

## Analisis Co Tidal Chart dan Perambatan Pasang Surut di Perairan Indonesia Bagian Barat

Annisa Aulia Lukman<sup>1\*</sup>, Denny Nugroho Sugianto<sup>1</sup>, Widodo Setiyo Pranowo<sup>2,3</sup>, Anindya Wirasatriya<sup>1</sup>, Haryadi<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departemen Oseanografi, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro  
Jl. Prof. Jacub Rais, Tembalang, Semarang, Jawa Tengah 50275 Indonesia

<sup>2</sup>Pusat Riset Iklim dan Atmosfer, Badan Riset Inovasi Nasional  
Jl. Cicitu Sangkuriang, Bandung, Jawa Barat 40135 Indonesia

<sup>3</sup>Program Studi Hidrografi, Sekolah Tinggi Teknologi Angkatan Laut  
Jl. Pantai Kuta I, Ancol Timur, Jakarta, 14430 Indonesia

Email: \*annisalukman07@gmail.com

### Abstrak

Pembuatan peta *co-tidal* konstanta harmonik pasang surut ini dilakukan dengan tujuan mengetahui karakteristik pasang surut di wilayah Indonesia bagian barat. *Co-tidal* memetakan sebaran nilai fase pasang surut di perairan Indonesia bagian barat. Wilayah ini dipilih guna melihat pengaruh Samudera Hindia dan Samudera Pasifik terhadap karakteristik dan kondisi pasang surut di wilayah Indonesia bagian barat menggunakan data model FES2014. Pada penelitian ini mengolah 9 konstanta pasang surut yaitu  $K_1$ ,  $O_1$ ,  $P_1$ ,  $K_2$ ,  $M_2$ ,  $S_2$ ,  $N_2$ ,  $M_4$  dan  $MS_4$ , dalam pembuatan peta pasang surut. Hasil analisis penelitian ini menunjukkan bahwa konstanta harian tunggal yang terdiri atas  $K_1$ ,  $O_1$ ,  $P_1$  memiliki gelombang pasut yang menjalar dari wilayah Samudera Pasifik khususnya Laut China Selatan dan Teluk Thailand. Untuk konstanta harian ganda yaitu  $K_2$ ,  $M_2$ ,  $S_2$ ,  $N_2$  menjalar dari wilayah Samudera Hindia. Sedangkan konstanta  $M_4$  dan  $MS_4$ , terlihat menjalar dari wilayah perairan dangkal dengan sebaran nilai yang rendah.

**Kata kunci :** Peta *co-tidal*, FES2014, konstanta harmonik pasang surut, penjalaran gelombang pasang surut, perairan Indonesia bagian barat.

### Abstract

#### *Analysis of Co Tidal Chart and Tidal Propagation in Western Indonesian Waters*

*The aim of this study is to analyze the characteristics of the tides in western Indonesian waters by mapping the tidal harmonic constituents. Co-tidal charts map show the distribution of tidal phase values in the waters of western Indonesia. This area was chosen to see the influence of the Indian Ocean and Pacific Ocean on the characteristics and conditions of the tides in western Indonesia. The tidal chart were used data model FES2014 This study were used 9 tidal constituents such as  $K_1$ ,  $O_1$ ,  $P_1$ ,  $K_2$ ,  $M_2$ ,  $S_2$ ,  $N_2$ ,  $M_4$  and  $MS_4$ . The results of this study indicate that  $K_1$ ,  $O_1$ ,  $P_1$ , constituents propagated from the Pacific Ocean region, especially the South China Sea and the Gulf of Thailand. For  $K_2$ ,  $M_2$ ,  $S_2$ ,  $N_2$ , constituents propagated from the Indian Ocean region. While the constants  $M_4$  and  $MS_4$ , propagated from shallow water areas with a low value distribution.*

**Keywords :** *Co-tidal charts, FES2014, tides constituents, tides propagation, western Indonesian waters.*

### PENDAHULUAN

Wilayah Indonesia secara astronomis terletak di posisi  $6^\circ$  LU –  $11^\circ$  LS dan  $92^\circ$  BT –  $114^\circ$  BT dengan komposisi tiga per empat dari wilayah ini merupakan lautan. Panjang garis pantai Indonesia sendiri 95.161 km dimana luas wilayah laut sebesar 5,9 juta  $\text{km}^2$  yang kemudian menjadikan Indonesia sebagai negara dengan garis pantai terpanjang kedua di dunia setelah Kanada (Lasabuda, 2013). Dalam penelitian ini perairan Indonesia bagian barat yang dimaksud adalah perairan yang berada di wilayah Alur Laut Kepulauan Indonesia (ALKI) I dan ALKI II. Menurut Peraturan Pemerintah (PP) No. 37 Tahun 2002, ALKI I terdiri atas wilayah perairan Selat Sunda, Selat Karimata, serta Laut Cina Selatan dan Alur Laut Kepulauan Indonesia (ALKI) II yaitu wilayah Laut Sulawesi, Selat Makassar, dan Selat Lombok. Wilayah ALKI I dan ALKI II ini merupakan

alur laut perdagangan internasional yang menghubungkan antara Afrika, Australia, Tiongkok, Jepang dan Singapura dengan Indonesia ataupun negara lainnya (Nainggolan, 2015). Sehingga wilayah Indonesia bagian barat termasuk wilayah lalu lintas alur pelayaran yang berperan dalam penggerak perekonomian dari pulau Sumatera, pulau Kalimantan, serta pulau Jawa dengan dunia internasional. Menurut Nainggolan (2015) padatnya lalu lintas yang terjadi di wilayah Indonesia bagian barat ini dapat menjadi ancaman bagi stabilitas keamanan nasional, maka dari itu diperlukan regulasi hukum dalam rangka mencegah pelanggaran dibidang maritim serta meningkatkan keamanan pelayaran. Salah satu data digunakan dalam menganalisis perubahan elevasi muka air laut atau data pasang surut air laut. Karena luasnya wilayah penelitian ini maka sifat-sifat pasang surut disajikan dalam bentuk peta pasang surut. Peta pasang surut atau *co-tidal chart* ini kemudian digunakan dalam memperkuat peramalan pasang surut di wilayah lain yang belum terdapat stasiun pengamatan pasang surut serta pengelolaan alur pelayaran (Ngajiyono *et al.*, 2018).

Selain itu pemetaan pasang surut di wilayah lautan Indonesia khususnya dalam tujuan-tujuannya di atas pernah dilakukan oleh Klaus Wyrтки di tahun 1961 serta Pariwono di tahun 1985 yang menganalisis 4 komponen pasang surut. Adapun penelitian terbaru untuk pemetaan pasang surut di wilayah Indonesia dilakukan oleh Fatoni pada tahun 2011, pembuatan *co-tidal charts* di Laut Jawa oleh Putra di tahun 2017, serta penelitian oleh Claudia di tahun 2018 untuk wilayah perairan selat Sunda yang menggunakan 4 komponen harmonik pasang surut. Berdasarkan penelitian-penelitian yang telah dilakukan tersebut, mendorong penelitian ini dilakukan yaitu melakukan konstruksi peta pasang surut menggunakan data model FES2014 serta. Yang membedakan antara penelitian ini dengan penelitian-penelitian yang telah dilakukan sebelumnya adalah penggunaan data FES2014 sebagai bentuk data model pasang surut global. Tujuan dari penggunaan data tersebut adalah melakukan penyederhanaan terhadap pembuatan peta pasang surut termasuk penyederhanaan proses pengolahan data pasang surut yaitu amplitudo dan fase pasang surut menggunakan software bahasa pemrograman.

Meninjau pentingnya perairan wilayah Indonesia bagian barat bagi pergerakan ekonomi di tiga pulau besar Indonesia serta perkembangan bidang studi kelautan khususnya pasang surut dalam penerapannya di bidang pelayaran dan hukum dalam rangka mencegah pelanggaran di bidang maritim, maka penelitian ini perlu dilakukan.

## MATERI DAN METODE

Materi yang digunakan dalam penelitian ini adalah data re-analisis konstanta harmonik pasang surut air laut di perairan Indonesia bagian barat dari *Aviso Altimetry* melalui data *timeseries* FES2014 (*Finite Element Solution* 2014) selama 15 tahun, sejak tahun 1999 hingga tahun 2014, dengan resolusi spasial  $1/16^\circ$ . Adapun metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode penentuan lokasi penelitian yang dilakukan dengan metode *area sampling method*, metode pengumpulan data pasang surut, metode pengolahan data pasang surut untuk menentukan waktu air tinggi serta konstruksi data pasang surut. Masing-masing metode yang digunakan dijabarkan sebagai berikut:

### Metode Penentuan Lokasi Penelitian

Penentuan lokasi penelitian yaitu menggunakan metode *area sampling method*, yang merupakan suatu metode yang digunakan untuk sampel yang memiliki sumber data yang sangat luas dan pengambilan sampelnya didasarkan pada daerah yang telah ditentukan (Sudjana, 1992)

Pada pengukuran pola perambatan pasang surut ini dilakukan di wilayah perairan Indonesia bagian barat. Dimana setiap titik di lokasi memiliki elevasi pasang surut air laut yang kemudian di olah hingga menghasilkan amplitudo serta fase dari komponen harmonik pasang surut yang akan dipetakan dalam bentuk *co tidal chart* yaitu peta yang menggambarkan lokasi di laut yang memiliki fase dalam bentuk waktu air tinggi yang sama.

### Metode Pengumpulan Data

Metode pengumpulan data pasang surut FES2014 yang berasal dari website <https://www.aviso.altimetry.fr/en/> kemudian diunduh dalam bentuk ekstensi *Tape Archive File* (Tar.xz) yang berisi data amplitudo serta fase pasang surut dunia. Data pasut model FES2014 kemudian dikonversi menjadi ekstensi *Net Common Data File* (NetCdf) lalu di *cropping* untuk wilayah perairan Indonesia bagian barat.

## Pengolahan Data Pasang Surut

FES2014 merupakan data yang didasarkan pada persamaan hidrodinamik yang memperoleh hasil terbaik pada perbandingan serta asimilasi dengan model model GOT4.8, DTU10, EOT11, TPXO8, dan FES2012 (Cancet *et.al.*, 2016). Menurut Quartly *et al.* (2017) dan Ray *et al.* (2019) pengujian terhadap model pasang surut untuk FES2014 menyatakan bahwa model global ini cukup baik. Dimana pengujian terhadap data model ini telah beberapa kali diujikan meskipun pada akhirnya data tersebut diasimilasikan terhadap data hasil pengujian tersebut (Stammer *et al.*, 2014; Ray *et al.*, 2019).

Pemodelan pasang surut FES2014 dibuat pada kisi elemen terbatas yang dirilis secara global dengan resolusi  $1/16^\circ \times 1/16^\circ$  di kisi lintang-bujurnya dan menghasilkan 34 konstanta pasang surut (Ray *et al.*, 2019). Menurut Carrere *et al.* (2015), konfigurasi hidrodinamik dari kisi FES2014 adalah menggunakan 1.464.500 segitiga (*triangles*), 2.981.213 titik elevasi (*elevation nodes*), 4.393.500 titik kecepatan (*velocity nodes*). FES2014 yang dirilis pada tahun 2018 ini menyediakan informasi yang lebih rinci mengenai elevasi pasut dan arus (amplitudo serta fase) pada 34 konstanta harmonik pasang surut yaitu yaitu  $M_2, M_4, N_2, O_1, P_1, Q_1, S_1, S_2, K_2, 2N_2, E_2, J_1, L_2, La_2, M_3, M_6, M_8, Mf, MKS_2, Mm, MN_4, MS_4, MSf, MSqm, Mtm, Mu_2, N_4, Nu_2, R_2, S_4, Sa, Ssa, T_2$  (Woodworth dan Hibbert, 2018).

Data FES2014 tersebut terdiri atas data nilai amplitudo pasut dalam satuan cm serta data nilai fase pasut dalam satuan derajat pada 34 komponen harmonik pasang surut yaitu  $M_2, M_4, N_2, O_1, P_1, Q_1, S_1, S_2, K_2, 2N_2, E_2, J_1, L_2, La_2, M_3, M_6, M_8, Mf, MKS_2, Mm, MN_4, MS_4, MSf, MSqm, Mtm, Mu_2, N_4, Nu_2, R_2, S_4, Sa, Ssa, T_2$ . Dari 34 komponen pasang surut yang tersedia yang digunakan untuk penelitian ini adalah 9 komponen harmonik pasang surut yaitu  $K_1, O_1, P_1, K_2, M_2, S_2, N_2, M_4$  dan  $MS_4$ . Dari nilai amplitudo 9 komponen pasang surut tersebut kemudian dibuat peta *co-tidal* melalui pemrograman data yang dibuat pada *software* bahasa pemrograman. Menurut Pariwono (1985) serta Ongkosongo dan Suyarso (1989), peta pasang surut terdiri atas *co-tidal charts* dan *co-range charts*. *Co-tidal charts* atau peta *co-phase/co-phase chart* merupakan peta yang berupa garis-garis kontur yang menghubungkan tempat-tempat di laut yang memiliki fase pasang surut yang sama. Garis-garis kontur pada peta *co-phase* merupakan nilai waktu air tinggi pasut yang sama yang merupakan hasil konversi dari nilai fase dalam satuan derajat sesuai dengan rumus :

$$t = g \times \frac{1}{n}$$

dimana:

t = waktu air tinggi (s)

g = fase tiap konstanta harmonik pasut ( $^\circ$ )

n = kecepatan sudut tiap konstanta harmonik pasut (Tabel 1) ( $^\circ/\text{jam}$ )

## Konstruksi Peta Pasang Surut

Peta pasang surut dikonstruksi dengan menggunakan perangkat lunak berbasis GIS dan *remote sensing* yaitu ArcGIS 10.3. Pembuatan peta pasang surut menggunakan ArcGIS 10.3 dimulai dengan melakukan ekstrak data lokasi bujur dan lintang, nilai amplitudo, nilai fase pasang surut (waktu air tinggi), serta nilai *formzahl* dari *software* bahasa pemrograman. Ekstrak data ini disimpan dalam ekstensi file *comma separate values (csv)*. File tersebut kemudian dibuka pada ArcGIS 10.3 lalu ditampilkan dengan menentukan nilai X yang merupakan nilai *latitude*/lintang, Y merupakan nilai *longitude*/bujur, serta nilai Z yang merupakan nilai fase pasang surut untuk membuat data raster dari nilai-nilai tersebut. Setelah di definisikan kemudian dilakukan interpolasi data menggunakan metode *Natural Neighbor* serta membuat kontur pada menu *Contour* di *3D Analyst tool*. Setelah diinterpolasi dan kontur fase dibuat kemudian peta pasang surut di *layout* untuk menampilkan legenda yang menjadi keterangan dari peta pasang surut yang dibuat.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Variabilitas Komponen Harmonik Pasang Surut

Menurut Duxburry *et al.*, (2002) dan Arifin *et al.*, (2012) pasang surut adalah pergerakan naik turunnya muka air laut secara periodik karena gaya tarik menarik benda-benda astronomi yang berkombinasi dengan gaya gravitasi bumi. Adanya peristiwa dari pasang surut ini kemudian mempengaruhi perubahan garis pantai yang terdapat di wilayah pesisir (Sudarsono, 2011). Gaya pembangkit pasang surut merupakan resultan dari gaya gravitasi dan gaya sentrifugal akibat perputaran bumi dan bulan (Triatmodjo, 1999; Azis, 2006). Gaya gravitasi merupakan gaya tarik menarik antara bumi dengan benda astronomis sedangkan efek sentrifugal

adalah dorongan yang menuju kearah luar pusat rotasi bumi (Riyadi *et al.*, 2013). Gaya gravitasi berbanding lurus dengan massa dan berbanding terbalik dengan jarak. Karena adanya gravitasi bumi terhadap bulan dan matahari kemudian air laut tertarik kearah bulan dan matahari tersebut yang kemudian menghasilkan dua *bulge* atau tonjolan pasut gravitasional di laut. Lintang dari tonjolan pasang surut dipengaruhi oleh sudut deklinasi, sudut antara sumbu rotasi bumi dengan bidang orbital bulan dan matahari (Gross, 1990).

Pasang surut memiliki karakteristik yang berbeda beda untuk setiap tipenya. Menurut Prayogo *et al.* (2022) tipe pasang surut dapat dibedakan menjadi tiga tipe, yaitu tipe harian tunggal (*diurnal tide*), harian ganda (*semidiurnal tide*), serta pasang surut campuran (*mixed tide*). Variabilitas komponen harmonik pasang surut di perairan Indonesia bagian barat dapat diketahui dengan melakukan analisis terhadap nilai amplitudo dan fase dari setiap komponen pasang surut yang digunakan yaitu  $K_1$ ,  $O_1$ ,  $P_1$ ,  $K_2$ ,  $M_2$ ,  $S_2$ ,  $N_2$ ,  $M_4$  dan  $MS_4$ . Menurut NOAA pada glosarium pasang surut dan arus (2000), amplitudo pasang surut adalah setengah dari tunggang pasut pada masing-masing konstanta harmonik pasang surut. Sedangkan fase adalah suatu fungsi periodik yang dinyatakan dalam satuan sudut dan jika diperhitungkan dengan waktu untuk mencapai nilai maksimumnya seluruh fungsi periodik tersebut menjadi  $360^\circ$ . Komponen harmonik pasang surut merupakan konstanta-konstanta pasang surut yang diuraikan berdasarkan resultan gaya pembangkit pasang surut. Penguraian konstanta-konstanta harmonik pasut ini dapat diperoleh karena adanya keteraturan terhadap gaya dan faktor pembangkit pasang surut. Dengan adanya keteraturan terhadap faktor pembangkit pasut ini maka dapat diketahui jumlah konstanta pasang surut yang dihasilkan, kemudian dari konstanta pasang surut ini kondisi pasang surut di waktu yang akan datang dapat diramalkan (Rampengan, 2011).

Berdasarkan hasil analisis terhadap peta *co-tidal charts* di perairan Indonesia bagian barat nilai amplitudo konstanta pasang surut  $K_1$  di perairan Indonesia bagian barat memiliki nilai 0 cm-90 cm dan merambat dari jam 0 hingga jam 23. Untuk amplitudo dari konstanta  $O_1$  memiliki nilai amplitudo 2,206 cm-65 cm dan merambat pada jam 0 sampai jam 24. Konstanta  $P_1$  memiliki nilai amplitudo 2,936 cm-27 cm dan merambat dari jam 0 hingga jam 23. Konstanta  $M_2$  ini memiliki nilai amplitudo 2,283 cm-155,2 cm, dan merambat pada jam 0 hingga jam 13. Amplitudo konstanta  $K_2$  adalah 0,826 cm-24 cm serta merambat dari jam 0 hingga jam 12. Konstanta  $N_2$  memiliki nilai amplitudo 0,542 cm-75 cm dan merambat dari jam 0 hingga jam 13. Konstanta harmonik  $S_2$  memiliki nilai amplitudo 0,529 cm- 44,598 cm dan merambat dari jam 7 hingga jam 11. Konstanta harmonik  $M_4$  memiliki nilai amplitudo 0,042 cm-6 cm dan merambat dari jam 0 hingga jam 6,5. Dan untuk konstanta  $MS_4$  memiliki nilai amplitudo 0,014 cm-7 cm dan merambat dari jam 0 hingga jam 6,5. Perambatan konstanta harian tunggal yaitu  $K_1$ ,  $O_1$ ,  $P_1$  umumnya terjadi pada jam 0 hingga jam 24. Untuk konstanta pasang surut ganda  $K_2$ ,  $M_2$ ,  $S_2$ ,  $N_2$  merambat pada jam 0 hingga jam 13, sedangkan untuk konstanta perairan dangkal serta  $M_4$  dan  $MS_4$  merambat pada jam 0 hingga jam 6,5.

Sebaran amplitudo dan fase pasang surut di perairan Indonesia bervariasi karena adanya perbedaan lokasi perambatan pasang surut. Setiap wilayah memiliki karakteristik masing-masing seperti bathimetri, variasi perubahan kedalaman perairan, jarak antar pulau, serta posisi baik lintang ataupun bujur yang menyebabkan adanya perbedaan amplitudo dan fase pasang surut tersebut. Nilai amplitudo pasang surut di setiap lokasi seharusnya sama karena perputaran bumi terhadap bulan dan matahari memiliki nilai periode sinodik yang tetap. Menurut Mihardja dan Hadi (1989) besaran atau magnitudo pasut dapat mengalami perubahan karena adanya faktor resonansi dan periode alami saat merambat di perairan pantai. Sedangkan menurut Supriyono *et al.* (2015) periode komponen pasang surut dipengaruhi oleh frekuensi komponen pasang surut yaitu seberapa besar pengaruh komponen tersebut terhadap kedudukan muka air laut. Sebagai contoh komponen  $M_2$  memiliki pengaruh terhadap kedudukan muka air laut setiap 12,42 jam, maka komponen  $M_2$  akan mengalami 1 siklus atau 1 putaran penuh setiap 12,42 jam atau frekuensi  $M_2$  adalah 0,081 siklus/jam. Contoh yang lain adalah komponen  $K_1$  memiliki frekuensi setiap 1 siklus adalah 23,93 jam atau 0,042 siklus/jam.

### **Co-tidal Charts Perairan Indonesia Bagian Barat**

Peta *co-tidal* pasang surut di perairan Indonesia bagian barat merupakan gambaran perambatan fase pasang surut dalam bentuk kontur waktu air tinggi yang digunakan untuk melakukan analisis perambatan arah serta waktu pasang surut di wilayah Indonesia bagian barat, dimana pada hasil penelitian ini tertera pada gambar 1 hingga gambar 18. Pada penelitian ini di tampilkan secara spasial sebaran kontur fase pasang surut dalam satuan jam pada beberapa konstanta harmonik pasang surut yaitu  $K_1$ ,  $O_1$ ,  $P_1$  untuk konstanta pasang surut tunggal,  $K_2$ ,  $M_2$ ,  $S_2$ ,  $N_2$  untuk konstanta pasang surut ganda, serta  $M_4$  dan  $MS_4$  untuk konstanta perairan dangkal.

Masing-masing konstanta atau komponen harmonik pasang surut memiliki karakteristik dan penjelasan tertentu. Menurut Pond dan Pickard (1978), komponen  $K_1$  merupakan komponen harian tunggal yang dipengaruhi oleh deklinasi bulan dan matahari (disebut juga *Lunar-solar diurnal*), dengan kecepatan sudut sebesar 15,0410686 derajat per jam dan periode 23,9 jam matahari. Selanjutnya,  $O_1$  juga termasuk harian tunggal dan merupakan komponen utama pasang surut akibat pengaruh deklinasi bulan (*Principal lunar diurnal*), dengan kecepatan sudut 13,9430356 dan periode 25,8 jam. Komponen  $P_1$ , yang termasuk dalam kelompok harian tunggal, dipengaruhi oleh deklinasi matahari (*Principal solar diurnal*), dengan kecepatan sudut 14,9589314 dan periode 24,1 jam. Sementara itu, kelompok harian ganda terdiri dari beberapa komponen. Komponen  $S_2$  dipengaruhi oleh matahari (*Principal solar*) dengan kecepatan sudut 30,0000000 dan periode 12,0 jam.  $M_2$ , komponen utama pasang surut akibat bulan (*Principal lunar*), memiliki kecepatan sudut 28,9841042 dan periode 12,4 jam. Komponen  $N_2$  dipengaruhi oleh variasi jarak bulan akibat orbitnya yang berbentuk elips (*Larger lunar elliptic*), dengan kecepatan sudut 28,4397295 dan periode 12,7 jam.  $K_2$  adalah komponen semi-diurnal luni-solar yang juga dipengaruhi oleh bentuk elips orbit matahari, dengan kecepatan sudut 30,0821373 dan periode 11,97 jam. Selain itu, terdapat komponen untuk perairan dangkal, yaitu  $M_4$  dan  $MS_4$ . Komponen  $M_4$  memiliki kecepatan sudut dua kali lipat dari komponen  $M_2$ , yaitu 57,9682084. Sedangkan  $MS_4$  merupakan hasil interaksi antara komponen  $M_2$  dan  $S_2$ , dengan kecepatan sudut sebesar 58,9841042. Perbandingan setiap komponen pasang surut penelitian ini dilakukan dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Fatoni (2011) serta Wyrтки (1961). Kedua penelitian ini digunakan sebagai perbandingan karena hanya dua penelitian ini yang menggambarkan *co tidal* chart wilayah Indonesia secara keseluruhan. Berdasarkan hasil perbandingan secara kualitatif melalui perbandingan diketahui bahwa hasil penelitian ini memiliki hasil yang sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Wyrтки (1961).

#### **Co-tidal Charts Konstanta Harmonik $K_1$**

Untuk sebaran spasial peta *co-tidal* konstanta pasang surut  $K_1$  di perairan Indonesia bagian barat yang tertera pada gambar 1 merambat dari jam 0 dari arah hingga jam 23. Konstanta  $K_1$  memasuki wilayah perairan Indonesia dipengaruhi oleh perambatan pasang surut dari dua Samudera yaitu Samudera Hindia dan Samudera Pasifik. Dari Samudera Hindia, konstanta  $K_1$  merambat dari wilayah Samudera Hindia timur laut dari jam 9 menuju ke perairan sebelah barat pulau Sumatera. Di perairan sebelah barat Pulau Sumatera ini, perubahan waktu terjadi dari jam 9, jam 10, hingga jam 15 saat tiba di Laut Andaman. Di bagian Laut Andaman perambatan waktu jam 16 terbagi menjadi dua, sebagian menuju ke Laut Andaman utara sebagian konstanta  $K_1$  merambat ke wilayah Selat Malaka dan memiliki nilai maksimal pada jam 19 di wilayah perairan provinsi Sumatera Utara. Sedangkan dari wilayah Samudera Pasifik konstanta  $K_1$  ini terlihat bergerak dari wilayah Laut Sulawesi pada jam 9, dimana perambatan dari Laut Sulawesi ini terbagi menjadi 2 jalur yaitu Laut Sulawesi-Laut China Selatan dan Laut Sulawesi-Selat Makassar. Untuk konstanta  $K_1$  yang merambat di Laut Sulawesi-Laut China Selatan waktu perambatan berada pada jam 9 hingga maksimal di jam 22 di wilayah Selat Karimata. Dalam perambatan konstanta  $K_1$  hingga menuju ke Selat Karimata bertemu dengan konstanta  $K_1$  yang merambat dari wilayah Teluk Thailand pada jam 17. Sedangkan untuk konstanta  $K_1$  yang merambat dari jalur Laut Sulawesi-Selat Makassar ini bergerak dari jam 9 hingga maksimum di jam 22 di wilayah Laut Jawa bagian barat. Selain bergerak menuju Laut Jawa, konstanta  $K_1$  dari jalur ini juga merambat ke wilayah Samudera Hindia melalui selat Bali dan perairan yang berada di celah sempit kepulauan Nusa Tenggara Barat.

Kontur fase konstanta  $K_1$  terlihat sangat rapat di wilayah Selat Malaka, wilayah sebelah utara Selat Karimata, Laut Jawa bagian barat, serta Teluk Thailand. Diduga kontur ini merupakan visualisasi dari titik *amphidromic* atau *amphidromic point* untuk konstanta  $K_1$  yang merupakan pertemuan antara kontur-kontur jam dari pasang surut, kontur ini juga menyatakan bahwa nilai amplitudo pasang surut di titik ini sama dengan nol.

#### **Co-tidal Charts Konstanta Harmonik $O_1$**

Analisis sebaran spasial perambatan fase konstanta pasang surut  $O_1$  ditampilkan pada gambar 2, secara keseluruhan merambat pada jam 0 hingga jam 24. Fase konstanta  $O_1$  memasuki wilayah perairan Indonesia bagian barat pada jam 13 dari Laut Cina Selatan, jam 9 dari Laut Sulawesi, jam 10 dari Samudera Hindia-perairan barat Pulau Sumatera, dan jam 14 di Laut Andaman. Konstanta  $O_1$  merambat dominan dari wilayah Samudera Hindia barat laut menuju ke perairan barat Pulau Sumatera dari jam 9 hingga tiba pada jam 12 di perairan kepulauan Mentawai. Konstanta ini terus merambat hingga jam 15 di Laut Andaman, di Laut

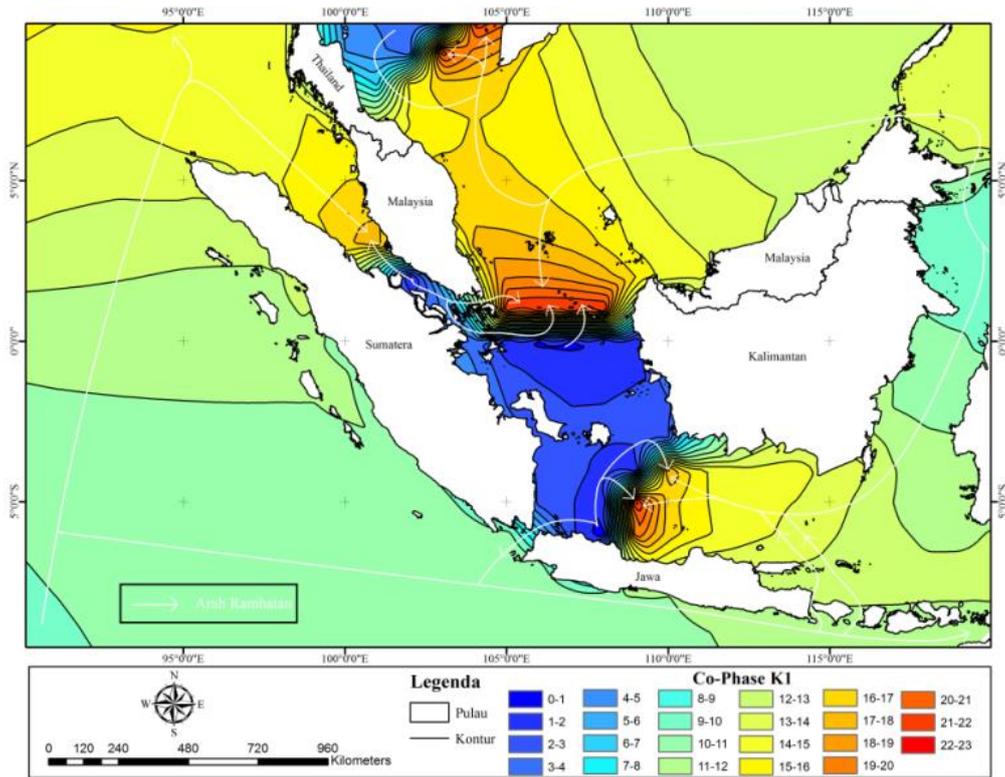
Andaman pada jam 13 terjadi pertemuan perambatan konstanta pasut  $O_1$  yang berasal dari wilayah Selat Malaka. Sedangkan untuk jalur Samudera Pasifik konstanta  $P_1$  ini merambat pada jam 12 dari wilayah Laut Cina Selatan, hingga mencapai nilai fase maksimum pada jam 24 di wilayah perairan Selat Karimata. Sebelumnya pada fase jam 13, konstanta  $O_1$  bertemu dengan perambatan fase yang berasal dari wilayah Teluk Thailand. Untuk jalur Samudera Pasifik lainnya, berasal dari wilayah Laut Sulawesi pada jam 9 dan memasuki wilayah Indonesia melalui perairan Selat Makassar hingga maksimum pada jam 12 di wilayah Laut Bali dan Laut Flores. Di wilayah Indonesia bagian barat sumber perambatan konstanta pasut  $O_1$  pada jam 0 terlihat di wilayah Laut Jawa bagian barat yang merambat ke perairan lain disekitarnya yaitu Selat Sunda-Samudera Hindia, Selat Karimata, dan Laut Jawa bagian tengah dan timur. Sumber perambatan lain juga terlihat di wilayah Selat Malaka yang merambat ke wilayah Selat Karimata melalui Selat Singapura dan perairan sebelah timur provinsi Riau. Kontur fase  $O_1$  terlihat sangat rapat di wilayah Selat Karimata bagian selatan dan Teluk Thailand.

### **Co-tidal Charts Konstanta Harmonik $P_1$**

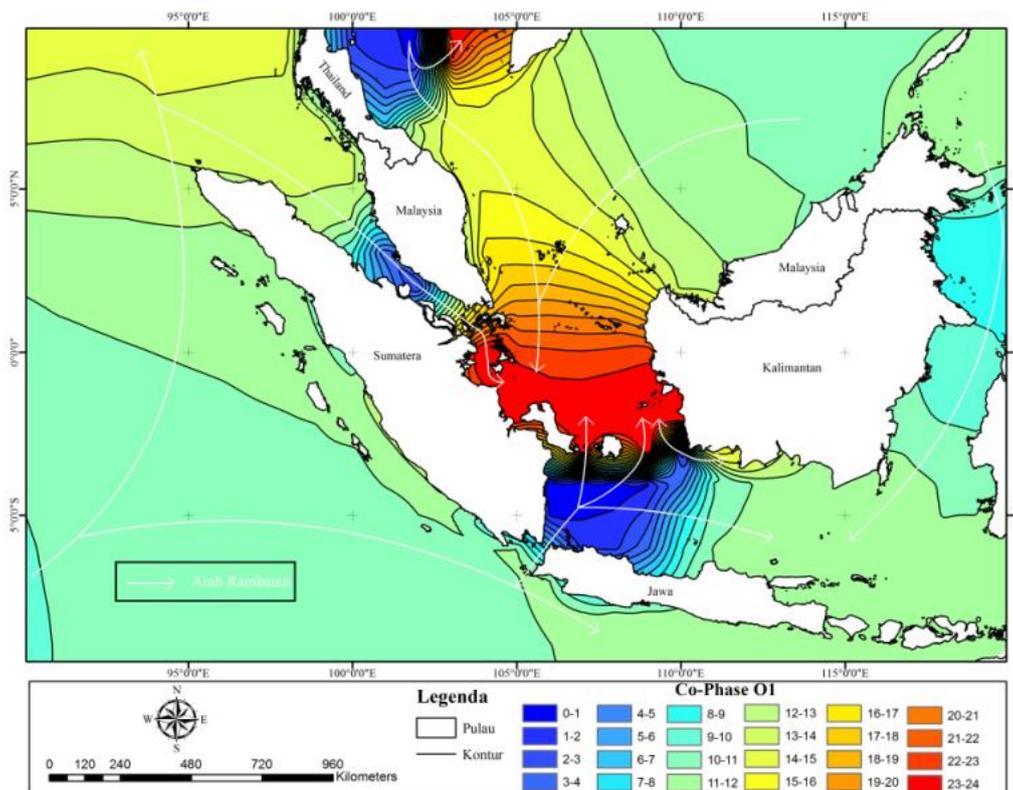
*Co-tidal charts* konstanta harmonik  $P_1$  secara keseluruhan merambat dari jam 0 hingga jam 24 yang tertera pada gambar 3. Berdasarkan hasil analisis secara spasial kontur fase konstanta  $P_1$  rapat di wilayah Laut Jawa, Selat Karimata bagian utara, dan wilayah Teluk Thailand. Kontur fase yang rapat ini diduga merupakan titik *amphidromic* atau *amphidromic point* dimana nilai amplitudo pada titik ini sama dengan nol atau tidak terjadi pergerakan vertikal air laut. Perambatan konstanta  $P_1$  di perairan Indonesia bagian barat dipengaruhi oleh dua samudera yang mengapit wilayah Indonesia yaitu Samudera Hindia dan Samudera Pasifik. Dari Samudera Hindia fase konstanta  $P_1$  merambat pada jam 10 dan sampai di perairan barat Pulau Sumatera pada jam 11 hingga maksimum di Laut Andaman pada jam 16. Selain menuju Laut Andaman fase  $P_1$  juga merambat ke wilayah Selat Malaka sejak jam 13 hingga maksimum di pusat Selat Malaka pada jam 24. Di Selat Malaka juga terjadi perambatan fase  $P_1$  dari wilayah Selat Karimata pada jam 0 hingga maksimum pada jam 24. Perubahan waktu air tinggi yang cukup signifikan ini terlihat pada kontur yang cukup rapat dimulai dari Selat Karimata-Selat Singapura-Selat Malaka. Sedangkan untuk jalur Samudera Pasifik, konstanta  $P_1$  merambat melalui Laut Cina Selatan dan Laut Sulawesi. Dari Laut Cina Selatan, konstanta  $P_1$  merambat pada jam 13 kemudian bertemu dengan konstanta pasut  $P_1$  yang merambat dari Teluk Thailand pada jam 18 lalu maksimum pada jam 22 di wilayah Selat Karimata. Sedangkan untuk konstanta pasut  $P_1$  yang merambat dari Laut Sulawesi memasuki wilayah Indonesia pada jam 9 melalui Selat Makassar hingga maksimum di Laut Jawa pada jam 22 di wilayah Laut Jawa. Selain menuju ke Laut Jawa, konstanta ini juga menuju ke Samudera Hindia saat memasuki Laut Bali dan Laut Flores melalui Selat Bali dan perairan pada celah sempit kepulauan Nusa Tenggara Barat.

### **Co-tidal Charts Konstanta Harmonik $K_2$**

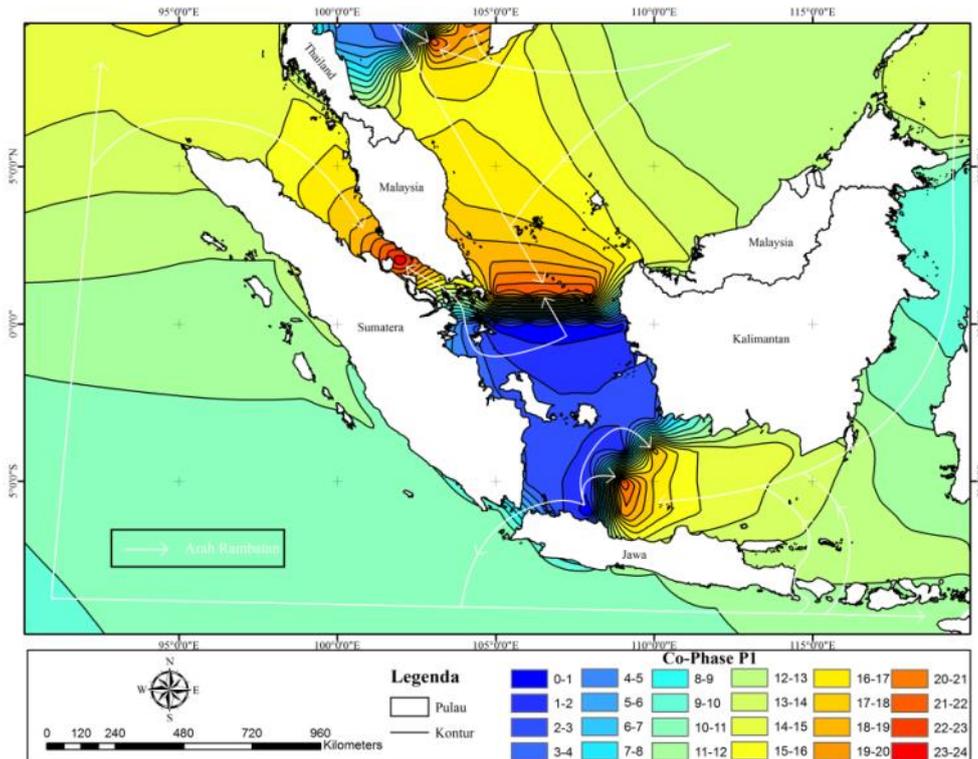
Analisa sebaran spasial untuk konstanta harmonik  $K_2$  merambat dari jam 0 hingga jam 12 seperti yang ditunjukkan pada gambar 4. Perambatan pasang surut untuk konstanta  $K_2$  di perairan Indonesia bagian barat sendiri berasal dari Samudera Pasifik dan Samudera Hindia. Dari Samudera Pasifik konstanta ini bergerak dari jam 4 yang berasal dari Laut Sulu dan mencapai waktu maksimum di Selat Karimata pada jam 11. Konstanta  $K_2$  dari Laut Sulu ini juga bertemu dengan konstanta  $K_2$  yang merambat dari Teluk Thailand di pada jam 9 di wilayah Laut Cina Selatan sebelum merambat maksimal di Selat Karimata. Selain melalui Laut Cina Selatan, konstanta  $K_2$  juga memasuki wilayah perairan Indonesia melalui Laut Sulawesi dan Selat Makassar, merambat pada jam 9 dari Laut Sulu, konstanta  $K_2$  mengalami perubahan waktu yang signifikan di wilayah Laut Sulawesi dimana kontur rapat dan saat memasuki wilayah Selat Makassar menunjukkan jam 11 hingga maksimum di wilayah Selat Makassar bagian selatan tepatnya pada perairan provinsi Kalimantan Selatan. Sedangkan dari Samudera Hindia kontur konstanta pasut  $K_2$  terlihat rapat di perairan barat Pulau Sumatera dan merambat hingga mencapai Samudera Hindia barat laut. Perubahan waktu perambatan yang cukup cepat terjadi di perairan barat Pulau Sumatera ini yaitu pada jam 0 hingga jam 12. Selain merambat ke wilayah Samudera Hindia, kontur  $K_2$  juga merambat ke wilayah Laut Andaman dan perairan selatan Pulau Jawa. Kontur  $K_2$  memiliki nilai fase jam 4 saat mencapai Laut Andaman, konstanta ini kemudian memasuki Selat Malaka dan mencapai nilai maksimum di jam 12. Sedangkan di perairan selatan Pulau Jawa, konstanta ini merambat dari jam 0 hingga jam 4, kemudian memasuki Laut Bali dan Laut Flores melalui Selat Bali dan perairan yang berada di celah-celah kepulauan Nusa Tenggara Barat.



Gambar 1. Co-tidal charts dan perambatan konstanta harmonik pasut K<sub>1</sub>



Gambar 2. Co-tidal charts dan perambatan konstanta harmonik pasut O<sub>1</sub>



**Gambar 3.** Co-tidal charts dan perambatan konstanta harmonik pasut P<sub>1</sub>.

Dari wilayah Laut Bali kontur fase konstanta  $K_2$  terlihat terus menuju ke wilayah Laut Jawa bagian tengah dan maksimum pada jam 12, sedangkan kontur  $K_2$  yang merambat di Laut Flores merambat ke wilayah perairan Indonesia bagian timur. Di wilayah Indonesia bagian barat juga terlihat kontur yang merambat dari jam 0 yaitu pada perairan Selat Makassar bagian selatan, Laut Jawa bagian barat, serta pusat Selat Karimata. Di Selat Makassar bagian selatan merambat menuju wilayah Laut Jawa bagian barat, Selat Makassar lainnya yaitu pada perairan provinsi Kalimantan Selatan, Laut Bali dan Laut Flores. Untuk wilayah Laut Jawa bagian barat merambat ke wilayah Laut Jawa bagian tengah serta Samudera Hindia melalui jalur Selat Sunda. Sedangkan untuk wilayah pusat Selat Karimata merambat menuju perairan Bangka Belitung, Selat Karimata bagian timur laut, serta Laut Jawa bagian barat. Kontur rapat pada peta Co-tidal ini terlihat rapat pada wilayah Teluk Thailand, pusat Selat Karimata, Laut Jawa bagian barat, Selat Makassar bagian selatan, dan Samudera Pasifik bagian barat laut. Kontur yang rapat ini meunjukkan adanya perubahan waktu yang cukup cepat dari jam minimum yaitu jam 0 hingga jam maksimal yaitu pada jam 12. Adanya kontur yang rapat diasumsikan terjadinya titik saat amplitudo pasut adalah nol (*Amphidromic point*).

**Co-tidal Charts Konstanta Harmonik  $M_2$**

Konstanta pasang surut  $M_2$  dari Samudera Pasifik dan Samudera Hindia. Perambatan fase  $M_2$  ini tertera pada gambar 5. Konstanta  $M_2$  merambat dari Samudera Pasifik melalui Laut Sulu pada jam 3 menuju ke perairan Indonesia bagian barat melalui dua jalur yaitu melalui Laut Cina Selatan dan Selat Makassar. Melalui Laut Cina Selatan kontur fase  $M_2$  merambat ke perairan Selat Karimata hingga jam 13, dimana saat menuju Selat Karimata, konstanta  $M_2$  juga merambat ke wilayah perairan Vietnam bagian selatan. Sedangkan konstanta  $M_2$  memasuki wilayah perairan Indonesia melalui Selat Makassar dari jam 3 hingga maksimal pada jam 10. Selain dari Samudera Pasifik, konstanta  $M_2$  juga merambat dari Samudera Hindia di wilayah selatan Pulau Jawa pada jam 0.

Dari wilayah ini merambat ke dua arah yaitu ke barat menuju ke perairan bagian selatan Pulau Sumatera dan ke arah timur menuju ke Laut Bali dan Laut Flores yang terus merambat hingga ke Laut Jawa. Di perairan bagian selatan Pulau Sumatera dan Laut Jawa nilai kontur fase  $M_2$  menunjukkan nilai masing-masing jam 13 dan jam 12. Fase  $M_2$  yang berada di wilayah Laut Flores juga merambat ke wilayah Selat Makassar pada jam

5 hingga diduga bertemu dengan fase  $M_2$  yang merambat dari Samudera Pasifik pada jam 10. Selain itu dari Samudera Hindia juga terjadi perambatan fase  $M_2$  yang menuju Laut Andaman dan Selat Malaka. Fase ini bergerak dari jam 0 di perairan Samudera Hindia dan mencapai Laut Andaman pada jam 4. Fase  $M_2$  yang merambat di Laut Andaman ini kemudian memasuki perairan Selat Malaka hingga jam 10. Selain dari Samudera Pasifik dan Samudera Hindia yang dominan, terdapat beberapa wilayah perairan Indonesia yang merupakan sumber dari pergerakan fase  $M_2$  itu sendiri yaitu perairan Laut Jawa bagian barat, Selat Malaka bagian Selatan, dan Selat Karimata yang masing-masing merambat ke perairan yang berada tidak jauh dari sumber perambatan tersebut. Untuk kerapatan kontur  $M_2$  sendiri secara spasial terlihat pada beberapa titik yaitu di wilayah Laut Cina Selatan, Selat Karimata, Laut Jawa, dan perairan selatan Pulau Jawa. Sedangkan untuk wilayah lain terlihat memiliki kontur yang renggang. Sehingga perubahan waktu perambatan untuk kontur yang relatif renggang tidak signifikan.

Dari wilayah ini merambat ke dua arah yaitu ke barat menuju ke perairan bagian selatan Pulau Sumatera dan ke arah timur menuju ke Laut Bali dan Laut Flores yang terus merambat hingga ke Laut Jawa. Di perairan bagian selatan Pulau Sumatera dan Laut Jawa nilai kontur fase  $M_2$  menunjukkan nilai masing-masing jam 13 dan jam 12. Fase  $M_2$  yang berada di wilayah Laut Flores juga merambat ke wilayah Selat Makassar pada jam 5 hingga diduga bertemu dengan fase  $M_2$  yang merambat dari Samudera Pasifik pada jam 10. Selain itu dari Samudera Hindia juga terjadi perambatan fase  $M_2$  yang menuju Laut Andaman dan Selat Malaka. Fase ini bergerak dari jam 0 di perairan Samudera Hindia dan mencapai Laut Andaman pada jam 4. Fase  $M_2$  yang merambat di Laut Andaman ini kemudian memasuki perairan Selat Malaka hingga jam 10. Selain dari Samudera Pasifik dan Samudera Hindia yang dominan, terdapat beberapa wilayah perairan Indonesia yang merupakan sumber dari pergerakan fase  $M_2$  itu sendiri yaitu perairan Laut Jawa bagian barat, Selat Malaka bagian Selatan, dan Selat Karimata yang masing-masing merambat ke perairan yang berada tidak jauh dari sumber perambatan tersebut. Untuk kerapatan kontur  $M_2$  sendiri secara spasial terlihat pada beberapa titik yaitu di wilayah Laut Cina Selatan, Selat Karimata, Laut Jawa, dan perairan selatan Pulau Jawa. Sedangkan untuk wilayah lain terlihat memiliki kontur yang renggang. Sehingga perubahan waktu perambatan untuk kontur yang relatif renggang tidak signifikan.

### **Co-tidal Charts Konstanta Harmonik $N_2$**

Perambatan fase pasang surut untuk konstanta  $N_2$  ditunjukkan pada gambar 6. Secara spasial fase  $N_2$  ini merambat dari jam 0 pada beberapa sumber perambatan yaitu Samudera Pasifik (Laut Sulu), Samudera Hindia (Perairan bagian selatan Pulau Jawa), Samudera Hindia (Laut Andaman), Perairan Natuna, serta Laut Jawa bagian tengah. Dari wilayah Samudera Pasifik yang berasal dari Laut Sulu konstanta  $N_2$  bergerak menuju ke wilayah Laut Cina Selatan, dimana di Laut Cina Selatan konstanta ini merambat ke dua arah pada jam 3 yaitu ke wilayah perairan Malaysia Barat bagian timur laut dan maksimum di jam 13 serta arah lainnya yaitu menuju ke perairan Selat Karimata dan maksimum pada jam 13 pula. Selain ke arah Laut Cina Selatan, konstanta  $N_2$  juga merambat ke arah Selat Makassar. Dari Laut Sulu pada jam 0 konstanta ini mencapai nilai maksimum pada jam 10 di Selat Makassar. Sedangkan untuk arah Samudera Hindia konstanta  $N_2$  berasal dari Samudera Hindia bagian timur laut pada jam 9 dan mencapai titik maksimum di dua arah yaitu jam 12 di wilayah perairan selatan Pulau Jawa dan wilayah perairan sebelah barat provinsi Aceh. Jam 0 untuk konstanta  $N_2$  juga terlihat pada perairan sebelah barat provinsi Aceh ini yang merambat menuju ke Selat Malaka dimulai pada jam 3 hingga maksimum di pusat perairan Selat Malaka pada jam 12. Untuk pasang surut konstanta  $N_2$  yang merambat dari Laut Natuna pada jam 0 juga mempengaruhi pasang surut yang berada pada wilayah Selat Malaka yang melalui Selat Singapura dari Laut Natuna ini juga mempengaruhi wilayah pusat Selat Karimata dan perairan Bangka Belitung. Untuk pasang surut yang merambat dari Samudera Hindia bagian selatan Pulau Jawa merambat ke perairan Laut Bali dan Laut Flores melalui Selat Bali dan perairan sempit di wilayah kepulauan Nusa Tenggara Barat.

### **Co-tidal Charts Konstanta Harmonik $S_2$**

Sebaran spasial konstanta harmonik  $S_2$  yang tertera pada gambar 7. Perambatan konstanta  $S_2$  terlihat berasal dari Samudera Pasifik pada jam 4 dan Samudera Hindia khususnya di perairan sebelah barat Pulau Sumatera pada jam 0. Di Samudera Hindia konstanta ini terlihat merambat ke tiga arah yang berbeda yaitu ke arah Laut Andaman, ke arah pusat Samudera Hindia, serta ke arah perairan selatan Pulau Jawa. Sumber arah rambatan konstanta pasang  $S_2$  ini berasal dari perairan sebelah barat Pulau Sumatera (Kepulauan Mentawai pada

jam 0). Dari sumber rambatan ini kemudian menuju ke pusat Samudera Hindia bagian timur laut hingga maksimum pada jam 12. Sedangkan untuk konstanta pasut  $S_2$  yang merambat ke wilayah Laut Andaman mencapai wilayah ini pada jam 3 hingga jam 4 kemudian terus merambat ke wilayah Selat Malaka hingga jam 11. Dan untuk perambatan konstanta  $S_2$  ke arah selatan Pulau Jawa memiliki nilai maksimal pada jam 4, pada saat jam 4 ini konstanta  $S_2$  juga memasuki wilayah perairan Laut Bali dan Laut Flores. Di Laut Bali perambatan konstanta pasut  $S_2$  ini terus menuju ke arah Laut Jawa dan maksimum pada jam 12. Namun selain itu saat di Laut Bali sebagian dari konstanta  $S_2$  juga merambat ke wilayah Selat Makassar dan maksimum di wilayah selatan Selat Makassar pada jam 12. Untuk jalur Samudera Pasifik, perambatan konstanta  $S_2$  berasal dari Laut Sulu yang menuju ke Perairan Indonesia melalui Laut Cina Selatan. Perambatan konstanta  $S_2$  dari Laut Sulu adalah pukul 4 dan mencapai Selat Karimata pada jam 11. Perambatan konstanta  $S_2$  di Laut Cina Selatan juga mengarah ke wilayah perairan Vietnam, dimana pada perairan ini juga sangat dipengaruhi oleh perambatan pasut dari wilayah Teluk Thailand. Dan jalur Samudera Pasifik yang lainnya adalah melalui Selat Makassar. Pada saat awal merambat dari Samudera Pasifik kontur konstanta  $S_2$  menunjukkan nilai jam 4, kontur ini kemudian maksimum di wilayah Selat Makassar bagian selatan pada jam 12.

#### **Co-tidal Charts Konstanta Harmonik $M_4$**

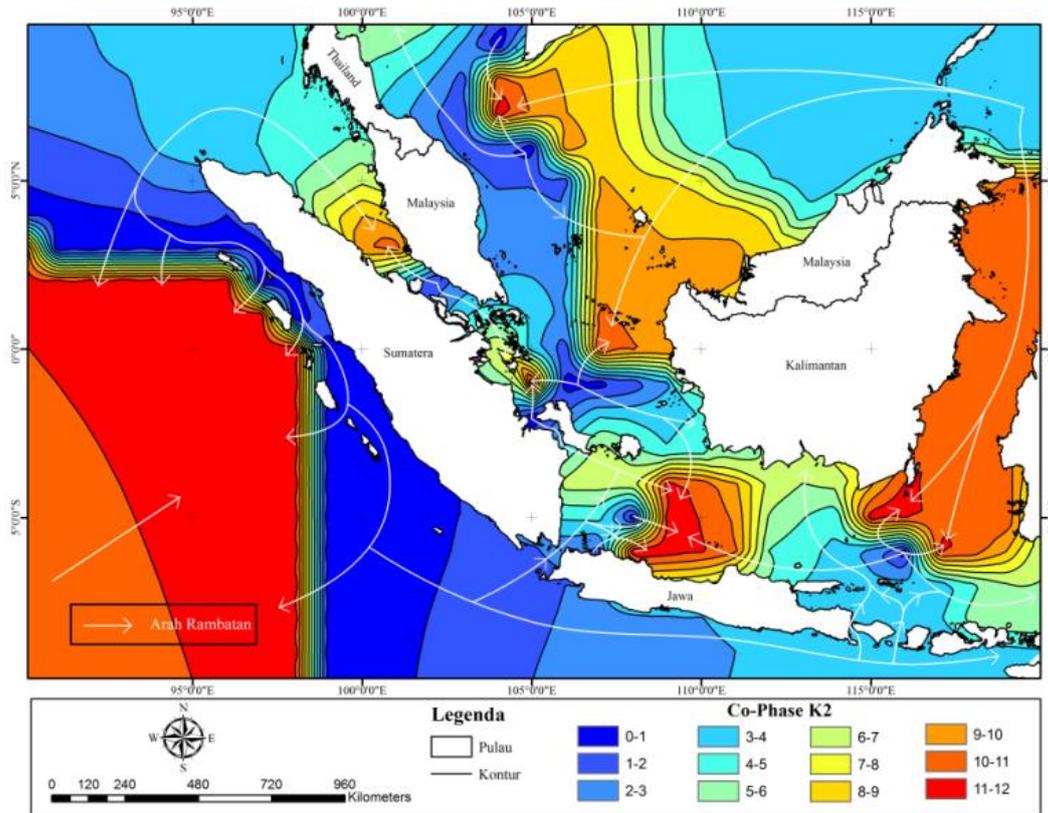
Sebaran kontur pasang surut  $M_4$  terlihat rapat di wilayah perairan yang dekat dengan daratan yang ditunjukkan pada gambar 8. Secara spasial fase  $M_4$  ini merambat dari jam 0 hingga jam 6,5. Konstanta  $M_4$  ini secara signifikan tidak terlihat berasal dari Samudera Hindia ataupun Samudera Pasifik. Nilai fase yang rendah terlihat merambat dari perairan dangkal atau perairan yang dekat dengan wilayah daratan dan merambat ke wilayah lain disekitarnya. Waktu awal perambatan menunjukkan jam 0, waktu awal ini ditunjukkan di wilayah Laut Sulu, Laut Cina Selatan, perairan Batam, perairan Belitung, perairan Cirebon dan Selat Sunda, perairan sebelah barat provinsi Kalimantan Barat, perairan sebelah timur provinsi Kalimantan Selatan, Selat Malaka dan kepulauan Mentawai. Kontur yang menggambarkan fase konstanta  $M_4$  terlihat rapat di hampir seluruh wilayah perairan Indonesia bagian barat ini menunjukkan besarnya perubahan nilai fase yang terjadi, yaitu dari jam 0 hingga jam 6,5.

Yang menjadi perbedaan antara kontur fase konstanta  $M_4$  ini adalah perubahan waktu perambatan tidak terjadi pada perairan luas, namun dari perairan dangkal menuju perairan yang lebih dalam namun tidak jauh dari sumber perambatan konstanta  $M_4$  ini. Menurut Syetiawan (2014), pasang surut perairan dangkal adalah hasil dari pengaruh faktor astronomi, faktor meteorologi, serta perubahan kedalaman perairan terhadap pasang surut tersebut (*shallow water tides*). Nilai maksimum perambatan fase yaitu jam 5 hingga jam 6,5 terlihat di beberapa wilayah perairan seperti perairan selatan Vietnam, Teluk Thailand, Laut Cina Selatan, Teluk Datuk, perairan sebelah barat provinsi Kalimantan Barat, perairan Bangka Belitung, Selat Malaka bagian utara, Kepulauan Mentawai, Laut Jawa bagian tengah, perairan bagian selatan provinsi Kalimantan Selatan, serta Selat Makassar.

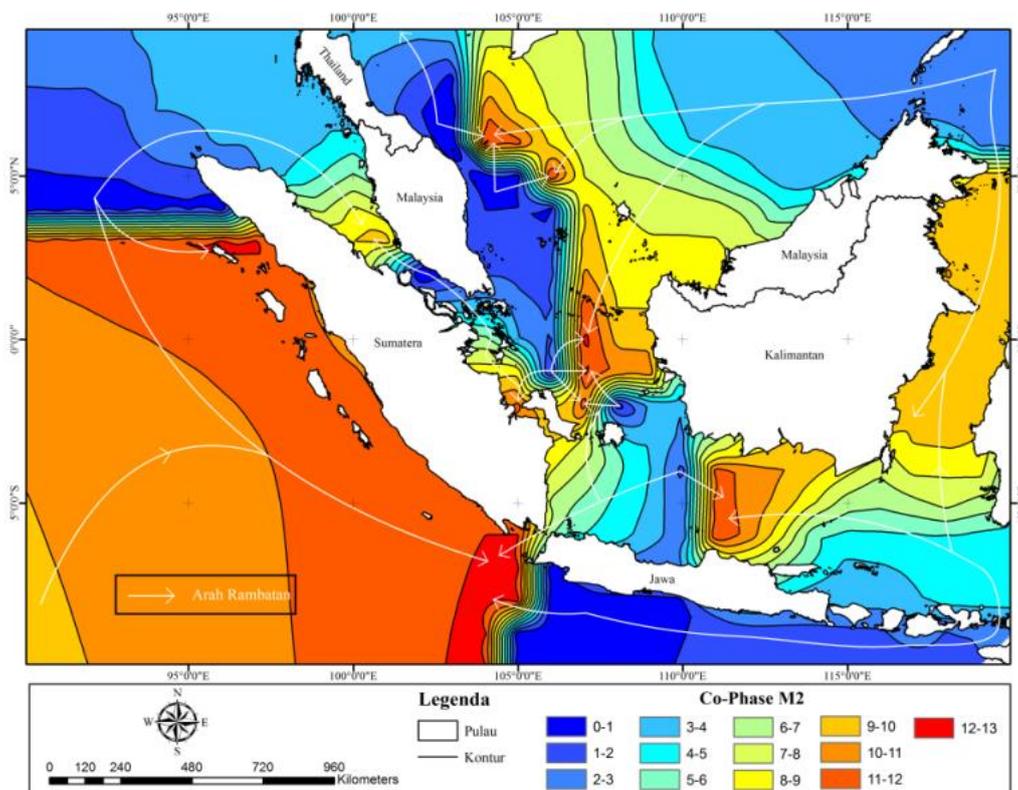
#### **Co-tidal Charts Konstanta Harmonik $MS_4$**

Perambatan konstanta harmonik  $MS_4$  di perairan Indonesia bagian barat yang tertera pada gambar 9 dimulai pada jam 0 hingga jam 6,5. Secara spasial konstanta ini memiliki kontur yang rapat di setiap perairan yang berada di perairan Indonesia bagian barat. Nilai fase minimum untuk konstanta  $MS_4$  adalah jam 0 yang terdapat di wilayah perairan dangkal seperti Laut Andaman, perairan Bangka Belitung, perairan Kalimantan Barat, perairan Kalimantan Tengah, perairan Kalimantan Barat hingga Kalimantan timur. Konstanta  $MS_4$  ini kemudian merambat ke wilayah lebih dalam, meskipun perambatannya tidak jauh dari wilayah asal perambatan konstanta  $MS_4$  ini berasal. Kecuali pada wilayah Samudera Hindia yang merambat dari Laut Andaman pada jam 0 dan mencapai Selat Malaka bagian utara pada jam 6,5 serta mencapai perairan bagian selatan pulau Sumatera pada jam 5.

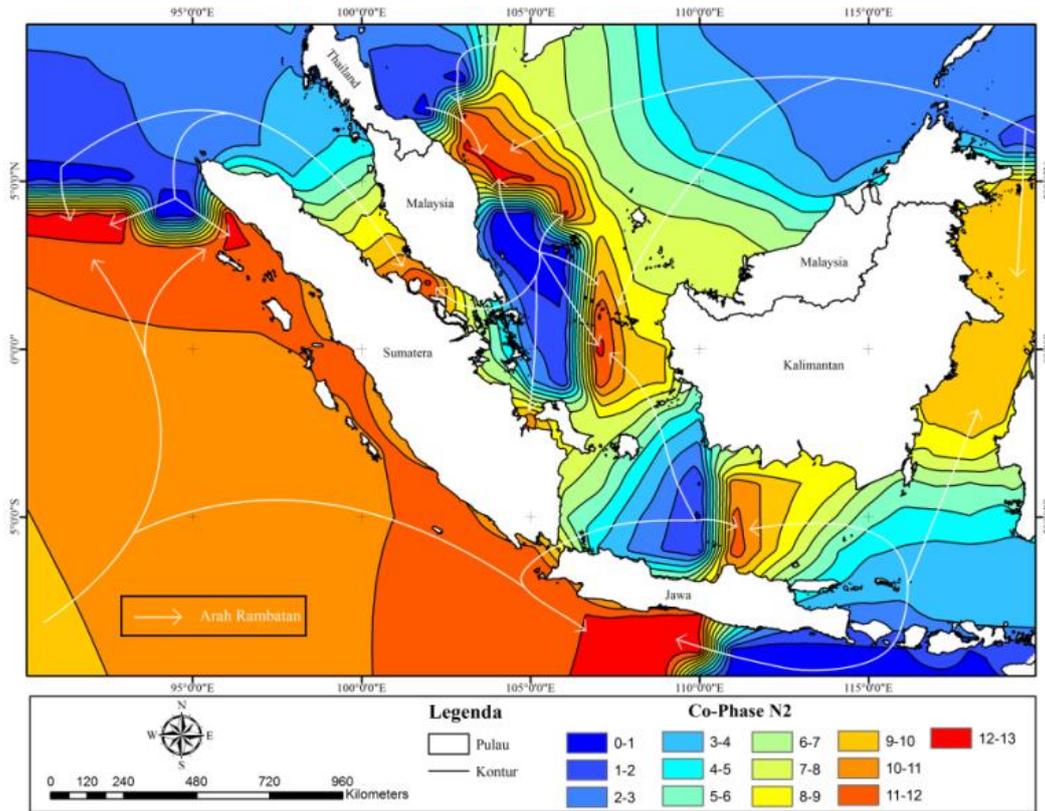
Berdasarkan sebaran spasial yang diidentifikasi terlihat bahwa terlihat kontur perairan rapat di hampir seluruh wilayah perairan Indonesia bagian barat. Nilai fase maksimum untuk konstanta  $MS_4$  yaitu pada jam 5 hingga jam 6,5 tersebar di beberapa perairan di wilayah perairan Indonesia bagian barat, yang mana perambatan menuju nilai maksimum ini dekat dengan sumber perambatannya, diantara perairan tersebut yaitu Teluk Thailand, Laut Cina Selatan, Selat Karimata, Selat Malaka bagian utara, Selat Malaka bagian selatan dan Selat Singapura, Laut Jawa, Laut Sulawesi, Selat Makassar bagian selatan, Samudera Hindia wilayah selatan Pulau Sumatera serta Samudera Hindia wilayah selatan kepulauan Nusa Tenggara Barat.



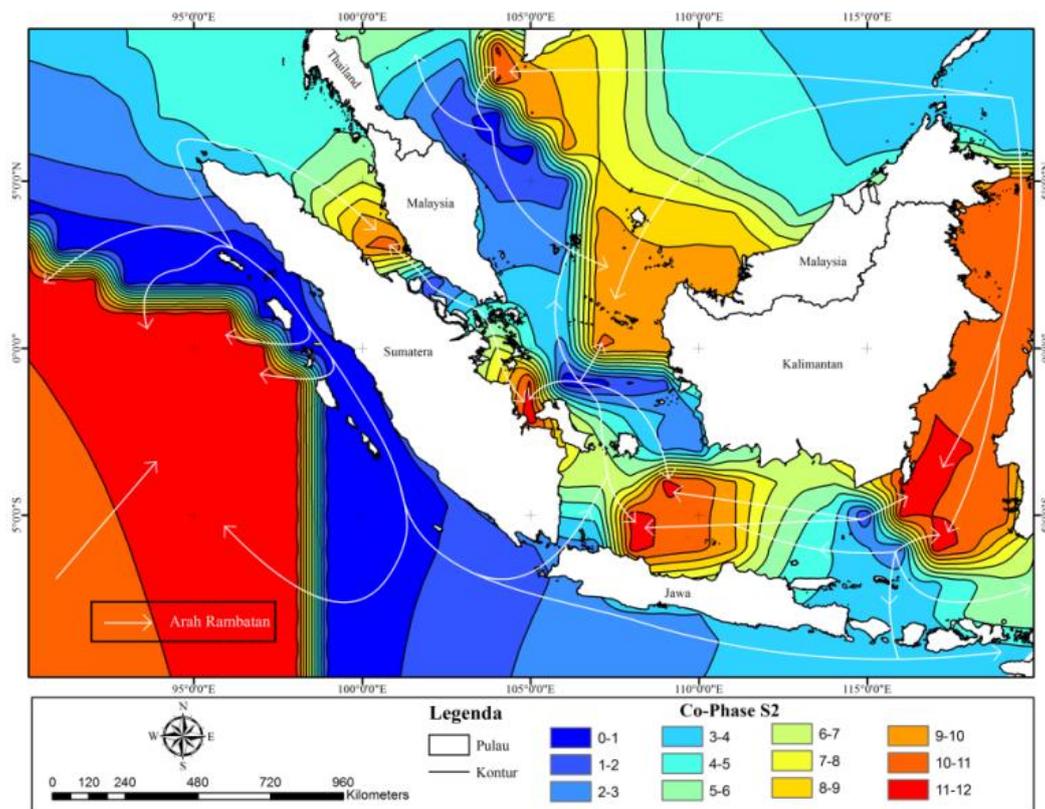
**Gambar 4.** Co-tidal charts dan prambatan konstanta harmonik pasut  $K_2$ .



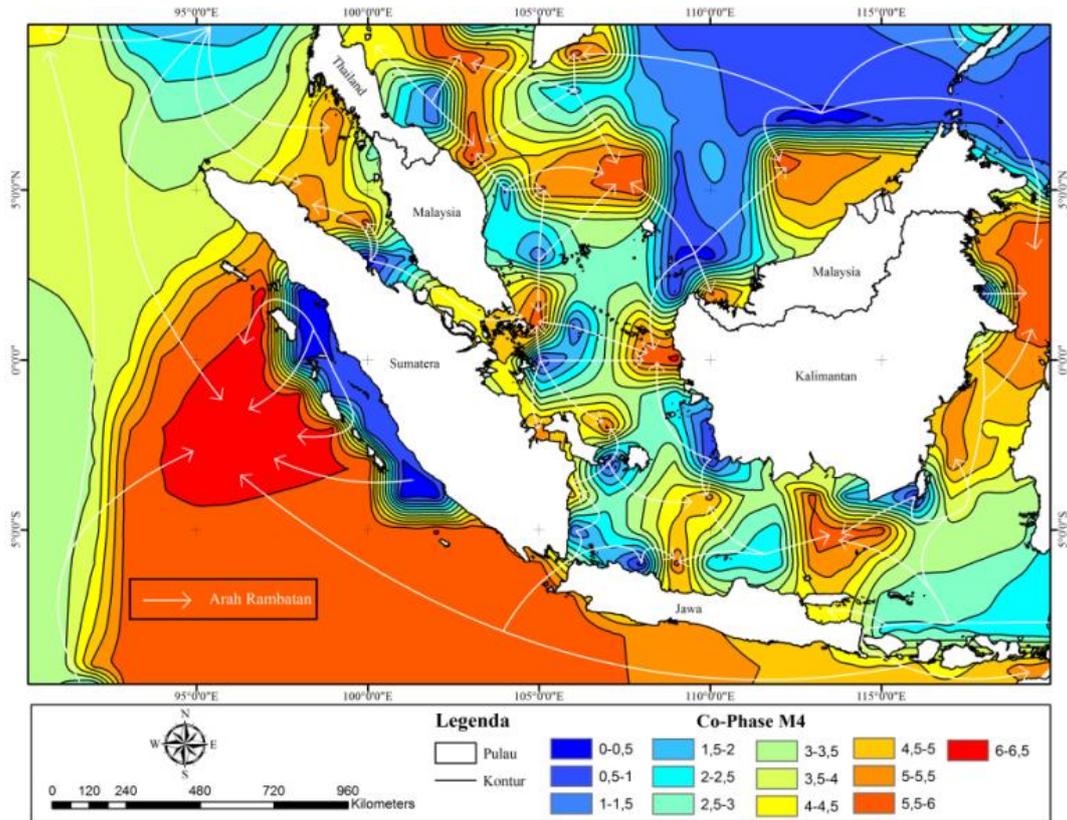
**Gambar 5.** Co-tidal charts perambatan konstanta harmonik pasut  $M_2$ .



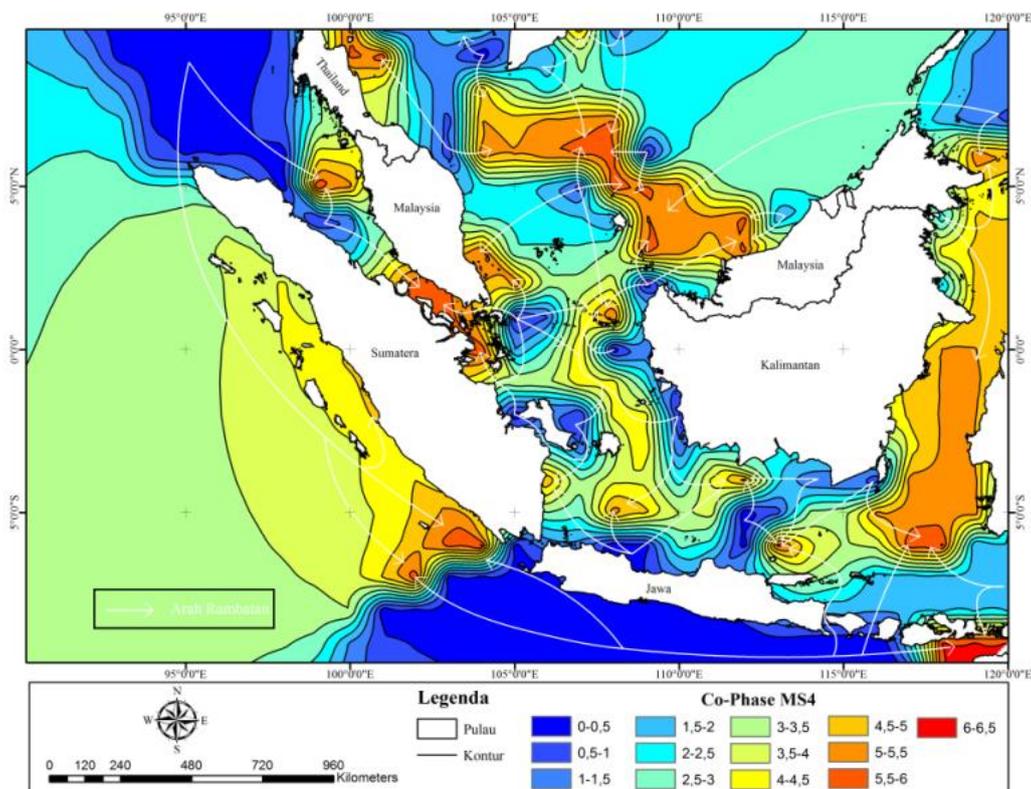
**Gambar 6.** Co-tidal charts dan perambatan konstanta harmonik pasut N<sub>2</sub>.



**Gambar 7.** Co-tidal charts dan perambatan konstanta harmonik pasut S<sub>2</sub>.



Gambar 8. Co-tidal charts dan perambatan konstanta harmonik pasut M<sub>4</sub>.



Gambar 9. Co-tidal charts dan prambatan konstanta harmonik pasut MS<sub>4</sub>.

**KESIMPULAN**

Hasil analisis penelitian ini menunjukkan bahwa gelombang pasang surut konstanta harian tunggal yang terdiri atas  $K_1$ ,  $O_1$ ,  $P_1$  menjalar dari wilayah Samudera Pasifik khususnya Laut China Selatan dan Teluk Thailand. Untuk gelombang pasang surut konstanta harian ganda yaitu  $K_2$ ,  $M_2$ ,  $S_2$ ,  $N_2$  menjalar dari wilayah Samudera Hindia melalui Selat Malaka, Selat Sunda, Selat Bali. Sedangkan gelombang pasang surut konstanta  $M_4$  dan  $MS_4$  terlihat menjalar dari wilayah perairan dangkal disekitar wilayah kepulauan dan kajian dengan sebaran nilai yang rendah.

**DAFTAR PUSTAKA**

- Arifin, T., & Yulius, F. Ismail. 2012. Kondisi Arus Pasang Surut di Perairan Pesisir Kota Makassar Sulawesi Selatan. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 1(3) : 183-188.
- Azis, M. F. 2006. Gerak Air di Laut. *Jurnal Oseana*, 31 (4): 9-21.
- Cancet, M., O. Andersen, F. Lyard, A. Schulz, D. Cotton, dan J. Benveniste. 2016. *A New High Resolution Tidal Model In The Arctic Ocean*. Convergence Paper
- Carrere, L., L. Lyard, M. Cancet, M. Guliou. 2015. FES2014, A New Tidal Model on The Global Ocean with Enchanted Accuracy in Shallow Sea in The Arctic Region. Proseding EGU General Assembly 2015, Vienna-Austria, 12-17 April 2015.
- Claudia, V. S. 2018. *Studi Perambatan Pasang Surut Berdasarkan Pemetaan Konstanta Harmonik di Perairan Selat Sunda*. [skripsi]. Universitas Diponegoro, Semarang, 45 hlm.
- Fatoni, K. I. 2011. Pemetaan Pasang Surut dan Pola Perambatannya di Perairan Indonesia. [thesis]. Institut Pertanian Bogor, Bogor, 66 hlm.
- Lasabuda, R. 2013. Pembangunan Wilayah Pesisir dan Lautan dalam Perspektif Negara Kesatuan Republik Indonesia. *Jurnal Ilmiah Platax*, 1(2) : 92-101.
- Nainggolan, P. P. 2015. Indonesia dan Ancaman Keamanan Laut Di Alur Laut Kepulauan Indonesia (ALKI). *Jurnal Kajian*, 20(3) :183-200.
- National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). 2000. Tide and Current Glossary.
- Ngajiyono, N., Darmawan, D., & K, E. S. (2018). Penggambaran Co - Tidal Chart dari Data Satelit Altimetri (Studi Kasus Perairan Laut Jawa, *Jurnal Hidropilar*, 4(2), 49–57.
- Ongkosono, O. S. R. & Suyarso. 1989. *Asean-Australia Cooperative Programs on Marine Science Project Tides and Tidal Phenomena: Pasang Surut*. Jakarta: Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia Pusat Penelitian dan Pengembangan Oseanologi. Jakarta.
- Pariwono, J.I., 1985. *Kondisi Pasang Surut di Indonesia Dalam Pasang Surut*. Penyunting : O.S.R. Ongkosono dan Suyarso. Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia, Pusat Penelitian dan Pengembangan Oseanologi. Jakarta.
- Peraturan Pemerintah (PP) No. 37 Tahun 2002 tentang Hak dan Kewajiban Kapal dan Pesawat Udara Asing dalam Melaksanakan Hak Lintas Alur Laut Kepulauan Melalui Alur Laut Kepulauan yang ditetapkan.
- Pond, S. dan G. L. Pickard. 1978. *Introductory Dynamic Oceanography*. Pergamon Press 2<sup>nd</sup>ed. Pergamon Press. Canada.
- Prayogo, D.A., Kushadiwijayanto, A.A., & Nurrahman, Y.A. 2022. Pengaruh Musim Terhadap Perubahan Pasang Surut di Estuari Kapuas Kecil Kalimantan Barat. *Jurnal Laut Khatulistiwa*, 5(2): 56-61.
- Putra, A. 2017. Pembuatan *Co-tidal Charts* Perairan Laut Jawa. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 43 hlm.
- Rampengan, R. M. 2011. Konstanta Harmonik Pasang Surut Perairan Teluk Totok Sulawesi Utara. *Jurnal Pasific*, 2(6) : 1109-1113.
- Ray, R.D, Loomis, B.D., Luthcke, S.B., & Rachilin, K. E. 2019. Test Of Ocean-Tide Model by Analysis of Satellite-to-Satellite Range Measurements : An Update. *Geophysical Journal International*.. 217 : 1174-1178.
- Riyadi, Tarumingkeng, A.A., Djamaluddin, R., & Mamuya, G.A. 2013. Climate phenomenon of La Niña and El Niño advances on variation in sea water level of Lembeh Strait and Sangihe Waters. *Aquatic Science & Management Journal*, 1(1): 26-34.
- Sudarsono, B. 2011. Inventarisasi Perubahan Wilayah Pantai dengan Metode Penginderaan Jauh (Studi Kasus Kota Semarang). *Jurnal Teknik*, 32(2) : 162-169.
- Sudjana. 1992. Metode Statistika. Tarsito. Bandung.

- Supriyono, Pranowo, W.S., Rawi, S., & Herunadi, B. 2015. Analisa dan Perhitungan Prediksi Pasang Surut Menggunakan Metode Admiralty dan Metode Least Square (Studi Kasus Perairan Tarakan dan Balikpapan). *Jurnal Chart Datum*, 1(2) : 8-18.
- Syatiawan, A. 2014. Pengembangan Aplikasi Pengolah Komponen Harmonik Pasut Berbasis Web. *Jurnal Ilmiah Geomatika*, 20(2) : 95-102.
- Triatmodjo, B. 1999. *Teknik Pantai*. Beta Offset. Yogyakarta.
- Woodworth, P. L. & A. Hibbert. 2018. *The Nodal Dependence of Long Period Ocean Tides in the Drake Passage*. Ocean Science Discussion, 23 April 2019
- Wyrтки, K. 1961. *Physical Oseanography of the Southeast Ocean Waters*. University of California Scripps Institution of Oceanography, California, 226 pp.