

Variasi Amplitudo Konstituen Harmonik Pasang Surut Utama di Stasiun Bitung, Sulawesi Selatan

Salnuddin^{1*}, I Wayan Nurjaya², Indra Jaya², Nyoman M.N. Natih²

¹Program Studi Ilmu Kelautan, FPIK - Universitas Khairun, Kampus II Unkhair, Jl. Raya Gambesi Kecamatan Kota Ternate Selatan, Ternate, Maluku Utara, 97719, Indonesia

²Departemen Ilmu dan Teknologi Kelautan, FPIK - IPB
Jl. Rasamala Kampus IPB Darmaga Bogor Jawa Barat, 16680, Indonesia
Email: Sal_Unkhair@yahoo.co.id

Abstrak

Perhitungan konstituen harmonik pasang surut masih menggunakan metode konvensional, pengembangan metode dominan pada sistem komputasinya dan menggunakan sistem penanggalan Masehi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui, apakah amplitudo konstituen harmonik yang dihitung dari pengelompokan data berdasarkan penanggalan Hijriah memberikan karakter yang relatif sama (stabil) dibanding yang sama dibandingkan dengan penanggalan Masehi. Perbandingan tersebut dilakukan pada 10 konstituen harmonik utama pasang surut, guna membandingkan perhitungan tunggang air dari nilai konstituen dan dari Metode Suku Sama (MSS). Hasil analisis data menunjukkan bahwa nilai deviasi amplitudo sangat kecil dari masing-masing konstituen harmonik pada perhitungan berdasarkan sistem kalender Hijriah, dimana amplitudo pada bulan Sya'ban relatif stabil dan lebih tinggi dibandingkan pada bulan lainnya. Nilai koefisien determinan (R^2) untuk data awal pasang surut pada fase bulan baru (BB) dan bulan purnama (BP) lebih tinggi dibandingkan data awal pada fase bulan lainnya. ANOVA menghasilkan konstituen K_1 dan S_2 terpengaruh jika data dimulai saat fase bulan kuartil I (KW1) dan purnama (BP), sedangkan saat fase awal kuartil 2 (KW2) terjadi pada konstituen P_1 dan K_2 , MS_4 dan M_4 . Dengan demikian, perhitungan amplitudo konstituen harmonik lebih optimum jika data dimulai saat fase bulan baru atau mengikuti penanggalan Hijriah.

Kata kunci: Masehi, Hijriah, sistem kalender, Suku Sama, oseanografi etnik

Abstract

Amplitude Variations of Tidal Harmonic Constituents in Bitung Station, Sulawesi Selatan

Calculation of tidal harmonic constituents are still using conventional methods, development of methods are dominant on computational system, and, the methods are still using AD system of the calendar. This study aims to determine whether the amplitude of harmonic constituents a calculated from the grouping data based on the Hijri calendar provide of character relatively equal (stable) in the same month compared to the AD calendar. The comparisons are performed at 10 major harmonic constituents, it's to compare the tidal range calculation from the value of the harmonic constituent and the Sama ethnic group method (MSS). The result showed, The deviation of amplitude very small of each constituent harmonics if calculations based on the Hijri calendar, and the amplitude of month of Sha'ban is relatively stable and higher than other months. Value of determinant coefficient (R^2) for tidal data begins on the phase a new moon (BB) and full moon (BP) has value higher than other phases. ANOVA, showed that constituents of K_1 and S_2 affected if the tidal data begins when the lunar phases are first quartile (KW1) and full moon (BP), whereas when the initial phase quartile 2 (KW2) occurs constituent of P_1 , K_2 , MS_4 and M_4 . Thus, the calculation of the harmonic constituents with tide data begins when the new moon phase or follow Hijri calendar will generate optimum value of amplitude

Keywords: AD, Hijra, calendar system, Sama ethnic, ethno oceanography

Pendahuluan

Pergerakan pasang surut sangat dikontrol oleh pergerakan bulan dan matahari (Lambeck,

1975 dan Bursa, 1987), dimana perhitungan konstituen harmoniknya masih menggunakan metode konvensional. Metode tersebut dibangun oleh Dodson (1921) dan dikembangkan oleh Godin,

(1972) serta dilanjutkan oleh beberapa ahli matematika maupun oceanografi seperti Dickman (1993) dan Pawlowicz *et al.* (2002). Perhitungan konstituen harmonik pasang surut yang dinotasikan dengan komponen konstituen harmonik ditentukan oleh tanggal, jam dan nilai pengukuran merujuk pada penanggalan Masehi atau *Anno Domini* (AD). Hal tersebut berarti penanggalan Masehi merupakan pengelompokan data sebagai awal perumusan persamaan matematis dalam analisis konstituen harmonik pasang surut. Aplikasi penggunaan persamaan tersebut diperlihatkan oleh Schureman (1958); Foreman (1977); NOAA (2001; 2003) dan IHO (2005) dalam bentuk prosedur analisis pasang surut.

Aplikasi perhitungan pasang surut telah banyak dikembangkan baik untuk studi perubahan tinggi muka air atau *sea level* (Haigh *et al.*, 2011); konstituen harmonik dan datum elevasi muka air (Zuke *et al.*, 1997; Jay, 2009 dan Nasser *et al.*, 2013); perubahan osilasi muka air (Yasuda, 2009 dan Capuano *et al.*, 2012) serta masih banyak penelitian lain dengan pendekatan model yang salah satunya dilakukan oleh Arabelos *et al.*, (2010). Pada bagian lain, diketahui bahwa posisi bulan yang diperlihatkan pada fase bulan lebih mempengaruhi pergerakan dan tinggi pasang surut di suatu perairan (Lambeck, 1975; Bursa, 1987; Pugh, 1996; Pugh dan Woodworth, 2014). Kondisi tersebut menggambarkan pergerakan pasang surut mengikuti pergerakan bulan (*moon system*) yang bergerak secara global (Lambeck, 1975; Haigh *et al.*, 2011 dan Mawdsley *et al.*, 2015).

Karakteristik spesifik pergerakan pasang surut terhadap fase bulan menunjukkan adanya variasi tinggi permukaan air (*Likkas Silapas*) dari pergerakan pasang surut saat fase purnama dan bulan baru (Salnuddin *et al.*, 2015b). Fenomena pasang surut terhadap fase bulan sangat penting bagi Suku Sama (Orang Bajo) di Indonesia Timur yang menjadikannya sebagai referensi waktu melakukan pengukuran tunggang air untuk kegiatan konstruksi rumah mereka (Salnuddin *et al.*, 2015a). Lebih lanjut, pengukuran tersebut dilakukan pada saat fase bulan purnama di Bulan Sya'ban dalam penanggalan Hijriah.

Dalam penanggalan Hijriah, tiap bulan Hijriah diawali oleh fase bulan baru disusul oleh fase bulan kuartil pertama, fase bulan purnama, fase bulan kuartil kedua dan kembali ke fase bulan baru. Pergerakan bulan membentuk fase bulan tersebut merupakan variasi *angular momentum* yang terbentuk dari sistem bumi dan bulan (*earth - moon system*) dan menyebabkan variasi tinggi pada tiap fase bulan selalu berbeda (Bursa, 1987) dan kontinyu tiap siklus bulanan (Mawdsley *et al.*, 2015).

Hal tersebut menyebabkan tiap fase bulan (waktu) dalam satu siklus bulanan yang merupakan satu bulan Hijriah senantiasa teratur meskipun dengan tinggi air yang berbeda. Lebih lanjut, keteraturan pergerakan bulan tersebut (fase bulan) diikuti oleh pergerakan tinggi air pasang surut, sehingga memungkinkan untuk mengidentifikasi waktu berdasarkan pergerakan tinggi air pasang surut.

Pola keteraturan pergerakan tinggi air berdasarkan penanggalan Hijriah tersebut tidak diperlihatkan pada pola pergerakan berdasarkan penanggalan Masehi akibat *angular momentum* yang terbentuk pada solar system dari jarak matahari terhadap pusat bumi relatif kecil sehingga menjadi gerak horizontal (Butikov, 2002), hal tersebut dapat dilihat pada masuknya bulan baru pada penanggalan Masehi dapat terjadi pada fase bulan yang berbeda ditahun yang berbeda. Meskipun demikian, dalam analisis pasang surut dengan pendekatan pasang surut sebagai suatu gelombang, sangat ditentukan oleh susunan data pengukuran dalam rentang waktu satu bulan (jumlah hari) pengukuran yang diperlihatkan metode perhitungan pasang surut (Foreman, 1977; Pawlowicz *et al.*, 2002; NOAA, 2003 dan IHO, 2005).

Berdasarkan jumlah hari antara penanggalan Hijriah dan Masehi relatif sama, maka hal lain yang membedakan adalah komposisi data pengukuran pasang surut terhadap fase bulan. Pada sistem penanggalan Hijriah telah jelas bahwa pada satu bulan Hijriah memuat empat fase bulan, sedangkan pada sistem penanggalan Masehi memungkinkan hanya terdapat tiga fase bulan akibat selisih banyaknya hari dalam satu bulan maupun dalam periode satu tahun masing-masing sistem penanggalan yang berbeda sebanyak 10-11 hari.

Dari uraian di atas maka apakah perhitungan konstituen harmonik dengan pengelompokan data bulanan menggunakan penanggalan Hijriah lebih memberikan karakter dari pergerakan pasang surut dibandingkan dengan analisis data pasang surut yang pengelompokan data bulanan menggunakan sistem penanggalan Masehi. Dengan hal tersebut maka penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi variasi amplitudo harmonik pasang surut dari data pengukuran pasang surut yang dikelompokkan pada sistem penanggalan Hijriah dan Masehi. Identifikasi ini penting terkait dengan penentuan tunggang air pasang surut dari *ethno oceanography* Suku Sama yang menggunakan karakter pasang surut berdasarkan bulan Hijriah yang disebut dengan *Metode Suku Sama* atau MSS (Salnuddin *et al.*, 2015a).

Materi dan Metode

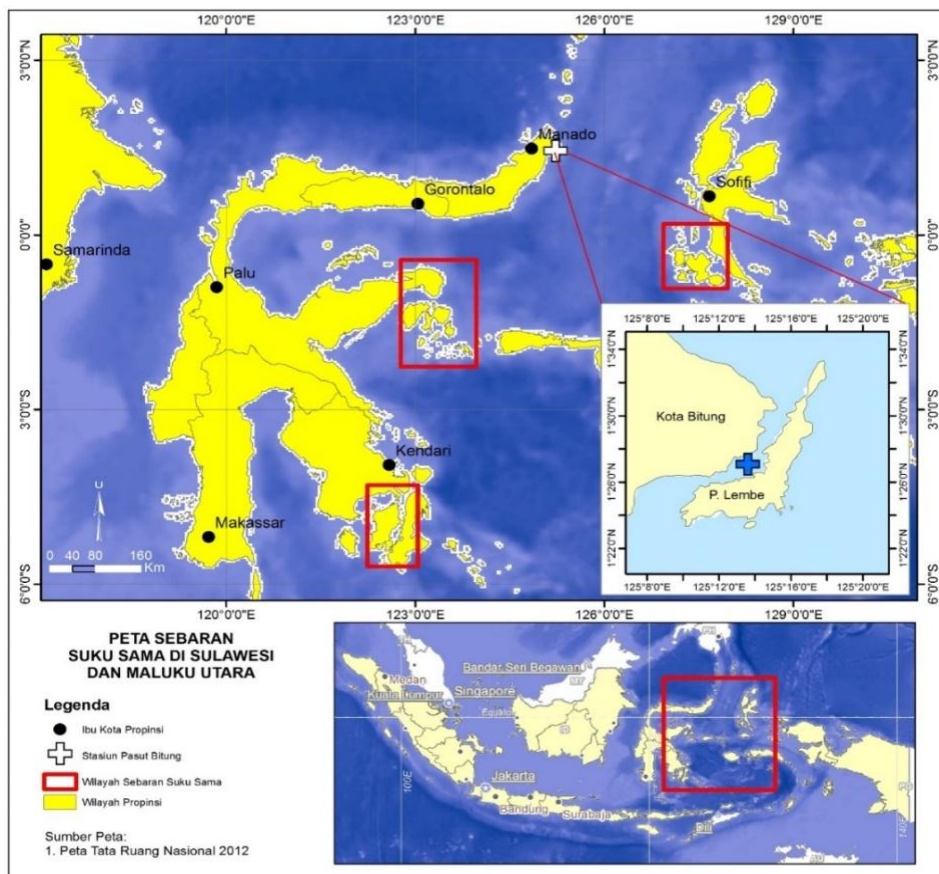
Data pasang surut (reanalysis) diperoleh dari *University Hawaii Sea Level Center* (UHSLC) pada web <http://uhslc.soest.hawaii.edu/data/download/rq>. Stasiun yang digunakan adalah Stasiun Bitung (Gambar 1) dengan nomor stasiun oleh *Joint Archive for Sea Level* (JASL#:033A); yang berada pada posisi 01° 26.4' LU dan 125° 11.6' BT. Stasiun data tersebut merupakan stasiun pasang surut terdekat dari sumber informasi MSS (Salnuddin et al., 2015) dalam kajian *ethno oceanography* suku sama, selain itu penentuan stasiun data didasarkan pula pada ketersediaan jumlah data pengukuran yang representatif (*time series*) dan kemudahan mendapatkannya.

Konversi penanggalan Masehi ke Hijriah menggunakan software *Accurate Times* 5.3.6 (Odeh, 2013), sedangkan perhitungan nilai konstituen harmonik pasang surut menggunakan aplikasi *t_tide* (Pawlowicz et al., 2002). Perhitungan konstituen harmonik menggunakan data pasang surut terukur yang sama dan telah dikelompokkan kedalam kelompok penanggalan Hijriah dan Masehi untuk data tiap bulan. Perhitungan untuk mendapatkan 10 amplitudo konstituen utama pasang surut yang

terdiri dari 4 komponen tunggal Q₁, O₁, P₁ dan K₁, 4 komponen ganda N₂, M₂, S₂, K₂ serta 2 komponen lokal M₄ dan MS₄. Pengelompokan data dan penyesuaian data kedua sistem penanggalan dilakukan pula dengan merujuk pada awal data (fase bulan) yang dianalisis berdasarkan penanggalan Masehi. Pengelompokan data berdasarkan fase bulan tersebut ke dalam empat kategori yakni: (1) Tanggal 28 sampai tanggal 4 bulan Hijriah sebagai periode fase bulan baru; (2) Tanggal 5 sampai tanggal 12 bulan Hijriah sebagai periode fase bulan kuartil I; (3) Tanggal 13 sampai tanggal 20 bulan Hijriah sebagai periode fase bulan purnama; dan (4) Tanggal 21 sampai tanggal 27 bulan Hijriah sebagai periode fase bulan kuartil II

Uji beda nyata dari amplitudo konstituen harmonik berdasarkan pengelompokan data dalam sistem penanggalan Hijriah dan Masehi dihitung dengan analisis ragam dua arah (*Two Way - ANOVA*) dengan menggunakan aplikasi XLSTAT. Perhitungan tunggang air dihitung dengan merujuk pada persamaan empiris dari ICSM PCTMS, (2011)

- High Highest Water Level (HHWL) = $MSL + (AM_2+AS_2+AK_2+AK_1+AO_1+AP_1)$
- Mean Highest Water Level (MHWL) = $MSL + (AM_2+AK_1+AO_1)$



Gambar 1. Lokasi penelitian Stasiun Bitung

Hasil dan Pembahasan

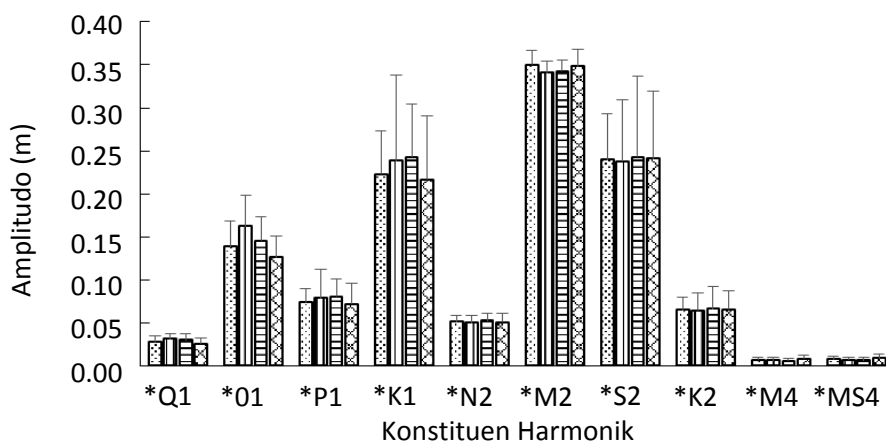
Perhitungan amplitudo konstituen harmonik pasang surut sebanyak 83 bulan data (Tabel 1), yang terdiri dari 29 bulan data perhitungan untuk kelompok penanggalan Masehi dimulai saat fase umur bulan baru, 13 bulan data dimulai saat fase kuartil I, 19 bulan data dimulai saat fase bulan purnama dan 22 bulan dimulai saat fase bulan kuartil II. Tabel 1. memperlihatkan bahwa data perhitungan konstituen harmonik berdasarkan penanggalan Masehi semuanya terwakili dan diawali dengan semua fase bulan, kecuali perhitungan pada

bulan Januari, Februari dan Maret. Dari 6 bulan data pada bulan Januari hanya data awal saat fase purnama (kotak warna biru) yang tidak terwakili pada bulan tersebut, sedangkan pada bulan Februari dan Maret tidak dijumpai data awal pasang surut saat fase bulan kuartil I (kotak warna kuning). Hal ini menggambarkan bahwa susunan data dalam perhitungan tidak representatif terhadap semua fase bulan dalam satu bulan Masehi atau nilai maksimum dan minimum data tiap fase bulan tidak terwakili. Selain itu, dijumpai tiga kelompok time series data dengan panjang data 15-17 bulan data. Kelompok time series I dijumpai pada periode

Tabel 1. Tabulasi penyesuaian waktu penanggalan Masehi dan Hijriah

Tahun	1 Jan	1 Feb	1 Mar	1 April	1 Mei	1 Juni	1 Juli	1 Agus	1 Sep	1 Okt	1 Nop	1 Des	Jum
	31 D	28/29 D	31 D	30 D	31 D	30 D	31 D	31 D	30 D	31 D	30 D	31 D	
1987	Jaw 07	Jak 07	Raj 07	Syah 07	Ram 07	Syaw 07	Dzulk 07	Dzulh 07	Muh 08	Saf 08	Raw 08	Rak 08	12
1988	Jaw 08	Jak 08	Raj 08	Syah 08	Ram 08	-	Dzulk 08	Dzulh 08	Muh 09	Saf 09	-	Rak 09	10
1989	Jaw 09	Jak 09	Raj 09	Syah 09	Ram 09	Syaw 09	Dzulk 09	Dzulh 09	Muh 10	-	Rak 10	-	10
1990	-	-	-	-	-	Dzulk 10	-	-	-	-	-	-	1
1992	-	Raj 12	-	-	Syaw 12	-	-	-	-	-	-	-	2
1994	-	-	-	-	Dzulk 14	-	Muh 15	Saf 15	Raw 15	Rak 15	Jaw 15	Jak 15	7
1995	Raj 15	-	Ram 15	Dzulk 15	Dzulh 15	-	-	Raw 15	-	-	-	-	5
1999	-	-	-	-	-	Saf 20	-	-	-	Jak 20	-	-	2
2000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Raj 21	Syah 21	-	2
2008	-	-	-	-	-	-	-	-	Syah 29	Ram 29	Dzulk 29	Dzulh 29	4
2009	Muh 30	Saf 30	Raw 30	Rak 30	Jaw 30	Jak 30	Raj 30	Syah 30	Ram 30	Syaw 30	Dzulk 30	Dzulh 30	12
2010	-	Saf 31	Raw 31	Rak 31	Jaw 31	Jak 31	Raj 31	Syah 31	Ram 31	Syaw 31	Dzulk 31	Dzulh 31	11
2011	Muh 32	Saf 32	Raw 32	Rak 32	-	-	-	-	-	-	-	-	4
2012	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Dzulh 33	-	1
Jum	6	7	7	7	8	6	6	7	7	8	8	6	83

Ket : Bulan Baru, Bulan Kuartil I, Bulan Purnama, bulan Kuartil II
 D = Day (Hari); Muh = Muharram; Saf = Safar; Raw = Rabiul awal; Rak = Rabiul akhir; Jaw = Jumadil awal; Jak = Jumadil akhir; Raj = Rajab; Syah = Sya'ban; Ram = Ramadhan; Syaw = Syawal; Dzulk = Dzulkaidah; Dzulh = Dzulhijjah; angka dibelakang bulan Hijriah= tahun Hijriah(14xx H).



Gambar 2. Amplitudo rata-rata 10 konstituen harmonik utama berdasarkan data awal pasang surut penanggalan Masehi terhadap fase bulan di Stasiun Bitung. Keterangan : □ = bulan baru, ▨ = kuartil I, ▩ = bulan purnama, ▤ = kuartil II

Perhitungan 10 konstituen harmonik utama pasang surut berdasarkan waktu awal data per fase bulan diperlihatkan pada Gambar 2. Amplitudo konstituen O_1 , K_1 dan P_1 , memperlihatkan Januari 1987 sampai Mei 1988, kelompok time series II pada periode bulan September 2008 sampai Desember 2009 dan kelompok time series III pada bulan Februari 2010 sampai April 2011.

Perbedaan nilai amplitudo rata-rata yang relatif lebih besar dibandingkan dengan amplitudo konstituen lainnya untuk masing-masing nilai perhitungan amplitudo dengan fase bulan yang berbeda. Perbedaan nilai amplitudo tersebut juga diikuti dengan perbedaan nilai deviasi yang berbeda. Data awal saat fase bulan kuartil untuk konstituen O_1 , P_1 dan K_1 memberikan nilai deviasi yang lebih besar dibandingkan pada fase bulan lainnya.

Amplitudo komponen ganda memberikan variasi amplitudo rata-rata dan deviasi yang relatif sama tiap fase bulan, kecuali untuk konstituen K_2 dan S_2 dimana pada fase bulan purnama mempunyai deviasi lebih besar dibandingkan fase bulan lainnya. Kondisi ini menggambarkan adanya pengaruh besar nilai amplitudo konstituen K_2 dan S_2 jika data pengukuran dimulai saat fase purnama. Adapun untuk konstituen Q_1 , M_4 dan MS_4 mempunyai nilai amplitudo dan deviasinya relatif sama untuk susunan data awal atau data pengukuran pada fase bulan berbeda. Hal ini menggambarkan bahwa variasi amplitudo untuk konstituen Q_1 , M_4 dan MS_4 terhadap waktu pengukuran berbeda berpengaruh sangat kecil.

Tingginya deviasi O_1 , P_1 dan K_1 sebagai komponen tunggal diakibatkan oleh posisi bulan terhadap bumi (kuartil I) membentuk sudut 90° menghasilkan gaya pembangkit pasang surut atau *tide generating force* (TGF) yang relatif konstan, sedangkan jarak matahari terhadap stasiun data (Stasiun Bitung) berdasarkan bulan Masehi memberi bervariasi jarak besar. Hal tersebut terdapat pada 2 bulan data (April dan September) dekat dengan bumi dan bulan lainnya berjarak jauh, sehingga TGF yang bervariasi besar dalam menaikkan tinggi paras laut (Bursa, 1987; Chao et al., 1996; Wilhelm, 1997 dan Butikov, 2002).

Variasi amplitudo K_2 dan S_2 dan juga amplitudo Q_1 , M_4 dan MS_4 mempunyai karakter berbeda, dimana konstituen Q_1 yang merupakan konstituen pengaruh jarak bulan terjauh sedangkan M_4 dan MS_4 merupakan konstituen lokal yang sangat tergantung pada konstituen lainnya. Dengan kondisi tersebut kontribusi Q_1 merupakan nilai minimum yang diberikan bulan karena berada pada jarak terjauh dari bumi (perigee) pada bidang edarnya (Kvale et al., 1995), sehingga nilai

amplitudo konstituen Q_1 , M_4 dan MS_4 relatif kecil. Adapun untuk konstituen K_2 dan S_2 merupakan konstituen dari pengaruh matahari (S_2) terhadap komponen ganda dan K_2 adalah deklinasi matahari dan bulan secara bersamaan untuk komponen ganda dari pergerakan pasang surut. Kedua konstituen tersebut (K_2 dan S_2) senantiasa terjadi setiap hari dengan sudut pegerseran deklinasi relatif sama (30°) per jam matahari, sehingga pada waktu tertentu saling memperkuat (coinsiden) dan menghasilkan amplitudo maksimum (Souhay et al., 2013).

Karakter amplitudo konstituen harmonik komponen ganda

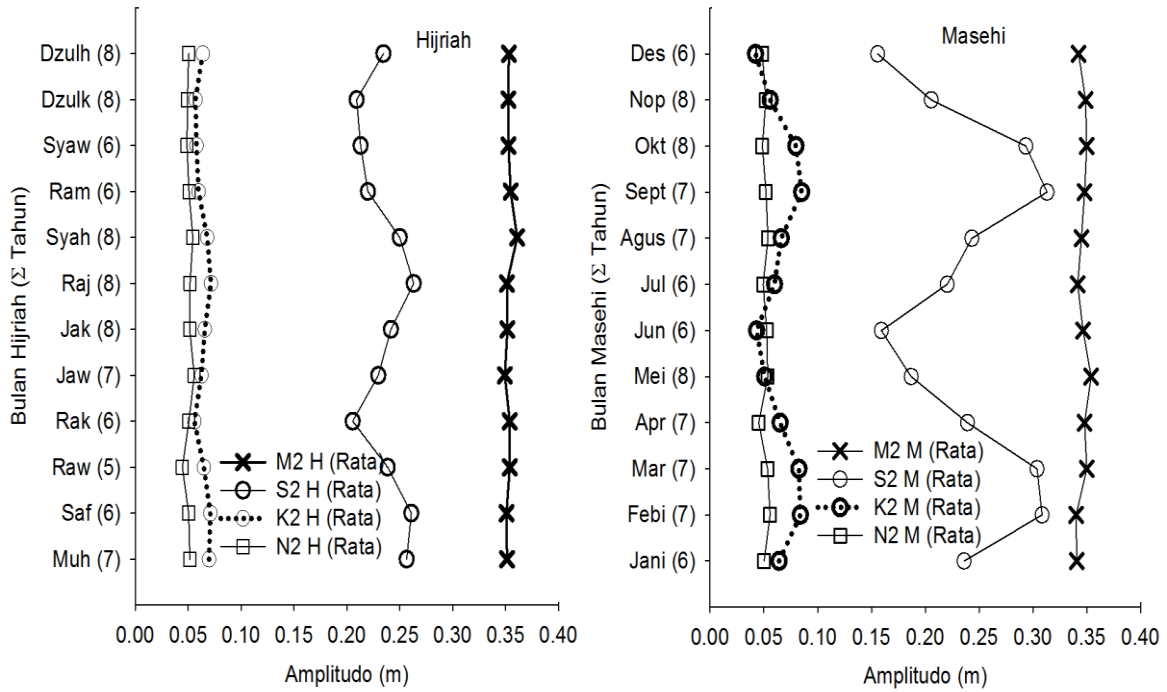
Nilai amplitudo rata-rata, Gambar 3, terbentuk dari banyaknya tahun data dari masing-masing bulan pada kedua sistem penanggalan. Hasil perhitungan amplitudo komponen ganda (M_2 , S_2 , K_2 dan N_2) dari kedua kelompok penanggalan menunjukkan fenomena fluktuasi relatif sama. Nilai amplitudo rata-rata tertinggi untuk komponen ganda berasal dari komponen M_2 dengan nilai amplitudo rata-rata pada penanggalan Hijriah dan Masehi relatif sama masing-masing sebesar 0.353 m dan 0.346 m. Hal yang sama juga diperlihatkan pada konstituen N_2 dengan nilai amplitudo yang relatif sama dari perhitungan berdasarkan penanggalan yang berbeda. Fenomena lain dijumpai pada nilai amplitudo rata-rata konstituen S_2 dari perhitungan penanggalan Masehi mempunyai sebaran range nilai amplitudo relatif lebih besar (0.15–0.33 m) dibandingkan dengan perhitungan berdasarkan penanggalan Hijriah (0.2–0.28 m). Hal yang sama juga diperlihatkan pada konstituen K_2 dari kedua nilai amplitudo dari pengelompokan data berdasarkan penanggalan yang berbeda.

Pola fluktuasi S_2 dan K_2 membentuk pola yang sama antara kedua penanggalan, dimana nilai maksimum pada penanggalan Masehi terjadi pada bulan Februari dan Maret serta pada bulan September dan oktober. Adapun nilai amplitudo minimumnya terjadi pada bulan Juni dan Desember, dimana pola fluktuasi tersebut membentuk pola tiga bulanan. Pola yang sama juga terjadi pada hasil perhitungan berdasarkan penanggalan Hijriah, dimana kedua konstituen (S_2 dan K_2) memperoleh nilai maksimum terjadi pada bulan pertama (Muharram) dan ketujuh (Rajab) dari penanggalan Hijriah, sedangkan nilai amplitudo minimumnya terjadi pada bulan keempat (Rabiul akhir) dan bulan kesepuluh (Syawal).

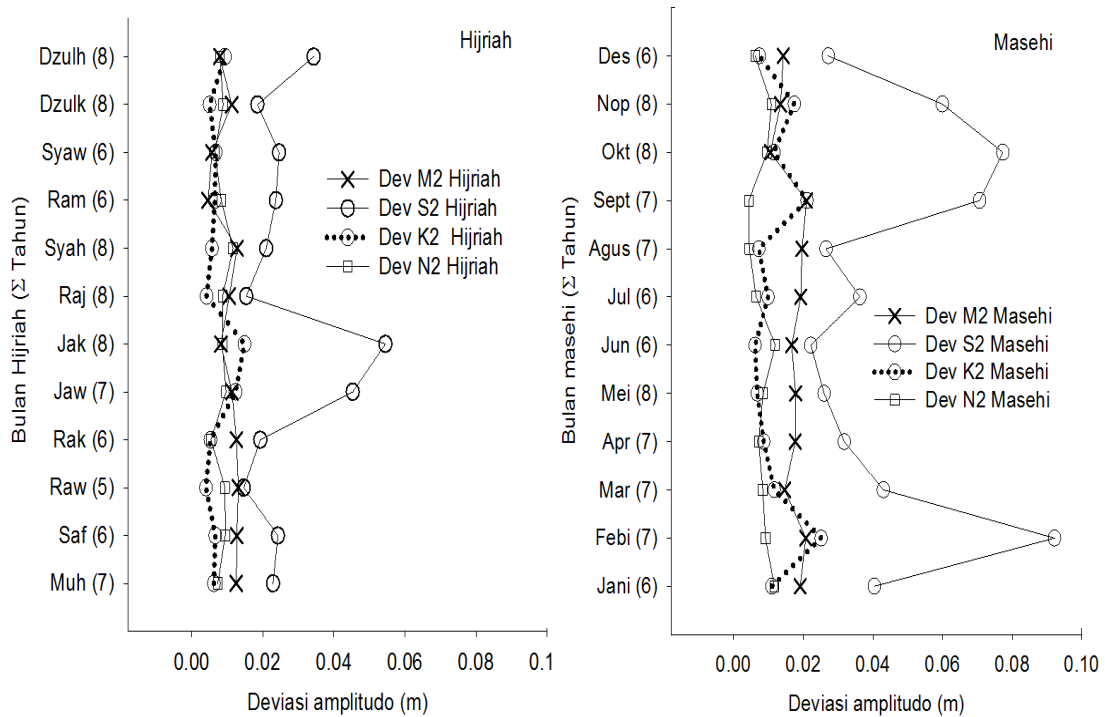
Variasi amplitudo untuk konstituen S_2 memperlihatkan puncak deviasi pada bulan Jumadil akhir dan Dzulhijjah yang membentuk pola enam bulanan (*semi annual*) pada penanggalan Hijriah,

sedangkan pada penanggalan Masehi terjadi pada bulan Februari dan Oktober yang juga berpola *semi annual*. Pola deviasi pada konstituen S_2 juga serupa dengan pola pada konstituen K_2 (*circle dot line*). Perbedaan pola deviasi diperlihatkan pada

konstituen M_2 (*cross line*) yang membentuk pola tiga bulanan dengan nilai deviasi relatif kecil di tiap bulan Hijriah, sedangkan untuk deviasi N_2 (*line box*) relatif berpola sama untuk masing-masing sistem penanggalan (Gambar 4).



Gambar 3. Amplitudo rata-rata konstituen harmonik utama komponen ganda M_2 , S_2 , K_2 dan N_2 di Stasiun Bitung.



Gambar 4. Deviasi amplitudo konstituen harmonik utama komponen ganda M_2 , S_2 , K_2 dan N_2 di Stasiun Bitung.

Pola fluktuasi amplitudo dan deviasinya (Gambar 4) memberikan makna bahwa pengaruh posisi bulan pada penanggalan Hijriah dan posisi matahari pada penanggalan Masehi berkontribusi pada nilai amplitudo tiap bulannya. Pola tiga bulanan konstituen S_2 pada penanggalan Hijriah searah dengan posisi bulan Hijriah, dimana pada tiap tiga bulan dari awal tahun Hijriah (Muharran) posisi bulan telah bergerak sejauh 90° . Pergerakannya tersebut makin mendekati dengan bumi dan menjauh setelah bergerak sejauh 270° (Ramadhan - Muharram). Untuk konstituen S_2 pada penanggalan Masehi memberikan fenomena unik, dimana pada bulan Februari dan September mempunyai nilai amplitudo maksimum namun pada bulan tersebut posisi matahari relatif masih jauh dari posisi stasiun data yang berada di utara garis equator. Kondisi tersebut diakibatkan pengaruh bulan pada konstituen S_2 (deklinasi bulan-matahari) lebih dominan dipengaruhi oleh posisi bulan (Souchay *et al.*, 2013).

Pola deviasi amplitudo S_2 dan K_2 dari kedua sistem penanggalan membentuk pola yang juga relatif sama dengan pola amplitudo rata-ratanya, dimana pola deviasi S_2 membentuk pola yang sama dengan deviasi konstituen K_2 darimasing-masing sistem penanggalan. Berdasarkan nilai deviasinya menunjukkan bahwa deviasi S_2 pada penanggalan Masehi jauh lebih besar (<10 cm) dibandingkan penanggalan Masehi (<6 cm). Nilai deviasi yang relatif sama pada kedua perhitungan untuk konstituen S_2 hanya terjadi pada 5 bulan Masehi dengan deviasi berkisar 2 cm. Deviasi maksimumnya terjadi pada bulan Februari, September, Oktober dan Nopember. Deviasi amplitudo konstituen K_2 juga membentuk pola yang relatif sama dengan pola deviasi konstituen S_2 , namun nilai deviasi yang lebih kecil (<2 cm). Nilai deviasi maksimum dijumpai pada bulan Februari dan September, untuk penanggalan Hijriah dan pada bulan Jumadil akhir. Deviasi konstituen N_2 secara keseluruhan antara kedua sistem penanggalan relative sama dengan nilai deviasi >1 cm.

Karakter amplitudo konstituen harmonik komponen tunggal

Hasil perhitungan rata-rata amplitudo konstituen Q_1 mempunyai nilai relatif sama antara kedua sistem penanggalan baik untuk penanggalan Masehi (0.028 m) dan penanggalan Hijriah (0.024 m). Amplitudo rata-rata O_1 pada penanggalan Masehi mempunyai nilai yang lebih besar (0.14 m) dibandingkan pada penanggalan Hijriah (0.12 m). Fluktuasi nilai amplitudo konstituen K_1 menunjukkan sebaran nilai yang lebih besar pada penanggalan Masehi dibandingkan penanggalan

Hijriah (Gambar 5). Variasi yang cukup besar tersebut menunjukkan bahwa pola fluktuasi semi annual sangat nampak pada penanggalan Masehi, dimana hal yang sama juga diperlihatkan pada konstituen P_1 . Secara keseluruhan amplitudo komponen tunggal pada penanggalan Hijriah dan Masehi mempunyai nilai amplitudo yang relatif terpisah masing-masing konstituen, dimana amplitudo konstituen terkecil hingga terbesar masing-masing berurutan Q_1 , P_1 , O_1 dan K_1 .

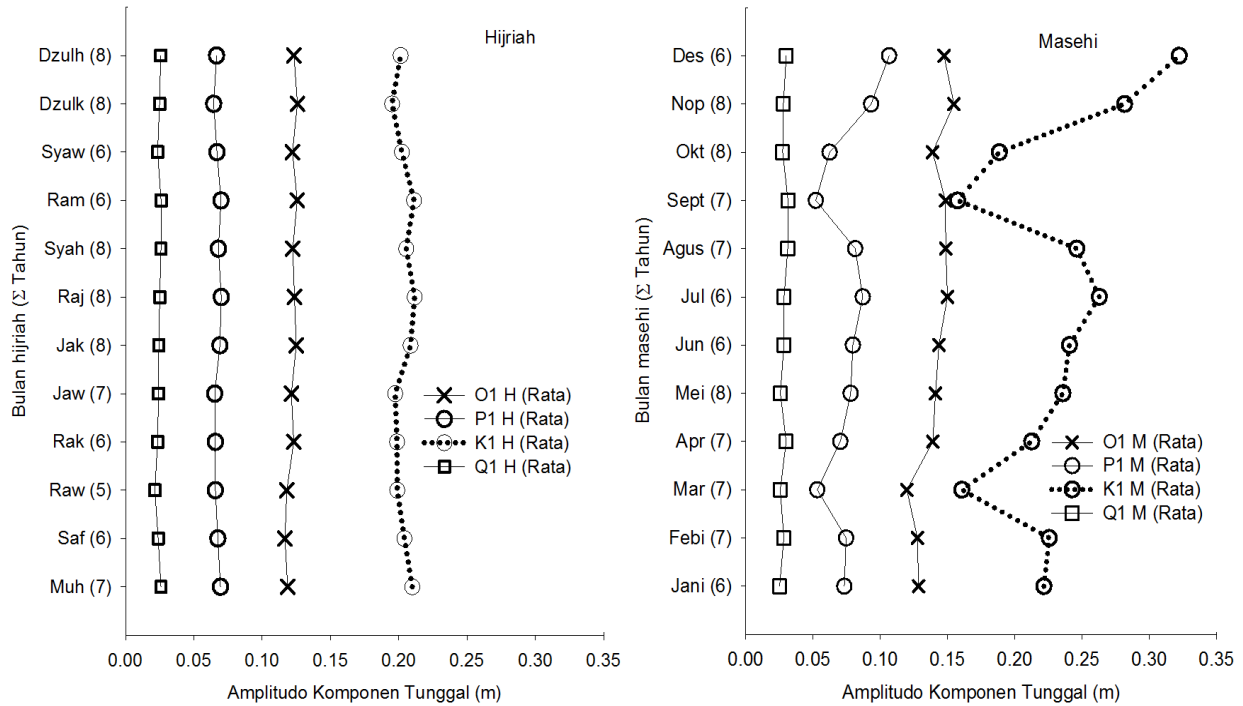
Konstituen harmonik komponen tunggal utama terdiri dari konstituen O_1 , P_1 , K_1 dan Q_1 . Konstituen tersebut memberi efek yang besar pada pembangkitan gelombang pasang surut bertipe tunggal. Hasil analisis memperlihatkan bahwa konstituen Q_1 untuk penanggalan Hijriah dan Masehi membentuk variasi nilai rata-rata amplitudo yang relatif sama sepanjang bulan masing-masing dengan pola deviasi yang berbeda. Perbedaan amplitudo komponen tunggal sangat besar diperlihatkan oleh konstituen O_1 , P_1 dan K_1 dari kedua sistem penanggalan (Gambar 5). Amplitudo rata-rata konstituen K_1 dan O_1 pada penanggalan Hijriah mempunyai nilai yang relatif sama sepanjang tahun dibandingkan dengan amplitudo konstituen yang sama pada sistem penanggalan Masehi. Pada penanggalan Masehi, variasi kedua amplitudo tersebut membentuk pola enam bulanan (*semi annual*) dimana nilai amplitudo terendah terjadi pada bulan Maret dan September. Fenomena konstituen K_1 dan O_1 tersebut menggambarkan kondisi yang sama yang terjadi pada konstituen komponen ganda (S_2) dimana pada bulan Maret dan September jarak matahari relatif masih jauh dari stasiun data yang terletak di sekitar ekuator.

Deviasi amplitudo konstituen K_1 , berfluktuasi dengan pola yang mirip dengan konstituen O_1 dan P_1 (Gambar 6), namun perbedaan pada salah satu nilai yang terdapat pada bulan Oktober. Dengan memperhatikan nilai deviasi konstituen K_1 yang membentuk pola yang relatif sama dengan pola amplitudonya menunjukkan bahwa konstituen K_1 berpola *tiga bulanan*. Kondisi tersebut juga diperlihatkan pada deviasi konstituen K_1 pada bulan Juni (deviasi maksimum) yang dapat diartikan bahwa memungkinkan nilai amplitudo K_1 pada bulan Juni lebih kecil dari nilai rata-ratanya (Gambar 5). Hal tersebut terjadi pada tiga bulan terakhir dari tahun Masehi.

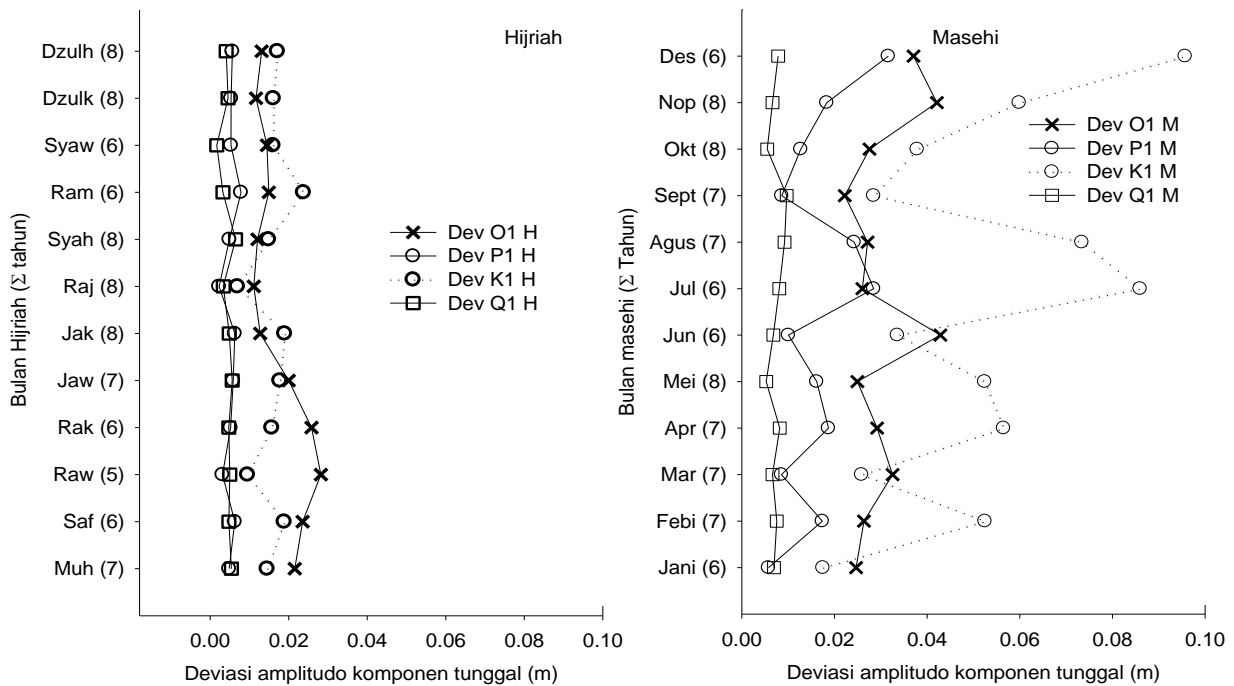
Fenomena yang terjadi pada komponen tunggal di atas, secara umum sama dengan fenomena hasil penelitian Zuke *et al.* (1997), dimana konstituen Q_1 , P_1 , O_1 dan K_1 untuk penanggalan Masehi merupakan konstituen relatif tidak stabil akibat faktor astronomi. Faktor astronomi dimaksud adalah potensi bangkitan

pasang surut (*generating potensial*) dari pengaruh bulan yang dinotasikan dengan V_3 untuk nilai phase lag L_2 (ekliptic bulan terkecil) sebesar 25% merujuk pada posisi matahari yang menyebabkan ketidakstabilan konstituen harmonik komponen

tunggal O_1 , P_1 , K_1 dan Q_1 . Hal yang berbeda dengan nilai pada penanggalan Hijriah (posisi bulan) dengan nilai V_3 yang relatif lebih kecil sehingga amplitudo konstituen harmoniknya relatif stabil (Zuke et al., 1997)



Gambar 5. Variasi bulanan amplitudo untuk konstituen harmonik utama komponen tunggal O_1 , P_1 , K_1 dan Q_1 di Stasiun Bitung.



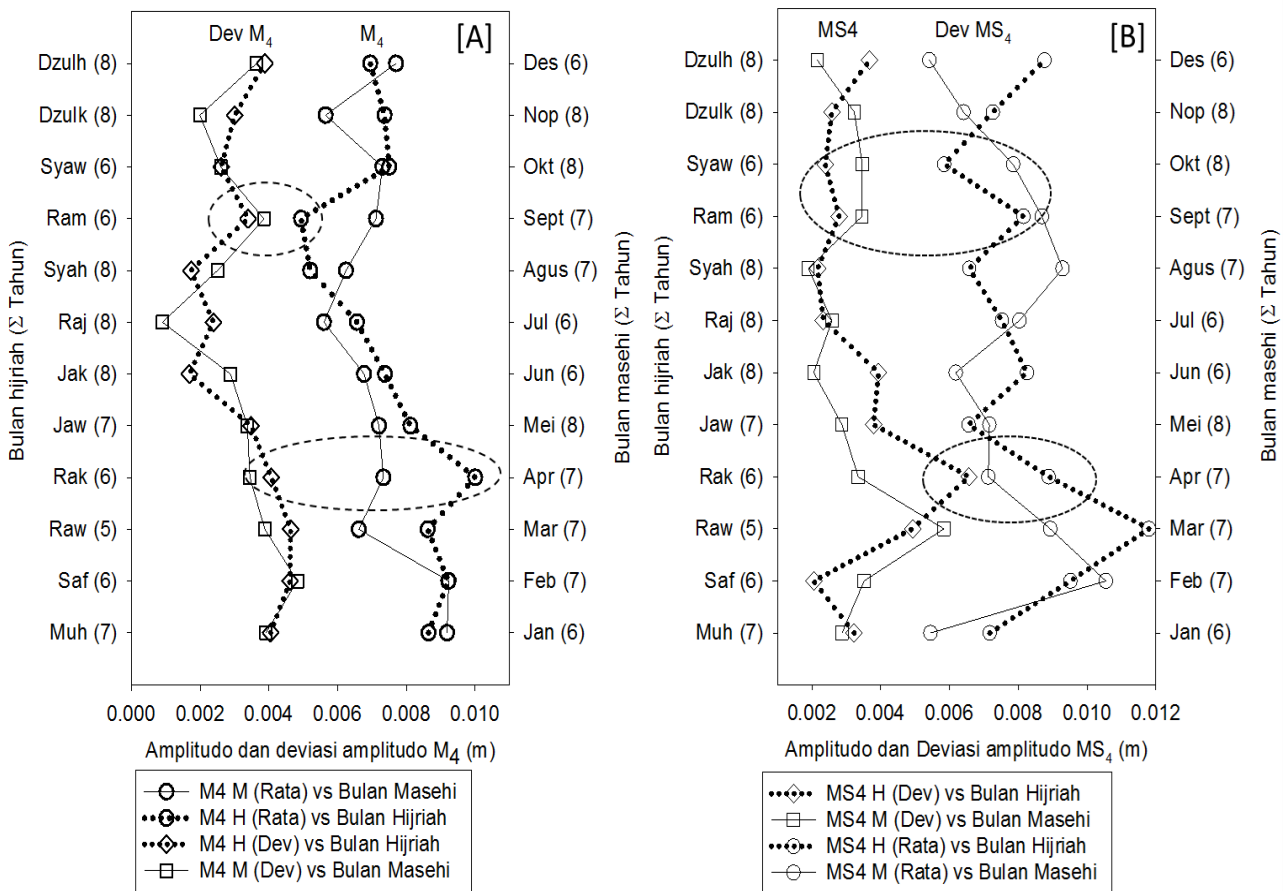
Gambar 6. Variasi nilai deviasi konstituen harmonik utama komponen tunggal O_1 , P_1 , K_1 dan Q_1 di Stasiun Bitung.

Karakter amplitudo dari konstituen harmonik komponen lokal

Hasil perhitungan amplitudo konstituen dari pengaruh lokal (M_4 dan MS_4) mempunyai nilai amplitudo yang relative kecil (<2 cm) dengan variasi nilai perbulan. Gambar 7. Secara umum konstituen M_4 pada penanggalan Masehi dan Hijriah membentuk pola yang sama antara nilai deviasi dan nilai amplitudonya. Makin besar amplitudo M_4 maka deviasinya juga bertambah, namun nilai deviasi tidak melebihi nilai rata-rata amplitudonya (Gambar 7A). Nilai rata-rata amplitudo tertinggi M_4 dijumpai pada bulan Januari dan Februari dan terendah pada bulan Juli. Pola variasi amplitudo M_4 juga memperlihatkan formasi empat bulanan dimulai pada bulan Maret - Juli - Nopember - Maret. Pola tersebut, tidak memperlihatkan secara langsung fungsi jarak matahari terhadap stasiun data dengan amplitudo M_4 , hal tersebut dapat dilihat pada amplitudo M_4 di bulan maret dan September, dimana pada bulan tersebut jarak matahari lebih dekat dibandingkan bulan lain. Pada posisi tersebut nilai amplitudo pada bulan Maret berada pada nilai minimum sedangkan pada bulan September lebih

tinggi dibandingkan bulan Maret. Pada bulan Maret konstituen M_4 mempunyai nilai amplitudo sama dengan amplitudo bulan Juni, dimana jarak matahari jauh dari stasiun data.

Amplitudo M_4 berdasarkan penanggalan Hijriah menunjukkan nilai maksimum pada bulan Rabiul akhir dan Syawal. Pola fluktuasi amplitudo M_4 pada bulan Hijriah cenderung membentuk pola empat bulanan sama dengan pola M_4 pada penanggalan Masehi. Pola tersebut dimulai pada bulan Muharram - Rabiul akhir - Sya'ban - Dzulkaidah. Hal tersebut didasarkan pada amplitudo dan deviasi M_4 pada bulan Ramadhan yang bernilai kecil namun deviasinya besar, ini menggambarkan bahwa amplitudo M_4 pada bulan Ramadhan (Gambar 7A) tidak representatif sebagai amplitudo rata-rata. Dengan demikian secara umum nilai amplitudo M_4 pada penanggalan hijriah menghasilkan nilai amplitudo yang kecil terhadap jarak bulan yang dekat dengan bumi. Ini juga menggambarkan bahwa kecilnya pengaruh faktor lokal (M_4) akibat pengaruh bulan dalam menaikkan muka air yang memperkecil pengaruh faktor lokal tersebut.



Gambar 7. Variasi bulanan amplitudo dan deviasinya untuk konstituen harmonik utama komponen lokal M_4 dan MS_4 di Stasiun Bitung.

Kontribusi konstituen MS₄ juga memberikan profil yang menyerupai profil M₄, dimana amplitudo MS₄ maksimum pada penanggalan Masehi (*line*) pada gambar (7B) terjadi pada bulan Februari dengan amplitudo maksimum dan deviasi minimum yang sama kejadiannya dengan bulan Agustus. Pola amplitudo M₄ pada penanggalan Hijriah menghasilkan nilai amplitudo yang kecil terhadap jarak bulan yang dekat dengan bumi. Ini juga menggambarkan bahwa kecilnya pengaruh faktor lokal (M₄) akibat pengaruh bulan dalam menaikkan muka air yang memperkecil pengaruh faktor local tersebut, juga menunjukkan tidak terlihatnya secara langsung fungsi jarak matahari terhadap stasiun data dengan amplitudo MS₄. Pada amplitudonya dibulan Agustus, dengan nilai amplitudo maksimum namun jarak matahari relatif jauh dibandingkan dengan jarak matahari dengan stasiun September.

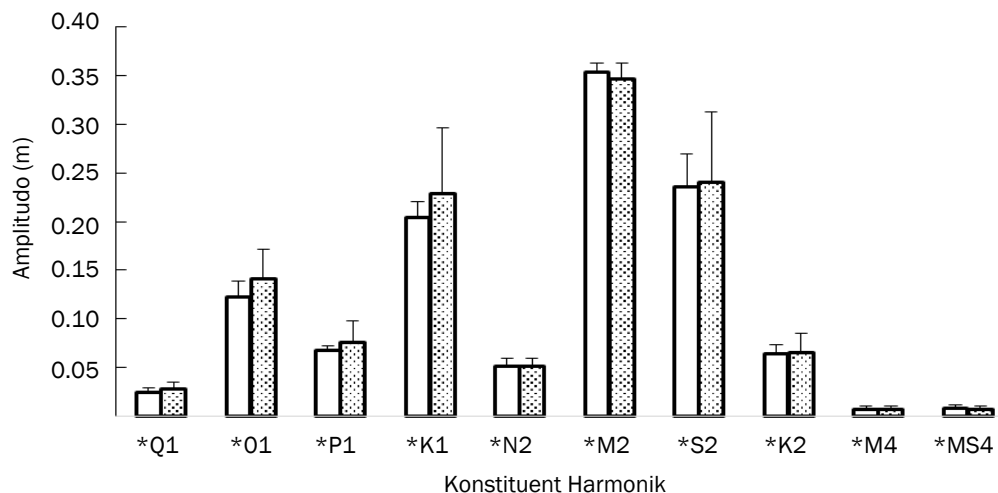
Variasi amplitudo MS₄ pada penanggalan Masehi juga menyerupai pada penanggalan Hijriah. Variasi amplitudo MS₄ membentuk pola yang relatif sama dengan nilai deviasinya (*dot line*) pada gambar (7B). Range terbesar antara amplitudo dan deviasinya terjadi pada Rabiul awal dan Ramadhan sedangkan range terdekat terjadi pada bulan rabiul akhir. Kondisi tersebut menggambarkan tidak salamanya amplitudo besar diikuti dengan deviasi yang besar pula, meskipun demikian ada kecenderungan makin tinggi amplitudo pada posisi bulan dekat dengan bumi (Rabiul akhir – Syawal) mempunyai deviasi yang kecil. Ini berarti nilai amplitudo MS₄ lebih dipengaruhi pergerakan bulan. Hal yang berbeda dengan argumen tersebut terjadi pada bulan Rabiul akhir dengan deviasi yang lebih besar. Terkait dengan variasi kedua konstituen lokal tersebut (MS₄ dan M₄) dengan pola sebaran amplitudo dan deviasinya relatif sama untuk masing-masing penanggalan merupakan dampak

dari fase dan amplitudo keduanya (Zuke et al., 1997 dan Marcus., 1998).

Rata-rata nilai amplitudo konstituen harmonik pasang surut

Hasil perhitungan konstituen harmonik pasang surut untuk 83 bulan data berdasarkan pengelompokan data dalam sistem penanggalan Hijriah dan Masehi diperlihatkan pada Gambar (8). Empat konstituen harmonik memberi kontribusi nilai amplitudo rata-rata yang terbesar (utama) secara berurutan yakni M₂, S₂, K₁ dan O₁. Nilai amplitudo konstituen Q₁, O₁, P₁, K₁ dan S₂ dari perhitungan penanggalan Masehi mempunyai nilai amplitudo lebih besar sedangkan konstituen M₂ dan N₂ amplitudo berasal dari perhitungan penanggalan Hijriah. Untuk konstituen lokal (M₄ dan MS₄) tidak memperlihatkan adanya perbedaan nilai amplitudo sangat besar dari kedua sistem penanggalan tersebut.

Dari nilai amplitudo rata-rata (Gambar 8.) untuk amplitudo konstituen dari perhitungan penanggalan Masehi mempunyai nilai deviasi lebih besar dibandingkan perhitungan dari penanggalan Hijriah. Nilai deviasi yang relatif sama untuk perhitungan penanggalan Masehi dan Hijriah diperoleh pada konstituen M₄, MS₄ dan N₂. Nilai deviasi konstituen O₁, K₁ dan S₂ pada penanggalan Masehi lebih besar dibandingkan deviasi untuk konstituen dari perhitungan dari penanggalan Hijriah. Perbedaan nilai deviasi antara kedua sistem penanggalan Masehi dan Hijriah terbesar dihasilkan pada konstituen K₁ (0,052 m) disusul oleh konstituen S₂ (0,039 m), P₁ (0,017 m), O₁ (0,014 m), K₂ (0,011 m) dan konstituen lainnya bernilai < 0.01 m.



Gambar 8. Nilai rata-rata amplitudo berserta deviasinya untuk 10 konstituen harmonik pasang surut utama di Stasiun Bitung
 Keterangan : □ = Rata Amp (Hijriah), ▨ = Rata Amp (Masehi)

ANOVA Amplitudo Konstituen Harmonik

Hasil analisis varian untuk 10 konstituen harmonik berdasarkan fase bulan dari awal data pengukuran dari penanggalan Masehi. Hasil analisis diperoleh nilai koefisien korelasi (R^2) relatif tinggi (0.88–0.96) dengan nilai F_{hit} lebih besar dari Pr atau pengaruh awal data terhadap fase bulan signifikan dalam menghasilkan nilai konstituen harmonik pada penanggalan Masehi. Dari hasil analisis secara umum menunjukkan ada pengaruh awal data terhadap fase dari amplitudo konstituen yang dihasilkan (tolak hipotesa H_0 dan terima H_1). Nilai F_{hit} terendah diperlihatkan pada fase kuartil 1 dan 2 (KW1 dan KW2) sebesar 98,03 dan 143.39 dan fase nilai tertinggi saat fase bulan baru (BB) dan purnama (BP).

Konstituen yang terpengaruh dari hasil analisis ANOVA (Tabel 3) diperlihatkan pada nilai *Least Mean Square* (LS) yang saling bergantian posisi (*crossing*) atau tumpang tindih (*overlapping*) dari nilai amplitudo rata-ratanya. Gambar (8) memperlihatkan bahwa urutan amplitudo konstituen tertinggi adalah $M_2, S_2, K_1, O_1, P_1, K_2, N_2, Q_1, M_4$ dan MS_4 , sedangkan pada hasil ANOVA (Tabel 3) posisi konstituen tersebut berubah. Perubahan urutan tersebut (**bold**) terjadi pada konstituen K_1 terhadap S_2 , P_1 terhadap K_2 dan M_4 terhadap MS_4 . Konstituen lainnya (M_2, O_1, N_2 dan Q_1) menunjukkan nilai LS yang tetap (tidak ada pengaruh) antara data awal bulan Masehi terhadap fase bulan. Dari perhitungan nilai LS tersebut menunjukkan 6 konstituen yang terpengaruh dari susunan data awal pada penanggalan Masehi yang berbeda.

Nilai LS pada konstituen M_4 dan MS_4 namun pada data pasang surut yang diawali saat fase kuartil 2 (KW2) nilai $MS_4 > M_4$. Hal yang sama juga diperlihatkan pada nilai konstituen P_1 dan K_2 , dengan nilai LS konstituen $P_1 > K_2$ untuk tiga fase bulan selain pada fase bulan KW2 yang cenderung LS konstituen P_1 makin kecil. Nilai LS dengan data awal pada fase kuartil 1 (KW1) dan fase purnama (BP) untuk konstituen K_1 dan S_2 sangat berpengaruh terhadap variasi nilai amplitudonya masing-masing yang dihasilkan, dimana amplitudo S_2 yang seharusnya lebih besar dari amplitudo konstituen K_1 menghasilkan amplitudo yang lebih kecil (S_2).

Tabel 2. Nilai ANOVA 10 konstituen harmonik terhadap fase bulan dari data awal penanggalan Masehi.

Nilai	BB	KW1	BP	KW2
R^2	0,96	0,88	0,93	0,91
F_{hit}	291,41	98,03	167,13	143,39
$Pr > F_{hit}$	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001

Keterangan : BB = fase bulan baru; KW 1 = Fase bulan kuartil I; BP = Fase bulan purnama; KW2 = Fase bulan kuartil 2.

Variasi tunggang air

Dari variasi amplitudo konstituen harmonik, menyebabkan nilai tunggang air yang dihasilkan juga mengalami variasi tinggi air (Gambar 9). Tunggang air rata-rata (MHWL) dari amplitudo konstituen harmonik dari pengelompokan data berdasarkan penanggalan Hijriah lebih rendah (2,16 m) dibandingkan dengan penanggalan Masehi (2,20 m). Hal yang sama juga dihasilkan oleh nilai rata-rata tunggang air tertinggi (HHWL) dari penanggalan Hijriah lebih rendah (2,53 m) dibandingkan nilai tunggang air berdasarkan penanggalan Masehi (2,58 m). Deviasi nilai tunggang air dari 83 data nilai tunggang air menunjukkan bahwa deviasi penanggalan Masehi jauh lebih kecil untuk nilai MHWL dan HHWL masing-masing 0,028 m dan 0,059 m dibandingkan dengan penanggalan Masehi (0,077 m dan 0,087 m). Kisaran tunggang air dari kedua sistem penanggalan mempunyai range yang juga lebih kecil pada penanggalan Hijriah (MHWL= 0,13 m dan HHWL=0,26 m) dibanding penanggalan Masehi (MHWL= 0,42 m dan HHWL= 0,40 m).

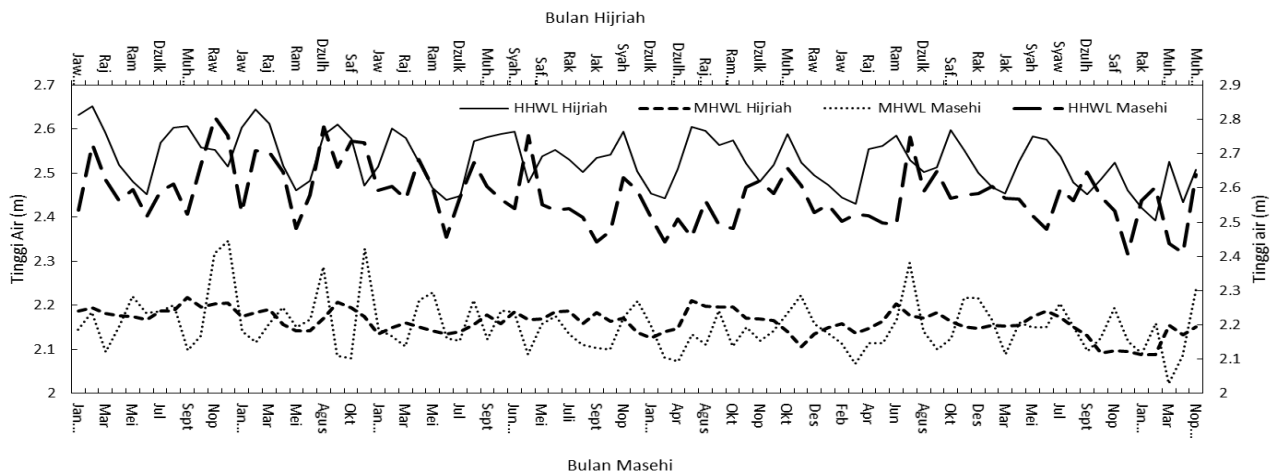
Dari 10 konstituen yang dianalisis menunjukkan bahwa konstituen O_1, K_1, P_1 dan S_2 pada penanggalan Masehi menghasilkan nilai deviasi yang lebih besar dibandingkan dengan konstituen lainnya. Kondisi tersebut diperlihatkan pada sebaran grafik juga oleh hasil ANOVA (Tabel 3).

Tabel 3. Nilai *Least Mean Square* variasi amplitudo konstituen harmonik terhadap awal data terhadap fase bulan pada penanggalan Masehi.

Var	BB	KW1	BP	KW2
*M2	0,350	0,341	0,344	0,342
*K1	0,221	0,239	0,244	0,216
*S2	0,225	0,238	0,234	0,256
*O1	0,140	0,162	0,145	0,128
*P1	0,073	0,079	0,081	0,071
*K2	0,061	0,065	0,064	0,070
*N2	0,051	0,050	0,052	0,052
*Q1	0,027	0,031	0,029	0,027
MS4	0,008	0,007	0,006	0,010
*M4	0,008	0,007	0,006	0,009

Keterangan : * nilai signifikan, BB = fase bulan baru; KW 1 = Fase bulan kuartil I; BP = Fase bulan purnama; KW2 = Fase bulan kuartil 2.

Hal tersebut disebabkan pengaruh posisi matahari dalam penanggalan Masehi relatif lebih kecil pengaruhnya dibandingkan pada penanggalan Masehi yang digambarkan dengan posisi bulan (fase bulan) terhadap perubahan amplitudo konstituen masing-masing, hal tersebut diperlihatkan bahwa makin jauh jarak benda angkasa (bulan dan matahari) terhadap bumi maka gaya pembangkit



Gambar 9. Variasi tunggang air berdasarkan penanggalan Masehi dan Hijriah di Stasiun Bitung.

pasang surutnyaupun kecil (Souchay et al., 2013, Wilhelm, 1997; Zahel, 1997; Wunsch, 1997. Hal tersebut diperlihatkan pada konstituen dari pengaruh matahari (S_2), dimana hasil pengecekan balik data pada bulan Februari dan September (7 tahun data) terhadap bulan Hijriah menunjukkan bahwa amplitudo konstituen S_2 pada bulan Februari bertepatan dengan 3 bulan posisi bulan jauh dengan bumi yang terdiri dari 2 bulan Safar dan 1 bulan Dzulkaidah, 2 bulan bertepatan Jumadil akhir dan Rajab (relatif dekat jarak bulan dengan bumi). Adapun untuk nilai amplitudo pada bulan September bertepatan dengan bulan Muharram (3 kali), Rabiul awal (1 kali), Sya'ban (1 kali) dan bulan Ramadhan (1 kali).

Kondisi tersebut berarti juga diperlihatkan pada nilai deviasi (S_2) pada kedua bulan tersebut berpotensi besar hanya 3 periode pasang surut yang termuat pada bulan Februari (28–29 hari) dari empat periode fase umur bulan. Dengan demikian kecepatan angular pergerakan rotasi bumi yang digambarkan dengan penanggalan Masehi akan bervariasi dengan pergerakan bulan. Besarnya variasi ini menyebabkan deviasi tinggi air yang besar pula (Bursa, 1986; 1987, Baart, et al 2012, Chao et al., 1996). Kondisi yang terjadi pada konstituen S_2 pada penanggalan Hijriah juga berdasarkan pada konstituen turunannya (O_1, K_1, P_1).

Hasil analisis ANOVA secara umum nilai tunggang air yang dihasilkan dari kedua sistem penanggalan menunjukkan besarnya pengaruh data awal pengukuran pasang surut dalam kelompok penanggalan Masehi. Pengaruh tersebut menyebabkan amplitudo konstituen harmonik berdeviasi cukup besar. Oleh karena itu dalam analisis data pasang surut lebih optimum menggunakan pengelompokan data berdasarkan

penanggalan Hijriah. Kondisi yang dihasilkan. Dengan relatif stabilnya (deviasi kecil) dari amplitudo konstituen harmonik maupun nilai tunggang air yang dihasilkan oleh pengelompokan data berdasarkan penanggalan Hijriah. Sehingga adanya kesesuaian *ethno oceanography* Suku Sama dalam penentuan tunggang pasang surut dengan mengaplikasikan pengukuran berdasarkan penanggalan Hijriah.

Kesimpulan

Perhitungan konstituen harmonik pasang surut lebih baik jika data pengukuran pasang surut disusun berdasarkan penanggalan Hijriah yang diawali pada fase baru. Pengelompokan data berdasarkan penanggalan Hijriah menghasilkan nilai deviasi amplitudo konstituen harmonik yang relatif stabil secara berurutan dan membentuk pola yang sama dengan deviasi amplitudo yang relatif kecil sepanjang tahun. Adanya kesesuaian perhitungan tunggang air berdasarkan *ethno oceanography* Suku Sama dan sesuai dengan pola harmonik pasang surut berdasarkan penanggalan Hijriah.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih kepada UHSLCatas data pasang surut. Tulisan ini merupakan sebagian dari desertasi penulis utama pada Pendidikan Pascasarjana di IPB – Bogor yang dibiayai oleh BPP-DN Dikti tahun 2012.

Daftar Pustaka

Arabelos, D.N., D.Z. Papazachariou & M.E. Contada 2010. A new assimilation tidal model for the

- Mediterranean Sea. *Ocean Sci. Discuss.* 7(5): 1703–1737. doi:10.5194/osd-7-1703-2010
- Baart, F., P.H. Gelder, J.d. Ronde, M.v. Koningsveld, & B. Wouters 2012. The Effect of the 18.6-Year Lunar Nodal Cycle on Regional Sea-Level Rise Estimates. *J. Coast. Res.* 28(2):511–516. doi: <http://dx.doi.org/10.2112/JCOASTRES-D-11-00169.1>
- Bursa, M. 1987. The tidal evolutions of the earth-moon system. *Bull. Astron Inst. physics Czechosl* 38 (6), 321–324
- Bursa, M. 1986. Variations in the moons mean motions due to the earths tides. *Bull. Astron. Inst. of the Czechosl*, 37 (2), 80–84
- Butikov, E. I. 2002. A dynamical picture of the oceanic tides. *Am. J. Phys.* 70 (9)
- Capuano, P., E.DeLaur, Martino, S., & Falanga, M. 2012. Observations of the 18.6-year cycle effects on the sea-level oscillations in the North Atlantic Ocean. *A Letter J. Expl. Fronther Physic*, 100 (39003):1–6
- Chao, B. F., Ray, R. D., Gipson, J. M., Egbert, G. D., & Ma, C. 1996. Diurnal/semidiurnal polar motion excited by oceanic tidal angular momentum. *J.f Geophys. Res.* 101 (B9), 20,151-20,163
- Doodson, A.T. 1921. The Harmonic Development of the Tide Generating Potential. *Proceedings of the Royal Society of London. Series Containing Papers of a Mathematical and Physical Characters.* 100(704):305-329
- Dickman, S. R. 1993. Dynamic ocean-tide effects on Earth's rotation. *Geophys. J. Int.*, 112, 448-470
- Foreman, M. 1977. *Manual for tidal height analysis and prediction.* Institute of Ocean Sciences, Department of Fisheries and Oceans. Sidney, B.C. V8L 4B2. Canada: Pacific Marine science report 77- 10
- Godin, G. 1972. *The Analysis of Tides.* University of Toronto Press
- Haigh, I. D., Eliot, M., & Pattiaratchi, C. 2011. Global influences of the 18.61 year nodal cycle and 8.85 year cycle of lunar perigee on high tidal levels. *J. Geophys. Res.* 116 (C06025):1–16
- ICSM PCTMS. 2011. *Australian Tides Manual SP9 V4.2.* Intergovernmental Committee of Surveying and Mapping - Permanent Committee On Tides And Mean Sea Level. Commonwealth of Australia 2011:15-17p
- IHO. 2005. *Manual on hydrography. 1st Editions.* Monaco: International Hydrographic Bureau
- Jay, D. A. 2009. Evolution of tidal amplitudes in the eastern Pacific Ocean. *Geophysical Research Letters*, Vol.36, L04603, doi: 10.1029/2008GL036185, 1- 5
- Kvale, P. E., Cutright, J., Bilodeau, D., Archer, A., Pickett, B., & Johnson, H. R. (1995). Ancalysis of modern tides and implications for ancient tidalites. *Continental Shelf Research*, 15(15), 1921-1943
- Lambeck, K. 1975. Effects of Tidal Dissipation in the Oceans on the Moon's Orbit and the Earth's Rotation. *J. Geophys. Res. Vol. 80. No. 20:2917-2925*
- LI Peiliang, L. L. 2004. Tidal Analysis of High and Low Water Data. *J. Oce. Univ. China (Oceanic and Coastal Sea Research)* 3(1):10-16
- Marcus, S. L., Chao, Y., Dickey, J. O., & Gegout, P. 1998. Detection and modeling of nontidal oceanic effects on earth's rotation rate. *Science* 282 (1656)
- Mawdsley, R. J., Haigh, I. D., & Wells, N. C. (2015). Global secular changes in different tidal high water, low water and range levels. *Earth's Future.* 3:66–81
- Nasser Najibi, A. A. 2013. Harmonic Decomposition Tidal Analysis and Prediction Based on Astronomical Arguments and Nodal Corrections in Persian Gulf, Iran. *Research Journal of Environmental and Earth Sciences* 5(7). ISSN: 2041-0484; e-ISSN: 2041-0492. © Maxwell Scientific Organization, 381-392
- NOAA. 2001. *Tidal Datums and their applications* (Vols. NOS CO-OPS 1). (S. K. Schultz, Ed.) Silver Spring, Maryland: NOAA Special Publication
- NOAA. 2003. *Computational Techniques for Tidal Datums Handbook* (Vols. NOS CO-OPS 2). Silver Spring, Maryland: NOAA Special Publication
- Odeh, M. 2013. *Islamic Crescents' Observation Project (ICOP).* (M. Odeh, Producer, & Islamic Crescents' Observation Project (ICOP).) Retrieved from Accurate Times 5.3.6 software.: <http://www.icoproject.org/accut.html>
- Pawlowicz, R., Beardsley, B., & Lentz, S. 2002. Classical tidal harmonic analysis including error estimates in MATLAB using T_TIDE. *Computers & Geosciences*, 28, 929–937

- Pugh, D. 1996. *Tides, Surges and Mean Sea-Level*. New York: John Wiley & Sons Ltd
- Pugh, D., & Woodworth, P. 2014. *Sea-Level Science. Understanding Tides, Surges, Tsunamis and Mean Sea Level* (2nd ed.). Published in the United States of America: Cambridge University Press
- Ray, R. D., Eanes, R. J., Egbert, G. D., & Pavlis, N. K. 2001. Error spectrum for the global M2 ocean tide. *Geophysical research letters* , 28 (1), 21 – 24
- Salnuddin, Nurjaya, I. W., Jaya, I., & Natih, N. M. 2015a. Analisis kesesuaian perhitungan tunggang air pasang surut berdasarkan kearifan lokal masyarakat Suku Sama di wilayah timur Indonesia. *J. Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*. 7(1):347-363
- Salnuddin, Nurjaya, I. W., Jaya, I., & Natih, N. M. 2015b. Perbandingan nilai Likkas Silapas dari metode MSS pada fase bulan baru dan purnama sebagai kajian tentang Ethno oceanography suku sama di Indonesia timur. *Oseanologi dan Limnologi di Indonesia*. inpress .
- Schureman, P. 1958. *Manual of harmonic analysis and prediction of tides*. U.S. Department of Commerce Coast and Geodetic Survey Special Publ. 98. U.S. Government Printing Office, 317 pp
- Souchay, J., Mathis, S., & Tokieda, T. 2013. *Tides in Astronomy and Astrophysics. Editors. Lecture Note in Earth science Volume 861. Editor*. New York Dordrecht London: Springer Heidelberg
- UHSLC. (n.d.). Retrieved April 24, 2014, from UHSLC:[http://uhslc.soest.hawaii.edu /data/download/rq](http://uhslc.soest.hawaii.edu/download/rq)
- Wilhelm, H. 1997. Long period variations of solar irradiance. In H. Wilhelm, W. Zurn , & H. G. Wensel (Eds.), *Tidal Phenomena* (Vol. Lecture Note in Earth science Earth science, pp. 247 - 260). Germany: Springer-Verlag Heidelberg
- Wunsch, J. 1997. Ocean Tide and Earth Rotations. In H. Wilhelm, W. Zurn, & H. G. Wensel (Eds.), *Tidal Phenomena. Lecture Note in Earth science* (Vol. 66, pp. 173 - 181). Germany.: Springer-Verlag Heidelberg
- Yasuda, I. 2009. The 18.6-year period moon-tidal cycle in Pacific decadal oscillation reconstructed from tree-rings in western North America. *Geophysical Research Letter* , 36 (L05605), 1 – 4
- Zahel, W. 1997. Ocean Tide. *Tidal Phenomena. Lecture Note in Earth Science*. 66:113-143.
- Zuke, H., C., Zongyong & S.I. Hongye. 1997. Analysis of 19-year tidal data. *Science in China* 40(4):352-360.