



Karakteristik Perambatan Gelombang Pasang Surut di Estuari Kapuas Kecil

Lindawati¹, Muh Ishak Jumarang¹, Arie Antasari Kushadiwijayanto^{2*}

¹ Program studi Fisika, FMIPA, Universitas Tanjungpura, Pontianak- Indonesia

² Program studi Ilmu Kelautan, FMIPA, Universitas Tanjungpura, Pontianak- Indonesia

*Correspondence email: *Lindawati*

✉ lindawati030918@gmail.com

Arie Antasari Kushadiwijayanto

✉ arie.antasari.k@fmipa.untan.ac.id

Received: 1 September 2018- Accepted: 15 October 2018

Published: 31 October 2018 © Author(s) 2018. This article is open access

Abstract: Karakteristik dan pola perambatan pasut telah dikaji menggunakan data pengukuran di Muara Sungai (estuari) Kapuas Kecil. Data elevasi muka air diambil di tiga stasiun yang terletak di Jungkat, PPI Pontianak, dan BMKG Pontianak. Elevasi muka air di lepas pantai, Laut Natuna, diambil dari TMD. Analisis harmonik terhadap ketiga data elevasi hasil pengukuran dilakukan menggunakan t_{tide} untuk mendapatkan komponen utama pasut seperti M_2 , S_2 , K_1 , dan O_1 . Berdasarkan hasil analisis didapatkan bahwa nilai amplitudo dan fase untuk masing-masing komponen utama pasut bervariasi di setiap stasiun. Komponen K_1 adalah komponen pasut utama di Muara Kapuas Kecil, sedangkan komponen S_2 merupakan komponen utama yang paling kecil dibandingkan ketiga komponen utama lainnya. Pola pasut dari Laut sampai ke arah hulu estuari bergeser dari harian tunggal ke campuran condong harian tunggal. Pergeseran ini terjadi karena perubahan kekuatan dari masing-masing komponen pasut akibat interaksi pasut dan morfologi muara sungai. Proses peredaman dan penguatan gelombang pasut terjadi karena pengaruh morfologi muara sungai, dan gesekan dasar. Pengaruh morfologi seperti penyempitan teramat pada Stasiun 2 dan 4, dimana pada Stasiun 2 M_2 mengalami penguatan sebesar 20% dan di Stasiun 4 komponen K_1 , O_1 , dan M_2 menguat sebesar 7,5%; 37%; dan 42%.

Keywords: *Pasang Surut, Muara Kapuas Kecil, t_{tide} , Pontianak, Kalimantan Barat*

1. Pendahuluan

Sungai Kapuas merupakan sungai terpanjang di Indonesia, 1.143 km (Jumarang *et al.* 2011). Sungai Kapuas yang terletak di Kalimantan Barat ini terbagi menjadi dua sungai, yaitu Sungai Kapuas Besar dan Sungai Kapuas Kecil. Sungai Kapuas menjadi urat nadi bagi kehidupan masyarakat

yang ada di sekitarnya yaitu sebagai sarana transportasi sungai, sumber irigasi, sumber perikanan dan sebagainya. Sekarang ini terdapat berbagai masalah seperti naiknya kadar garam musiman di sekitar muara, peningkatan endapan lumpur, erosi, banjir, dan pendangkalan (Effendi, 2003).

Daerah estuari Sungai Kapuas Kecil merupakan daerah yang sangat kompleks karena adanya pengaruh seperti debit dan pasang surut. Dengan demikian, wilayah tersebut memiliki peluang untuk mengalami perubahan (dalam skala ruang dan waktu). Perubahan wilayah estuari lebih dipengaruhi oleh kondisi hidrodinamika estuari yang selalu berubah dari waktu ke waktu. Terutama pada mulut sungai yang bertemu langsung dengan laut (Effendi, 2003).

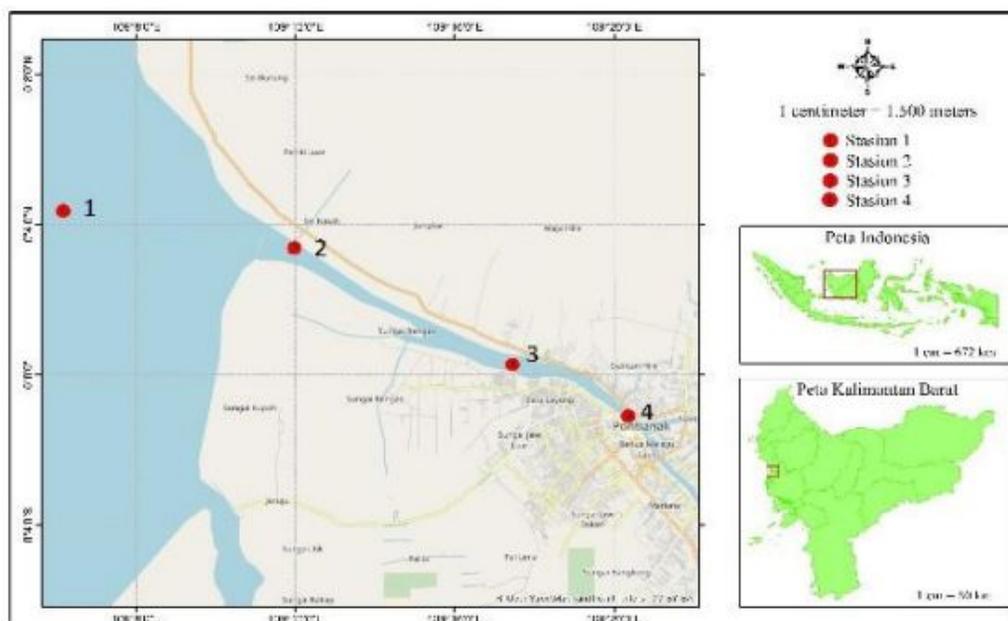
Pasang surut mempengaruhi proses fisik seperti transpor garam, sedimen serta pembilasan massa air di muara, languna, dan teluk. Pasang surut juga mempengaruhi aktivitas biologis seperti zonasi tanaman dan kegiatan makan burung, ikan dan organisme laut yang lain, serta proses yang terkait dengan peredaman dan pengeringan permukaan daratan di zona internal, yaitu daerah yang terletak antara pasang tinggi dan surut terendah. Info pasang surut sangat bermanfaat khususnya di Muara Sungai Kapuas Kecil.

Penelitian sebelumnya telah dilakukan di sungai Kapuas oleh Agustini *et al.* (2013) tentang Simulasi Pola Sirkulasi Arus di Muara Kapuas Kalimantan Barat. Dari hasil penelitian tersebut, didapatkan elevasi tertinggi di Muara Jungkat sebesar -0,66 s.d -0,60 m (Agustini *et al.*, 2013). Jumarang *et al.* (2012) melakukan penelitian tentang Perubahan Dasar Perairan Estuari Kapuas Kalimantan Barat (Studi Kasus: Bulan Januari s.d. April) hasil simulasi menunjukkan bahwa dalam rentang waktu simulasi,

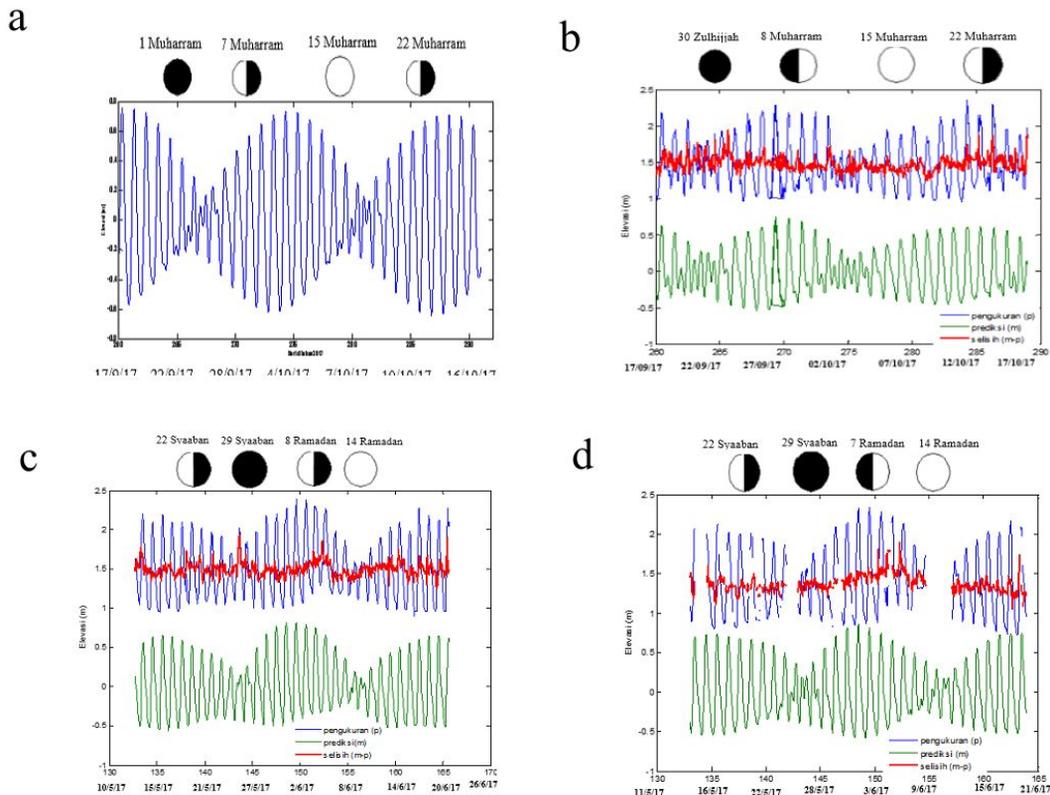
muara Sungai Kapuas umumnya mengalami pendangkalan dengan ketebalan yang bervariasi. Perubahan ketebalan dasar perairan muara Sungai Kapuas pada bulan Januari s.d Februari umumnya mengalami sedimentasi (pendangkalan) dengan perubahan ketebalan sekitar 3 s.d 27 mm. Pada bulan maret hanya bagian hulu daerah model yang mengalami peningkatan pendangkalan hingga mencapai 45 mm. Pendangkalan yang signifikan pada bulan Maret berlanjut hingga bulan April. Pendangkalan semakin bergeser ke arah muara hingga mencapai daerah sebelum delta besar pada daerah model (Jumarang *et al.*, 2012). Semua kajian tersebut didasarkan pada simulasi numerik dan belum diverifikasi dengan data pengukuran lapangan. Mengingat besarnya pengaruh pasang surut dalam segala aktivitas di Sungai Kapuas Kecil, serta perannya dalam dinamika di sungai ini maka perlu dilakukan kajian terkait karakteristik perambatan gelombang pasang surut di daerah ini menggunakan data pengukuran langsung sehingga dapat melengkapi penelitian sebelumnya dan memberikan informasi yang lebih realistik.

2. Metode

Penelitian ini dilakukan di Sungai Kapuas Kecil (Gambar 1.). Pengukuran lapangan dilakukan pada 4 stasiun di sepanjang Muara Sungai Kapuas Kecil. Data yang diambil dalam penelitian ini adalah data elevasi muka air selama satu bulan dengan interval pengambilan data satu jam sekali. Data



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian



Gambar 2. Data pasang surut di masing-masing stasiun. (a) data diperoleh dari TMD, (b), (c) dan (d) adalah data pengukuran di Jungkat, BMKG Maritim Pontianak, dan PPI Pontianak.

pasang surut di Stasiun 1 didapatkan dari *Tidal Model Driver* (TMD), data dapat diakses di laman *ATLAS Global and Regional Solution* <http://volkov.oce.orst.edu/tides/atlas.html>. Data pada Stasiun 3 adalah data observasi yang diperoleh dari BMKG Maritim Pontianak. Data pasang surut di Stasiun 2 dan 4 merupakan data primer yang diukur dengan menggunakan alat ukur air otomatis yang telah dikembangkan oleh Fikri *et al.*, (2015).

Data elevasi hasil pengukuran difilter seperti yang dilakukan oleh Holine *et al.*, (2015). Data pasang surut yang diolah dengan menggunakan program *t_tide* ini diperoleh dengan menggunakan MATLAB (Pawlowicz *et al.*, 2002) untuk mendapatkan komponen pasang surut utama. Komponen pasang surut yang dikeluarkan dari program *t_tide* digunakan untuk analisis data. Hasil analisis harmonik digunakan untuk menentukan tipe pasang surut dengan mencari nilai bilangan *Formzahl* pada masing-masing komponen pasang surut utama, serta untuk mencari perambatan gelombang pasang surut untuk masing-masing komponen pasang surut utama dengan menggunakan nilai fase.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil

Hasil analisis harmonik di Stasiun 1 dapat dilihat pada Gambar 2.a dan Tabel 1. Gambar 2.a adalah hasil keluaran *Tidal Model Driver* (TMD) di Stasiun 1 (Laut). Elevasi terendah -0,5 m terjadi pada tanggal 30 September 2017. Elevasi tertinggi 0,7 m terjadi pada tanggal 19 September 2017. Tabel 1 adalah amplitudo dan fase komponen pasang surut utama di laut. Komponen pasang surut yang paling dominan di laut adalah K1. Dominansi K1 ditunjukkan dengan nilai amplitudo yang paling tinggi diantara yang lainnya. Sebaliknya, komponen utama yang paling kecil pengaruhnya adalah S2.

Hasil analisis harmonik di Stasiun 2 dapat dilihat pada Gambar 2.b dan Tabel 1. Gambar 2.b adalah grafik hasil analisis harmonik dengan program *t_tide* di Muara Jungkat. Data hasil prediksi ditunjukkan dengan garis berwarna hijau. Data hasil pengukuran ditunjukkan dengan garis berwarna biru. Garis berwarna merah adalah selisih antara data prediksi dan data pengukuran. Elevasi terendah adalah 1,1 meter terjadi pada 27 September 2017. Elevasi tertinggi adalah 2,2 meter terjadi

Tabel 1. Hasil analisis harmonik di masing-masing stasiun

Stasiun	Besaran	K1	O1	M2	S2
Stasiun 1 (Laut)	Amplitudo (m)	0,4268	0,3258	0,1046	0,0521
	Fase (o)	20,52	307,79	279,02	322,75
Stasiun 2 (Muara Jungkat)	Amplitudo (m)	0,3876	0,2392	0,1620	0,0318
	Fase (o)	359,42	305,76	269,67	293,67
Stasiun 3 (BMKG)	Amplitudo (m)	0,3930	0,2085	0,1286	0,0508
	Fase (o)	25,40	327,90	312,26	353,82
Stasiun 4 (Pontianak)	Amplitudo (m)	0,3970	0,2377	0,1796	0,0365
	Fase (o)	4,53	313,20	280,41	290,09

pada 17 September 2017. Tabel 1 adalah amplitudo dan fase komponen pasut utama di Muara Jungkat. Komponen pasang surut yang paling dominan di Muara Jungkat adalah K1. Dominansi K1 ditunjukkan dengan nilai amplitudo yang paling tinggi di antara yang lainnya. Sebaliknya, komponen utama yang paling kecil pengaruhnya adalah S2.

Hasil analisis harmonik di Stasiun 3 dapat dilihat pada Gambar 2.c dan Tabel 1. Gambar 2.c adalah grafik hasil keluaran t_{tide} di Sungai Kapuas Kecil. Data pasang surut ini diperoleh dari BMKG Maritim Pontianak. Data hasil prediksi ditandai dengan garis berwarna hijau. Data hasil pengukuran ditunjukkan dengan garis berwarna biru. Garis berwarna merah adalah selisih antara prediksi dan pengukuran. Elevasi terendah adalah 1 meter terjadi pada 15 Mei 2017. Elevasi tertinggi adalah 2,3 meter terjadi pada 14 Juni 2017. Tabel 1 adalah amplitudo dan fase komponen pasut utama di Sungai Kapuas Kecil. Komponen pasang surut yang paling dominan di Sungai Kapuas Kecil adalah K1. Dominansi K1 ditunjukkan dengan nilai amplitudo yang paling tinggi di antara yang lainnya. Sebaliknya, komponen utama yang paling kecil pengaruhnya adalah S2.

Hasil analisis harmonik di Stasiun 4 dapat dilihat pada Gambar 2.d dan Tabel 1. Gambar 2.d adalah grafik hasil keluaran t_{tide} di Sungai Kapuas Kecil (Pontianak). Data hasil prediksi ditunjukkan dengan garis berwarna hijau. Data hasil pengukuran ditunjukkan dengan garis berwarna biru. Garis berwarna merah adalah selisih antara data prediksi dan data pengukuran. Elevasi terendah adalah 0,9 meter terjadi pada 16 Mei 2017. Elevasi tertinggi adalah 2,2 meter terjadi pada 26 Mei 2017. Tabel 1 adalah amplitudo dan fase komponen pasut utama di Sungai Kapuas Kecil (Pontianak). Komponen pasang surut yang paling

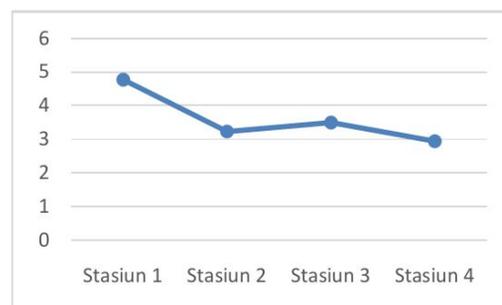
dominan di Sungai Kapuas Kecil (Pontianak) adalah K1. Dominansi K1 ditunjukkan dengan nilai amplitudo paling tinggi di antara yang lainnya. Sebaliknya, komponen utama yang paling kecil pengaruhnya adalah S2.

3.2 Pola Pasang Surut

Tipe pasang surut dapat diperoleh dengan membandingkan besarnya amplitudo komponen diurnal terdapat komponen semi-diurnal. Gambar 2 tipe pasang surut di Stasiun 1, 2, dan 3 adalah harian tunggal. Tipe pasang surut di Stasiun 4 adalah campuran condong harian tunggal. Bilangan Formzhal di masing-masing stasiun diperlihatkan pada Tabel 2. Tipe pasang surut di laut ke arah hilir sungai bergeser dari harian tunggal ke campuran condong harian tunggal. Pergeseran tersebut terjadi karena pengaruh amplitudo dan komponen diurnal O1 dan penguatan amplitudo komponen semi-diurnal M2 (lihat Gambar 4).

Tabel 2. Nilai bilangan Formzhal dan tipe pasang surut pada masing-masing stasiun

Stasiun	Bilangan Formzhal	Tipe Pasang Surut
Stasiun 1	4,802	Harian Tunggal
Stasiun 2	3,233	Harian Tunggal
Stasiun 3	3,354	Harian Tunggal
Stasiun 4	2,937	Campuran Condong Harian Tunggal

**Gambar 3.** Distribusi bilangan Formzhal di Sungai Kapuas Kecil

Pelemahan dan penguatan gelombang pasang surut dapat terjadi karena pengaruh morfologi muara sungai dan gesekan dasar. Morfologi muara sungai dapat menyebabkan terjadinya penguatan karena pengaruh penyempitan dan resonansi. Gesekan dasar dapat mengakibatkan pelemahan gelombang pasang surut akibat perubahan energi gelombang dari energi potensial dan energi kinetik.

Pengaruh penyempitan pada gelombang pasang surut yang masuk ke Kapuas Kecil dapat teramati pada Stasiun 2 dan 4. Pada Stasiun 2, komponen yang mengalami penguatan M2 sebesar 20%. Stasiun 4 komponen yang mengalami penguatan adalah K1, O1, dan M2. Penguatan K1 sebesar 7,5%, penguatan O1 sebesar 37,06%, dan penguatan M2 sebesar 41,75%.

Pengaruh gesekan dasar juga akan mengubah bentuk gelombang pasang surut (Harianto *et al.*, 2018). Gesekan dasar akan mengurangi energi gelombang pasang surut (Kushadiwijayanto *et al.* 2017). Kehilangan energi akibat gesekan dasar kemudian menyebabkan tinggi gelombang pasang surut akan terus berkurang. Secara eksponensial (lihat Gambar 4). Komponen pasang surut S2 semakin ke hilir amplitudonya semakin kecil. Pelemahan S2 pada Stasiun 4 sebesar 42,73%. Peristiwa ini biasanya terjadi di dangkal yang kecepatannya tetap. Penurunan ketinggian dan hilangnya energi gelombang pasang surut akibat gesekan dasar disebut sebagai peredaman gelombang pasang surut atau *dumping*. Penguatan karena resonansi dapat terjadi apabila periode pasang surut mendekati atau bersesuaian dengan periode alami muara sungai. Periode alami dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$T_0 = \frac{4l}{\sqrt{gh}} \quad (3.1)$$

Dimana T_0 adalah periode alami estuari, l merupakan periode alami estuari, l panjang estuari, h kedalaman rata-rata estuari, dan g adalah percepatan gravitasi.

Periode alami Sungai Kapuas Kecil dapat dihitung dengan memasukkan nilai-nilai pada persamaan 3.1. Kedalaman rata-rata sungai Kapuas Kecil adalah 5,3 m (Jumarang *et al.*, 2012). Panjang sungai adalah 7.500 m. Percepatan gravitasi adalah 9,8 m/s. Periode alami sungai Kapuas Kecil adalah 1,14 jam. Pada hasil perhitungan yang diperoleh dari

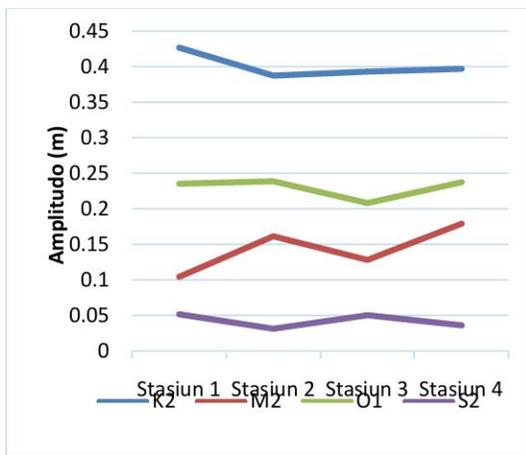
persamaan 3.1, tidak ada komponen pasang surut yang mendekati periode alami.

Komponen pasang surut yang mengalami kenaikan semakin ke hilir sungai nilai persentasenya semakin mengalami peningkatan disebabkan gelombang pasang surut yang merambat ke perairan dangkal akan memiliki kecepatan yang lambat dibandingkan ketika bergerak diperairan dalam karena kecepatan rambatnya berkurang, maka panjang gelombangnya juga berkurang. Gelombang berubah menjadi pendek sebagai konsekuensi dari periode yang tetap. Pemendekan panjang gelombang ini menyebabkan tinggi gelombang yang diteruskan diperairan dangkal menjadi semakin membesar. Penomona perubahan atau penambahan tinggi gelombang karena pengaruh perubahan kedalaman, dari yang dalam menuju dangkal, disebut efek pendangkalan atau *shoaling*.

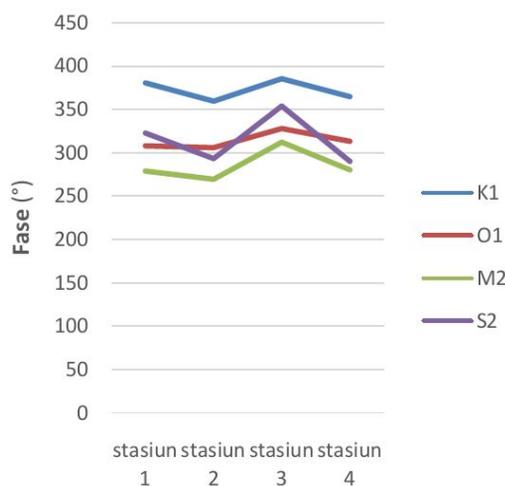
3.3 Pola Perambatan Pasang Surut

Gambar 5 adalah grafik fase komponen pasang surut utama dari laut sampai ke sungai Kapuas. Grafik tersebut menjelaskan perubahan fase pada setiap stasiun. Komponen K1 mengalami penurunan fase pada Stasiun 2 dan 4 sedangkan pada Stasiun 3 mengalami penambahan fase. Komponen O1 mengalami penambahan fase pada Stasiun 2 dan 3 sedangkan pada Stasiun 4 mengalami penurunan fase. Komponen S2 mengalami penurunan fase pada Stasiun 2 dan 4 sedangkan pada Stasiun 3 mengalami penambahan fase. Komponen M2 mengalami penambahan fase pada Stasiun 3 sedangkan pada Stasiun 2 dan 4 mengalami penurunan fase. Dari hasil analisis yang diperoleh nilai fase yang sesuai dengan teori adalah komponen O1 dari laut menuju ke hilir sungai nilai fasenya mengalami peningkatan meskipun tidak begitu besar.

Pada Gambar 5 dapat dilihat komponen pasang surut yang sesuai dengan teori adalah O1. Hal yang menyebabkan hasil analisis beberapa komponen pasang surut tidak sesuai dengan teori tersebut dapat dipengaruhi oleh banyak data yang hilang dan gangguan alami di lokasi penelitian. Seperti pada Stasiun 4 jumlah data yang terekam pada alat 742 data dan data yang tidak bagus sebanyak 148 data. Data yang tidak bagus ini dibuang hal ini yang menyebabkan pergeseran fase.



Gambar 4. Grafik amplitudo komponen pasang surut pada setiap stasiun



Gambar 5. Grafik fase komponen pasang surut utama pada setiap stasiun

Nilai fase dapat digunakan untuk mencari kecepatan perambatan gelombang pasang surut dan nilai kedalaman. Kecepatan rambat komponen pasang surut K1, O1, M2, dan S2 nilai c sebesar (2 m/s, 5,4 m/s, 43,5 m/s, dan 2 m/s). Dari hasil analisis diperoleh kecepatan rambat gelombang dari masing-masing komponen pasang surut dapat dilihat nilai perambatan gelombang yang terbesar dari laut sampai ke sungai Kapuas adalah M2.

4. Kesimpulan

Kesimpulan yang diperoleh dari penelitian ini adalah :

- Pola pasang surut yang berubah pada Stasiun 1, 2, dan 3 adalah harian tunggal dan pada Stasiun 4 adalah campuran condong harian tunggal
- Pelemahan dan penguatan gelombang pasang surut dapat terjadi karena pengaruh morfologi muara sungai dan gesekan dasar

- Pelemahan gelombang pasang surut yang mengalami perambatan sangat besar adalah komponem pasang surut M2 sebesar 43,5 m/s.

Daftar Pustaka

- Agustini T, M.I. Jumarang, and A. Ihwan. 2013. Simulasi Pola Sirkulasi Arus Di Muara Kapuas Kalimantan Barat. *PRISMA FISIKA*. 1:----.
- Effendi H. 2003. *Telaah Kualitas Air Bagi Pengolahan Sumber Daya dan Lingkungan Perairan*. Yogyakarta: Kanisius.
- Fikri R. 2015. Rancang Bangun Sistem Monitoring Ketinggian Permukaan Air Menggunakan Mikrokontroler ATMEGA328P Berbasis Web Service. *POSITRON*, 5(2): 42-49.
- Hariato, Kushadiwijayanto, A.A., and Apriansyah. 2018. Physical Oceanography Condition in Eastern Karimata Strait: Pasir Mayang Beach West Kalimantan. *Jurnal Penelitian Fisika dan Aplikasinya (JPFA)*. 8(1): 51-60. DOI: <https://doi.org/10.26740/jpfa.v8n1.p51-60>
- Holinde L, T.H. Badewien, J.A. Freund, E.V. Stanev, and O. Zielinski. 2005. Processing of water level derived from water pressure data at the Time Series Station Splekeroog. *Earth System Science Data*. 7.
- Jumarang M.I., N.S. Ningsih, S. Hadi, and D. Martha. 2011. Pola Sirkulasi Arus dan Salinitas Perairan Estuari Sungai Kapuas Kalimantan Barat. *POSITRON*. 1(1):36-42.
- Jumarang M.I., Muliadi, N.S. Ningsih, and S. Hadi. 2012. Perubahan Dasar Perairan Estuari Sungai Kapuas Kalimantan Barat (Studi Kasus: Bulan Januari s.d. April). *SIMETRI, JURNAL ILMU FISIKA INDONESIA*. 1:42-44.
- Kushadiwijyanto, A.A., Apriansyah, and N. Idiawati. 2017. Pemodelan Arus Musiman di Perairan Lemukutan Kalimantan Barat. *SEMIRATA 2017 BIDANG MIPA BKS-PTN WILAYAH BARAT*. Jambi, Indonesia. 12-14 Mei 2017. ---
- Pawlowicz, R., B. Beardsley, and S. Lentz. 2002. Classical tidal harmonic analysis including error estimates in MATLAB using T_TIDE, *Computers & Geosciences*. 28: 929-937.
- Trujillo, A. 2002. *Introduction of Oceanography*. AS : Thomson Learning.
- Yanagi T. 1999. *Coastal Oceanography*. Tokyo: In Terra Scientific Pulishing Company.