was carried out to get an overview of the hydrodynamic characteristic at the study site. The results showed that the tidal range was 2.053 m and the average current speed was 0.25 m/s with a minimum current speed of 0 m/s and a maximum current speed of 0.86 m/s. The results of tidal analysis can be used as a elevation reference to construct buildings on Lusi Island, while the direction and speed of the currents can be used as initial information by the ship's captain as well as consideration for the location of the pier. The comparison model of tidal results obtained by the model that is closest to the measurement results is the Naotide model. The results of the most accurate model can be used to predict the height of the sea tides around Porong estuary.

INFORMASI ARTIKEL

Histori artikel:

Diterima 12 Agustus 2022

Disetujui 03 Mei 2023

Diterbitkan 31 Juli 2023

Kata kunci:

Arus

Muara

Observasi

Pasang surut

Porong

ABSTRAK

Pasang surut dan arus merupakan faktor penting yang mempengaruhi aktifitas di suatu perairan muara. Observasi pasang surut dan arus di muara Sungai Porong sangat penting dilakukan untuk mendukung pengembangan Pulau Lusi, Kabupaten Sidoarjo, Jawa Timur. Hasil observasi berupa karakteristik pasang surut dan arus dapat dimanfaatkan untuk mendukung pengembangan Pulau Lusi. Saat ini Pulau Lusi sudah dimanfaatkan sebagai ekowisata guna meningkatkan ekonomi masyarakat sekitar pesisir. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik pasang surut dan kecepatan arus yang dapat dimanfaatkan untuk mendukung pengembangan Pulau Lusi. Analisa data hasil observasi dilakukan untuk mendapatkan gambaran karakteristik hidrodinamika di lokasi penelitian. Hasil penelitian menunjukkan tunggang pasang surut sebesar 2,053 m dan kecepatan arus rata-rata 0,25 m/detik dengan kecepatan arus minimum 0 m/detik serta kecepatan arus maksimum 0,86 m/detik. Hasil analisa pasang surut dapat dimanfaatkan sebagai referensi pada perencanaan elevasi bangunan di Pulau Lusi, sedangkan arah dan kecepatan arus dapat dimanfaatkan sebagai informasi awal oleh nahkoda kapal serta pertimbangan penempatan dermaga yang akan dibangun. Hasil perbandingan model pasang surut diperoleh hasil model yang paling mendekati hasil pengukuran adalah model Naotide. Hasil model yang paling akurat dapat dimanfaatkan untuk prediksi elevasi pasang surut di sekitar muara Porong.

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Muara merupakan perairan semi tertutup yang berhubungan bebas dengan laut serta tercampur dengan air tawar dari daratan seperti sungai (Chester, 1993; Mateus *et al.*, 2008). Daerah muara umumnya memiliki nilai ekonomis tinggi dan terkadang dimanfaatkan sebagai daerah wisata, permukiman dan kegiatan ekonomi lain seperti perikanan dan pelabuhan (Bengen, 2004; Barbier *et al.*, 2011). Salah satu masalah yang umum terjadi di muara adalah sedimentasi berlebihan yang disebabkan oleh beberapa hal seperti kondisi hidrodinamika dari laut dan sungai (Sukarno & Yusuf, 2013) serta angkutan sedimen dari hulu sungai (Bettes, 2008). Sungai Porong yang terletak di Kabupaten Sidoarjo, Jawa Timur, merupakan akses utama pembuangan lumpur panas dari bencana geologi Lapindo menuju ke Laut Jawa (BAPEL-BPLS, 2011). Setiap hari, volume lumpur yang dibuang mencapai 50.000 – 120.000 m³/hari (Kementerian Lingkungan Hidup, 2006), yang mengakibatkan sedimentasi berlebihan di muara Sungai Porong dan terbentuknya daratan baru yang dinamakan Pulau Lumpur Sidoarjo (Lusi) (Pahlevi & Wiweka, 2010; Masella & Purnomo, 2020).

Pulau Lusi merupakan pulau hasil endapan sedimen di muara Sungai Porong dengan luas sekitar 94 hektar dan dikelola oleh Kementerian Kelautan dan Perikanan (KKP) (Ayuningtyas dkk., 2019). Luas pulau diduga terus bertambah karena masih terjadi aktifitas pembuangan lumpur di Sungai Porong. KKP berencana mengembangkan Pulau Lusi sebagai Pusat Restorasi dan Pembelajaran Mangrove (Dinas Kepemudaan, Olahraga dan Pariwisata Kabupaten Sidoarjo, 2018). Ekowisata Pulau Lusi belum dikenal secara luas oleh masyarakat karena pengunjung didominasi oleh masyarakat sekitar (Rakhmah & Kuspriyanto, 2019). Penelitian Prasenja *et al.* (2017) menjelaskan konservasi mangrove di Pulau Lusi memiliki potensi sebagai kawasan wisata alam dan perikanan (ekominawisata).

Pasang surut dan arus merupakan faktor yang mempengaruhi aktifitas di suatu perairan muara. Observasi pasang surut dan arus di muara Sungai Porong penting dilakukan untuk mendukung pengembangan Pulau Lusi. Hasil observasi berupa karakteristik pasang surut dan arus dapat dimanfaatkan untuk mendukung pengembangan Pulau Lusi. Dalam penentuan elevasi dermaga di pulau Lusi dapat memanfaatkan informasi pasang surut. Terkait keamanan transportasi kapal wisatawan yang akan menuju pulau Lusi dapat mempertimbangkan arah dan kecepatan arus serta elevasi pasang surut. Kajian terkait pentingnya faktor pasang surut untuk aktivitas keselamatan navigasi dan pelayaran wisata pernah dilakukan oleh beberapa peneliti (Sangkop *et al.*, 2015; Irawan, 2016). Arah dan kecepatan arus juga dapat menjadi pertimbangan dalam penentuan lokasi pembangunan suatu dermaga baru.

Elevasi pasang surut umumnya diperoleh dari hasil pengukuran langsung dalam kurun waktu tertentu, akan tetapi untuk kepentingan desain pelabuhan diperlukan data pasang surut dalam jangka waktu lama dan dapat dilakukan melalui pendekatan model (Alfredini *et al.*, 2015). Model prediksi pasang surut memiliki tingkat resolusi dan akurasi yang berbeda antara satu dengan lainnya. Model pasang surut secara umum dibangun berdasarkan persamaan dinamika muka air laut karena pengaruh astronomis. Untuk itu, diperlukan data hasil observasi pasut dalam jangka panjang pada banyak lokasi pengamatan untuk mendapatkan hasil yang akurat. Tidak hanya faktor astronomis, faktor lain seperti batimetri dan posisi lintang juga berpengaruh pada variasi muka air (Tan *et al.*, 2019). Ada banyak model pasang surut, diantaranya adalah *Naotide*, *Tidal Model Driver* (TMD) dan Badan Informasi Geospasial (BIG). Untuk mengetahui akurasi tiap model, perlu dibandingkan hasil prediksi tiap model dengan data pengukuran lapangan.

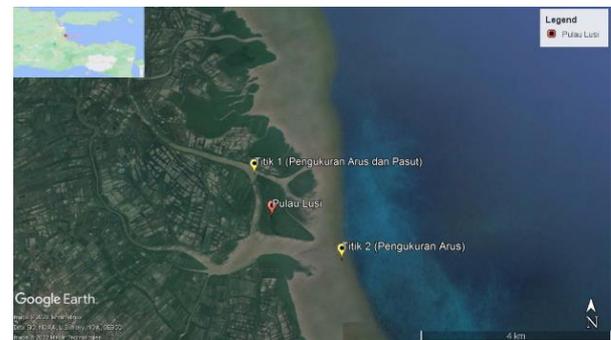
1.2 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik pasang surut dan kecepatan arus disekitar muara sungai Porong yang dapat dimanfaatkan dan dijadikan pertimbangan untuk mendukung pengembangan Pulau Lusi.

2. METODE

2.1 Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Oktober - November 2018 di perairan muara Sungai Porong, Kabupaten Sidoarjo, Jawa Timur (Gambar 1). Sungai Porong mengalir dari barat ke timur merupakan bagian dari Daerah Aliran Sungai (DAS) Kali Brantas dan memiliki muara yang dikenal dengan Muara Porong yang berada di Selat Madura. Musim di daerah sekitar Muara Porong, berdasarkan data Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika (BMKG) stasiun Tanjung Perak, pada bulan Mei hingga Oktober terjadi musim kemarau, dan pada bulan November hingga Maret masuk musim penghujan. Kecepatan angin di Selat Madura berkisar antara 10 -19 km/jam (BMKG Maritim, 2019).



Gambar 1. Lokasi pengukuran pasang surut dan arus di muara Sungai Porong (titik kuning). Insert adalah lokasi penelitian di Jawa Timur (Sumber: Google Earth, 2021)

2.2 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini diantaranya adalah: RBR Virtuoso untuk pengukuran pasang surut; *Valeport Current Meter 106* untuk pengukuran arus; *Global Positioning System* (GPS) untuk menentukan titik lokasi pengukuran; Perahu digunakan untuk survey di muara; Komputer digunakan untuk pengolahan data; dan alat tulis untuk pencatatan data-data selama di lapangan.

2.3 Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan data primer berupa data pengukuran pasang surut dan arus di lokasi penelitian. Pengukuran pasang surut dilaksanakan selama 15 hari tiap 30 menit menggunakan RBR dari tanggal 20 Oktober 2018 sampai dengan 4 November 2018. Data sekunder diperoleh dari hasil prediksi pasang surut dengan 3 model, yaitu *Naotide*, TMD dan BIG, selama 15 hari yang berlokasi di perairan muara Porong, pada koordinat yang sama dengan pengukuran RBR, yaitu Latitude -7.566183° ; Longitude

112.869864°. Pengukuran kecepatan dan arah arus dilakukan selama 2 hari dengan pada 2 titik, yaitu Titik 1 (Latitude -7.564012°, Longitude 112.868903°) lokasinya di bagian dalam muara, dan Titik 2 (Latitude -7.581168°, Longitude 112.888747°) lokasinya di luar muara. Penempatan alat pengukur pasang surut dan arus dilakukan secara maksud tertentu (*purposive sampling*) (Sugiyon, 2016) dengan asumsi bahwa lokasi tersebut mewakili kondisi perairan muara Sungai Porong.

Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif sehingga data yang diperoleh akan diukur dan dianalisis (Sugiyono, 2009). Pengolahan data elevasi pasang surut dan kecepatan arus dengan cara memplotkan pada grafik menggunakan *Microsoft excel*. Selanjutnya dilakukan analisis untuk mendapatkan gambaran karakteristik data pasang surut dan kecepatan arus di lokasi penelitian.

Data pasang surut pengukuran juga diolah dengan bantuan program *Ergtide* untuk mendapatkan komponen utama pasang surut, yaitu M2 (bulan), S2 (matahari), N2 (eliptik besar bulan), K2 (semi diurnal bulan matahari), K1 (diurnal deklinasi bulan matahari), O1 (diurnal deklinasi bulan), P1 (diurnal deklinasi matahari), M4 (perairan dangkal dari komponen utama bulan), MS4 (perairan dangkal), yang selanjutnya digunakan untuk mengetahui nilai Formzahl guna mengetahui jenis pasang surut suatu perairan. Berdasarkan komponen utama pasang surut akan diperoleh pasang surut rencana sebagai elevasi penting pasang surut. Persamaan untuk mendapatkan pasang surut rencana menurut Pariworo dalam Ongkosongo & Suyarso (1989) adalah sebagai berikut:

$$\text{Mean Sea Level (MSL)} = A(\text{So}) \dots\dots\dots (1)$$

$$\text{Highest High Water Level (HHWL)} = A(\text{So}) + [A(\text{M2}) + A(\text{S2}) + A(\text{N2}) + A(\text{K1}) + A(\text{O1}) + A(\text{P1}) + A(\text{K2}) + A(\text{M4}) + A(\text{MS4})] \dots\dots\dots (2)$$

$$\text{Lowest Low Water Level (LLWL)} = A(\text{So}) - [A(\text{M2}) + A(\text{S2}) + A(\text{N2}) + A(\text{K1}) + A(\text{O1}) + A(\text{P1}) + A(\text{K2}) + A(\text{M4}) + A(\text{MS4})] \dots\dots\dots (3)$$

Keterangan :

A = amplitudo untuk komponen pasang surut.

Untuk menilai kualitas data model atau peramalan pasang surut dari tiga model akan dilakukan kuantifikasi data model yang ada terhadap data pengukuran pasang surut dengan menggunakan metode Willmott Skill (WS) (Risandi *et al.*, 2020),

$$WS = \frac{\sum |X_{mod} - X_{obs}|^2}{\sum (|X_{mod} - X_{obs}| + |X_{obs} - X_{obs}|)^2} \dots\dots\dots (4)$$

Keterangan

X_{mod} = peramalan atau model pasang surut

X_{obs} = adalah pengukuran pasang surut

Kinerja model pasut dianggap baik ketika nilai WS > 0,6, kinerja bernilai sedang ketika nilai WS adalah 0,3 hingga 0,6, dan dianggap buruk ketika WS < 0,3.

Kualitas model pasang surut juga dievaluasi dengan *Root Mean Square Error (RMSE)*, dimana metode tersebut

merupakan nilai rata-rata dari jumlah kuadrat kesalahan, yang juga dapat menyatakan ukuran besarnya kesalahan yang dihasilkan oleh suatu model. Nilai RMSE rendah menunjukkan variasi nilai yang dihasilkan oleh model mendekati variasi nilai obeservasinya (Gosasang *et al.*, 2011). RMSE dihitung dengan rumus:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (At-Ft)^2}{n}} \dots\dots\dots (5)$$

Keterangan :

∑ = Jumlah

At = Data pengamatan periode t

Ft = Ramalan periode t

n = Jumlah data

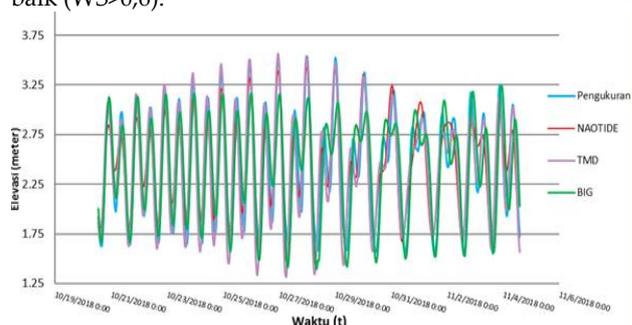
Komponen pasang surut rencana, yaitu HHWL (*High Highest Water Level*) dan LLWL (*Low Lowest Water Level*) untuk perencanaan struktur bangunan dianalisa berdasar pada model yang mempunyai akurasi paling bagus.

Kenaikan muka air laut akibat perubahan iklim juga diperlukan dalam merencanakan bangunan di area pesisir agar aman dari resiko inundasi dimasa datang. Prediksi kenaikan muka air laut dianalisis dari data yang diproses ulang dari anomali ketinggian permukaan laut jangka panjang yang diperoleh dari *Global Ocean Gridded L4 Sea Surface Heights dan Derived Variables Reprocessed*. Data tersebut, didistribusikan secara bebas oleh E.U. Informasi Layanan Kelautan Copernicus. Data tersebut diregresikan secara linear untuk memperoleh informasi kenaikan muka air laut tiap tahun (Triana K. *et. al.* in review. 2022)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

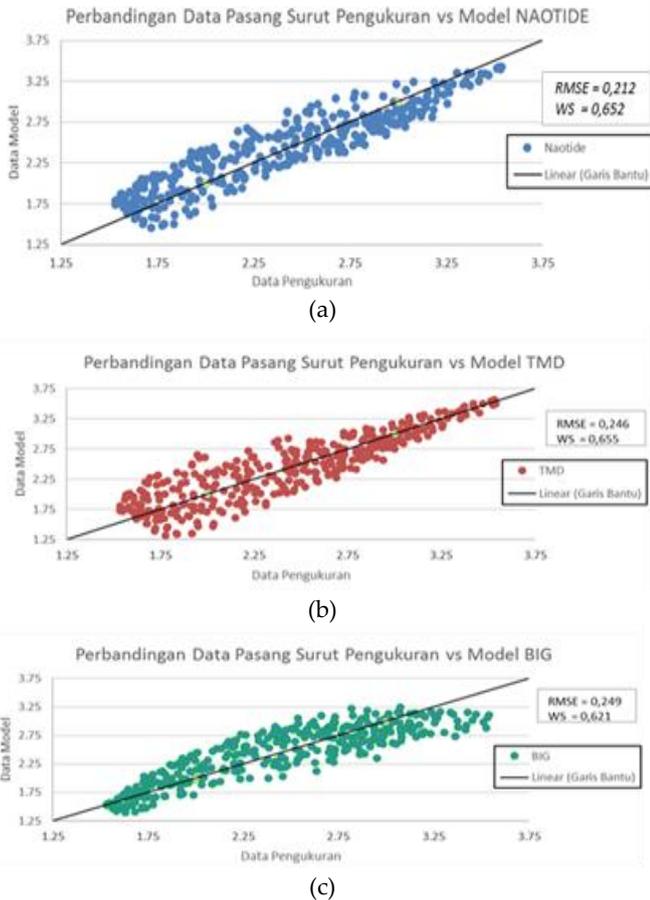
3.1 Pasang Surut

Hasil perhitungan menunjukkan tipe pasang surut perairan muara Porong adalah campuran condong ke harian ganda (*Mixed Tide, Prevailing Semi Diurnal*) dengan nilai Formzahl 0,78, yang berarti dalam satu hari akan terjadi dua kali pasang dan dua kali surut dengan tinggi dan periodenya berbeda. Hasil pengukuran dan model *Naotide*, TMD dan BIG disajikan pada Gambar 2 dan Gambar 3. Perbandingan elevasi pasang surut hasil peramalan ketiga model dan pengukuran, secara visual menunjukkan kemiripan untuk pola dan nilainya. Berdasarkan perhitungan WS untuk tiap model, diperoleh nilai untuk *Naotide*, TMD dan BIG berturut-turut sebesar 0,652; 0,655; dan 0,621. Nilai WS menunjukkan kualitas data peramalan untuk semua model dikategorikan baik (WS>0,6).



Gambar 2. Plot tinggi muka air hasil pengukuran (garis biru), peramalan *Naotide* (garis merah), peramalan TMD (garis ungu) dan peramalan BIG (garis hijau).

Gambar 3 menunjukkan perbandingan pengukuran pasang surut perairan muara terhadap model *Naotide* (Gambar 3a), TMD (Gambar 3b) dan BIG (Gambar 3c). Pada saat muka air tinggi (pasang), model *Naotide* dan TMD lebih akurat dalam memprediksi elevasi pasang surut, sedangkan prediksi model BIG terlihat lebih kecil (*underestimate*) dari hasil pengukuran. Sebaliknya, pada saat muka air surut, model BIG menunjukkan performa yang relatif lebih bagus dibandingkan dengan kedua model lainnya.



Gambar 3. Perbandingan Plot scatter tinggi muka air hasil pengukuran dengan peramalan *Naotide* (a), peramalan TMD (b) dan peramalan BIG (c).

Hasil perhitungan RMSE menunjukkan model *Naotide* mempunyai nilai = 0,212, TMD = 0,246, dan BIG = 0,249. Residu atau perbedaan elevasi pasang surut hasil pengukuran dan prediksi pasut tidak terlalu signifikan ($\ll 0,2m$), sehingga data elevasi muka air cukup mewakili fenomena pasang surut di muara sungai Porong. Berdasarkan hasil perhitungan WS dan RMSE, model *Naotide* memiliki nilai perhitungan paling akurat jika dibandingkan model lain. Akurasi terbaik untuk model *Naotide* juga bisa dilihat pada hasil penelitian perbandingan model pasang surut di perairan Larantuka, Flores, dengan nilai RMSE paling kecil dibandingkan model lain yaitu LePROVOST, TMD-TPXO 7.1 dan MIKE 21 (Syahputra & Nugraha, 2016). Akuratnya hasil model *Naotide* kemungkinan dalam proses perhitungannya mempertimbangkan faktor lokal dan regional yang mempengaruhi karakteristik pasang surut di Indonesia, sedangkan model TMD dan BIG hanya mempertimbangkan

parameter pasut global dalam analisisnya (Parapat *et al*, 2021). Hal sedikit berbeda dihasilkan pada studi yang dilakukan oleh Rohmawati (2020) di perairan Surabaya, dimana model prediksi BIG mempunyai nilai akurasi paling tinggi dibandingkan dengan prediksi dari model lain.

Perbedaan hasil pengukuran dengan prediksi pasang surut pada beberapa model lokal ataupun global dimungkinkan karena perbedaan lokasi peramalan yang berada di laut lepas dan lokasi pengukuran yang berada di dalam muara sungai. Pengukuran pasang surut di muara sangat dipengaruhi oleh faktor lokal perairan seperti debit sungai, batimetri, bentuk garis pantai dan perairan yang sempit seperti teluk maupun selat. Hal lain yang dapat mempengaruhi perbedaan elevasi pasang surut adalah gaya gesek dan viskositas (Shum *et al.*, 1997; Tan *et al.*, 2019; Wyrтки, 1961). Fluktuasi muka air di perairan dangkal juga dipengaruhi oleh kondisi ekstrim perairan yang menyebabkan terjadinya *wave-wind setup* (Didier *et al.*, 2020) maupun gelombang frekuensi rendah atau IG waves (Bertin *et al*, 2018). Akan tetapi, posisi lokasi studi berada di Selat Madura yang mempunyai jarak seret (*fetch*) gelombang kecil sehingga kemungkinan gelombang ekstrim dapat diabaikan.

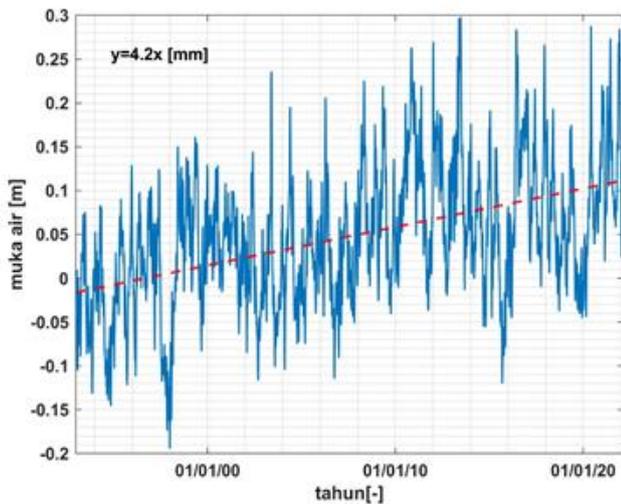
Pasut jangka panjang dari *Naotide* kemudian dianalisa lebih lanjut untuk mendapatkan informasi muka air rencana yang penting untuk kepentingan pembangunan di Pulau Lusi yang disajikan pada Tabel 1. Dalam pembangunan suatu pelabuhan atau dermaga, nilai tunggang (*range*) pasang surut merupakan salah satu faktor penting yang harus diperhatikan (Kramadibrata, 2002), dimana kisaran tunggang pasang surut pengukuran lokasi penelitian sebesar 2,053 m. Nilai tunggang pasang surut tersebut dapat mengganggu aktifitas pelayaran menuju Pulau Lusi, sehingga perlu adanya antisipasi seperti penggunaan dermaga apung. Nilai tunggang pasang surut yang besar akan berdampak terhadap aktifitas bongkar muat barang ataupun penumpang pada pelabuhan (Rionaldi, 2014).

Tabel 1. Informasi elevasi muka air

No	Parameter	Nilai (m)
1	Pasang tertinggi (Pengukuran)	3,325
2	Surut terendah (Pengukuran)	1,272
3	Tunggang Pasang surut (Pengukuran)	2,053
4	MSL	2,43
5	HHWL	4,28
6	LLWL	0,58

Tinggi muka air akibat pasang tertinggi (HHWL) nantinya dapat dijadikan pertimbangan dalam perencanaan elevasi dermaga agar tidak terendam pada saat pasang tertinggi, sedangkan tinggi minimal muka air (LLWL) dapat dijadikan acuan untuk membuat alur pelayaran disekitar Pulau Lusi agar tidak kandas saat surut terendah. Dukungan fasilitas dalam pengembangan suatu pulau sangat sesuai dengan hasil kajian yang dilakukan oleh Abdullah R. M. & Ida Bagus Suryawan, I. B. (2019). Pengembangan ekowisata pulau Lusi dapat dijadikan suatu daya tarik yang unik dan berbeda dibandingkan dengan daya tarik wisata yang lain, sehingga memiliki potensi yang cukup besar daya tarik wisata.

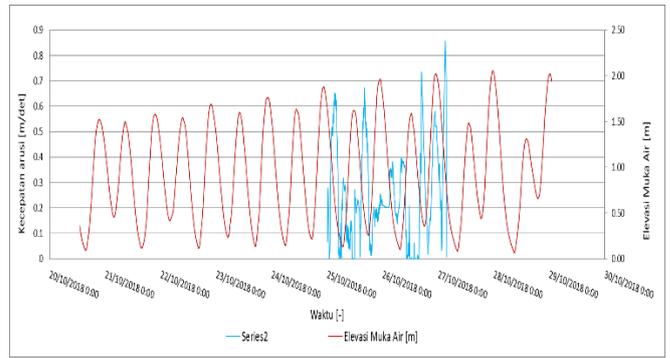
Dalam perencanaan bangunan di pulau Lusi, selain faktor elevasi tertinggi pasang surut, kenaikan muka air laut dimasa datang perlu dijadikan salah satu pertimbangan. Hasil perhitungan SLR di lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 4, yang menunjukkan kecenderungan SLR sebesar 4,2 mm/tahun dengan perkiraan terjadi kenaikan muka air laut sekitar 21 cm pada 50 tahun yang akan datang. Tinggi muka akibat pasang tertinggi (HHWL, 4,28 m) dapat dikombinasikan dengan prediksi SLR 21 cm untuk dijadikan elevasi minimum bangunan yang akan dibangun di Pulau Lusi.



Gambar 4. Kecenderungan kenaikan muka air laut (SLR) perairan Porong, Sidoarjo

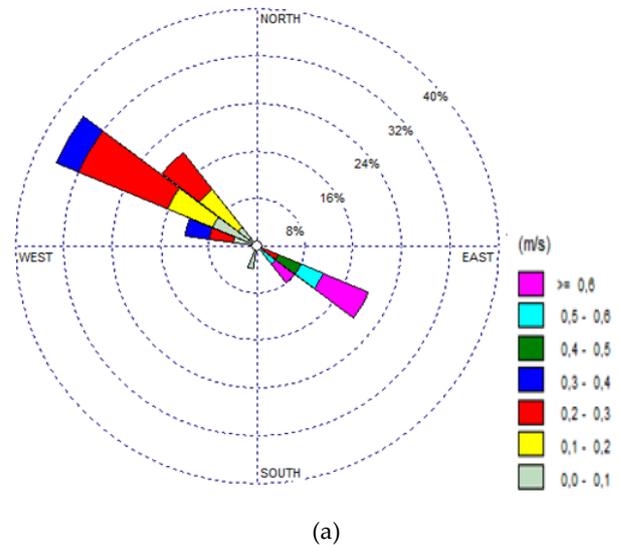
3.2 Arus

Hasil pengolahan data kecepatan arus menunjukkan kecepatan arus rata-rata sebesar 0,25 m/detik dengan kecepatan arus minimum 0 m/detik dan kecepatan arus maksimum 0,86 m/detik. Kecepatan arus minimum yang terjadi hingga 0 m/detik dikarenakan pada saat pasang tertinggi dan surut terendah akan terjadi kondisi *slack water*, yakni tidak adanya pergerakan air secara horizontal akibat adanya perubahan arah gerak arus pasang surut (U.S. Departement of Commerce, 2000). Hasil analisa kecepatan arus seperti yang terlihat pada Gambar 5, terlihat pola pergerakan arus mempunyai beda fase sekitar 90° dengan pola pasang surut. Hal ini mengindikasikan arus di perairan muara porong dipengaruhi oleh faktor pasang surut. Pada saat kondisi surut juga terlihat ada kenaikan kecepatan arus, hal ini kemungkinan adanya pengaruh debit Sungai Porong ke arah hilir. Kondisi ini sesuai dengan waktu pengukuran yang sudah memasuki awal musim hujan dengan mulai meningkatnya debit sungai Porong. Pengaruh pasang surut pada kecepatan arus di sekitar Muara Porong ini sesuai dengan hasil kajian yang dilakukan oleh Prasita & Kisnarti (2014) yang menyebutkan bahwa kecepatan arus di muara Sungai Porong dipengaruhi oleh kondisi pasang surut.

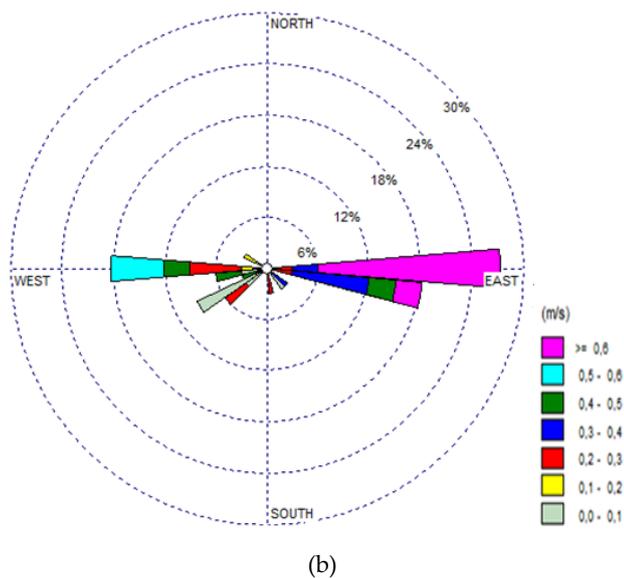


Gambar 5. Grafik hubungan kecepatan arus dan pasang surut di Muara Porong

Gambar 6 merupakan hasil pengolahan data kecepatan dan arah arus dengan mawar arus. Pada titik 1 (Gambar 6a), arah arus dominan ke arah tenggara dan barat laut. Kecepatan arus yang bernilai besar pada titik 1 dominan menuju tenggara (menuju hilir) sesuai dengan bentuk alur sungai Porong (lihat Gambar 1). Sedangkan hasil analisa arus di titik 2 (Gambar 6b) menunjukkan arah arus dominan ke arah timur dan barat. Kecepatan arus yang bernilai besar pada titik 2 dominan menuju timur. Kecepatan arus pada titik 1 dan 2 diduga akan meningkat pada saat puncak musim hujan dan bersamaan dengan air laut menuju surut. Hasil analisa di atas memperlihatkan arah dan kecepatan arus muara Porong dominan dipengaruhi oleh faktor adanya pasang surut dan debit sungai.



(a)



Gambar 6. Mawar kecepatan arus muara Porong titik 1 (a) dan titik 2 (b)

Berdasarkan kecepatan arus maksimum yang mencapai 0,86 m/detik, menunjukkan kondisi perairan tersebut memiliki kategori aman untuk mendukung pelayaran kapal wisatawan bagi pengembangan ecowisata di Pulau Lusi. Hal ini sesuai dengan hasil studi yang dilakukan oleh Liu Z. and Burchart H.P. (1999), yang menyatakan nilai maksimal kecepatan arus suatu perairan di bawah 1 m/detik dianggap memenuhi standar untuk mendukung alur pelayaran. Meskipun kecepatan arus maksimum saat pengukuran dianggap masih aman, potensi meningkatnya kecepatan arus di muara Porong saat puncak musim hujan perlu menjadi perhatian pengelola wisata pulau Lusi dengan selalu memberi informasi kepada nahkoda kapal yang akan menuju ke pulau Lusi agar keselamatan semakin meningkat. Pengaruh arus terhadap kapal juga sesuai dengan hasil penelitian Prabowo dkk. (2017), yang menyatakan bahwa arus memiliki pengaruh terhadap olah gerak kapal. Pengaruh arah dan kecepatan arus di muara juga bisa menjadi pertimbangan dalam penempatan lokasi pembangunan dermaga baru. Informasi hasil kajian ini dapat dimanfaatkan sebagai pertimbangan awal dalam penempatan posisi dermaga baru tersebut. Hal ini tentu terkait dengan pengembangan pulau Lusi yang kemungkinan akan dibangun dermaga baru jika kapasitas dermaga yang sudah ada tidak mencukupi karena semakin meningkatnya wisatawan yang berkunjung ke pulau Lusi.

4. KESIMPULAN

Observasi pasang surut dan arus telah dilakukan untuk mengetahui karakteristik pasang surut dan arus yang terjadi di perairan Muara Porong. Dalam pengolahan pasang surut rencana diperoleh nilai HHWL sebesar 4,28 dan LLWL sebesar 0,58. Kecepatan arus selama pengukuran berkisar 0-0,86 m/detik dengan rata-rata 0,25 m/detik. Hasil perbandingan model yang paling mendekati hasil pengukuran adalah model *Naotide* yang kemudian digunakan untuk prediksi elevasi pasang surut rencana di sekitar muara Porong. Hasil analisa pasang surut dan arus dapat dimanfaatkan sebagai referensi ketinggian bangunan untuk

mendukung pengembangan Pulau Lusi serta perencanaan alur pelayaran di Pulau Lusi. Penelitian lanjutan tentang karakteristik pasang surut dan arus pada saat puncak musim hujan sangat diperlukan agar diperoleh informasi yang lebih akurat untuk pengembangan Pulau Lusi.

PERSANTUNAN

Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada Kementerian Kelautan dan Perikanan atas dukungan yang diberikan sehingga paper ini dapat terselesaikan dengan baik. Semua penulis makalah ini adalah sebagai kontributor utama publikasi.

DAFTAR PUSTAKA

Abdillah, R. M., & Suryawan, I. B. (2019). strategi pengembangan lumpur lapindo sebagai wisata edukasi di kabupaten Sidoarjo Jawa Timur. *Jurnal Destinasi Pariwisata*, 7(2).

Alfredini, P., Arasaki, E., & Moreira, A. S. (2015). Design Tide and Wave for Santos Offshore Port (Brazil) Considering Extreme Events in a Climate Changing Scenario. *Information, Communication and Environment*, 147-151.

Ayuningtyas, N., Wibowo, U. R., & Wibowo, U. M. (2019). ANALISIS YURIDIS STATUS PULAU LUSI BERDASARKAN UNCLOS 1982 (HASIL KUNJUNGAN DI PULAU LUSI, JANUARI 2019). *Prosiding Seminakel*, 29-33.

Badan Meterologi dan Geofisika Maritim Tanjung Perak. (2019). Data Maritim 2006-2019. Surabaya: Badan Meterologi dan Geofisika

Barbier, E. B., Hacker, S. D., Kennedy, C., Koch, E. W., Stier, A. C., & Silliman, B. R. (2011). The value of estuarine and coastal ecosystem services. *Ecological monographs*, 81(2), 169-193.

Bengen, D. G. (2000). Pengenalan dan pengelolaan ekosistem mangrove. *Pedoman Teknis. PKSPL IPB. Bogor. (Indonesia)*.

Bertin, X., de Bakker, A., Van Dongeren, A., Coco, G., André, G., Arduin, F., ... & Tissier, M. (2018). Infragravity waves: From driving mechanisms to impacts. *Earth-Science Reviews*, 177, 774-799.

Bettes, R. (2008). *Sediment transport & alluvial resistance in rivers*. Bristol: Environment Agency.

Chester, R. (1993). *Marine Geochemistry*. Unwin Hyman Ltd., London.

Didier, D., Caulet, C., Bandet, M., Bernatchez, P., Dumont, D., Augereau, E., ... & Delacourt, C. (2020). Wave runup parameterization for sandy, gravel and platform beaches in a fetch-limited, large estuarine system. *Continental Shelf Research*, 192, 104024.

Dinas Kepemudaan, Olahraga dan Pariwisata Kabupaten Sidoarjo. (2018). KKP Kelola Pulau Lusi sebagai Destinasi Wisata Baru di Sidoarjo <http://disporabudpar.sidoarjo.kab.go.id/berita/detail/kkp-kelola-pulau-lusi-sebagaidestinasii-wisata-baru-di-sidoarjo> (diakses pada 29 Oktober 2021).

- Gosasang, V., Chandraprakaikul, W., & Kiattisin, S. (2012). A Comparison of Statistical technique and neural networks forecasting techniques for container throughput in Thailand. In *International Forum on Shipping, Ports and Airports (IFSPA) 2012: Transport Logistics for Sustainable Growth at a New Level* Hong Kong Polytechnic University.
- Harnanto, A. (2011). Peranan Kali Porong dalam mengalirkan lumpur Sidoarjo ke laut. *Badan Pelaksana Badan Penanggulangan Lumpur Sidoarjo (BAPEL-BPLS)*.
- Hicks, S. D., Sillcox, R. L., Nichols, C. R., Via, B., & McCray, E. C. (2000). Tide and current glossary: National Oceanic and Atmospheric Administration, National ocean service. *Center for operational oceanographic products and services, Silver Spring*, 1-29.
- Irawan, S. (2016). Pemetaan Pasang Surut Dan Arus Laut Pulau Batam dan Pengaruhnya Terhadap Jalur Transportasi Antarpulau. *Jurnal Kelautan: Indonesian Journal of Marine Science and Technology*, 9(1), 32-42.
- Kementerian Lingkungan Hidup. (2006). Buku Putih LUSI – Draft 2, Jakarta
- Kramadibrata, S. (2002). Perencanaan Pelabuhan. Bandung: Institut Teknologi Bandung, 2002.
- Liu Z. and Burchart H.P. (1999). Port Engineering. Laboratoriet for Hydraulik og Havnebygning. Aalborg Universitet
- Masella, S. R., & Purnomo, N. H. (2019). Analisis Arah Perkembangan dan Prediksi Luas Wilayah Pulau Lusi Kabupaten Sidoarjo.
- Mateus, M., Mateus, S., & Baretta, J. W. (2008). Basic concepts of estuarine ecology. *Perspect. Integr. Coast. Zone Manag. South Am.*
- Ongkosongo, O. S, R. 1989. Asean-Australia Cooperative Program on marine science ProjectI: tides and tidal phenomena: Pasang surut.
- Prasita, V. D., & Kisanarti, E. A. (2014). Perubahan Morfologi di Muara Sungai Kali Porong, Sidoarjo.
- Pahlevi, A. M., & Wiweka, W. (2009). Analisa sedimentasi di Muara Kali Porong akibat pembuangan lumpur Lapindo menggunakan data citra satelit Aster. *Surabaya: Tugas Akhir Program Studi Geomatika ITS*.
- Parapat, A. D., Handayani, M., & Tiarasani, A. (2021, April). PERBANDINGAN DATUM PASUT HASIL MODEL PASUT BIG DAN HASIL ANALISIS PENGAMATAN PASUT DI PROVINSI ACEH. In *Seminar Nasional Geomatika* (pp. 761-770).
- Prabowo, A., Pandoe, W. W., Rawi, S., & Riyadi, N. (2017). Analisis Pengaruh Arus dan Angin Terhadap Olah Gerak Kapal pada Rencana Pintu Masuk Dermaga Pondokdayung (Studi Kasus Kapal Kelas Frosch): Analysis of the Effect of Currents and Winds on Vessel Movement at the Plan of the Entrance of the Pondok Paddle Pier (Case Study of the Frosch Class Ship). *Jurnal Chart Datum*, 3(1), 38-43.
- Prasnja, Y., Alamsyah, A. T., & Bengen, D. G. (2017). Analisis Keberlanjutan Ekosistem Mangrove Untuk Kegiatan Ekominawisata Di Pulau Lumpur Sidoarjo Sustainability Analysis Of Mangrove Ecosystem For Ecofisherytourism In Sidoarjo Lumpur Island.
- Rakhmah, I. D., & Kuspriyanto, M. K. (2019). Strategi Pengembangan Objek Wisata Pulau Lusi di Kecamatan Jabon Kabupaten Sidoarjo. *Swara Bhumi E-Journal Pendidikan Geografi FIS Unesa*, 1.
- Rionaldi, R. (2014). Analisis pemilihan lokasi dan manajemen strategis pengembangan pelabuhan laut Di Provinsi Riau. *Warta Penelitian Perhubungan*, 26(8), 477-489.
- Risandi, J., Rijnsdorp, D. P., Hansen, J. E., & Lowe, R. J. (2020). Hydrodynamic modeling of a reef-fringed pocket beach using a phase-resolved non-hydrostatic model. *Journal of Marine Science and Engineering*, 8(11), 877.
- Rohmawati, C.N. (2020). Analisis Perbandingan Akurasi Model Pasang Surut Global (Fes2014, Tpxo9) Dan Regional (Prediksi Big) Terhadap Kondisi Pasang Surut Eksisting Di Perairan Surabaya Dan Sekitarnya. Tugas Akhir - RM184831. Departemen Teknik Geomatika Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya 2020
- Sangkop, N., Mamoto, J. D., & Jasin, M. I. (2015). Analisis Pasang Surut Di Pantai Bulu Desa Rerer Kecamatan Kombi Kabupaten Minahasa Dengan Metode Admiralty. *Tekno*, 13(63).
- Sugiyono, 2009. Metode Peneitian Kuantitatif, Kualitatif dan R&D. Alfabeta. Bandung. 334 pp
- Sugiyono. 2016. Metode Penelitian Kuantitatif Kualitatif dan R&D. Edisi Kedua. Alfabeta, Bandung.
- Shum, C. K., Woodworth, P. L., Andersen, O. B., Egbert, G. D., Francis, O., King, C., ... & Wunsch, C. I. (1997). Accuracy assessment of recent ocean tide models. *Journal of geophysical research: oceans*, 102(C11), 25173-25194.
- Sukarno, M., & Yusuf, M. (2013). Kondisi hidrodinamika dan pengaruhnya terhadap sebaran parameter fisika-kimia perairan laut dari muara sungai Porong, Sidoarjo. *Buletin Oseanografi Marina*, 2(2), 1-6.
- Syahputra, H., & Nugraha, R. B. A. (2016). Analisis Perbandingan Akurasi Model Prediksi Pasang Surut: Studi Kasus di Selat Larantuka, Flores Timur, Nusa Tenggara Timur. *Maspari Journal: Marine Science Research*, 8(2), 119-126.
- Tan, H., Francis, O., Wu, G., Yang, G., Wang, J., Zhang, X., ... & Shen, C. (2021). Evaluation of global ocean tide models based on tidal gravity observations in China. *Geodesy and Geodynamics*, 12(6), 451-458.
- Triana, K., Solihuddin, T., Husrin, S., Risandi, J., Mustikasari, E., Kepel, T. L., ... & Helmi, M. (2023). An integrated satellite characterization and hydrodynamic study in assessing coastal dynamics in Cirebon, West Java. *Regional Studies in Marine Science*, 103107.
- Wyrтки, K. (1961). *Physical oceanography of the Southeast Asian waters* (Vol. 2). University of California, Scripps Institution of Oceanography.