

**ANALISIS HARMONIK PASANG SURUT LAUT MENGGUNAKAN DATA
STASIUN PASUT DAN DATA SATELIT ALTIMETRI JASON-2
(STUDI KASUS : PERAIRAN PESISIR BARAT LAMPUNG)**

Romi Julianto¹ (23116006)

Dr. Ir. Kosasih Prijatna, M.Sc.², Zulfikar Adlan Nadzir, S.T., M.Sc.¹

¹Institut Teknologi Sumatera, ²Institut Teknologi Bandung

E-mail : julian@student.itera.ac.id

Abstrak: Satelit Jason-2 memiliki misi untuk mempelajari dinamika laut global dan fenomena pasang surut laut (pasut). Satelit dengan *repeat-orbit mission* setiap 9.9156 hari mengalami *alias period*, berbeda dengan pengamatan pasang surut konvensional yang menghasilkan data sesuai keinginan pengguna. Setiap titik yang dilalui lintasan satelit dapat ditinjau sebagai stasiun pasang surut, sehingga dapat melengkapi informasi pasut. Pemilihan *pass* 77 dan *pass* 153 karena dekat dengan stasiun pasang surut. Analisis harmonik untuk mendapatkan amplitudo dan fase dari konstanta pasut utama (K_1 , O_1 , P_1 , M_2 , N_2 dan S_2) di wilayah penelitian. Metode pengolahan pasut adalah *least square* dengan bantuan program *t_tide*. Analisis terhadap dua *pass*, yaitu *pass* 77 dan 153 dengan *cycle* 001-327 tahun 2008-2017. Data validasi adalah Stasiun Pasut Seblat dan Krui tahun 2016-2017. Hasil penelitian menunjukkan elevasi muka laut di tahun 2016-2017 rerata tertinggi di Seblat 0.520 m dan Krui 1.293 m tahun 2017, sedangkan terendah di Seblat 0.8601 m dan Krui 0.7226 m tahun 2016. Selisih amplitudo rerata konstanta pasut data altimetri terhadap data stasiun pasut di Seblat sebesar 0.122 m dan Krui sebesar 0.115 m. Uji korelasi antara elevasi muka laut hasil altimetri dan stasiun pasut, diperoleh tingkat hubungan kuat. Koefisien korelasi di Seblat adalah 0.748, sedangkan di Krui sebesar 0.618.

Kata kunci : Analisis harmonik, Satelit altimetri Jason 2, Amplitudo

Abstract: The Jason-2 satellite has a mission to study global ocean dynamics and tidal phenomena. Satellites with repeat-orbit missions every 9.9156 days experience an alias period, in contrast to conventional tidal observations that produce data according to the user's wishes. Every point through which the satellite trajectory can be viewed as a tidal station, so as to complete tidal information. Selection of pass 77 and pass 153 for being close to the tidal station. Harmonic analysis to obtain the amplitude and phase of the major tidal constants (K_1 , O_1 , P_1 , M_2 , N_2 and S_2) in the study area. The tidal processing method is least square with the help of the *t_tide* program. Analysis of two passes, namely passes 77 and 153 with a cycle 001-327 in 2008-2017. Validation data are Seblat and Krui Tidal Stations. 2016-2017. 0.8601 m and Krui 0.7226 m in 2016. Difference in mean amplitude of tidal constant altimetry data for tidal station data in Seblat is 0.122 m and Krui is 0.115 m. Correlation test between altimetry and sea level elevation results obtained strong relationship level. The correlation coefficient in Seblat is 0.748, while in Krui it is 0.618.

Keywords: Harmonic analysis, Jason 2 altimetry satellite, Amplitude

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara kepulauan yang memiliki wilayah perairan yang terbentang dari Sabang sampai Merauke, hampir dua pertiganya adalah lautan dengan panjang garis pantai 81.000 kilometer dan berada pada posisi $7^{\circ} 20' \text{ LU}$ - 14° LS dan 92° BT - 141° BT [1] Wilayah pantai merupakan daerah yang sangat intensif dimanfaatkan untuk kegiatan manusia, seperti kawasan pusat pemerintahan, pemukiman, industri, pelabuhan, pertambangan, pertanian, perikanan, pariwisata, dan sebagainya.

Pasang surut laut sangat penting dalam studi masalah kelautan. Pengetahuan tentang pasang surut dapat dimanfaatkan untuk perencanaan pengelolaan wilayah pesisir [2]. Informasi mengenai karakteristik dan sifat pasut dapat diperoleh setelah melakukan analisis harmonik pasut yang menghasilkan nilai konstanta harmonik pasut. Informasi pasang surut yang diperoleh dari altimetri sama prinsipnya dengan *tide gauge*. Setiap titik yang dilewati oleh lintasan satelit dapat ditinjau sebagai stasiun pasut, baik yang terletak di pesisir ataupun laut lepas. Interval waktu pengamatan *tide gauge* dapat dibuat setiap detik, menit, ataupun jam, sedangkan pengamatan altimetri Jason 2 dengan *repeat-orbit mission*, interval waktu (*revisit time*) setiap 9.9156 hari atau 237.975 jam.

Prinsip dasar pengukuran satelit altimetri adalah mengukur ketinggian satelit terhadap topografi dari muka laut dengan memancarkan pulsa gelombang elektromagnetik (radar) ke permukaan laut, kemudian dipantulkan kembali oleh permukaan laut dan diterima kembali oleh satelit. Dengan memanfaatkan data waktu tempuh pulsa saat dikirimkan dan dipantulkan kembali ke satelit. Data waktu tempuh pulsa yang diperoleh dikonversi menjadi data jarak dengan menghitung selisih waktu antara saat pemancaran dan pengembalian saat pengembalian.

Pesisir Barat Sumatera Bagian Selatan menjadi wilayah penelitian ini, terdapat stasiun pasang surut yang dekat dengan pass 077 dan pass 153, yaitu Stasiun Pasut Seblat dan Krui

Tujuan dari penelitian antara lain :

1. Menentukan konstanta utama pasang surut (K_1 , O_1 , P_1 , M_2 , N_2 dan S_2) dari satelit altimetri Jason 2 *repeat orbit mission*
2. Menghitung besarnya korelasi elevasi muka laut yang dihasilkan dari altimetri dan tide gauge di tahun 2016-2017
3. Menentukan tipe pasang surut di wilayah Pesisir Barat Lampung

TEORI DASAR

Pasang Surut Laut

Pasang surut laut adalah gerakan vertikal dari air laut secara periodik yang disebabkan oleh interaksi benda-benda langit (terutama bulan dan matahari) terhadap bumi, serta gaya-gaya lainnya, seperti gaya berat dan gaya sentripetal. Tipe pasang surut dapat dihitung dengan rumus [3].

$$F = \frac{(O_1 + K_1)}{(M_2 + S_2)} \quad (1)$$

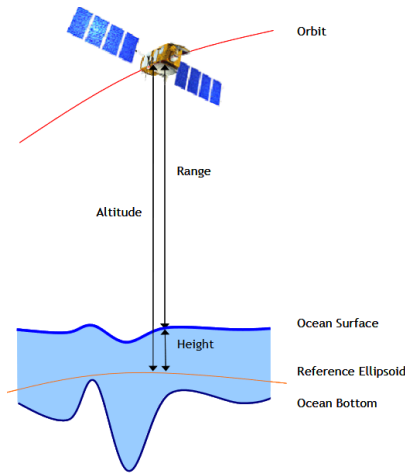
Tabel 1. Tipe pasang surut [3]

bilangan formazhal	tipe pasang surut
0-0.25	<i>semidiurnal</i>
0.25-1.50	<i>mixed, mainly semidiurnal</i>
1.50-3.00	<i>mixed, mainly diurnal</i>
>3.00	<i>diurnal</i>

Satelit Altimetri

Ketinggian satelit di atas permukaan laut (α) dapat diturunkan sebagai aproksimasi pertama dari waktu tempuh (Δt) dari pulsa radar yang dikirim dan dipantulkan dengan rumus. [4]

$$\alpha = c \cdot \frac{\Delta t}{2} \quad (2)$$



Gambar 1. Prinsip satelit altimetri [5]

Pengamatan altimetri ini selanjutnya disimpan dalam jenis *geophysical data record*, mewakili dinamika laut dan informasi pasut. Rumus menghitung muka laut dari data altimetri berikut [5]

$$SSH = alt - corr.range \quad (3)$$

$$SLA = SSH - tide\ ef. - inv\ bar - hf. \quad (4)$$

$$TWLE = SSH - MSS - SET - PT - inv\ bar - hf. \quad (5)$$

Total water level envelope (TWLE) yang dianggap muka laut yang masih memiliki efek pasang surut. [6]

Tidal Aliasing

Pengaruh yang menyebabkan sinyal-sinyal yang berbeda menjadi tidak dapat dibedakan satu sama lain (atau menjadi alias sinyal yang lain) saat rekonstruksi sampel disebut sebagai fenomena *aliasing*

Pada umumnya interval waktu pencuplikan (Δt) data pasut $\frac{1}{4}$ sampai 1 jam. Pengamatan dengan $\Delta t > 1$ jam akan semakin tidak menggambarkan karakter fenomena pasut sebenarnya. Pengamatan dengan Δt Jason 2 tiap 9.9165 hari atau 237.975 jam (periode pengamatan) tentu akan menimbulkan aliasing. Pada

pengulangan tersebut satelit ini mengukur tinggi permukaan laut sekali pada posisi yang sama. Oleh karena itu, adanya pengulangan satelit ini menyebabkan pasang surut harian dan semi harian mengalami aliasing dengan periode-periode yang panjang [6]

$$|\Delta\phi| = 2\pi \left(\frac{T_s}{T_o} - \left[\frac{T_s}{T_o} + 0.5 \right] \right) \quad (6)$$

$$T_A = \frac{360^\circ}{|\Delta\phi|} \times 9.9165 \text{ hari} \quad (7)$$

π sebesar 180° dengan T_s periode pengulangan satelit (9.9165 hari), T_o periode asli konstanta pasut. $[T_s/T_o + 0.5]$ diambil nilai integer kurang dari atau sama dengan $[T_s/T_o + 0.5]$.

Tabel 2 Periode alias pasut satelit OSTM/Jason 2 [6]

Komponen	T (jam)	TA (hari)
M2	12.42	62.11
S2	12	58.74
N2	12.66	49.53
K1	23.93	173.19
O1	25.82	45.71
P1	24.07	88.89

Analisis Harmonik Least Square

Pada prinsipnya metode *least square* meminimumkan persamaan elevasi pasang surut, sehingga diperoleh persamaan simultan. Kemudian persamaan simultan tersebut diselesaikan dengan metode numerik sehingga diperoleh konstanta pasang surut [7].

Persamaan numerik pasang surut menggunakan program *t_tide* sebagai berikut: [8]

$$V = \sum_{i=0}^3 \left[G_i'(\theta) \sum_{j'k'l'm'n'} A'(j'k'l'm'n') \cos(2\pi V_a) \cdot \right]$$

$$+ G'i'(\theta) \sum_{j'k'l'm'n'} B' (j'k'l'm'n' \cos(2\pi V_a)) \Big] \quad (8)$$

dengan G, G' : fungsi geodetik dengan tipe i dan lintang (θ) ; A', B' : angka doodson; V_a : argument astronomi; dan $j'k'l'm'n'$ sebagai angka doodson dengan konstanta tertentu

Analisis Korelasi

Analisa korelasi adalah metode statistik yang digunakan untuk mengukur besarnya hubungan linier antara dua variabel atau lebih. Nilai korelasi populasi (ρ) berkisar pada interval $-1 \leq \rho \leq 1$. [9]

$$r_{xy} = \frac{n \sum xy - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{(n \sum x^2 - (\sum x)^2)(n \sum y^2 - (\sum y)^2)}} \quad (x)$$

dengan, r_{xy} : koefisien korelasi; n : jumlah sampel ; x : skor variabel x ; y : skor variabel y ; $\sum x$: jumlah skor variabel x ; $\sum y$: jumlah skor variabel y ; $\sum x^2$: jumlah kuadrat skor variabel x ; $\sum y^2$: jumlah kuadrat skor variabel y

Tabel 3 Koefisien korelasi nilai ρ [10]

Interval Koefisien	Tingkat Hubungan
0.800-1.000	Sangat Kuat
0.600-0.799	Kuat
0.400-0.599	Cukup Kuat
0.200-0.399	Lemah
0.000-0.199	Sangat Lemah

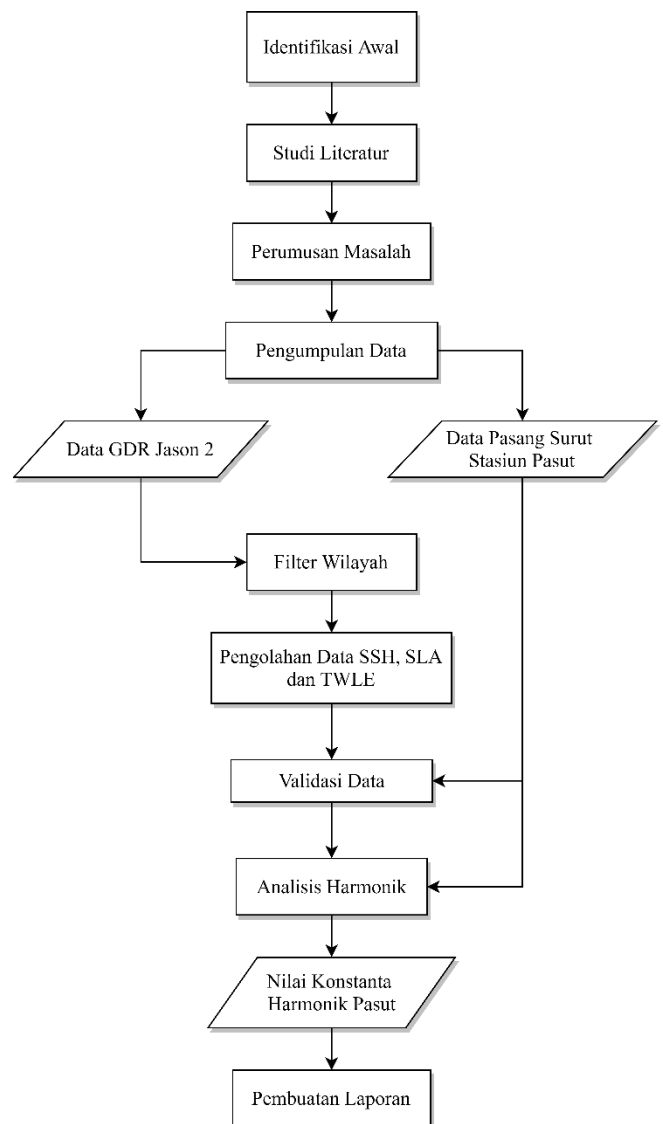
METODOLOGI

Data dan Peralatan

Data yang digunakan dalam penelitian yaitu: 1) Data pasang surut Stasiun Seblat dan Krui tahun 2016-2017; 2) Geophysical data record satelit altimetri Jason 2 pass 077 dan pass 153 cycle 001-327

Peralatan yang digunakan antara lain: 1) Matlab R2016a, mengolah data muka laut; 2) Panoply untuk membuka file type .nc ; 3) SPSS versi 26 untuk pengolahan statistik.

Tahapan Penelitian



Gambar 2. Tahapan Penelitian

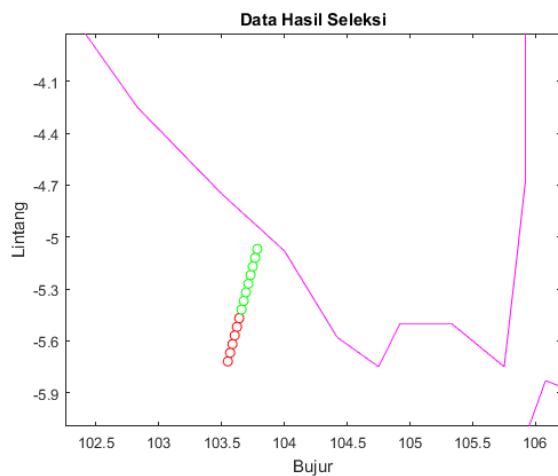
Berdasarkan tahapan penelitian diatas, data satelit altimetri dilakukan seleksi data daratan, dan diambil data sejauh 40 km dari pesisir, selanjutnya dilakukan pengolahan muka laut, SSH, SLA dan TWLE. Muka laut TWLE diolah dengan program `t_tide` untuk mendapatkan konstanta pasut utama, selanjutnya dilakukan validasi dengan data pasut, dan terakhir dilakukan uji korelasi

HASIL DAN PEMBAHASAN

Seleksi Data Altimetri

Seleksi data dengan 3 parameter, yaitu : 1) `rad_surf_type` (membedakan daratan dan lautan) dengan warna merah;

2) *rad_distance_to_land* mengukur jarak ke pesisir sejauh 40 kilometer dengan warna hijau; 3) parameter koordinat sesuai stasiun pasut



Gambar 3 Hasil seleksi

Muka Laut Altimetri

Muka laut terdiri dari SSH, SLA dan TWLE ditunjukkan dengan table x

Tabel 4 Nilai SSH per tahun

<i>pass</i>	Tahun	Min (m)	Rerata (m)	Maks (m)
77	2016	-13.32	-9.9	-2.3
77	2017	-13.67	-12.7	-11.5
153	2016	-11.5	-5.02	0.22
153	2017	-6.3	-6.2	-6.1

Tabel 5 Nilai SLA per tahun

<i>pass</i>	Tahun	Min (m)	Rerata (m)	Maks (m)
77	2016	-5.4	0.08	0.48
77	2017	-0.9	0.08	0.4
153	2016	-5.5	0.13	0.7
153	2017	-0.02	0.13	1.1

Tabel 6 Nilai TWLE per tahun

<i>pass</i>	Tahun	Min (m)	Rerata (m)	Maks (m)
77	2016	-5.3	0.08	0.8
77	2017	-0.9	0.11	0.52
153	2016	-5.6	0.15	0.7
153	2017	-7×10^{-3}	0.19	1.2

Analisis

Parameter konstanta pasut yang menjadi fokus penelitian adalah amplitudo

A. Perairan Seblat

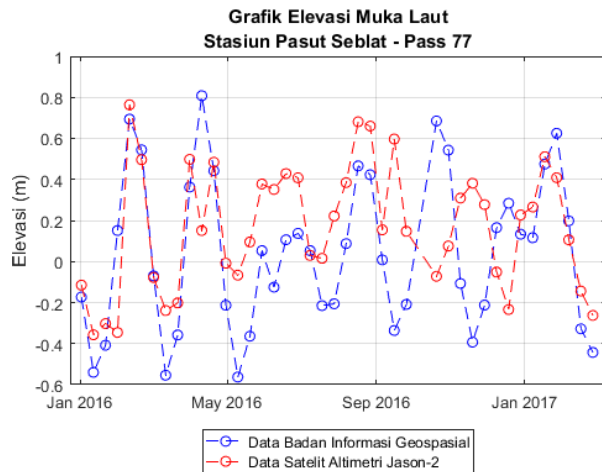
Data *pass* 077 dianalisis harmonik menggunakan periode alias seperti ditunjukkan pada tabel 2 dengan bantuan program *t_tide*. Data dari *tide gauge* juga dianalisis, namun dengan periode asli yaitu 1 jam.

Tabel 7. Perbandingan konstanta di Seblat tahun 2016-2017

konstanta	altimetri	amp (m)	salah amp (m)
	<i>tide gauge</i>		
K1	altimetri	0.0159	0.026
	<i>tide gauge</i>	0.1384	0.001
M2	altimetri	0.0252	0.03
	<i>tide gauge</i>	0.3616	0.006
O1	altimetri	0.0216	0.032
	<i>tide gauge</i>	0.0847	0.002
P1	altimetri	0.0456	0.125
	<i>tide gauge</i>	0.0423	0.001
S2	altimetri	0.009	0.024
	<i>tide gauge</i>	0.1531	0.005
N2	altimetri	0.0115	0.027
	<i>tide gauge</i>	0.0752	0.006

Tabel 8. Tipe pasut di Seblat

tahun	stasiun pasut <i>pass</i>	bilangan <i>formzahl</i>	tipe pasut
2016- 2017	seblat	0.433	cam ganda
	<i>pass</i> 077	1.096	cam ganda

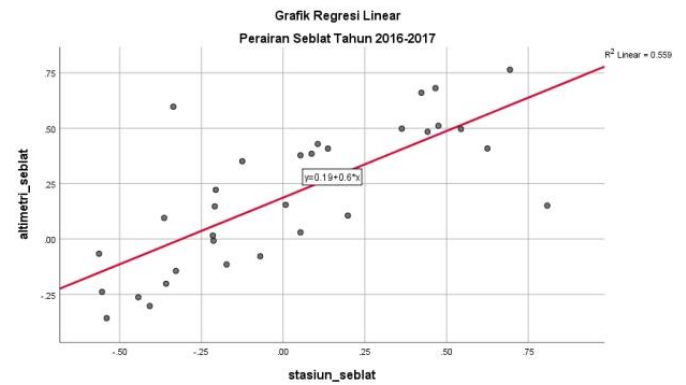


Gambar 3. Grafik di Seblat tahun 2016-2017

Amplitudo terbesar pada konstanta P1 0.0456 m dan terendah pada S2 0.009. Kesalahan amplitudo terbesar pada P1 dengan nilai 0.125 m dipengaruhi periode alias yang cukup besar. Tipe pasang surut di Seblat adalah campuran ganda sama hasil altimetri dan tide gauge dipengaruhi oleh jarak pass dan stasiun yang dekat, 0.5 km. Secara visual, elevasi muka laut bertampalan akan memberikan efek korelasi yang kuat, ditunjukkan pada tabel dan gambar x.

Tabel 9. Korelasi di Seblat tahun 2016-2017

		stasiun seblat	pass 077
stasiun seblat	<i>Pearson</i>	1	0.748
	<i>Correlation</i>		
	N	34	34
pass 077	<i>Pearson</i>	0.748	1
	<i>Correlation</i>		
	N	33	33



Gambar 4. Grafik korelasi di Seblat

B. Perairan Krui

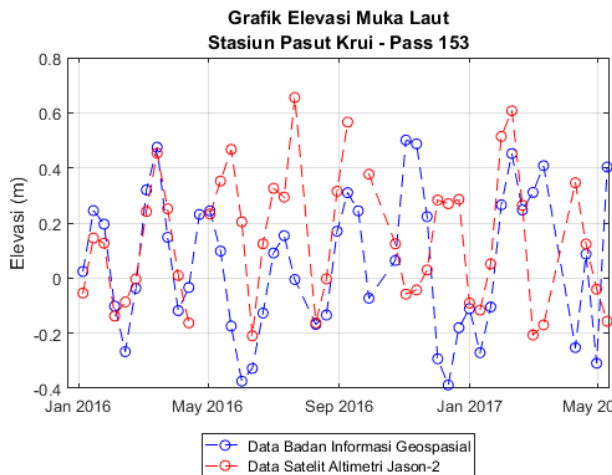
Data pass 153 dianalisis harmonik menggunakan periode alias seperti ditunjukkan pada tabel 2 dengan bantuan program *t_tide*. Data dari *tide gauge* juga dianalisis, namun dengan periode asli yaitu 1 jam.

Tabel 10. Perbandingan konstanta di Krui tahun 2016-2017

konstanta	altimetri	amp (m)	salah amp (m)
	<i>tide gauge</i>		
K1	altimetri	0.0129	0.015
	<i>tide gauge</i>	0.1501	0.002
M2	altimetri	0.0082	0.013
	<i>tide gauge</i>	0.313	0.006
O1	altimetri	0.012	0.016
	<i>tide gauge</i>	0.0936	0.001
P1	altimetri	0.0486	0.096
	<i>tide gauge</i>	0.0458	0.001
S2	altimetri	0.0066	0.012
	<i>tide gauge</i>	0.1241	0.005
N2	altimetri	0.0178	0.015
	<i>tide gauge</i>	0.0695	0.005

Tabel 11. Tipe pasut di Krui

tahun	stasiun pasut pass	bilangan formzahl	tipe pasut
2016- 2017	krui	0.557	cam. ganda
	pass 153	1.068	cam. ganda

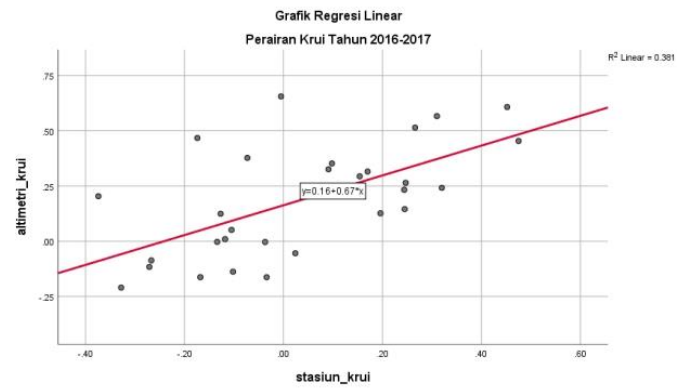


Gambar 5 Grafik di Krui tahun 2016-2017

Amplitudo terbesar pada konstanta P1 0.0486 m dan terendah pada S2 0.006. Kesalahan amplitudo terbesar pada P1 dengan nilai 0.096 m dipengaruhi periode alias yang cukup besar. Tipe pasang surut di Krui adalah campuran ganda sama hasil altimetri dan *tide gauge* dipengaruhi oleh jarak pass dan stasiun yang cukup dekat, 25 km. Secara visual, elevasi muka laut bertampalan akan memberikan efek korelasi yang kuat, ditunjukkan pada tabel dan gambar x.

Tabel 12. Korelasi di Krui tahun 2016-2017

		stasiun krui	pass 153
stasiun krui	<i>Pearson Correlation</i>	1	0.618
	N	32	32
pass 153	<i>Pearson Correlation</i>	0.618	1
	N	30	30



Gambar 6. Grafik korelasi di Krui

KESIMPULAN

Adapun kesimpulan yang didapatkan dari penelitian ini, yaitu

1. Satelit altimetri OSTM/Jason 2 dengan jenis *Geophysical Data Record repeat-orbit mission* dapat dilakukan analisis harmonik untuk mendapatkan konstanta pasut utama (K_1 , O_1 , P_1 , N_2 , M_2 , dan S_2) dengan penyesuaian waktu pengamatan sebesar 237.975 jam atau 9.9156 hari
2. Elevasi muka laut hasil altimetri dan tide gauge berkesesuaian dengan menyamakan *time reference* altimetri dan *tide gauge*
3. Tipe pasang surut di Seblat dan Krui adalah campuran ganda. Tipe pasang surut dari kedua daerah ini relatif sama karena jarak yang relatif dekat sejauh 337.74 kilometer
4. Besar koefisien korelasi data satelit altimetri dan data Stasiun Pasut Seblat dan Krui menunjukkan hubungan yang kuat. Koefisien korelasi di Perairan Seblat sebesar 0.748, sedangkan Perairan Krui sebesar 0.618

DAFTAR PUSTAKA

- [1] W. Atmodjo, "Analisis Pasang Surut di Pantai Karti Jepara dengan Metode Kuadrat Terkecil," Universitas Diponegoro, Semarang, 2000.
- [2] I. Yuliastuty, K. Sambodho and Suntoyo, "Analisis Pasang Surut di Perairan Jawa Timur dengan Menggunakan Metode Fourier Transform," *Jurusan Teknik Kelautan Fakultas Teknologi Kelautan Institut Teknologi Sepuluh Nopember*, pp. 1-15, 2011.
- [3] O. Ongkosongo and Suyarso, Pasang Surut, Jakarta: Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia, 1989.
- [4] G. Seeber, Satellite Geodesy: 2nd completely revised and extended edition, Berlin: Walter de Gruyter, 2003.
- [5] AVISO, OSTM/Jason-2 Products Handbook, CNES, EUMETSAT, NOAA, 2015.
- [6] G. Chen and H. Lui, "The Effect of Temporal Aliasing in Satellite Altimetry," *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* , vol. 66, no. 5, pp. 639-644, 2000.
- [7] M. M. D. K. Ali and S. Hadi, Pasang Surut Laut, Bandung: Institut Teknologi Bandung, 1994.
- [8] R. Pawlowicz,, B. Beardsley and L. S, " Classical Tidal Harmonic Analysis Including Error Estimates in Matlab Using `t_tide`," *Computer and Geosciences*, pp. 929-937, 2002.
- [9] Sudjana, Metode Statistika, Bandung: Trasito, 2002.
- [10] L. Hakim, Analisis Hubungan Perubahan Muka Air Laut dan Perubahan Volume Es di Kutub Selatan dengan Menggunakan Satelit Altimetri (Studi Kasus: Laut Selatan Pulau Jawa Tahun 2011-2014), Surabaya: Tugas Akhir Jurusan Teknik Geomatika Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan-ITS Surabaya, 2016.