

Variasi Spasial Karakteristik Pasang Surut di Laut Jawa Berbasis Model Pasut Global TPXO9v5

Wiwin Windupranata^{1*}, Candida Aulia De Silva Nusantara², Alqinthara Nuraghnia¹

¹Kelompok Keahlian Hidrografi, Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumihan, Institut Teknologi Bandung
Jl. Ganesha 10 Bandung Jawa Barat 40132 Indonesia

²Departemen Teknik Geomatika, Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan dan Kebumihan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Gedung Teknik Geomatika, Kampus ITS, Keputih, Sukolilo, Surabaya Jawa Timur 60111 Indonesia
Email: w.windupranata@itb.ac.id

Abstrak

Pasang surut (pasut) merupakan fenomena periodik naik turunnya air laut yang berpengaruh besar terhadap seluruh aktifitas manusia di wilayah pesisir dan laut. Tulisan ini menganalisis variasi spasial dari karakteristik pasut yang terjadi di Laut Jawa. Karakteristik pasut tersebut dipetakan dari empat komponen pasut utama (K_1 , O_1 , M_2 dan S_2) dari model pasut global TPXO9v5 dan diverifikasi menggunakan 14 stasiun pasut dari Badan Informasi Geospasial. Hasil verifikasi menunjukkan kesesuaian yang baik antara data model dengan data pengukuran dengan rata-rata nilai RMS 0,8 – 2,2 cm untuk komponen pasut dan 7,6 cm untuk tunggang pasut, sementara tingkat kesesuaian untuk tipe pasut adalah 93%. Nilai amplitudo komponen pasut pada kelompok harian (K_1 dan O_1) memiliki nilai lebih besar sekitar dua kali lipat dibandingkan dengan kelompok harian ganda (S_2 dan M_2). Sementara untuk nilai fase, hanya gelombang O_1 yang penjalarannya ke arah timur, sementara gelombang lainnya menjalar ke arah barat. Secara spasial, tunggang pasut di Laut Jawa bervariasi dari 0,3 m di bagian tengah pada bujur 108-110° BT dan bertambah tinggi ke arah barat dan timur sampai 1 m. Pengetahuan mengenai variasi spasial karakteristik pasut ini penting dalam mempelajari pola pasut, bidang referensi ketinggian atau kedalaman, atau untuk kereakayaan seperti manajemen pelabuhan dan instalasi infrastruktur lepas pantai.

Kata kunci : Laut Jawa, TPXO, tunggang pasut, tipe pasut

Abstract

Spatial Variation of Tidal Characteristics in the Java Sea Based on the Global Tidal Model TPXO9v5

Tides are a periodic rising and falling sea level phenomenon that significantly impact all human activities in coastal and maritime regions. This paper discusses the spatial variations of tidal characteristics tides in the Java Sea. The characteristics are mapped from four main tidal components (K_1 , O_1 , M_2 , and S_2) extracted from the TPXO9v5 tide model and verified by 14 tidal stations. The verifications show a good agreement between the model data and measurements, with an average root mean square (RMS) of 0.8 - 2.2 cm for tidal components and 7.6 cm for tidal range, and the conformity level for tidal types is 93%. The amplitude of the diurnal tidal components (K_1 and O_1) is approximately twice that of the semi-diurnal tidal components (S_2 and M_2). Regarding the phase, only the O_1 wave propagates eastward, while the other waves propagate westward. Spatially, the tidal range in the Java Sea varies from 0.3 m in the central part at longitudes 108-110° E, increasing in height as it moves westward and eastward to reach 1 m. Information on the spatial variations in tide characteristics is crucial for studying tidal patterns, tidal datum, and engineering purposes like port management and offshore infrastructure.

Keywords : Java Sea, TPXO, tidal range, tidal type

PENDAHULUAN

Pasang surut (pasut) di bumi terjadi pada seluruh material yang ada di bumi (laut, atmosfer dan kerak bumi) dan penyebabnya adalah gravitasi antara benda-benda ruang angkasa di sekitar bumi. Pasut laut dapat didefinisikan sebagai pergerakan naik turunnya permukaan laut yang diakibatkan oleh gaya gravitasi antara sistem bumi-bulan-matahari. Karena pergerakan sistem bumi-bulan-matahari dapat diperhitungkan secara astronomis dan periodik, maka fenomena pasut laut juga dapat diperhitungkan baik besarnya gaya yang terjadi maupun waktunya. Dengan demikian pasut laut dapat diprediksi ketinggian dan waktu pasang ataupun surutnya.

Fenomena pasut sangat penting untuk dipelajari mengingat seluruh aktivitas perekonomian yang dilakukan di wilayah pesisir dan laut akan dipengaruhi oleh fenomena ini. Sebagai contoh aktivitas untuk pemeliharaan dan pemantauan pelabuhan, seperti bongkar-muat barang/penumpang, pengerukan, dan penentuan waktu keluar pelabuhan sangat dipengaruhi oleh kondisi permukaan air yang sedang pasang atau surut. Begitu juga dengan aktivitas lain seperti pemasangan infrastruktur lepas pantai dan bawah air, penambangan lepas pantai, dan pembangunan jembatan antar pulau. Dalam ilmu geomatika, peranan pasut sangat penting dalam pendefinisian datum pasut sebagai bidang referensi tinggi dan garis pantai, yang kemudian salah satu aplikasinya adalah untuk penetapan batas wilayah laut.

Laut Jawa (Gambar 1) merupakan suatu wilayah perairan yang sangat penting di Indonesia.. Pelabuhan-pelabuhan penting serta kota-kota besar di Pulau Jawa terletak di pesisir utara pulau yang menghadap langsung ke Laut Jawa. Ditambah lagi laut Jawa memiliki sumber daya maritim yang sangat besar baik dari sumber daya migas (Haryata, 2019; Rohmaningrum, 2012; Crystiana *et al.*, 2014; Lunt, 2019) yang ada di dasar lautnya ataupun sebagai penghubung perekonomian antar pulau di Indonesia bahkan dengan negara

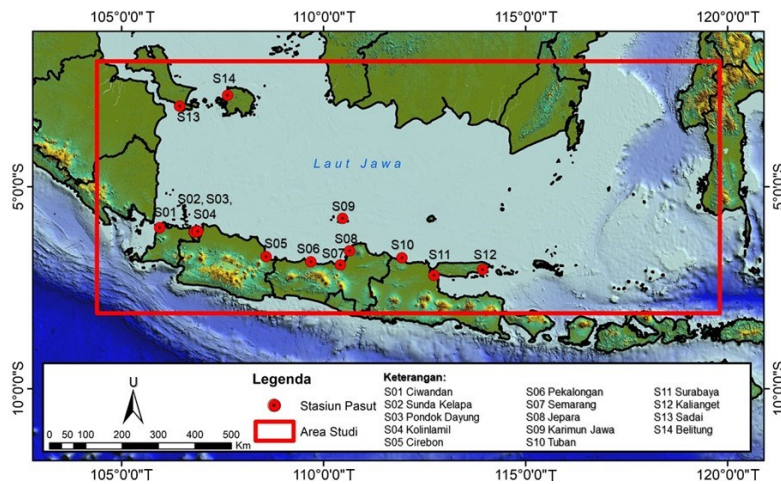
lain (Siska, 2017; Rustam, 2016; Pramita *et al.*, 2020; Safriadi *et al.*, 2021; Latif, 2011).

Penelitian mengenai karakteristik pasut di Laut Jawa telah dilakukan oleh Basith dan Prakoso (2015) dengan melihat kontribusi komponen pasut perairan dangkal dalam membentuk data pasut. Hasil percobaan menunjukkan bahwa jumlah komponen pasut perairan dangkal di perairan Utara Pulau Jawa lebih banyak dibandingkan di perairan Selatan Pulau Jawa. Bachtiar dan Sembiring (2015) mengembangkan sebuah model hidrodinamika untuk Pantai Utara Jawa dengan melakukan verifikasi di 3 stasiun, yaitu Jakarta, Indramayu, dan Porong dan memperoleh hasil yang baik. Putra dan Pratomo (2017) mengembangkan Co-Tidal Charts di Laut Jawa untuk mendapatkan gambaran perambatan pasang surut di area tersebut. Berdasarkan penelitian ini arah rambatan gelombang pasut Laut Jawa berasal dari Samudera Hindia dan Laut China Selatan melalui Selat Karimata yang bertemu di tengah Laut Jawa. Yusuf & Yanagi (2012) melakukan simulasi gelombang pasut M_2 dan K_1 di Laut Jawa dan menemukan bahwa gelombang pasut dan fluks energinya menjalar ke arah barat. Berdasarkan perhitungan data pasut dari berbagai stasiun pasut di perairan Laut Jawa Putra dan Pratomo (2017) menemukan bahwa pada Laut Jawa bagian barat dan tengah didominasi oleh komponen pasut harian (diurnal) dan bagian Timur didominasi komponen pasut setengah harian (semidiurnal).

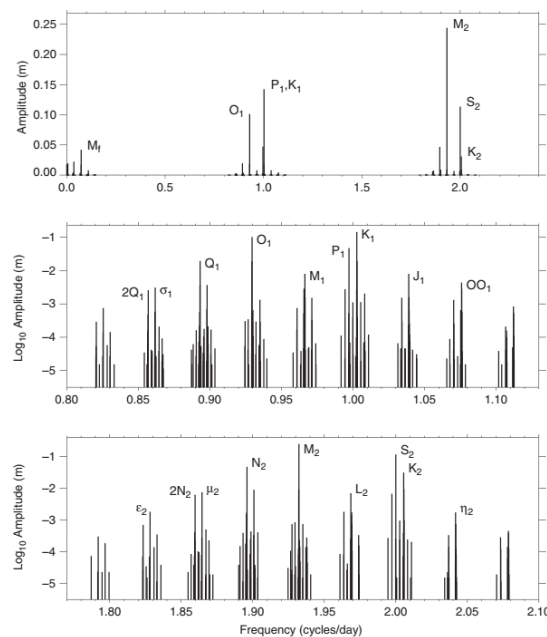
Makalah ini mendeskripsikan karakteristik fisis pasut yang terjadi di Laut Jawa mulai dari tunggang pasut (jarak maksimum antara pasang dengan surut), tipe pasut (harian tunggal atau ganda), serta variasi spasial dari gelombang-gelombang utama pembentuk pasut yang diakibatkan oleh bulan (M_2 , K_1 dan O_1) dan oleh matahari (S_2). Keempat komponen pasut ini adalah yang secara teoritik merupakan gelombang pembentuk pasut yang paling besar amplitudonya dan paling berpengaruh terhadap pembentukan pasut (Pugh dan Woodworth, 2014; Boon, 2011;

Parker, 2007). Empat komponen ini dipilih karena merupakan komponen pasut utama dengan amplitudo tertinggi diantara komponen pasut lainnya. Gambar 2 memperlihatkan amplitudo pasut setimbang secara teoritis untuk berbagai komponen pasut. Selain itu, Gambar 2 juga memperlihatkan pola dari komponen pasut diurnal (harian tunggal dengan periode sekitar 24 jam) dan semidiurnal (harian ganda dengan periode sekitar 12 jam). Komponen pasut K_1 dan O_1

memberikan amplitudo tertinggi pada tipe diurnal, sementara M_2 dan S_2 menjadi yang tertinggi pada tipe semidiurnal. Pada tipe diurnal, K_1 dan O_1 merepresentasikan deklinasi lunar yang berada pada fase yang sama setiap 13,66 hari. M_2 (*principal semidiurnal lunar*) dan S_2 (*principal semidiurnal solar*) mendominasi tipe semidiurnal, dimana akan berada pada fase yang sama membentuk pasang tinggi (*spring tide*) setiap 14,76 hari.



Gambar 1. Daerah penelitian serta stasiun pasut yang digunakan sebagai verifikasi



Gambar 2. Grafik pasut setimbang untuk pasut parsial pada periode diskrit berbagai frekuensi komponen pasut (Pugh dan Woodworth, 2014)

MATERI DAN METODE

Karakteristik pasut di Laut Jawa dalam makalah ini dianalisis berdasarkan data dari Model Pasut Global TPXO9v5. Adapun Laut Jawa yang dimaksud sebagai daerah penelitian, seperti terlihat pada Gambar 1. Model TPXO9v5 merupakan model pasut global yang dikembangkan berdasarkan data altimetri dengan algoritma pada Egbert dan Erofeeva (2002) dengan resolusi 1/30 derajat yang diperoleh dengan memadukan solusi model global TPXO9v1 dengan resolusi 1/6 derajat dan 30 model regional dengan resolusi 1/30 derajat di seluruh dunia. Model TPXO dibangun melalui asimilasi data satelit altimetry Topex/Poseidon ke dalam suatu model pasut barotropik global menggunakan pemodelan *Generalized Inverse* (GI) yang dirancang untuk bisa melakukan perhitungan secara efisien. Kekurangan fungsi dalam GI diminimalisir dengan menggunakan suatu metode representer. Metode ini mensyaratkan solusi berulang dari persamaan perairan dangkal (*shallow water equations* atau SWEs) linier. SWEs dipecahkan melalui faktorisasi matriks koefisien dari diskretisasi beda-hingga persamaan elevasi gelombang orde dua pada domain frekuensi. Perhitungan model dilakukan menggunakan perangkat lunak *Oregon State University Tidal Inversion Software* (OTIS). OTIS memiliki modul untuk membangun grid dan syarat batas, modul solusi awal dan langkah waktu penyelesaian persamaan perairan dangkal, modul penyelesaian model GI, dan lain-lain (Egbert dan Erofeeva, 2002). TPXO9v5 menghitung amplitudo dan fase dalam bentuk bilangan kompleks relatif terhadap *Mean Sea Level* untuk 8 (delapan) komponen utama (M_2 , S_2 , N_2 , K_2 , K_1 , O_1 , P_1 , Q_1), 2 (dua) komponen

periode panjang (M_f , M_m), 3 (tiga) komponen perairan dangkal (M_4 , MS_4 , MN_4), dan 9 (sembilan) komponen minor ($2N_2$, S_1 , $2Q_1$, J_1 , L_2 , M_3 , MU_2 , NU_2 , OO_1).

Empat komponen pasut utama M_2 , S_2 , K_1 , O_1 (lihat Tabel 1) di daerah studi diekstrak dari model TPXO9v5 untuk dianalisis variasi spasialnya serta dihitung tunggang pasut serta tipe pasutnya berdasarkan Persamaan 1 dan 2. Komponen pasut hasil ekstraksi dari model TPXO9v5 ini diverifikasi menggunakan 14 stasiun pasut permanen milik Badan Informasi Geospasial (BIG) di sekitar Laut Jawa yang diperoleh melalui korespondensi permohonan data dari tim peneliti kepada Pusat Jaring Kontrol Geodesi dan Geodimanika – BIG. Stasiun pasut permanen yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1 dan Tabel 2. Performa dari model TPXO9v5 dianalisis menggunakan acuan verifikasi model menurut Williams & Esteves (2017) yang mengatakan bahwa suatu model hidrodinamika dikatakan baik jika nilai RMS tinggi muka airnya adalah kurang dari 0,10 m atau 10 cm dan RMS dari fasenya adalah 15 menit.

Terkait dengan penilaian performa hasil pemodelan ini perlu diperhatikan bahwa resolusi spasial 20 menit dari model TPXO9v.5 ini tentunya akan berpengaruh kepada kemampuan menangkap geometri pantai yang berdimensi kecil seperti tanjung, teluk, estuari atau fjord kecil. Selain itu, karena model ini diturunkan dari data altimetri, maka akan sangat dipengaruhi oleh perairan dangkal yang berakibat pada kemampuan satelit altimetri dalam menangkap variasi tinggi muka air di perairan dangkal (Egbert *et al.*, 2010; Passaro *et al.*, 2016; Abessolo *et al.*, 2023)

Tabel 1. Komponen utama pasut

Komponen Pasut	Frekuensi (°/jam)	Keterangan
M_2	28,9841	<i>Principal Lunar Semi Diurnal</i>
S_2	30,0000	<i>Principal Solar Semi Diurnal</i>
K_1	15,0411	<i>Lunar-solar Declinational Diurnal</i>
O_1	13,9430	<i>Lunar Declinational Diurnal</i>

Data amplitudo komponen pasut yang diperoleh melalui model TPXO9v5 pada setiap titik gridnya kemudian dihitung tunggang pasut serta tipe pasutnya menggunakan persamaan (1) dan (2). Tunggang pasut diasumsikan sebagai 2 kali simpangan akumulasi penjumlahan amplitudo gelombang M_2 , S_2 , K_1 , O_1 (Persamaan 1). Sementara tipe pasut menggunakan pendekatan dari Pugh (1987) berdasarkan rasio akumulasi amplitudo gelombang diurnal (K_1 , O_1) terhadap gelombang semidiurnal (M_2 , S_2) seperti tersaji pada Persamaan 2.

$$TR = 2(A_{M_2} + A_{S_2} + A_{K_1} + A_{O_1}) \quad \dots (1)$$

$$TT = (A_{K_1} + A_{O_1}) / (A_{M_2} + A_{S_2}) \quad \dots (2)$$

dimana TR adalah tunggang pasut (*tidal range*), dan TT adalah indeks untuk tipe pasut (*tidal type*), sedangkan A_{C_i} adalah amplitudo untuk komponen pasut C_i .

Nilai TR dan TT dari Persamaan 1 dan 2 digunakan untuk mendeskripsikan dan

membuat peta tunggang dan tipe pasut di Laut Jawa. Peta Tunggang Pasut dan Tipe Pasut masing-masing disajikan setelah nilai TR dan TT di setiap grid diinterpolasi secara spasial menggunakan metode interpolasi *Inverse Distance Weight* (IDW). Metode ini dipilih karena perhitungannya sederhana, hanya berbasiskan inversi dari jarak, sehingga data yang semakin dekat ke titik yang akan dihitung nilainya akan lebih besar bobotnya. Metode ini sangat efektif untuk sebaran data yang reguler dan berupa grid seperti data dari TPXO9v.5 ini. Hasil interpolasi IDW akan baik untuk sebaran data yang reguler ini yang dimiliki sudah berupa grid sehingga hasil interpolasi (Lu dan Wong, 2008, Setianto dan Triandini, 2013)

Dalam penentuan tipe pasut, nilai TT diklasifikasikan menjadi tipe pasut berdasarkan indeks tipe pasut (*formzahl*) sebagai berikut: Semidiurnal jika $TT \leq 0,25$; Campuran cenderung semidiurnal jika $0,25 < TT \leq 1,5$; Campuran cenderung diurnal jika $1,5 < TT \leq 3,0$; Diurnal jika $TT > 3,0$

Tabel 2. Stasiun pasut BIG yang digunakan untuk verifikasi

ID	Stasiun Pasut	Posisi	
		Lintang	Bujur
S01	Ciwandan	-6,01769	105,9526
S02	Sunda Kelapa	-6,12521	106,8095
S03	Pondok Dayung	-6,09667	106,8782
S04	Kolinlamil	-6,10674	106,8909
S05	Cirebon	-6,73386	108,5846
S06	Pekalongan	-6,86281	109,6909
S07	Semarang	-6,94188	110,4237
S08	Jepara	-6,59154	110,6487
S09	Karimun Jawa	-5,78786	110,4771
S10	Tuban	-6,76372	111,9466
S11	Surabaya	-7,20006	112,7406
S12	Kalianget	-7,05756	113,9430
S13	Sadai	-3,01431	106,4472
S14	Belitung	-2,74404	107,6287

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil verifikasi dalam bentuk *root mean square* (RMS) untuk amplitudo (m) dan fase ($^{\circ}$) komponen pasut dari model pasut global TPXO9v5 terhadap hasil perhitungan dari data pengukuran pasut di 14 stasiun pasut diperlihatkan pada Gambar 3. Gambar 3 memperlihatkan nilai RMS amplitudo kurang dari 4 cm untuk semua komponen pasut di semua stasiun pasut, kecuali di S11 (Surabaya) dimana RMSnya mencapai 8,7 cm. Secara total, dari 14 stasiun pasut diperoleh RMS rata-rata untuk amplitudo M_2 sebesar 2,2 cm; S_2 0,8 cm; K_1 0,9 cm; dan O_1 sebesar 1,3 cm. Terkait hasil verifikasi fase komponen pasut, RMS yang diperoleh adalah memiliki rata-rata sebesar $8,5^{\circ}$ untuk M_2 , $8,4^{\circ}$ untuk S_2 , $4,5^{\circ}$ untuk K_1 dan $6,4^{\circ}$ untuk O_1 . Jika dikonversikan terhadap waktu dengan membagi nilai fase ini terhadap kecepatan sudutnya (Tabel 1), maka akan diperoleh rata-rata selisih waktu pasang atau surut setiap komponen pasut tersebut bernilai sekitar 15 menit (0,25 jam). Mengacu kepada acuan performa model hidrodinamika dari Williams dan Esteves (2017) yang mensyaratkan hasil verifikasi pasut kurang dari 10 cm dan selisih waktu kurang dari 15 menit, maka dapat dikatakan bahwa model pasut global TPXO9v5 sudah cukup baik menggambarkan kondisi pasut di wilayah studi.

Deviasi yang terjadi di Surabaya dapat terjadi karena lokasinya terletak di dalam kolam pelabuhan serta berada di selat sempit antara Pulau Jawa dan Pulau Madura (Gambar 4) sementara keterbatasan model pasut dari data altimetri yang menurun kualitasnya akibat batimetri yang dangkal dan pola hidrodinamika yang kompleks. Sementara itu, pada Gambar 3 juga dapat dilihat bahwa deviasi fase bernilai maksimum 20° dengan deviasi terbesar terjadi di Stasiun Cirebon dan Sadai. Hal ini terjadi kemungkinan akibat Stasiun Pasut Sadai yang terletak di daerah masuk selat antara Pulau Bangka dan Pulau Sumatera, sementara Stasiun Pasut Cirebon berada pada kolam pelabuhan dengan jarak sekitar 1 km dari pintu masuk pelabuhan

(Gambar 4), sehingga terjadi pelambatan fase pasut akibat struktur ini yang tidak tertangkap oleh resolusi spasial model pasut global TPXO9v5 sebesar $1/30^{\circ}$.

Berdasarkan ekstraksi komponen pasut M_2 , S_2 , K_1 dan O_1 dari model pasut global TPXO9v5 dengan resolusi $1/30^{\circ}$ dibuat peta variasi spasial dari setiap komponen pasut tersebut. Gambar 5 memperlihatkan variasi tunggang pasut dan tipe pasut yang terjadi di Laut Jawa. Nilai tunggang pasut bervariasi dari 0,3 – 1,4 m, dimana tunggang pasut minimum, seperti halnya nilai amplitudo komponen pasut, terjadi pada daerah bujur $108-110^{\circ}$ BT dan maksimumnya terjadi di pesisir selatan Pulau Kalimantan. Seiring dengan dominannya nilai amplitudo komponen diurnal K_1 dan O_1 dibandingkan dengan komponen semi diurnal M_2 dan S_2 , maka tipe pasut yang dominan terjadi di Laut Jawa adalah Harian Tunggal dan Campuran Cenderung Harian Tunggal seperti bisa dilihat pada Gambar 5b. Hal ini menunjukkan pasut diurnal yang dipengaruhi oleh tipe pasut yang terjadi di Laut Cina Selatan dan Laut Natuna yang masuk melalui Selat Karimata lebih mendominasi karakteristik pasut di Laut Jawa dibandingkan dengan tipe pasut semidiurnal dari Samudera Hindia dan Pasifik yang masuk melalui celah sempit diantara pulau-pulau di Indonesia Timur dan Laut Banda.

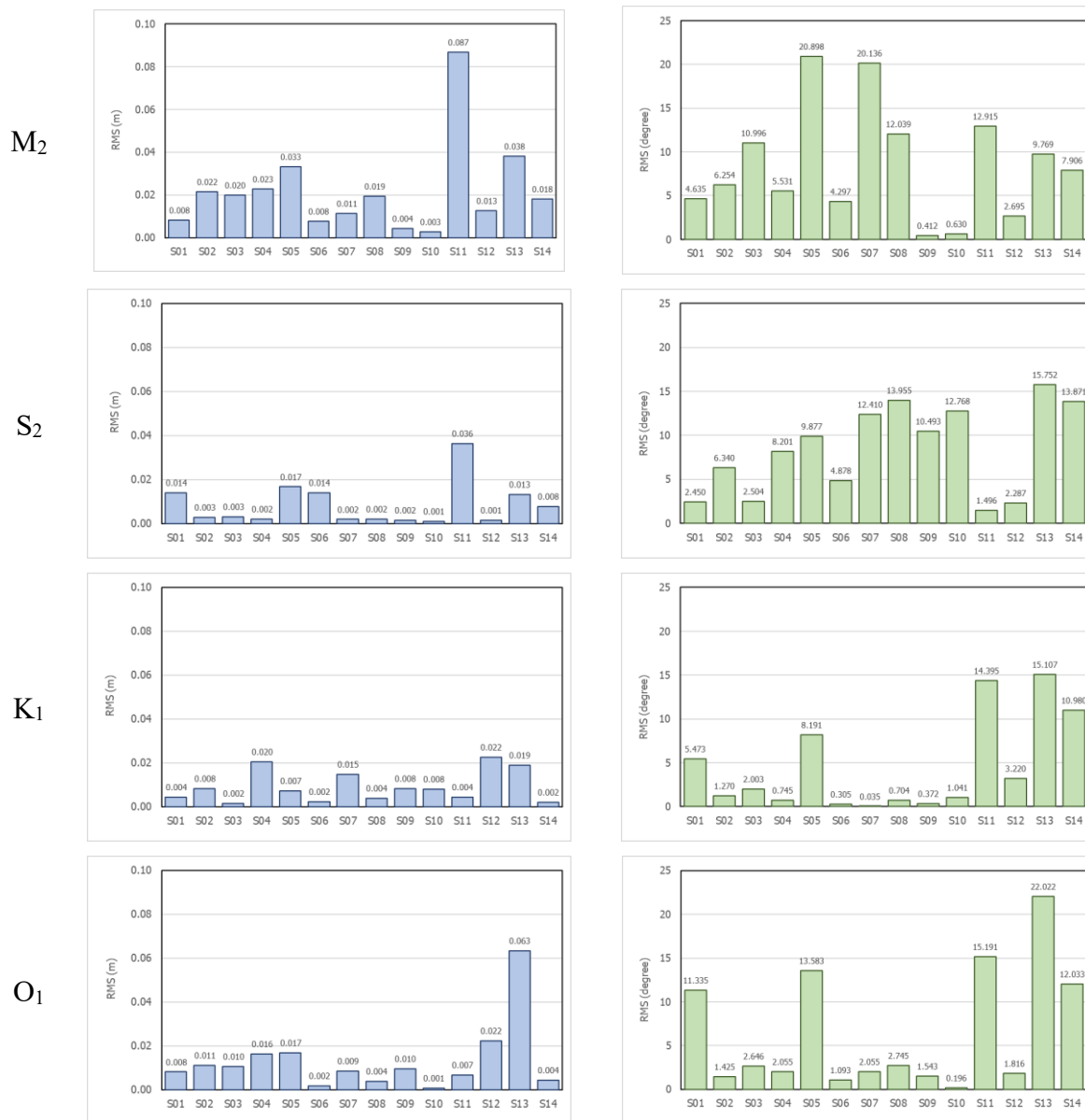
Gambar 6 memperlihatkan variasi spasial dari masing-masing amplitudo dan fasa di wilayah Laut Jawa. Pada Gambar 5 dapat dilihat bahwa secara umum nilai amplitudo komponen pasut diurnal K_1 dan O_1 memiliki nilai lebih besar dengan kisaran sekitar 0,1-0,6 m dibandingkan dengan komponen pasut M_2 dan S_2 dengan kisaran 0,1–0,4 m. Nilai minimum untuk seluruh komponen pasut berada pada daerah sekitar bujur $108-110^{\circ}$ BT dan membesar ke arah barat dan timur. Nilai amplitudo maksimum komponen pasut K_1 sebesar 0,6 m berada di pesisir selatan Pulau Kalimantan, sementara nilai amplitudo maksimum komponen O_1 berada di lokasi yang sama dengan nilai sebesar 0,3 m. Pada komponen diurnal, nilai amplitudo M_2 maksimum di Laut Jawa juga terdapat di

pesisir selatan Pulau Kalimantan dengan nilai 0,4 m, sementara nilai amplitudo S2 relatif kecil dengan nilai kurang dari 0,1 m di seluruh Laut Jawa.

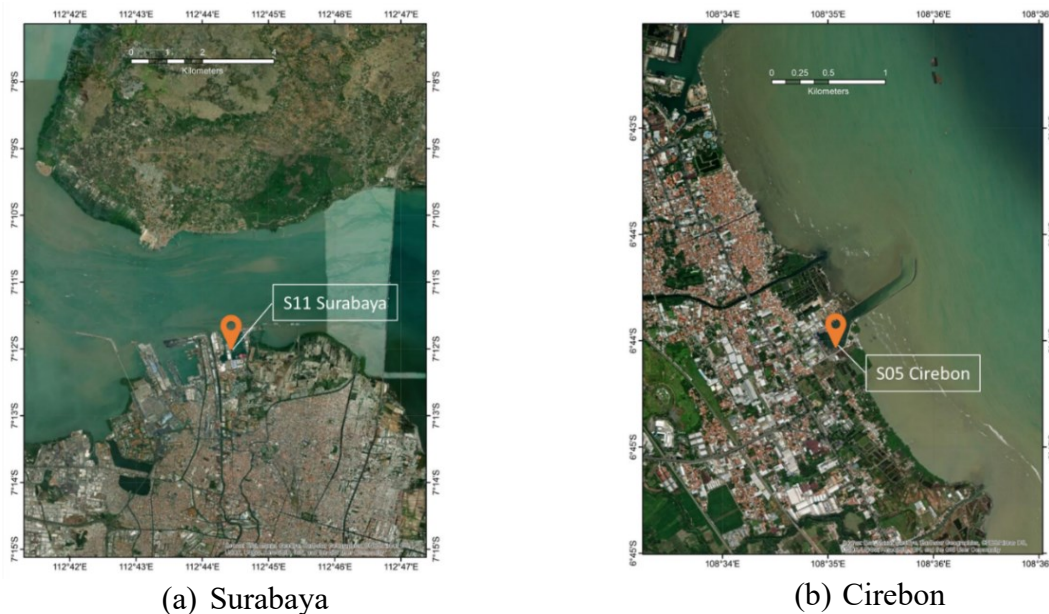
Variasi spasial nilai fase di Laut Jawa, seperti bisa dilihat pada Gambar 6 di bagian kanan, pada umumnya memiliki perubahan nilai fase yang rapat, hal ini disebabkan oleh penjarangan gelombang pasut di Laut Jawa yang lambat akibat batimetri yang relatif dangkal, yaitu kurang dari 50 m. Dengan kedalaman

kurang dari 50 m tersebut, penjarangan gelombang pasut di Laut Jawa hanya sekitar 80 km/jam (dengan menggunakan persamaan gelombang perairan dangkal).

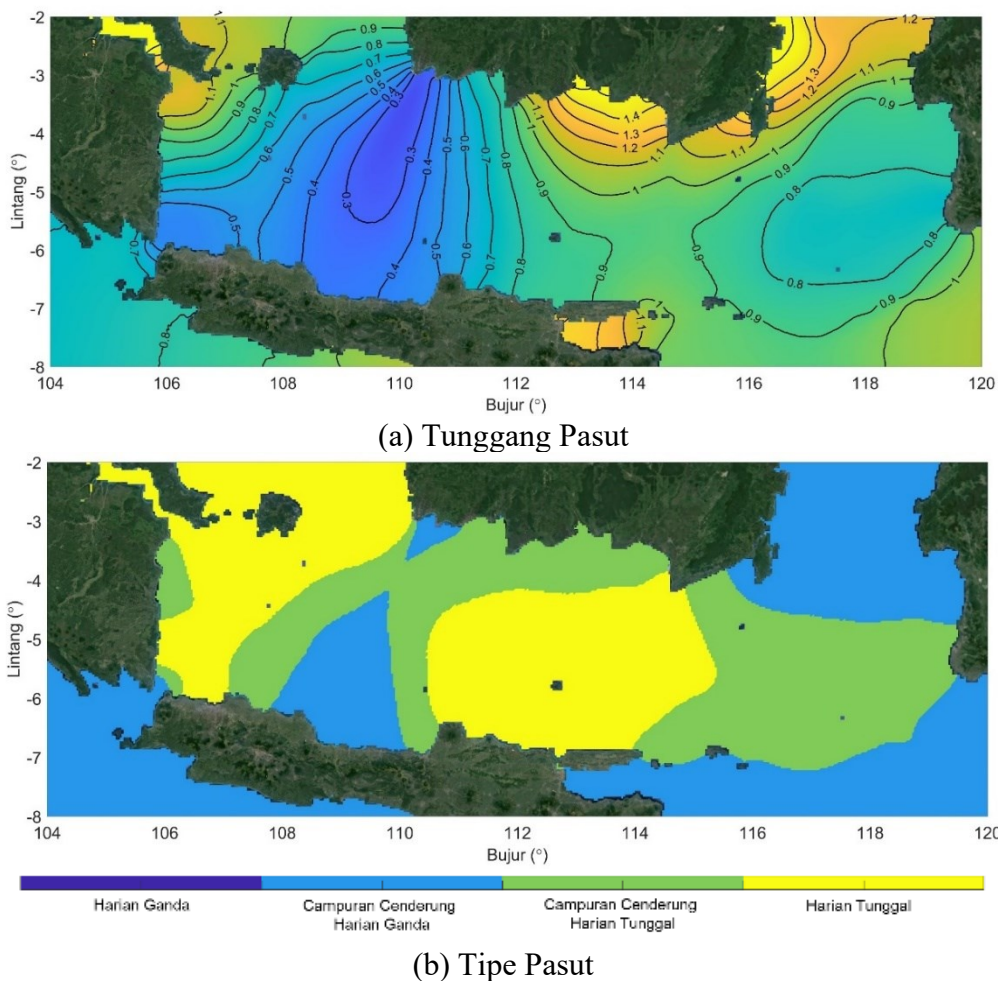
Lambatnya penjarangan gelombang pasut di seluruh komponen pasut menyebabkan terjadinya perbedaan fase sampai 180° antara Laut Jawa di bagian barat dengan di bagian timur. Hal ini berarti pada saat permukaan laut mengalami pasang di bagian barat Laut Jawa, sementara di bagian timurnya permukaan



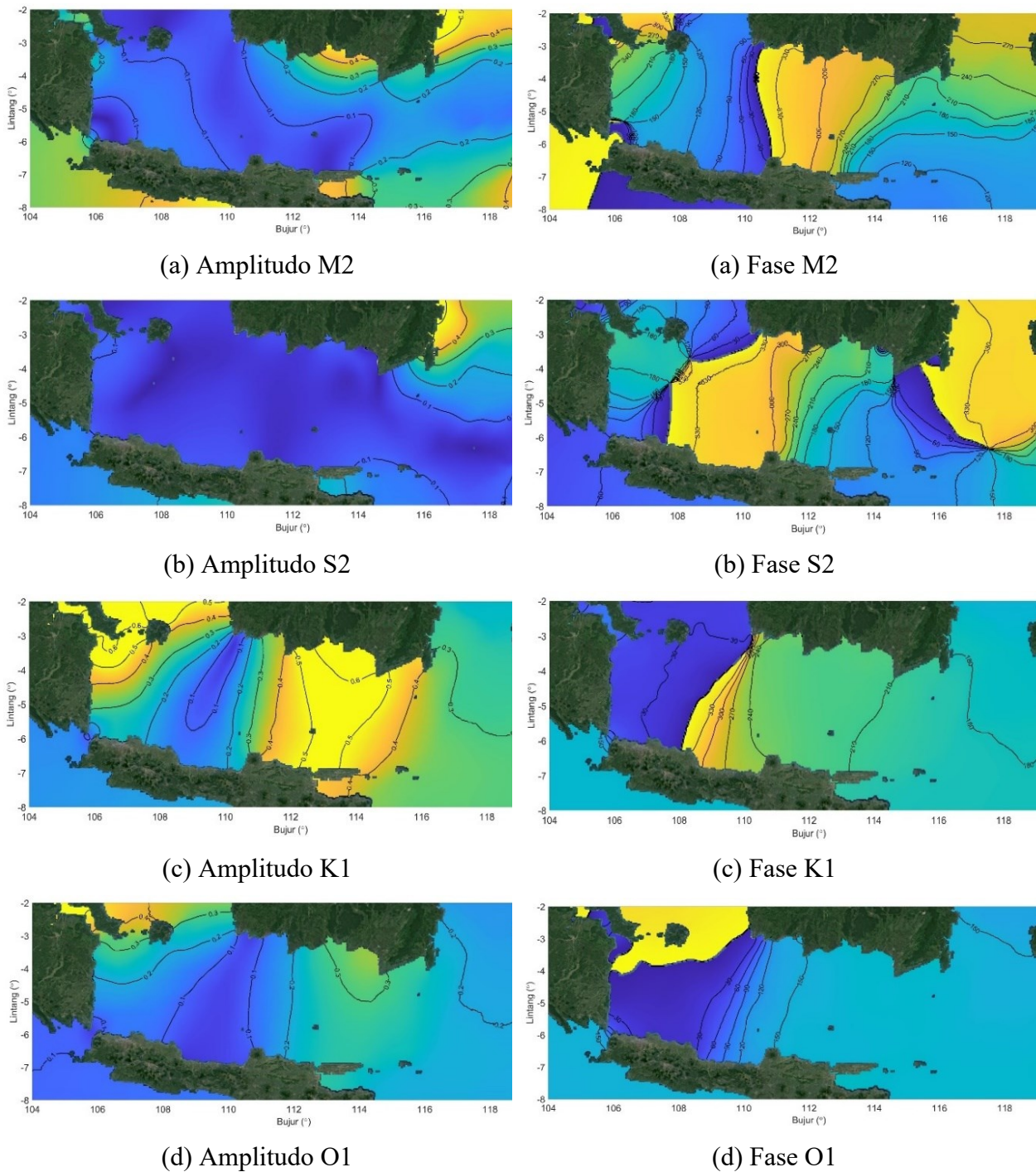
Gambar 3. Hasil verifikasi amplitude (kiri) dan fase (kanan) komponen pasut dari TPXO9v5 dan hasil pengukuran pasut di 14 stasiun pasut (lihat Gambar 1)



Gambar 4. Overview lokasi stasiun pasut Surabaya (a) dan Cirebon (b)



Gambar 5. Peta tunggang pasut dan tipe pasut di Laut Jawa



Gambar 6. Variasi spasial amplitudo dan fase komponen pasut M_2 , S_2 , K_1 , dan O_1 di Laut Jawa

lautnya sedang surut. Dari peta fase dapat dilihat pula bahwa penjarangan gelombang pasut dari empat komponen yang diteliti, hanya gelombang O_1 yang penjarannya ke arah timur, sementara tiga gelombang lainnya (M_2 , S_2 dan K_1) semuanya menjaral ke arah barat.

KESIMPULAN

Hasil verifikasi komponen pasut dari model pasut global TPXO9v5 dapat dikatakan sudah cukup baik menggambarkan kondisi pasut di Laut Jawa karena secara total, dari 14

stasiun pasut diperoleh RMS rata-rata untuk amplitudo M_2 sebesar 2,2 cm; S_2 0,8 cm; K_1 0,9 cm; dan O_1 sebesar 1,3 cm. Karakteristik Pasut di Laut Jawa didominasi oleh komponen diurnal dimana nilai amplitudo komponen pasut diurnal K_1 dan O_1 lebih besar dibandingkan dengan komponen pasut semidiurnal M_2 dan S_2 . Nilai amplitudo maksimum K_1 dan M_2 terjadi di pesisir selatan Pulau Kalimantan dengan nilai amplitudo maksimum masing-masing 0,6 dan 0,4 m. Penjalaran gelombang pasut di Laut Jawa relatif lambat akibat batimetri yang dangkal, hal ini ditunjukkan dengan kontur fase yang rapat dengan kecepatan penjalaran sekitar 80 km/jam. Keadaan ini menyebabkan dapat terjadinya perbedaan fase hingga 180° antara Laut Jawa di bagian barat dengan di bagian timurnya. Tunggang pasut di Laut Jawa berkisar antara 0,3 – 1,4 meter dengan tunggang pasut terkecil terjadi pada daerah Bujur $108-110^\circ$ BT dan maksimumnya terjadi di pesisir selatan Pulau Kalimantan. Tipe pasut diurnal dan campuran cenderung diurnal mendominasi Laut Jawa.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih tim penulis sampaikan kepada Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumihan, Institut Teknologi Kebumihan yang telah memberikan dana penelitian skema PPMI (Program Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat dan Inovasi Tahun 2021 untuk Kelompok Keahlian Hidrografi dengan Judul Redefinisi Batas Maritim Indonesia. Ucapan terima kasih juga disampaikan untuk Pusat Jaring Kontrol Geodesi dan Geodinamika – Badan Informasi Geospasial atas bantuan penyediaan data pasut di sekitar Laut Jawa yang digunakan pada penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Abessolo, G.O., Birol, F., Almar, R., Leger, F., Bergsma, E., Brodie, K., & Holman, R. 2023. Wave influence on altimetry sea level at the coast. *Coastal Engineering*, 180: p.104275. doi: 10.1016/j.coastaleng.2022.104275
- Bachtiar, H. & Sembiring, L. 2015. Usaha Awal Pengembangan dan Validasi Model Hidrodinamika di Laut Utara Jawa; Derivatif Model Detail Pasang Surut dari Model South China Sea. *Jurnal Teknik Hidraulik*, 6(2): 117–130.
- Basith, A. & Prakoso, Y. 2015. Kontribusi Konstanta Pasang Surut Perairan Dangkal terhadap Pasang Surut di Sekitar Pulau Jawa. *Prosiding Forum Ilmiah Tahunan Ikatan Surveyor Indonesia (FIT ISI)*, 19-20 November 2015, Malang ISSN: 2406 – 9051 Volume 2, Edisi 1, Tahun 2015.
- Boon, J.D. 2011. *Secrets of the Tide: Tide and Tidal Current Analysis and Applications, Storm Surges, and Sea Level Trends*. Woodhead Publishing Limited, Cambridge, England.
- Crystiana, I., Susantoro, T.M. & Junaedi, T. 2014. Identifikasi Potensi Migas melalui Citra Satelit dengan Pendekatan Anomali Topografi (Studi Kasus Daerah Indramayu dan Sekitarnya). *Lembaran Publikasi Minyak dan Gas Bumi*, 48(2): 89-102.
- Egbert, G.D. & Erofeeva, S.Y. 2002. Efficient Inverse Modeling of Barotropic Ocean Tides. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 19(2): 183–204. doi: 10.1175/1520-0426(2002)019<0183:EIMOBO>2.0.CO;2
- Egbert, G.D., Erofeeva, S.Y., & Ray, R.D. 2010. Assimilation of altimetry data for nonlinear shallow-water tides: Quarter-diurnal tides of the Northwest European Shelf. *Continental Shelf Research*, 30(6): p.668-679.
- Haryata, Y., 2019. *Minyak Bumi Membuat Dunia Terkesima*. Penerbit Duta. hlm. 13. ISBN 978-623-239-027-0
- Latif, Y. 2011. *Negara Paripurna: Historisitas, Rasionalitas, dan Aktualitas Pancasila*. Jakarta: Penerbit PT Gramedia Pustaka Utama. hlm. 496. ISBN 978-979-22-6946-8.
- Lu, G.Y. & Wong, D.W. 2008. An adaptive inverse-distance weighting spatial interpolation technique. *Computers & Geosciences*, 34(9): 1044-1055. doi: 10.1016/j.cageo.2007.07.010
- Lunt, P. 2019. The origin of the East Java Sea basins deduced from sequence stratigraphy. *Marine and Petroleum Geology*, 105: 17-31. doi: 10.1016/j.marpetgeo.2019.03.038
- Parker, B.B. 2007. *Tidal Analysis and Prediction*. Silver Spring, MD, NOAA NOS Center for Operational Oceanographic Products and

- Services, 378pp (NOAA Special Publication NOS CO-OPS 3). doi: 10.25607/OBP-191
- Passaro, M., Dinardo, S. Quartly, G.D., Snaith, H. M., Benveniste, J., Cipollini, P., & Lucas, B. 2016, Cross-calibrating ALES Envisat and CryoSat-2 Delay-Doppler: A coastal altimetry study in the Indonesian Seas. *Advances in Space Research*, 58(3): 289-303. doi: 10.1016/j.asr.2016.04.011
- Pramita, A.W., Sugianto, D.N., Prasetyawan, I.B. 2020. Pola Tinggi Gelombang di Laut Jawa Menggunakan Model Wavewatch-III. *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*. 21(1): 22-28. doi: 10.31172/jmg.v21i1.609
- Pugh, D. & Woodworth, P. 2014. Sea-Level Science Understanding Tides, Surges, Tsunamis and Mean Sea-Level Changes. Cambridge University Press.
- Putra, A.Y.N. & Pratomo, D.G. 2017. Pengembangan Co-Tidal Charts untuk Analisis Karakteristik Pasang Surut Perairan Laut Jawa. *Jurnal Teknik ITS*, 6(2): G200-G203. doi: 10.12962/j23373539.v6i2.25241.
- Rohmaningrum, F. 2012. Perkembangan Tambang Minyak Blok Cepu dan Pengaruhnya terhadap Sosial Ekonomi Masyarakat Desa Ledok Tahun 1960-2004. *Journal of Indonesian History*, 1(2): 92-99.
- Rustam, I. 2016. Tantangan ALKI dalam Mewujudkan Cita-cita Indonesia sebagai Poros Maritim Dunia. *Indonesian Perspective* 1(1): 1-21. doi: 10.14710/ip.v1i1.10426
- Safriadi, Suardika, K. Sulistyoko, A. Budiyo, F., Khaidir, Susanto, H., Kamal, F. Ezril, Sama', Manaf, A. (2021). Kartiko, G., ed. Teori dan Aplikasi Pendidikan Kewarganegaraan. Pidie: Yayasan Penerbit Muhammad Zaini. hlm. 145. ISBN 978-623-97675-7-0 hal. 145.
- Setianto, A., & Triandini, T. 2013. Comparison of Kriging and Inverse Distance Weighted (IDW) Interpolation Methods in Lineament Extraction and Analysis. *Journal of Applied Geology*, 5(1): 21-29. doi: 10.22146/jag.7204
- Siska, Y. 2017. Geografi Sejarah Indonesia. Garudhawaca. hlm. 215.
- Williams, J.J., & Esteves, L.S. 2017. Guidance on Setup, Calibration, and Validation of Hydrodynamic, Wave, and Sediment Models for Shelf Seas and Estuaries. *Advances in Civil Engineering*, Article ID 5251902. doi: 10.1155/2017/5251902