



Posisi komponen gaya pembangkit pasang surut (GPP) terhadap variasi konstituen harmonik pasang surut bulan Muharram di Stasiun Sabang

The tidal generation force (TGF) component position to Muharram tidal harmonic konstituen variations at Sabang Station

Salnuddin Salnuddin^{1*}, Nurhalis Wahidin², Jefry Bemba¹

¹Program Studi Ilmu Kelautan, FPIK - Universitas Khairun, Ternate, Kampus II Jl. Raya Gambesi Kec. Kota Ternate Selatan, Kota Ternate, Maluku, 97719; ²Program Studi Manajemen sumberdaya Perairan, FPIK - Universitas Khairun, Ternate, Kampus II Jl. Raya Gambesi Kec. Kota Ternate Selatan, Kota Ternate, Maluku, 97719; *Email korespondensi: sal_unkhair@yahoo.co.id

Abstract. *The movement of celestial bodies produces a variation of the gravitational gradient as a tidal generation force (TGF). Position Sabang Station, declines maximum and position lunar month of Muharram generate harmonic constituent character identifier of TGF, where the water level is the sum of the amplitude of harmonic constituent that generated at a certain time. The research aims to determine the variations of harmonic constituent and identify the character of harmonic constituents of TGF component position characterization in Muharram month was conducted by comprehensive harmonic constituent values of tidal (amplitude and phase) with ephimeries values. The results show that the characteristic of tidal movements at the beginning of Muharram in Sabang Station was occurred 1-2 hours after ijtimak. Value of tidal range comes from the value of Mean Sea Level (> 52%), the contributor of Harmonic constituents component M₂ (28 - 33%). M₂ has not represented the position of the moon in Muharram, while the position of the sun represented the constituent phase harmonic of S₂.*

Keywords: Sabang, Muharram, Hijriah, ijtimak, mean sea level

Abstrak. Pergerakan benda langit menghasilkan variasi gradient gravitasional sebagai gaya pembangkit pasang surut (GPP). Posisi Stasiun Sabang, *declinasi* peredaran Bulan maksimum dan posisi Bulan Muharram akan menghasilkan karakter konstituen harmonik penciri GPP. Variasi tinggi air merupakan total amplitudo konstituen harmonik yang membangkitkan permukaan air laut diwaktu tertentu. Penelitian ini untuk menentukan variasi konstituen harmonik dan identifikasi karakter konstituen harmonik penciri posisi komponen GPP di Bulan Muharram dengan membandingkan nilai konstituen harmonik (amplitudo dan fase) pasang surut terhadap nilai *ephimeries* dari Bulan dan Matahari. Hasil analisis memperlihatkan karakteristik pergerakan pasang surut awal Bulan Muharram di Stasiun Sabang terjadi 1 – 2 jam setelah ijtimak. Nilai tunggang air dominan berasal dari nilai *Mean Sea Level* (> 52%), dan kontribusi konstituen harmonik dominan berasal dari komponen M₂ (28 – 33 %). Konstituen harmonik M₂ tidak menunjukkan posisi Bulan saat Bulan Muharram, sedangkan posisi Matahari tergambar pada fase konstituen harmonik S₂.

Kata Kunci: Sabang, Muharram, Hijriah, Ijtimak, *mean sea level*

Pendahuluan

Pergerakan pasang surut sangat dipengaruhi oleh peredaran Bulan dan Matahari yang menghasilkan gradient gravitasional membangkitkan pasang surut air laut di permukaan bumi (Pugh dan Woodworth, 2014). Variasi gradient gravitasional itu merupakan komponen utama gaya pembangkit pasang surut (GPP), dimana posisi benda angkasa (Matahari-Bulan-Bumi) akan menyebabkan gradient gaya tarik terhadap massa air dipermukaan bumi (Yoder *et al.*,



1981; Bursa, 1987; Butikov, 2002; Laskar *et al.*, 2012). Perubahan tata letak benda angkasa tersebut menjadi dasar dalam membangun sistem penanggalan di bumi, pergerakan Bulan dijadikan dasar dalam membangun penanggalan hijriah (*lunar system*) dan pergerakan Matahari menjadi dasar penanggalan masehi (*Georgorian/Solar system*).

Pergerakan pasang surut sangat ditentukan oleh pergerakan Bulan (Vaniček, 1973; Wilhelm *et al.*, 1997; Hicks dan Szabados, 2006; Olah, 2009), hal tersebut berarti terdapat karakteristik pasang surut (gradien gravitasional) dalam penanggalan hijriah (*lunar calender*). Salah satu karakteristik pasang surut diketahui dari nilai konstituen harmonik utama (Parker, 2007; Robertson, 2011). Hasil penelitian Salnuddin *et al.* (2015) menunjukkan bahwa variasi (bias/deviasi) nilai amplitudo konstituen harmonik yang dihitung berdasarkan pengelompokan data pada penanggalan hijriah mempunyai bias yang lebih kecil dibandingkan dengan perhitungan berdasarkan pengelompokan data yang merujuk pada penanggalan masehi.

Peredaran Bulan terhadap Bumi membentuk sudut *ekliptika* sebesar 5° (Montenbruck dan Armstrong, 1989; Souchay *et al.*, 2012) yang berarti pergeseran maksimum Bulan sejauh 5° dari ekuator Bumi. Bulan Muharram merupakan Bulan pertama dalam sistem penanggalan hijriah, yang menjelaskan bahwa Bulan telah melakukan siklus tahunan (360 hari) untuk mengelilingi Bumi. Keterlambatan pergerakan Bulan terhadap bumi (siklus harian) menyebabkan ruang dipermukaan bumi yang menjadi titik ikat (awal) posisi Bulan akan berubah yang disebut dengan *sinodic day* (Souchay *et al.*, 2012), demikian pula untuk posisi titik ikat Bulan dalam siklus tahunannya. Kondisi tersebut menyebabkan gradient gravitasional Bulan tertentu di tahun yang berbeda akan menghasilkan GPP yang berbeda sehingga berpengaruh pada konstituen harmonik pasang surut (Forbes, 1982; Arbab, 2005).

Stasiun Sabang yang berada pada posisi lintang $05^{\circ} 53,3' \text{ LU}$ dan bujur $95^{\circ} 19,0' \text{ BT}$, diwaktu tertentu akan menjadi garis utama peredaran Bulan saat membentuk sudut ekliptika maksimum (5°) terhadap ekuator bumi. Ekliptika tersebut menyebabkan jarak Stasiun Sabang akan lebih dekat dengan Bulan dan GPP akan optimum dalam menaikkan permukaan air laut. Akumulasi kondisi dinamika alam pada pergerakan benda langit dalam menghasilkan gradient gravitasional, posisi Stasiun Sabang serta posisi Bulan dalam penanggalan hijriah (Bulan Muharram) akan menghasilkan variasi tinggi air pasang surut di Stasiun Sabang. Variasi tinggi air tersebut seharusnya dapat dijelaskan dalam variasi nilai konstituen harmonik pasang surut sebagaimana Boon (2006) menjelaskan bahwa tinggi air pasang surut yang terjadi disuatu tempat merupakan penjumlahan (total) amplitudo konstituen harmonik yang membangkitkan permukaan air laut. Penelitian bertujuan menentukan variasi konstituen harmonik pasang surut, sekaligus mengidentifikasi karakter konstituen harmonik yang menandai posisi komponen GPP untuk Bulan Muharram di Stasiun Sabang.

Bahan dan Metode

Lokasi dan waktu

Stasiun pasang surut Sabang digunakan sebagai lokasi untuk menganalisis posisi GPP pergerakan pasang surut yang berada pada posisi geografis $05^{\circ} 53,3' \text{ LU}$ dan $95^{\circ} 19,0' \text{ BT}$ (Gambar 1). Posisi geografis tersebut (Lintang 5°) terhadap deklinasi bulan optimum terhadap ekuator bumi (5°) menjadikan Stasiun Sabang sebagai wilayah perlintasan bulan. Stasiun Sabang juga merupakan salah satu stasiun pasang surut dunia, dengan kode registrasi stasiun pasang surut oleh JASL # : 123A, GLOSS # : 347, Originator #: 123 dan NODC #: 10095501. Periode data pasang surut yang dianalisis dalam penelitian ini selama 5 tahun data, terhitung sejak Januari 2006 – Desember 2011.

Prosedur sampling/pengumpulan data

Data pasang surut setiap jam (*hourly*) yang berkembang di Stasiun Sabang merupakan data *proxy* yang diperoleh dari *University of Hawaii Sea Level Center* (UHSLC) dan tersedia online



pada <http://uhscl.soest.hawaii.edu/data/download/rq>. Data pasang surut dengan format penanggalan matahari (masehi/georgoran), selanjutnya dikelompokkan berdasarkan penanggalan hijriah, dimana penentuan awal Bulan baru hijriah merujuk pada kalender yang dikeluarkan *Lajnah Falakiah Nahdathul Ulama* (LFNU, 2013). Permulaan hari penanggalan hijriah dimulai sekitar jam 18:00 waktu lokal (LT) dimana awal Bulan hijriah dimulai sejak terjadinya *ijtimak* (Jayusman, 2015) yaitu posisi Bulan dan Matahari berada pada satu garis lurus dilihat dari bumi. Konversi penanggalan masehi ke hijriah menggunakan software *Accurate Times* 5.3.6 yang selanjutnya disesuaikan dengan kalender LFNU.



Gambar 1. Lokasi stasiun data pasang surut Stasiun Sabang (dot warna merah)

Analisis data

Posisi Bulan dan Matahari (ekliptika) ditentukan dengan perhitungan nilai *ephemeris* menggunakan software *Accurate Times* 5.3.6 (Odeh, 2013) untuk nilai *Right Ascension* (RA.) and *Declination* (Dec.) sebagai posisi benda langit (GPP). Gambaran posisi Bulan dan Matahari (RA dan Dec.) sebagai GPP ditunjukkan dengan penggunaan software *Stellarium* (Chereau, 2004). Nilai konstituen harmonik pasang surut ditentukan dengan *T_Tide* (Pawlowicz *et al.*, 2002). menggunakan data pasang surut yang telah dikelompokkan kedalam penanggalan hijriah (Bulan Muharram). Perhitungan konstituen harmonik dilakukan untuk 10 konstituen utama pasang surut yang terdiri dari 4 komponen tunggal (Q_1 , O_1 , P_1 dan K_1), 4 komponen ganda (N_2 , M_2 , S_2 , K_2), serta 2 komponen lokal (M_4 dan MS_4). Tunggang air rata-rata (MHWL) dan tinggi air tertinggi (HHWL) merujuk persamaan (ICSM-PCTMS, 2011) sebagai berikut :

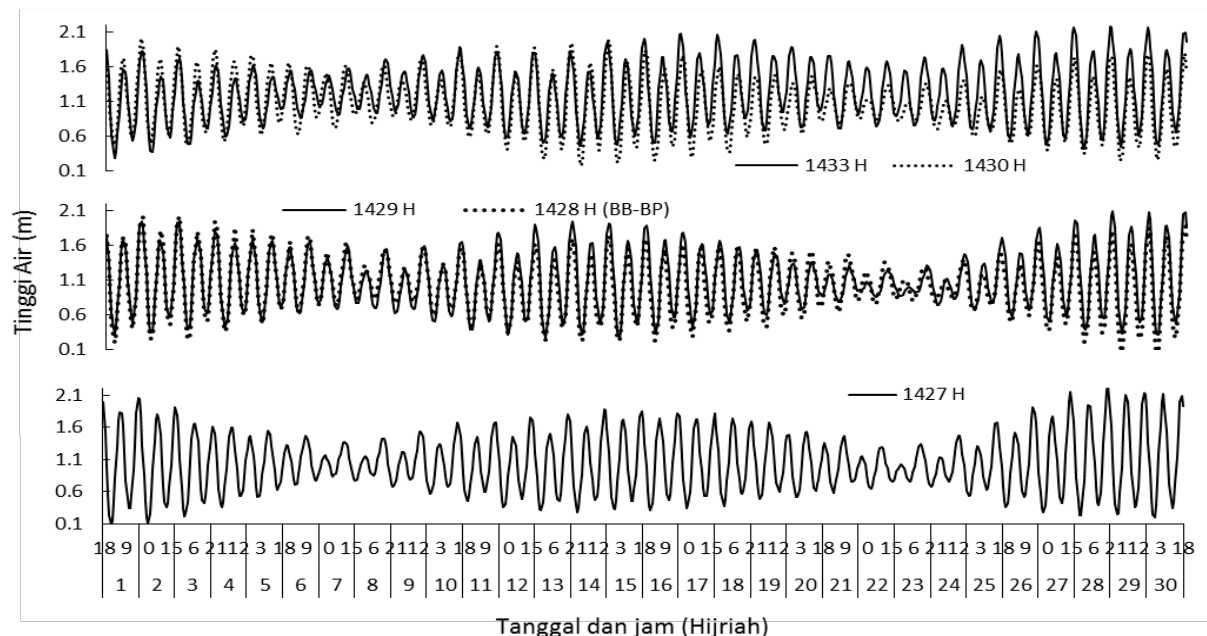
$$\begin{aligned}\text{High Highest Water Level (HHWL)} &= \text{MSL} + (M_2 + S_2 + K_2 + K_1 + O_1 + P_1) \\ \text{Mean High Water Level (MHWL)} &= \text{MSL} + (M_2 + K_1 + O_1)\end{aligned}$$

Dengan; MSL = Rerata tinggi muka air dari total data pengukuran; A = Amplitudo konstituen harmonik; M_2 = pengaruh gravitasi Bulan dengan orbit lingkaran dan sejajar ekuator bumi; S_2 = pengaruh gravitasi Matahari dengan orbit lingkaran dan sejajar ekuator bumi; K_2 = pengaruh Perubahan jarak Bulan ke Bumi akibat lintasan yang berbentuk elips; K_1 = pengaruh deklinasi sistem Bulan dan Matahari; O_1 = pengaruh deklinasi Bulan; dan AP_1 = Amplitudo dari pengaruh deklinasi Matahari.

Hasil

Variasi tinggi air Pergerakan Pasang Surut Bulan Muharram

Pasang surut Bulan Muharram untuk 5 tahun data yang berbeda membentuk pola yang relatif samaditip fase Bulan (Gambar 2). Pada fase Bulan baru (BB) ke kuartil 1/KW1 (BB-KW1) mempunyai pola yang samasaat Bulan bergerak dari fase Bulan purnama (BP) ke fase kuartil 2/KW2 (BP-KW2). Kesamaan pola tersebut diperlihatkan pada pergerakan Bulan dari fase KW1 ke BP dengan pergerakan dari KW2 ke BB. Secara keseluruhan kondisi air awal Bulan Muharram (jam 18:00 LT) di Stasiun dalam kondisi pasang bergerak surut.



Gambar 2. Pergerakan pasang surut Bulan Muharram untuk lima tahun Hijriah yang berbeda

Variasi tinggi air (Gambar 2) tiap tahun data mempunyai nilai yang berbeda meskipun membentuk pola yang relatif sama, tahun 1427 H (Februari 2006) mempunyai deviasi tinggi air dan tinggi air maksimum dalam siklus harian (1 hari) yang lebih tinggi masing-masing 0.440 m dan 2.248 m (Tabel 1) dibandingkan waktu lainnya. Deviasi yang tinggi menyebabkan tinggi air rata-rata lebih kecil (1,043 m). Tinggi air rata-rata tertinggi (1,211 m) terjadi pada tahun 1433 H (Desember 2009) disusul oleh tahun 1429 H (Januari 2008), 1430 H (Januari 2008), 1427 H dan 1428 H (Januari 2007). Data pasang surut Bulan Muharram (Tabel 1) menunjukkan waktu berada dalam periode awal dari tahun masehi (Desember – Januari) atau posisi Matahari berada di belahan bumi bagian selatan. Mempertimbangkan posisi Stasiun Sabang yang terdapat di belahan bumi utara dan posisi Matahari tersebut, secara umum nilai deviasi tinggi air Bulan Muharram relatif tetap dengan variasi sebesar 10 cm ($\sqrt{\text{Deviasi}}$) ditahun hijriah yang berbeda. Nilai pada Tabel 1) memperlihatkan bahwa perubahan tinggi air di Stasiun Sabang terhadap posisi Matahari yang ditunjukkan pada Bulan

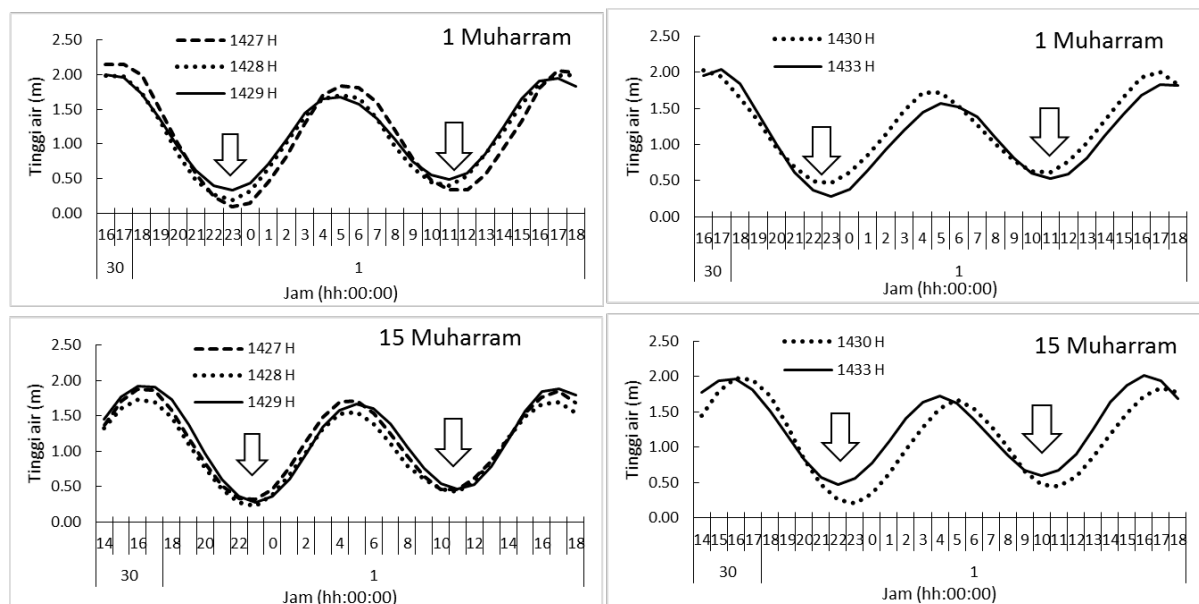


Masehi mempunyai nilai minimum tinggi air yang terukur, dimana pada Bulan Januari dengan jarak stasiun dan posisi Matahari lebih dekat memberi nilai minimum yang lebih kecil (0,058 – 0,170 m) dibandingkan saat posisi Matahari maksimum dititik balik belahan bumi selatan saat Bulan Desember (0,269 – 0,276 m).

Tabel 1. Variasi tinggi air pergerakan pasang surut tanggal 1 Muharram di Stasiun Sabang terhadap posisi Matahari

Nilai	Tinggi air (m)				
	1427 H	1428 H	1429 H	1430 H	1433 H
	Januari	Januari	Desember	Januari	Desember
Maksimum	2,248	2,021	2,085	2,008	2,18
Minimum	0,090	0,058	0,269	0,17	0,276
Rata-rata	1,043	1,023	1,077	1,066	1,211
Deviasi	0,440	0,404	0,402	0,391	0,410

Kondisi pasang surut saat awal Bulan Muharram (Gambar 3) menunjukkan puncak fase BB (pasang maksimum) telah terjadi sebelum masuknya Bulan baru hijriah (jam 18:00 LT), kondisi yang sama juga diperlihatkan pada saat puncak fase BP. Kondisi pasang surut awal masuknya Bulan Muharram (jam 18:00 LT) memperlihatkan tinggi air saat kondisi bergerak surut (tanda panah) di malam hari pada tanggal yang sama (1 Muharram) yang puncak surutnya terjadi pada jam 23:00-24:00 LT lebih rendah dibandingkan saat siang hari (jam 11:00 – 12:00 LT) Kondisi yang sama juga diperlihatkan saat fase BP di tanggal 15 Muharram.



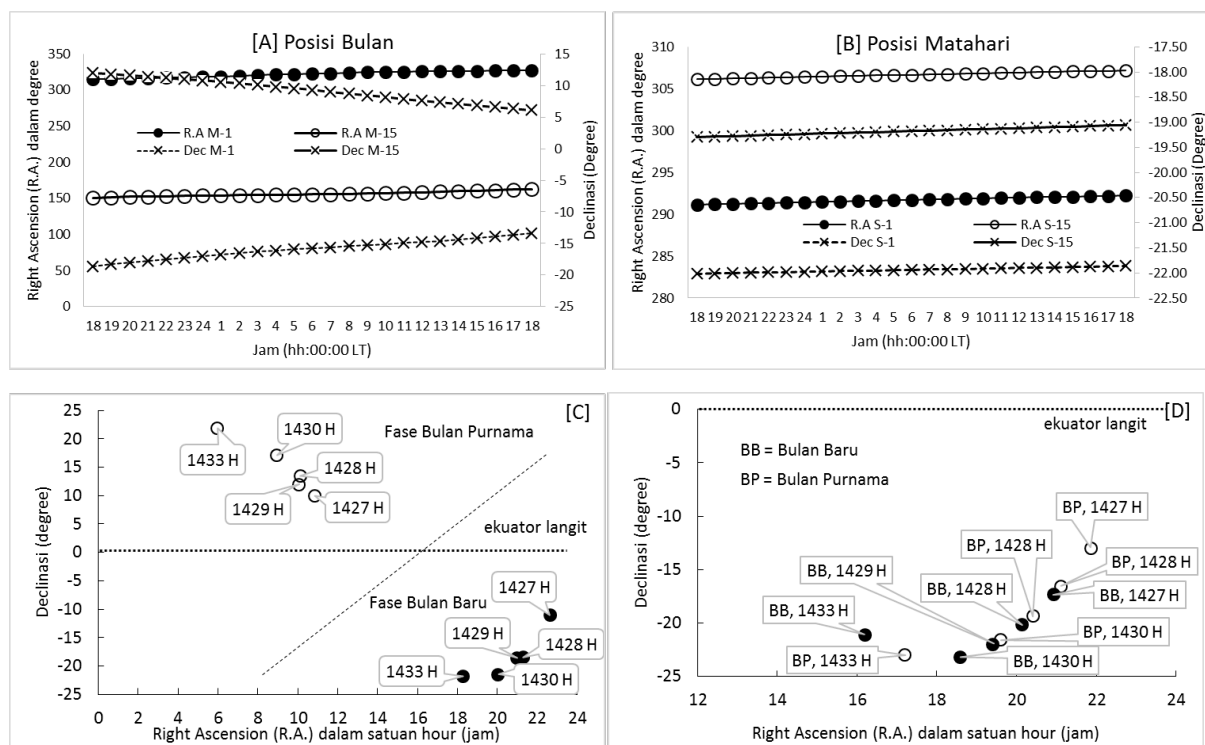
Gambar 3. Pola harian pergerakan pasang surut awal Bulan Muharram di Stasiun Sabang

Pola grafis harian dari 5 tahun data (Gambar 3) menunjukkan bahwa puncak fase BB telah terjadi 1 – 2 jam sebelum masuknya tanggal 1 dan 15 Muharram. Fenomena tersebut menjelaskan bahwa lokasi terjadinya konjungsi (Ijtimak) saat fase BB maupun saat oposisi

atau posisi Bulan dan Matahari membentuk sudut 90° di fase BP berada sejauh 1-2 jam di wilayah bagian timur Stasiun Sabang.

Posisi GPP dari data pasang surut Bulan Muharram

Posisi Bulan dalam siklus Bulanan mengelilingi bumi merupakan rotasi Bulan itu sendiri, yang berarti awal Bulan hijriah yang ditentukan dengan fenomena *ijtimak* merupakan akhir dari rotasi Bulan (Nashirudin, 2012; Rosyadi, 2013). Awal Bulan hijriah diketahui dengan ketampakan (visibilitas) hilal (*first new crescent*) sebagai indikator telah terjadinya *ijtimak*, sehingga posisi Bulan pada penanggalan hijriah di Bulan Muharram merupakan *ijtimak* awal Bulan muharram itu sendiri sekaligus awal dari siklus tahunan Bulan telah mengelilingi bumi (1 tahun hijriah). Siklus jangka panjang Bulan untuk kembali ke posisi awal menempuh waktu selama 33,3 tahun (34 tahun), yang berarti terjadi range selama 33 tahun hijriah (Salnuddin, 2016). Data pasang surut dari UHSLC diperoleh 5 tahun data pengukuran yang dilakukan pada Bulan Muharram, dimana posisi Matahari terhadap bumi (toposentric ephimeries) awal Bulan Muharram 1429 H (Gambar 4B) berada di *declinasi* negatif (Dec -) baik saat awal bulan maupun pertengahan Bulan Muharram (15 Muharram). Siklus harian bumi posisi Matahari relatif tetap dan lambat laun bergerak sejauh $\approx 2,5^\circ$ saat menuju fase purnama (Souhay *et al.*, 2012). Pergerakan harian Matahari (Gambar 4B) menunjukkan bahwa Matahari makin bergerak ke arah barat dengan RA $> 180^\circ$.



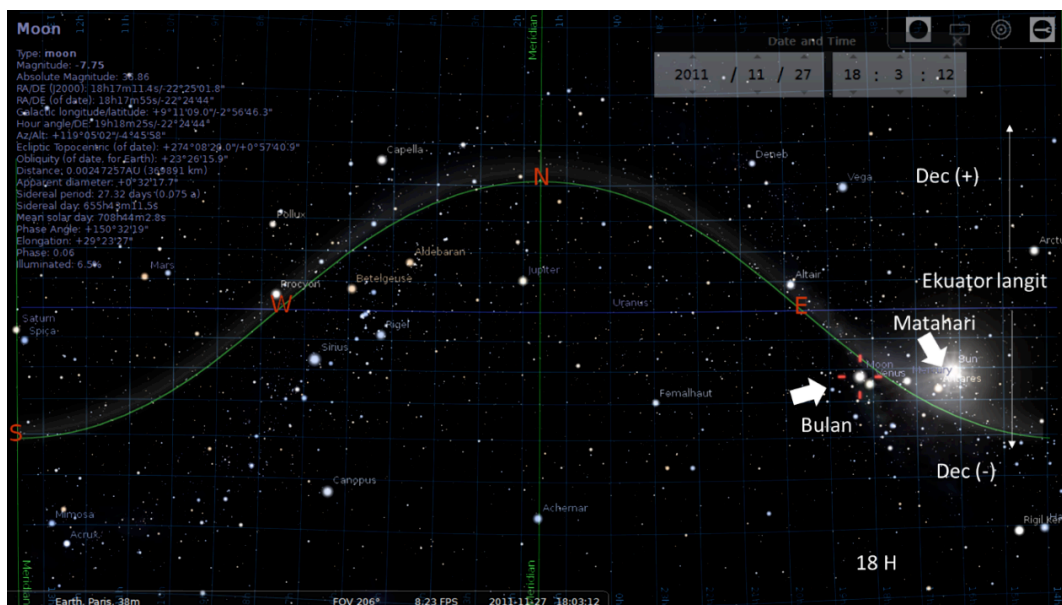
Gambar 4. Posisi Bulan (baris kiri) dan Matahari (baris kanan) terhadap bumi pada fase Bulan baru dan purnama di Bulan Muharram.

Posisi Bulan tahun 1429 H (Gambar 4A) dalam skala harian memperlihatkan Bulan berada pada *declinasi* yang berbeda dan membentuk pergerakan yang berlawanan saat di awal BB dan BP. Bulan berada pada fase BB (symbol Dec M-1) berada pada *declinasi* negatif yang bergerak menuju ke *declinasi* yang lebih kecil, saat Bulan berada di fase BP akan bergerak dari *declinasi* yang lebih kecil ke ekuator langit (*declinasi* 0°). Pergerakan Bulan saat puncak fase BB dan BP dari siklus harian menunjukkan adanya pola yang berlawanan sebagai pergerakan balik antara kedua fase Bulan yang selanjutnya membentuk siklus Bulanan. Pola tersebut terindikasi



dari awal BB menuju BP Bulan bergerak cenderung menuju *declinasi* positif dan mencapai puncak saat fase BP yang selanjutnya bergerak turun menuju *declinasi* negatif kembali. Pergerakan Bulan untuk posisi timur - barat (RA) menunjukkan perubahan posisi Bulan dari fase BB ke BP sejauh 180° yang berarti perubahan posisi Bulan dari posisi konjungsi ke posisi oposisi. Perubahan posisi tersebut menunjukkan bahwa ukuran Bulan yang sering diamati (Bulan sabit) adalah perubahan posisi RA, yang berarti posisi Bulan yang teramati dominan akibat rotasi bumi dan kecepatan rotasi periode *synodic* Bulan yang lebih lambat.

Pola pergerakan Bulan dan Matahari (Gambar 4A dan 4B) secara umum menjelaskan bahwa posisi Matahari relatif tetap (nilai Dec) sedangkan nilai RA yang mengalami perubahan dari fase BB ke BP berkisar $14,9^\circ$ ($\approx 15^\circ$) yang menjelaskan pergeseran bumi terhadap Matahari (*toposentric*) sejauh 1° perhari. Perubahan *declinasi* Bulan dari awal fase BB ke akhir fase puncak BP membentuk selisih sejauh $24,6^\circ$ (≈ 99 menit) yang bermakna posisi Bulan terlambat ≈ 2 hari perjalanan akibat periode *synodic* Bulan (± 50 menit/hari). Keterlambatan tersebut menyebabkan saat awal Bulan Muharram (jam 18:00 LT) puncak tertingi pasang surut di Stasiun Sabang telah terjadi 2 jam sebelumnya (Gambar 3).



Gambar 5. Posisi Bulan dan Matahari terhadap bumi (GPP) saat Bulan Muharram 1433 H, hasil aplikasi Software Stellarium

Posisi Bulan dan Matahari pada jam 18:03 LT di tanggal 1 Muharram 1433 H (Gambar 5) berada dibagian selatan ekuator langit (dec -) dengan RA Bulan 18,28 H sedangkan RA Matahari 16,19 H (Gambar 4C). Kondisi tersebut menjelaskan bahwa keduanya berada di sisi barat ekuator langit (sunset) dengan beda RA 2,09 H. Beda RA menunjukkan Posisi Bulan dan Matahari telah melewati posisi Ijtimak yang terjadi sekitar 2 jam sebelumnya yang diperlihatkan pada pola air surut (Gambar 3). Pola air surut tersebut (*slackwater*) merupakan indikator penanggalan hijriah pada pergerakan pasang surut (Salnuddin, 2016; Salnuddin *et al.*, 2017). Fenomena *Slackwater* dari posisi Bulan dan Matahari terhadap Bumi sebagai GPP selanjutnya memungkinkan mengetahui posisi masing-masing komponen GPP.

Konstituen harmonik dan tunggang air

Amplitudo konstituen harmonik utama Stasiun Sabang (Tabel 2) memperlihatkan bahwa amplitudo M_2 sebagai komponen diurnal dari pengaruh Bulan mempunyai amplitudo



tertinggi dibandingkan konstituen lainnya, Rata-rata amplitudo M_2 sebesar 0,617 m disusul oleh N_2 (0,136 m), S_2 (0,132 m) dan K_1 (0,127 m). Amplitudo M_2 tertinggi terjadi pada tahun 1430 H (0,6449 m) dengan kontribusi 33,6 % pada nilai tunggang air MHWL atau 30% dari tunggang air HHWL. Nilai deviasi dari amplitudo yang kecil (< 3 cm) dari amplitudo konstituen utama menunjukkan bahwa nilai amplitudo tidak dapat menggambarkan posisi benda angkasa sebagai pembangkit pasang surut diwaktu tertentu termasuk untuk Bulan Muharram. Hal itu dapat dipahami bahwa amplitudo konstituen harmonik adalah nilai akhir perhitungan dari data pasang surut selama 30 hari pengukuran, yang diproyeksikan pada nilai potensial tinggi air rata-rata dan maksimum dari pergerakan benda angkasa sebagai GPP dalam periode 18,6 tahun (Lisitzin, 1957; Huang *et al.*, 1997; Boon, 2006; Baart *et al.*, 2011).

Tabel 2. Amplitudo konstituen harmonik pasang surut Stasiun Sabang

Kons (m)	Tahun Hijriah (unit satuan m)					Rata (m)	Dev (m)	% MHWL HHWL	
	1427 H	1428 H	1429 H	1430 H	1433 H				
Q_1	0,0023	0,0034*	0,0026	0,0023	0,002	0,003	0,0005	-	-
* O_1	0,0264	0,0267	0,0207	0,0189	0,0164	0,022	0,0046	1,15	1,04
* P_1	0,0403	0,0399	0,0409	0,0369	0,0528	0,042	0,0061	-	1,98
* K_1	0,1219	0,1205	0,1237	0,1115	0,1595	0,127	0,0185	6,66	6,00
* N_2	0,1161	0,1507	0,1226	0,1622	0,1282	0,136	0,0196	-	-
* M_2	0,5986	0,6019	0,6041	0,6449	0,6353	0,617	0,0215	32,37	29,16
* S_2	0,1253	0,1321	0,1406	0,1589	0,1023	0,132	0,0208	-	6,24
* K_2	0,0341	0,036	0,0383	0,0432	0,0278	0,036	0,0057	-	1,89
M_4	0,0023	0,0031*	0,0006	0,0036*	0,0007	0,002	0,0014	-	-
MS_4	0,0016	0,0013	0,0007	0,0014	0,0007	0,001	0,0004	-	-
HHWL	2,087	2,097	2,108	2,154	2,134	2,116	0,028		
MHWL	1,887	1,889	1,889	1,915	1,951	1,906	0,028		
Formzahl	0,205	0,201	0,194	0,162	0,238	0,200	0,027		

Keterangan : Kons = konstituen harmonik; * = Signifikan; Rata = rata-rata; Dev= deviasi, % MHWL dan % HHWL = persentase amplitudo rata-rata konstituen harmonik yang membangun nilai tunggang air MHWL dan HHWL; bolt = amplitudo tertinggi; nilai Mean sea level (MSL) = 1,14 m;

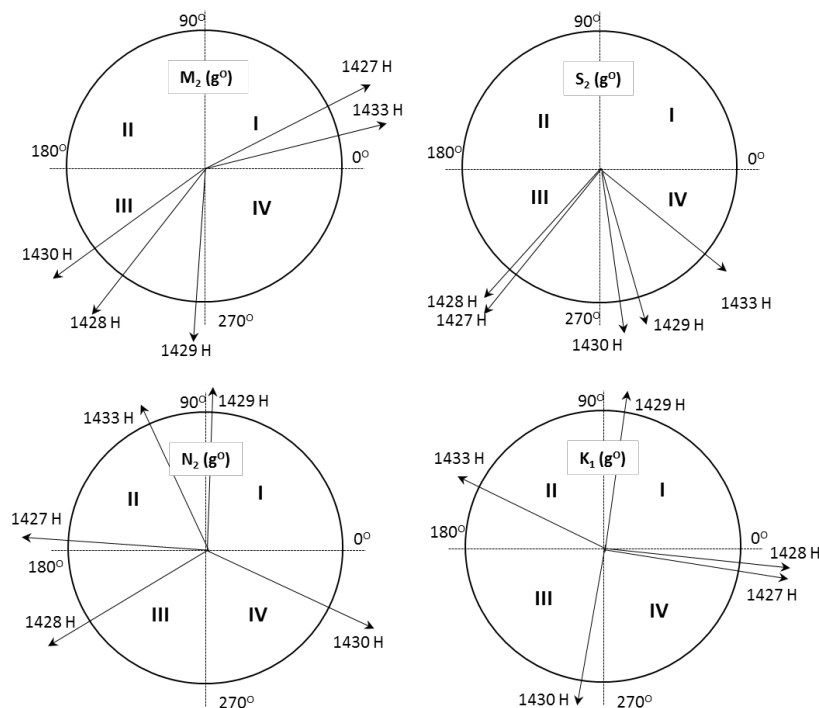
Nilai tunggang air (MHWL dan HHWL) secara matematis dapat diartikan sebagai nilai deviasi optimum dari amplitudo konstituen harmonik yang memberikan kontribusi pada tinggi air yang terjadi dalam siklus jangka panjang (Boon, 2006). Hal tersebut dapat diketahui pada pemaknaan nilai tunggang air dominan berasal dari nilai MSL ($> 52\%$), sedangkan kontribusi konstituen harmonik (Tabel 2) dominan berasal dari komponen M_2 (29,16% – 32,37 %). Kontribusi masing-masing amplitudo penyusun tunggang air dari data terukur Bulan Muharram tidak menunjukkan posisi benda langit pembangkit pasang surut.

Fase konstituen harmonik Bulan Muharram (Tabel 3) mempunyai nilai yang berbeda (5 tahun data). Fase konstituen M_2 berkisar $13,01^\circ - 265,85^\circ$ atau fase berada pada kuadran I dan III (Gambar 6). Fase konstituen harmonik dengan amplitudo tertinggi lainnya tersebar pada kuadran II – IV. Dengan mengasumsikan bahwa garis horisontal (0°) merupakan garis ekuator langit (Gambar 4D), maka posisi Matahari yang berada di declinasi negatif mempunyai pola yang relatif sama dengan fase dari konstituen S_2 , sedangkan posisi Bulan saat fase BB dan BP tidak dapat diketahui secara spesifik melalui fase konstituen harmonik..



Tabel 3. Fase konstituen harmonik pasang surut Stasiun Sabang

Konst	Fase (degree)					Kisaran	
	1427 H	1428 H	1429 H	1430 H	1433 H	Minimum	Maksimum
Q ₁	358,94	175,07	340,29	1,64	316,48	1,64	358,94
O ₁	237,14	78,12	347,58	124,7	46,9	46,9	237,14
P ₁	357,73	1,03	88,68	266,23	160,64	1,03	357,73
K ₁	350,66	353,96	81,61	259,16	153,57	81,61	353,96
N ₂	175,95	210,45	87,46	334,66	114,9	87,46	334,66
M ₂	27,91	231,98	265,85	215,1	13,01	13,01	265,85
S ₂	231,48	227,99	285,57	277,08	320,26	231,48	320,26
K ₂	253,88	250,39	307,97	299,48	342,66	250,39	342,66
M ₄	339,39	32,63	66,66	358,88	280,98	32,63	358,88
MS ₄	184,61	19,3	198,63	81,67	336,3	19,3	336,3



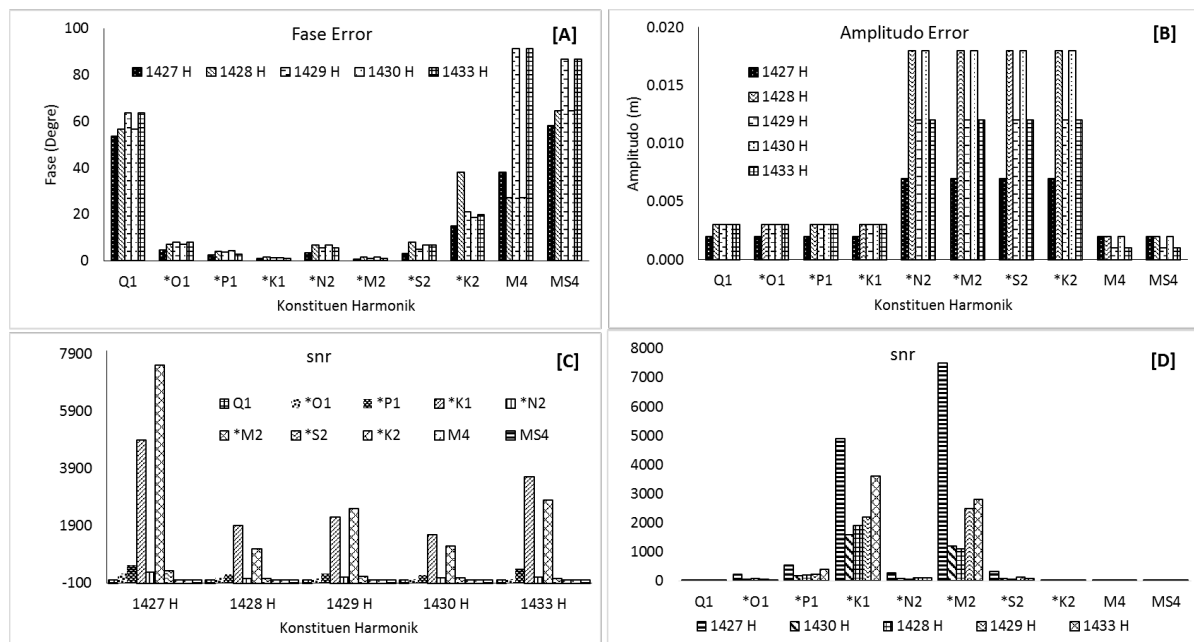
Gambar 6. Fase konstituen harmonik pasang surut dalam sistem kuadran sudut

Variasi nilai eror konstituen harmonik

Nilai konstituen harmonik (Tabel 2 dan Tabel 3) memperlihatkan nilai amplitudo yang relatif sama (deviasi kecil) untuk masing-masing konstituen harmonik, sedangkan fase masing-masing konstituen mempunyai range yang cukup besar. Kedua nilai konstituen harmonik untuk data Bulan Muharram yang sama di tahun yang berbeda menunjukkan adanya proyeksi nilai konstituen (amplitudo) dari posisi komponen GPP. Nilai eror amplitudo dan fasenya yang cukup besar untuk konstituen N₂, M₂, S₂ dan K₂ untuk data tahun 1428 H dan 1430 H

dibandingkan data 3 tahun yang lain. Nilai Fase error dominan diperlihatkan pada konstituen K_2 sebagai pengaruh declinasi sistem Bulan dan Matahari untuk komponen ganda.

Variasi nilai konstituen sistem Bulan-Matahari (K_2) menggambarkan posisi Bulan dan Matahari di tahun tertentu yang diperoyeksikan pada titik ikat (*epoch*) sebagai koreksi *interface* pada *nodal argument astronomy* (Kopal, 1980). *Epoch* dengan posisi astronomi dari lokasi GMT (*greenwich mean time*) tepat lurus dengan bintang aries (α) atau dalam posisi equinox, posisi tersebut merupakan nodal argument astronomy dalam *clasic harmonic analisis*. Posisi nodal tersebut menjadi titik ikat Bulan mencapai nilai amplitudo maksimum dengan variasi amplitudo sebagai nilai error amplitudo, hal yang sama juga untuk fase konstituen harmonic. Adapun nilai snr adalah nilai pergeseran dari posisi original GPP pada kondisi titik ikat. Mekanisme analisis T_Tide tersebut menyebabkan sulitnya mengidentifikasi posisi Bulan (penanggalan hijriah) pada nilai konstituen harmonik. Argumen astronomi pada titik ikat *epoch* memberi karakter posisi Matahari diperlihatkan oleh fase konstituen S_2 (Gambar 6).



Gambar 7. Nilai eror konstituen harmonik pasang surut Bulan muharramdi Stasiun Sabang

Pembahasan

Variasi tinggi air Pergerakan Pasang Surut Bulan Muharram yang terjadi di Stasiun Sabang menunjukkan kondisi air bergerak surut (Gambar 3), dimana puncak fase BB (posisi ijtima) telah terjadi 1 – 2 jam disebelah timur Stasiun Sabang. Kondisi tersebut dapat dijelaskan dengan mempertimbangkan keterlambatan pergerakan Bulan terhadap kecepatan rotasi bumi (± 50 menit) setiap harinya (Souhay *et al.*, 2012; Poluianov dan Usoskin, 2014) sehingga pada saat awal BB kondisi air bergerak surut di Stasiun Sabang terjadi setelah jam 18:00 LT atau Ijtima telah terjadi sebelumnya. Memperhatikan Gambar 5 dengan indikator fenomena *slack water* sebagai indikator awal bulan BB (Salnuddin, 2016; Salnuddin *et al.*, 2017) maka waktu terjadinya air surut di Stasiun Sabang adalah bagian dari teori *equilibrium tide* (Vaniček, 1973; Wilhelm *et al.*, 1997), dengan waktu terjadinya di Stasiun Sabang (jam 23:00-24:00 LT) memberi konsekuensi waktu terjadinya air surut difase BP terjadi 11, 6 jam sebelum masuk puncak fase BB (50 menit x 14 hari = 11,6 jam) disiang hari. Hal tersebut tersebut juga diperlihatkan pada pola grafis pasang surut (Gambar 3) yang menunjukkan tipe pasang surut yang berkembang beripe semidiurnal keharian ganda (*semidiurnal tide*) dengan tinggi air saat



pasang pertama dan kedua relatif sama. Pola pergerakan tinggi air tersebut diperlihatkan pula pada nilai F (Formzahl) Stasiun Sabang berkisar $0,162 - 0,205$ (Tabel 2).

Posisi GPP secara keseluruhan data terukur di Stasiun Sabang pada Bulan Muharram (Gambar 4C dan 4D), kedua gambar tersebut menjelaskan informasi yang sama tentang posisi Bulan (Gambar 4C) dan posisi Matahari saat fase Bulan BB dan BP (Gambar 4D). Posisi Bulan dan Matahari dari Gambar 4C dan 4D untuk Bulan muharram 1433 H diperlihatkan pada Gambar 5. Posisi Bulan saat fase BB dan BP (Gambar 4C) memperlihatkan posisi proyeksi menyerupai cermin antara saat fase BB dan BP (dot line) dengan perubahan nilai RA dan deci. Hal yang berbeda pada posisi Matahari (Gambar 4D), dimana saat fase BB dan BP Matahari mengalami perubahan yang kecil (RA dan Dec) keduanya berada pada ruang yang sama. Konsekuensi perubahan posisi Bulan dan Matahari tersebut secara gravitasional menyebabkan variasi tinggi muka air, namun pada kenyataannya variasi tinggi muka air pasang surut yang dihasilkan mempunyai pola yang sama (Gambar 2). Kondisi perubahan posisi tersebut membuktikan bahwa gaya gravitasional pembangkit pasang surut dipermukaan bumi bukan ditentukan oleh titik ikat dari masing-masing GPP, namun ditentukan oleh titik ikat lain yang berada diluar benda angkasa yang dipahami sebagai GPP yang disebut dengan *binary system* (Hut, 1981).

Posisi matahari terhadap fase konstituen S_2 yang membentuk pola yang relatif sama ditunjukkan oleh posisi Matahari dari tahun data berada pada *declinasi* yang sama (dec -) dengan sudut dari fase konstituen harmonik S_2 . Sedangkan konstituen lainnya tidak menunjukkan hal yang sama. Kondisi demikian juga diperlihatkan pada penelitian (Najibi *et al.*, 2013). Tidak dijumpainya nilai konstituen harmonik yang menggambarkan posisi Bulan diakibatkan oleh nilai konstituen merujuk pada sistem penanggalan Julian day (JD) sebagaimana (Doodson, 1921; Cartwright dan Tayler, 1971; Yoder *et al.*, 1981) yaitu titik ikat waktu pengukuran dibawah dalam waktu penanggalan Matahari saat epoch tahun 2000 (Kopal, 1980; Poluianov dan Usoskin, 2014). Penggunaan epoch tersebut menyebabkan perhitungan konstituen harmonik membutuhkan waktu peredaran Bulan minimal membutuhkan data selama $\frac{1}{2}$ siklus pergerakan Bulan mengelilingi bumi (15 hari) sebagaimana IHO (2005).

Amplitudo dan Fase konstituen harmonik yang dihasilkan (Tabel 3) merupakan hasil perhitungan dengan menggunakan metode harmonik analisis (*Least Square fit*). Metode tersebut masih menggunakan kondisi titik ikat astronomy (*epoch*), sehingga diwaktu tertentu harus dikonversi ke posisi *epoch* tersebut (Foreman *et al.*, 2009). Konversi waktu ketitik ikat tersebut dinyatakan dengan Julian day. Hal tersebut menyebabkan sulit untuk mengetahui karakter data (waktu) yang membangun nilai konstituen tersebut. Data pengukuran yang relatif berdekatan komponen benda angkasa sebagai GPP (1427 – 1433 H) dari hasil analisis T_{Tide} mempunyai nilai *significant Noise Ratio* (SNR) untuk konstituen K_1 dan M_2 lebih besar dibandingkan konstituen lainnya (Gambar 7C dan 6D). Nilai SNR tersebut menyebabkan nilai fase dan amplitudo K_1 dan M_2 dalam level signifikan (95%).

Kesimpulan

Karakteristik pergerakan pasang surut diperaian sabang bertipe semidiurnal, *slack water* sebagai indikator awal Bulan hijriah dari Bulan Muharram terjadi 1 – 2 jam setelah ijtima. Nilai tunggang air dominan berasal dari nilai MSL ($> 52\%$), dan kontribusi konstituen hamonik dominan berasal dari komponen M_2 (28 % – 33 %). Fase dari konstituen harmonik pasang surut M_2 tidak menunjukkan posisi Bulan, sedangkan posisi Matahari tergambar pada fase konstituen harmonik S_2 . Fase konstituen harmonik yang ditentukan dari analisis harmonik klasik/konvensional tidak dapat menentukan posisi komponen dari gaya pembangkit pasang surut (GPP) di Stasiun Sabang.

**Daftar Pustaka**

- Arbab, A.I. 2005. Evolution of angular momenta and energy of the earth-moon system. *Acta Geodaetica et Geophysica Hungarica*, 40(1): 33-42.
- Baart, F., P.H. Van Gelder, J. De Ronde, M. Van Koningsveld, B. Wouters. 2011. The effect of the 18.6-year lunar nodal cycle on regional sea-level rise estimates. *Journal of Coastal Research*, 28(2):511-516.
- Boon, J. 2006. World currents user manual v1. 01. USA, 23p.
- Bursa, M. 1987. The tidal evolution of the earth-moon system. *Bulletin of the Astronomical Institutes of Czechoslovakia*, 38: 321-324.
- Butikov, E.I. 2002. A dynamical picture of the oceanic tides. *American Journal of Physics*, 70(10): 1001-1011.
- Cartwright, D., R. Tayler. 1971. New computations of the tide-generating potential. *Geophysical Journal International*, 23(1): 45-73.
- Chereau, F. 2004. Stelarium 0.12.3 @Slashdot Media.
- Doodson, A.T. 1921. The harmonic development of the tide-generating potential. *Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Containing Papers of a Mathematical and Physical Character*, 100 (704):305-329.
- Forbes, J.M. 1982. Atmospheric tide: 2. The solar and lunar semidiurnal components. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 87(A7): 5241-5252.
- Foreman, M.G.G., J.Y. Cherniawsky, V.A. Ballantyne. 2009. Versatile harmonic tidal analysis: improvements and applications. *Journal of Atmospheric and Oceanic technology*, 26: 806-817.doi:DOI: 10.1175/2008JTECHO615.1.
- Hicks, S.D., M.W. Szabados. 2006. Understanding tides. US Department of Commerce, National Oceanic and Atmospheric Administration, National Ocean Service.
- Huang, Z., Z. Chen Z, H. Si, L. Ye. 1997. Analysis of 19-year tidal data. *Science in China Series D: Earth Sciences*, 40(4): 352-360.
- Hut, P. 1981. Tide evolution in close binary system. *Astronomy dan astrophysics*, 99: 126-140.
- ICSMT-PCTMS. 2011. Australian tides manual SP9 V4.2. Intergovernmental Committee of Surveying and Mapping - Permanent Committee On Tides And Mean Sea Level.
- IHO. 2005. Manual on hydrography internasional hydrographic bureau publication m-13 (1st Edition): 253 - 268.
- Jayusman, J. 2015. Kajian ilmu falak perbedaan penentuan awal bulan kamariah : antara khilafiah dan sains. *Al-Maslahah*, 11(1): 1-15. <https://doi.org/10.24260/almaslahah.v11i1.126>.
- Kopal, Z. 1980. Note on tidal evolution of the earth-moon system. *The moon and the planets*, 22(1):129-130.
- Laskar, J., G. Boué, A.C. Correia. 2012. Tidal dissipation in multi-planet systems and constraints on orbit fitting. *Astronomy and Astrophysics*, 538: A105.
- LFNU. 2013. Kalender Masehi - Hijriah 1901 - 2100. *Lajnah Falakiah Nahdlatul Ulama*. LFNU. Gresik, <http://www.must4in.net/2013/12/kalender-Masehi-hijriyah-1901-2100.html>, Diakses tgl 15 April 2014.
- Lisitzin, E. 1957. The tidal cycle of 18.6 years in the oceans. *Journal du Conseil*, 22(2): 147-151.
- Montenbruck, O., A.H. Armstrong. 1989. Practical ephemeris calculations. Springer-verlag Heidelberg.
- Najibi, N., A. Abedini, R.A. Sheibani. 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): 381-392.



- Nashirudin, M. 2012. Tinjauan fikih dan astronomis penyatuan matlah; Ijtihad. Jurnal Wacana Hukum Islam dan Kemanusiaan, 12(2):179 - 192.
- Odeh, M. 2013. Accurate Times 5.3.6 software, Islamic Crescents' Observation Project (ICOP).
- Olah, S. 2009. Solar and lunar tides. The general science journal. x(x): 1- 11 (<http://www.gsjournal.net/Science-Journal/search>, Diakses tgl 23 Mei 2014.
- Parker, B.B. 2007. Tidal analysis and prediction. US Department of Commerce, National Oceanic and Atmospheric Administration, National Ocean Service, Center for Operational Oceanographic Products and Services.
- Pawlowicz, R., B. Beardsley, S. Lentz. 2002. Classical tidal harmonic analysis including error estimates in MATLAB using T_TIDE. Computers and Geosciences, 28(8): 929-937.
- Poluianov, S., I. Usoskin. 2014. Critical analysis of a hypothesis of the planetary tidal influence on solar activity. Solar Physics, 289(6): 2333-2342.
- Pugh, D., P. Woodworth. 2014. Sea-level science: understanding tides, surges, tsunamis and mean sea-level changes. Cambridge University Press.
- Robertson, R. 2011. Interactions between tides and other frequencies in the Indonesian seas. Ocean Dynamics, 61(1): 69-88.
- Rosyadi, I. 2013. Matlak global dan regional (Studi tentang Keberlakuan Rukyat Menurut Fikih dan Astronomi).
- Salnuddin. 2016. Penentuan awal bulan baru penanggalan hijriah berdasarkan pendekatan ethnoceanography dan ethnoastronomy Bogor: Disertasi-Institut Pertanian Bogor.
- Salnuddin, I.W. Nurjaya, I. Jaya, NMN Natih. 2017. Ethnoceanography dan titik temu aspek Syar'I dalam penentuan awal bulan Ramadhan dan Syawal oleh Joguru Kesultanan Tidore. Al-Ahkam, UIN Walisongo-Semarang, 27(1): 111 - 132.
- Salnuddin, I.W. Nurjaya, I. Jaya, NMN Natih. 2015. Amplitude variations of tidal harmonic constituents in Bitung Station (variasi amplitudo konstituen harmonik pasang surut utama di Stasiun Bitung). Ilmu Kelautan: Indonesian Journal of Marine Sciences, 20(2): 73-86.
- Souchay, J., S. Mathis, T. Tokeida. 2012. Tides in astronomy and astrophysics. Springer.
- Vaniček, P. 1973. The earth tides. Department of Surveying Engineering, University of New Brunswick.
- Wilhelm, H., W. Zurn, H-G. Wenzel. 1997. Tidal phenomena. Lecture Notes in Earth Sciences, Berlin Springer Verlag. 66p
- Yoder, C.F., J.G. Williams, M.E. Parke. 1981. Tidal variations of Earth rotation. Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 86(B2): 881-891.

Received: 22 May 2017

Accepted: 4 December 2017

How to cite this paper:

Salnuddin, S., N. Wahidin, J. Bemba. 2018. Posisi komponen gaya pembangkit pasang surut (GPP) terhadap variasi konstituen harmonik pasang surut bulan Muharram di Stasiun Sabang. Depik, 7(1): 47-59.