

PEMILIHAN RENTANG WAKTU YANG OPTIMUM PENGAMATAN PASANG SURUT SUNGAI

Achmad Ruchlihadiana Tisnasendjaja ⁽¹⁾, Edy Martoyo ⁽²⁾, Mirza Wardana ⁽³⁾

⁽¹⁾ Program Studi Teknik Geodesi Universitas Winaya Mukti, achmadrt87@gmail.com

⁽²⁾ Program Studi Teknik Geodesi Universitas Winaya Mukti

⁽³⁾ Sekolah Menengah Kejuruan Negeri 5, Banjarmasin

ABSTRAK

Pasang surut (pasut) adalah pergerakan naik turunnya permukaan air secara berkala yang diakibatkan oleh kombinasi gaya gravitasi dan gaya tarik menarik dari benda-benda astronomi oleh bumi, bulan dan matahari. Dalam analisis harmonik pasut, penentuan komponen pasut dapat dilakukan dengan metode kuadrat terkecil (*Least Square*). Analisis harmonik pasut dilakukan untuk menghitung data amplitudo (C_q) dan perbedaan fase (ϕ°). Data yang digunakan adalah pengamatan pasut Sungai Martapura selama 60 hari pada dua lokasi pengamatan, dengan membagi data menjadi 15, 30, 45 dan 60 hari. Tujuan dari penelitian ini adalah mendapatkan hasil optimum dengan referensi nilai variansi terkecil/minimum dari masing-masing kelompok data tersebut. Kelompok data yang memiliki nilai standar deviasi terkecil dianggap sebagai data dengan rentang waktu pengamatan yang optimal. Penelitian ini dilakukan pada 2 (dua) yaitu, lokasi pertama yang berjarak kurang lebih 400 (empat ratus) meter dari arah barat muara Sungai Martapura mempunyai nilai standar deviasi terkecil yaitu 0.085 m dengan rentang waktu pengamatan optimal selama 15 hari. Dan lokasi kedua yang berjarak kurang lebih 6 (enam) kilometer ke arah timur dari lokasi pengamatan pertama mempunyai nilai standar deviasi terkecil yaitu 0.153 m dengan rentang waktu pengamatan optimal selama 60 hari

Kata kunci : Pasut, metode *Least Square*, Standar Deviasi

ABSTRACT

Tides (tide) is the movement of the rise and fall of the water level periodically caused by a combination of gravity and the gravitational pull of astronomical objects by the earth, moon and sun. In the tidal harmonic analysis, determination of the tidal components can be done with the least square method. The tidal harmonic analysis to be done for calculate the data amplitude (C_q) and the phase difference (ϕ°) using least square method. The data is the observation of the tidal river Martapura 60 days at two observation sites, by dividing the data into 15, 30, 45 and 60 days. The purpose of this research is to get the optimum results with the smallest variance reference value / minimum of each data group. The data group that has the smallest standard deviation value is considered as the data with optimal observation time span. The first location is approximately 400 (four hundred) meters from the west side of the river estuary Martapura has the smallest standard deviation value is 0.085 m with optimal observation time span during 15 days. And a second location within approximately 6 (six) kilometers to the east of the location of the first observations have the smallest standard deviation value is 0.153 m with optimal observation time span during 60 days.

Keywords : Tides, Least Square method, Standard Deviation

PENDAHULUAN

Pasang surut adalah pergerakan naik turunnya permukaan air secara berkala yang diakibatkan oleh kombinasi gaya gravitasi dan gaya tarik menarik dari benda-benda astronomi oleh bumi, bulan dan matahari (Dronkers, 1964). Keadaan dinamika permukaan air yang selalu berubah-ubah secara periodik dapat dijadikan penentuan tinggi titik nol (datum) dengan cara merata-ratakan data tinggi permukaan air yang diamati dalam rentang waktu tertentu. Pengambilan data dinamika perubahan permukaan air tersebut dikenal dengan istilah pengamatan pasut atau pengamatan pasang surut.

Rentang waktu pengamatan pasang surut yang lazim dilakukan untuk keperluan praktis menurut Poerbondono & Eka Djunasjah (2005) adalah 15 atau 29 piantan (1 piantan = 25 jam) atau 15 hari pengamatan dan 30 hari pengamatan dengan interval waktu perekaman data adalah 15, 30, dan 60 menit. Kegiatan pengamatan pasang surut pada masa sekarang dapat dilakukan dengan mudah, ditunjang dengan teknologi modern, dimana aktivitas perekaman interval data dapat menggunakan sebuah alat perekam fluktuasi muka air secara otomatis dan digital, yang dikenal dengan istilah *Digital Automatic Tide Gauge*. Ditinjau dari segi teknis perekaman datanya, beberapa faktor kondisi cuaca alam dan karakteristik lokasi pengamatan seperti badai, angin kencang yang mengakibatkan gelombang besar, arus lalu lintas transportasi air dan faktor kesalahan alat (*instrument error*) tidak menutup kemungkinan dapat mempengaruhi kuantitas data yang diperoleh, sehingga diperlukan analisis koreksi penyimpangan data (standar deviasi) terhadap rentang waktu pengamatan.

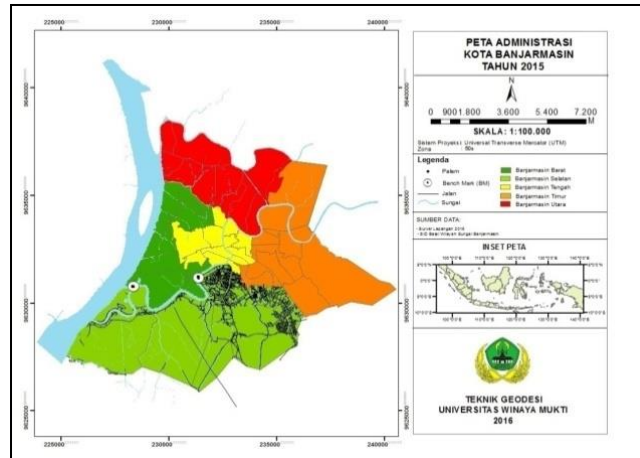
Analisis harmonik pasut dapat dilakukan dengan beberapa metode, salah satunya adalah menggunakan metode kuadrat terkecil (*Least Square*) yang merupakan metode analisis harmonik untuk mendapatkan solusi dari persamaan elevasi pasang surut. Tujuan penelitian dari penelitian ini adalah memperoleh tipe dan prediksi pasang surut pada lokasi penelitian; memperoleh rentang waktu pengamatan yang optimal dari perbandingan beberapa rentang waktu pengamatan pasang surut selama 15, 30, 45, 60 hari

METODOLOGI PENELITIAN

Dalam penelitian ini, data terdiri dari 60 hari pengamatan pasang surut yang diperoleh dari hasil pengamatan menggunakan alat *digital tide gauge* dari dua lokasi pengamatan pada Sungai Martapura. Data tersebut dibagi menjadi 4 kategori kelompok data dengan rentang waktu pengamatan 15 hari, 30 hari, 45 hari dan 60 hari. Metode *Least Square* digunakan untuk menghitung komponen-komponen harmonik pasut. Dengan tujuan menentukan standar deviasi masing-masing kelompok data tersebut.

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data pasang surut yang diamati selama 60 (enam puluh) hari di 2 (dua) lokasi pada Sungai Martapura. Sumber data yang diperoleh peneliti secara tidak langsung melalui perantara atau disebut data sekunder. Data sekunder pada umumnya berupa bukti, catatan, atau laporan historis yang telah tersusun dalam arsip, baik yang dipublikasikan dan yang tidak dipublikasikan. Manfaat dari data sekunder adalah lebih meminimalkan biaya dan waktu, mengklasifikasikan permasalahan, menciptakan tolak ukur untuk mengevaluasi data primer, dan memenuhi kesenjangan informasi.

Lokasi pertama stasiun pengamatan pasut berada di Sungai Martapura - Desa Mantuil kecamatan Banjarmasin barat atau sekitar 400 meter dari arah barat Sungai Barito. Dimana lokasi pengamatan ini dekat dengan muara sungai besar, yakni sungai Barito yang merupakan sungai terbesar di Kalimantan Selatan. Dan lokasi kedua berjarak kurang lebih 6 (enam) kilometer ke arah timur dari lokasi pertama.



Gambar 1. Lokasi Penelitian

Metode *least square* dilakukan dengan mengabaikan faktor meteorologis, melalui persamaan :

$$x(t_n) = \bar{x} + \sum_{q=1}^M C_q \cos(2\pi f_q t_n - \phi_q) + x_r(t_n) \dots \dots \dots (1)$$

$\bar{x}$ merupakan nilai rata-rata data pengamatan, x_r adalah bagian residual dari data *time series* (mengandung bagian selain harmonik), $tn = n\Delta t$, C_q merupakan besaran amplitudo, f_q frekuensi, dan ϕ_q adalah fase dari konstanta pasut ke- q . Tujuan utama dalam melakukan analisis kuadrat terkecil adalah untuk meminimalkan nilai residual dari $x_r(t_n)$ data *time series* altimetri. Penyelesaian secara *least square* memerlukan linierisasi dari persamaan (1) tersebut. Karena nilai $\cos(a-b) = \cos(a)\cos(b) + \sin(a)\sin(b)$, maka:

$$x(t_n) = \bar{x} + \sum_{q=1}^M C_q (\cos(2\pi f_q t_n) \cos(\phi_q) + \sin(2\pi f_q t_n) \sin(\phi_q)) \dots \dots \dots (2)$$

$$x(t_n) = \bar{x} + \sum_{q=1}^M C_q \cos(2\pi f_q t_n) \cos(\phi_q) + \sum_{q=1}^M C_q \sin(2\pi f_q t_n) \sin(\phi_q) \dots \dots \dots (3)$$

Dengan $A_q = C_q \cos(\phi_q)$ dan $B_q = C_q \sin(\phi_q)$, maka persamaannya menjadi :

$$x(t_n) = \bar{x} + \sum_{q=1}^M A_q \cos(2\pi f_q t_n) + \sum_{q=1}^M B_q \sin(2\pi f_q t_n) \dots \dots \dots (4)$$

Karena persamaan (4) telah berbentuk linier, maka perhitungannya dapat dilakukan dalam bentuk matriks. F ($n \times 1$) merupakan vektor yang dihasilkan dari data pengamatan muka laut, A ($n \times u$) merupakan matriks desain dan X ($u \times 1$) merupakan vektor parameter dimana n adalah jumlah pengamatan sedangkan u adalah jumlah parameter.

$$F = \begin{bmatrix} x(t_1) \\ x(t_2) \\ \vdots \\ x(t_n) \end{bmatrix} \dots\dots\dots(5)$$

$$A = \begin{bmatrix} 1 \cos(2\pi f_1 t_1) & \cdots & \cos(2\pi f_M t_1) \sin(2\pi f_1 t_1) & \cdots & \sin(2\pi f_M t_1) \\ 1 \cos(2\pi f_1 t_2) & \cdots & \cos(2\pi f_M t_2) \sin(2\pi f_1 t_2) & \cdots & \sin(2\pi f_M t_2) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 \cos(2\pi f_1 t_n) & \cdots & \cos(2\pi f_M t_n) \sin(2\pi f_1 t_n) & \cdots & \sin(2\pi f_M t_n) \end{bmatrix} \dots\dots\dots(6)$$

$$X = \begin{bmatrix} \bar{x} \\ A_1 \\ A_2 \\ \vdots \\ A_M \\ B_1 \\ B_1 \\ \vdots \\ B_M \end{bmatrix} \dots\dots\dots(7)$$

Parameter yang ditentukan berisi parameter X , A_q dan B_q , yang dapat dihitung dengan persamaan berikut:
 $X = (A^T A)^{-1} A^T F \dots\dots\dots(8)$

Parameter A_q dan B_q pada matriks parameter tersebut digunakan untuk menghitung amplitudo dan beda fase dari komponen-komponen pasut yang dicari dengan persamaan (9) berikut :

$$A_q = C_q \cos(\phi_q) \text{ dan } B_q = C_q \sin(\phi_q) \dots\dots\dots(9)$$

$$A_q^2 + B_q^2 = C_q^2 \cos^2(\phi_q) + C_q^2 \sin^2(\phi_q) \dots\dots\dots(10)$$

$$A_q^2 + B_q^2 = C_q^2 (\cos^2(\phi_q) + \sin^2(\phi_q)), \text{ dengan :} \\ \cos^2(\phi_q) + \sin^2(\phi_q) = 1 \dots\dots\dots(11)$$

$$A_q^2 + B_q^2 = C_q^2 \rightarrow C_q = (A_q^2 + B_q^2)^{1/2} \dots\dots\dots(12)$$

$$C_q = \sqrt{A_q^2 + B_q^2} \rightarrow \text{Komponen Amplitudo} \dots\dots\dots(13)$$

$$\frac{B_q}{A_q} = \frac{C_q \sin(\phi_q)}{C_q \cos(\phi_q)} \rightarrow \frac{B_q}{A_q} = \tan(\phi_q) \dots\dots\dots(14)$$

$$\phi_q = \tan^{-1} \left(\frac{B_q}{A_q} \right) \rightarrow \text{Komponen keterlambatan Phase} \dots\dots\dots(15)$$

Dalam membuat matrik desain A , dimana $2\pi f$ merupakan kecepatan sudut (f) dalam satuan radian, yang diperoleh dari periode (waktu) komponen astronomi yang digunakan.

Tabel 1. Komponen 9 astronomi yang digunakan

No	Simbol	Periode (jam)	Kecepatan Sudut (f)	
			(der/jam)	(rad/jam)
1	M2	12.4206	28.9841	0.505868
2	S2	12.0000	30.0000	0.523599
3	N2	12.6582	28.4401	0.496373
4	K2	11.9673	30.0819	0.525029
5	K1	23.9346	15.0409	0.262515
6	O1	25.8194	13.943	0.243351
7	P1	24.0658	14.9589	0.261084
8	M4	6.2103	57.9682	1.011736
9	MS4	6.1033	58.9845	1.029473

Koreksi data ukuran terhadap nilai elevasi pasut yang terkoreksi $x(t_n)$ dapat ditentukan melalui persamaan matrik berikut

$$V = AX - F \dots \dots \dots (16)$$

Dengan :

$X = (A^T A)^{-1} A^T F$, data hasil perhitungan matrik X

A = matrik desain

F = matrik kolom dari data ukuran pengamatan pasut

Standar Deviasi berguna untuk mengetahui simpangan kesalahan pengukuran, sehingga dari sederet pengukuran akan diketahui variansi kesalahannya. Dimana nilai yang terkecil atau minimum merupakan nilai yang dianggap optimal atau pengukuran dianggap baik. Untuk menghitung standar deviasi menggunakan persamaan berikut.

$$\sigma = \sqrt{\frac{V^T V}{r}} \dots \dots \dots (17)$$

Keterangan :

σ = standar deviasi

$V^T V$ = variansi kofariansi

r = residu, $r = n - u$

dengan n adalah jumlah data pengamatan dan u adalah jumlah parameter.

Matriks $V^T V$ ditentukan menggunakan perkalian matrik, dimana matrik V merupakan nilai koreksi yang telah diketahui pada proses perhitungan sebelumnya. Vektor koreksi V ($n \times 1$) ditentukan dengan prinsip kuadrat terkecil, yaitu $V^T V$ minimum.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis harmonik menggunakan metode *least square* untuk data rentang waktu pengamatan 15 hari, 30 hari, 45 hari, dan 60 hari menghasilkan masing-masing 19 parameter sebagai berikut.

Tabel 2. 19 Parameter dari data pengamatan lokasi 1

Data Matrik X (15 hari pengamatan)				Data Matrik X 30 (hari pengamatan)				Data Matrik X (45 hari pengamatan)				Data Matrik X (60 hari pengamatan)			
No	Parameter	Komponen	Nilai	No	Parameter	Komponen	Nilai	No	Parameter	Komponen	Nilai	No	Parameter	Komponen	Nilai
1	Z0		2.6488	1	Z0		2.6298	1	Z0		2.6374	1	Z0		2.6339
2	A1	M2	0.1831	2	A1	M2	0.1633	2	A1	M2	0.1886	2	A1	M2	0.1953
3	A2	S2	-0.0415	3	A2	S2	-0.0344	3	A2	S2	-0.0551	3	A2	S2	-0.0512
4	A3	N2	0.0591	4	A3	N2	0.0842	4	A3	N2	0.0786	4	A3	N2	0.0825
5	A4	K2	0.0306	5	A4	K2	-0.0146	5	A4	K2	0.0038	5	A4	K2	0.0195
6	A5	K1	-0.5679	6	A5	K1	-0.0593	6	A5	K1	-0.1049	6	A5	K1	-0.0398
7	A6	O1	-0.2152	7	A6	O1	-0.2116	7	A6	O1	-0.2185	7	A6	O1	-0.2138
8	A7	P1	0.2986	8	A7	P1	-0.2031	8	A7	P1	-0.2177	8	A7	P1	-0.2532
9	A8	M4	-0.0292	9	A8	M4	-0.0300	9	A8	M4	-0.0278	9	A8	M4	-0.0302
10	A9	MS4	-0.0136	10	A9	MS4	-0.0180	10	A9	MS4	-0.0126	10	A9	MS4	-0.0108
11	B1	M2	-0.2684	11	B1	M2	-0.2589	11	B1	M2	-0.2460	11	B1	M2	-0.2260
12	B2	S2	0.1162	12	B2	S2	0.0115	12	B2	S2	0.0180	12	B2	S2	0.0458
13	B3	N2	-0.0234	13	B3	N2	-0.0423	13	B3	N2	-0.0556	13	B3	N2	-0.0414
14	B4	K2	-0.0629	14	B4	K2	0.0274	14	B4	K2	0.0286	14	B4	K2	-0.0003
15	B5	K1	-0.4943	15	B5	K1	-0.3903	15	B5	K1	-0.2420	15	B5	K1	-0.2718
16	B6	O1	0.0932	16	B6	O1	0.1303	16	B6	O1	0.1282	16	B6	O1	0.1527
17	B7	P1	0.0552	17	B7	P1	0.0833	17	B7	P1	-0.0739	17	B7	P1	-0.0128
18	B8	M4	0.0116	18	B8	M4	0.0122	18	B8	M4	0.0060	18	B8	M4	0.0031
19	B9	MS4	-0.0105	19	B9	MS4	-0.0025	19	B9	MS4	-0.0045	19	B9	MS4	-0.0040

Hasil perhitungan matrik x yang menghasilkan 19 parameter tersebut merupakan komponen untuk menentukan amplitudo (C_q) (Persamaan 13) dan fase (ϕ_q) (persamaan 15) masing-masing komponen astronomi, selanjutnya dari amplitudo dan fase tersebut dapat menentukan prediksi pasut dan tipe pasut.

Tabel 3. Kalkulasi amplitudo dan fase (Ulum, Z. 2016)

No	Simbol	Parameter			amplit (der/jam)	phase (der/jam)	phase (rad/jam)
		Z0	A	B			
0	Z0	2.65					
1	M2		0.18	-0.27	0.32	304.3	5.311
2	S2		-0.04	0.11	0.12	109.6	1.913
3	N2		0.06	-0.02	0.06	338.4	5.906
4	K2		0.03	-0.06	0.07	295.9	5.165
5	K1		-0.57	-0.50	0.75	221.0	3.858
6	O1		-0.21	0.09	0.23	156.6	2.733
7	P1		0.30	0.05	0.30	10.5	0.183
8	M4		-0.03	0.01	0.03	158.4	2.765
9	MS4		-0.01	-0.01	0.02	217.7	3.800

Prediksi Pasut

Untuk menentukan nilai prediksi pasut yang meliputi HHWL (*Higher High Water Level*), MHWL (*Mean High Water Level*), MSL (*Mean Sea Level*), MLWL (*Mean Low Water Level*), CDL (*Chart Datum Level*), LLWL (*Lower Low Water Level*), LAT (*Lowest Astronomical Tide*), ditentukan berdasarkan nilai kalkulasi amplitudo dari beberapa komponen astronomi.

Tabel 4 Komponen prediksi pasut

Deskripsi	Simbol	Komponen
Higher High Water Level	HHWL	$Z_0 + (M2+S2+K2+K1+O1+P1)$
Mean High Water Level	MHWL	$Z_0 + (M2+K1+O1)$
Mean Sea Level	MSL	Z_0
Mean Low Water Level	MLWL	$Z_0 - (M2+K1+O1)$
Chart Datum Level	CDL	$Z_0 - (M2+S2+K1+O1)$
Lower Low Water Level	LLWL	$Z_0 - (M2+S2+K2+K1+O1+P1)$
Lowest Astronomical Tide	LAT	$Z_0 - (\text{all constituents})$

Pada tabel 4 di atas Z_0 merupakan muka air rata-rata (msl), M2, S2, K2, K1, O1, P1 atau *all constituents* merupakan nilai amplitudo dari masing-masing komponen

Tabel 5 Contoh hasil perhitungan prediksi pasut 15 dan 30 hari (Lokasi 1)

Prediksi Pasut Lokasi 1 (data pengamatan 15 hari)

Deskripsi	Simbol	Kombinasi Komponen	Hasil Kalkulasi
Higher High Water Level	HHWL	$Z_0 + (M2 + S2 + K2 + K1 + O1 + P1)$	4.458
Mean High Water Level	MHWL	$Z_0 + (M2 + K1 + O1)$	3.961
Mean Sea Level	MSL	Z_0	2.649
Mean Low Water Level	MLWL	$Z_0 - (M2 + K1 + O1)$	1.336
Chart Datum Level	CDL	$Z_0 - (M2 + S2 + K1 + O1)$	1.213
Lower Low Water Level	LLWL	$Z_0 - (M2 + S2 + K2 + K1 + O1 + P1)$	0.839
Lowest Astronomical Tide	LAT	$Z_0 - (\text{all constituents})$	0.727

Prediksi Pasut Lokasi 1 (data pengamatan 30 hari)

Deskripsi	Simbol	Kombinasi Komponen	Hasil Kalkulasi
Higher High Water Level	HHWL	$Z_0 + (M2 + S2 + K2 + K1 + O1 + P1)$	3.866
Mean High Water Level	MHWL	$Z_0 + (M2 + K1 + O1)$	3.579
Mean Sea Level	MSL	Z_0	2.630
Mean Low Water Level	MLWL	$Z_0 - (M2 + K1 + O1)$	1.680
Chart Datum Level	CDL	$Z_0 - (M2 + S2 + K1 + O1)$	1.644
Lower Low Water Level	LLWL	$Z_0 - (M2 + S2 + K2 + K1 + O1 + P1)$	1.394
Lowest Astronomical Tide	LAT	$Z_0 - (\text{all constituents})$	1.249

Tabel 6 Contoh hasil perhitungan prediksi pasut 15 dan 30 hari (Lokasi 2)

Prediksi Pasut Lokasi 2 (data pengamatan 15 hari)

Deskripsi	Simbol	Kombinasi Komponen	Hasil Kalkulasi
Higher High Water Level	HHWL	$Z_0 + (M2 + S2 + K2 + K1 + O1 + P1)$	5.950
Mean High Water Level	MHWL	$Z_0 + (M2 + K1 + O1)$	3.618
Mean Sea Level	MSL	Z_0	2.127
Mean Low Water Level	MLWL	$Z_0 - (M2 + K1 + O1)$	0.637
Chart Datum Level	CDL	$Z_0 - (M2 + S2 + K1 + O1)$	-0.126
Lower Low Water Level	LLWL	$Z_0 - (M2 + S2 + K2 + K1 + O1 + P1)$	-1.696
Lowest Astronomical Tide	LAT	$Z_0 - (\text{all constituents})$	-1.786

Prediksi Pasut Lokasi 2 (data pengamatan 30 hari)

Deskripsi	Simbol	Kombinasi Komponen	Hasil Kalkulasi
Higher High Water Level	HHWL	$Z_0 + (M2 + S2 + K2 + K1 + O1 + P1)$	3.605
Mean High Water Level	MHWL	$Z_0 + (M2 + K1 + O1)$	2.966
Mean Sea Level	MSL	Z_0	2.078
Mean Low Water Level	MLWL	$Z_0 - (M2 + K1 + O1)$	1.191
Chart Datum Level	CDL	$Z_0 - (M2 + S2 + K1 + O1)$	1.054
Lower Low Water Level	LLWL	$Z_0 - (M2 + S2 + K2 + K1 + O1 + P1)$	0.551
Lowest Astronomical Tide	LAT	$Z_0 - (\text{all constituents})$	0.436

Tipe Pasut

Komponen utama pasut seperti M2, S2, K1 dan O1 menentukan tipe pasut di suatu tempat. Adanya perbedaan bentuk tipe pasut di berbagai tempat kemudian dapat diklasifikasikan menggunakan nilai rasio F yang dirumuskan sebagai berikut :

$$F = \frac{A_{K1} + A_{O1}}{A_{M2} + A_{S2}} \dots\dots\dots (18)$$

dengan A adalah amplitudo komponen pasut.

Tabel 7 Klasifikasi tipe pasut (Wyrski, 1961)

	Pasang semi diurnal murni	Pasang campuran berganda	Pasang campuran tunggal	Pasang tunggal murni
Nilai F	$0 < F < 0.25$	$0.25 < F < 1.5$	$1.5 < F < 3.00$	$F > 3.00$
Banyak pasang dalam sehari	Dua	Dua	Kadang satu kadang dua	Satu Bisa dua ketika deap tide
Tinggi pasang naik	Sama	Berbeda	Jika ada dua sangat berbeda	--
Interval waktu pasang naik dan transit bulan	Sama	Tidak sama	Sangat berbeda	
Tunggang pasut menengah pada saat pasang purnama	$2(M2+S2)$	$2(K1+O1)$	$2(K1+O1)$	$2(K1+O1)$

Tabel 8 Contoh Tipe pasut untuk lokasi 1

Nilai Formzhal (tipe pasut) data pengamatan 15 hari				
Komponen	K1	O1	M2	S2
Nilai	1.151	0.187	0.153	0.763
Formzhal	1.460			
Tipe Pasut	Mixed, predominantly semi-diurnal tide			

Nilai Formzhal (tipe pasut) data pengamatan 30 hari				
Komponen	K1	O1	M2	S2
Nilai	0.412	0.232	0.244	0.138
Formzhal	1.687			
Tipe Pasut	Mixed, predominantly diurnal tide			

Tabel 9 Contoh Tipe pasut untuk lokasi 2

Nilai Formzhal (tipe pasut) data pengamatan 15 hari				
Komponen	K1	O1	M2	S2
Nilai	0.753	0.234	0.325	0.123
Formzhal	2.203			
Tipe Pasut	Mixed, predominantly diurnal tide			

Nilai Formzhal (tipe pasut) data pengamatan 30 hari				
Komponen	K1	O1	M2	S2
Nilai	0.395	0.248	0.306	0.036
Formzhal	1.879			
Tipe Pasut	Mixed, predominantly diurnal tide			

Standar deviasi pengukuran merupakan bagian dari tujuan dalam penelitian ini, masing-masing kelompok data pasut akan ditentukan nilai dari penyimpangan atau deviasinya. Jika nilai terkecil yang diperoleh dari perhitungan masing-masing data, maka kelompok data tersebut dianggap data yang paling optimal dari beberapa kelompok data. Komponen untuk menghitung standar deviasi pengukuran ini berdasarkan waktu atau lama pengamatan, jumlah data pengamatan (n), jumlah parameter (u) dan residu (r), dengan $r = n - u$. (persamaan 17)

Tabel 10 Standar deviasi masing-masing rentang waktu pengamatan lokasi 1

Nilai Standar Deviasi untuk data pengamatan 15 hari (Lokasi 1)					
Komponen	$\sum V^2$	n	u	r	hasil
Nilai	2.464	360	19	341	0.085

Nilai Standar Deviasi untuk data pengamatan 30 hari (Lokasi 1)					
Komponen	$\sum V^2$	n	u	r	hasil
Nilai	13.434	720	19	701	0.138

Nilai Standar Deviasi untuk data pengamatan 45 hari (Lokasi 1)					
Komponen	$\sum V^2$	n	u	r	hasil
Nilai	20.195	1080	19	1061	0.138

Nilai Standar Deviasi untuk data pengamatan 60 hari (Lokasi 1)					
Komponen	$\sum V^2$	n	u	r	hasil
Nilai	31.297	1440	19	1421	0.148

Tabel 11 Standar deviasi masing-masing rentang waktu pengamatan (lokasi 2)

Nilai Standar Deviasi untuk data pengamatan 15 hari (Lokasi 2)					
Komponen	$\sum V^2$	n	u	r	hasil
Nilai	9.306	360	19	341	0.165

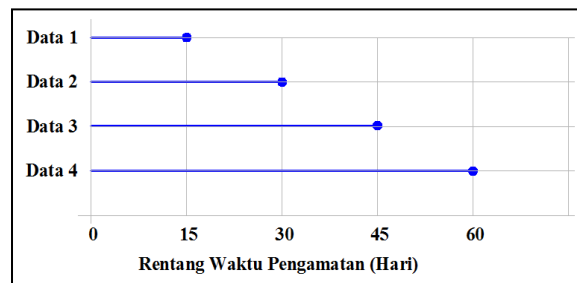
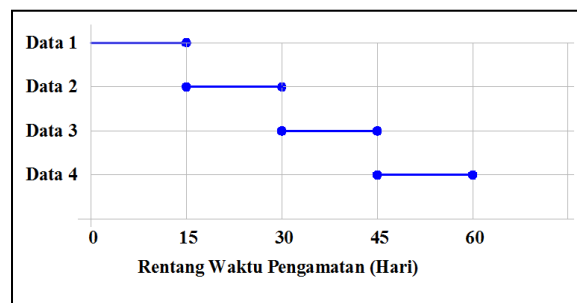
Nilai Standar Deviasi untuk data pengamatan 30 hari (Lokasi 2)					
Komponen	$\sum V^2$	n	u	r	hasil
Nilai	17.316	720	19	701	0.157

Nilai Standar Deviasi untuk data pengamatan 45 hari (Lokasi 2)					
Komponen	$\sum V^2$	n	u	r	hasil
Nilai	27.643	1080	19	1061	0.161

Nilai Standar Deviasi untuk data pengamatan 60 hari (Lokasi 2)					
Komponen	$\sum V^2$	n	u	r	hasil
Nilai	33.380	1440	19	1421	0.153

ANALISIS DATA

Pada tahap ini data pengamatan rentang waktu 60 hari dibagi menjadi 4 kelompok data, dengan rentang waktu pengamatan antar kelompok data adalah 15 hari pengamatan

**Gambar 2 Grafik data pengamatan yang digunakan****Gambar 3 Grafik data perbandingan pengamatan pasut per 15 hari**

Gambar 3 di atas menunjukkan data yang digunakan dengan rentang waktu pengamatan masing-masing data adalah 15 hari. terhitung dari kelompok data 1 sampai dengan 15 hari; kelompok data kedua yaitu dari hari ke 16 sampai dengan 30 hari; kelompok data ketiga dari hari ke 31 sampai ke 45; dan terakhir data keempat; yakni dari hari ke 46 sampai ke 50.

Berikut hasil perbandingan standar deviasi masing-masing data per 15 hari untuk dua lokasi pengamatan.

Tabel 12 Standar deviasi per 15 hari (lokasi 1)

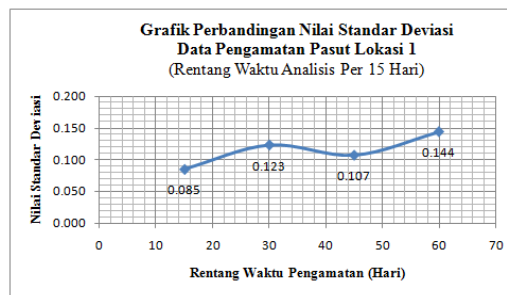
Komponen	$\sum V^2$	n	u	r	hasil
Nilai	2.464	360	19	341	0.085

Komponen	$\sum V^2$	n	u	r	hasil
Nilai	5.148	360	19	341	0.123

Komponen	$\sum V^2$	n	u	r	hasil
Nilai	3.905	360	19	341	0.107

Komponen	$\sum V^2$	n	u	r	hasil
Nilai	7.027	360	19	341	0.144

Standar deviasi untuk data per 15 hari pada lokasi 1 dapat dilihat pada gambar berikut.

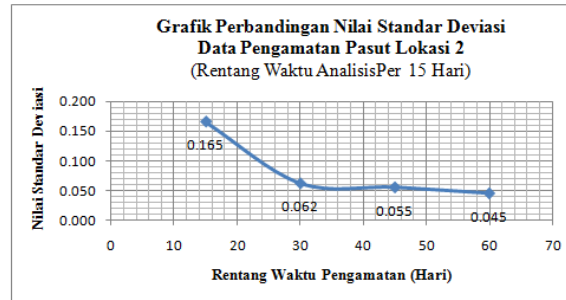
**Gambar 4 Grafik perbandingan standar deviasi per 15 hari pada lokasi 1****Tabel 13 Standar deviasi per 15 hari (lokasi 2)**

Komponen	$\sum V^2$	n	u	r	hasil
Nilai	9.306	360	19	341	0.165

Komponen	$\sum V^2$	n	u	r	hasil
Nilai	2.679	720	19	701	0.062

Komponen	$\sum V^2$	n	u	r	hasil
Nilai	3.236	1080	19	1061	0.055

Komponen	$\sum V^2$	n	u	r	hasil
Nilai	2.890	1440	19	1421	0.045



Gambar 5 Grafik perbandingan standar deviasi per 15 hari pada lokasi 2

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan uraian-uraian yang dijelaskan sebelumnya dapat ditarik kesimpulan bahwa kegiatan pengamatan pasut pada dua lokasi di Sungai Martapura tersebut, rentang waktu yang optimal dari hasil perhitungan standar deviasi dengan beberapa rentang waktu pengamatan adalah selama 15 hari untuk lokasi 1 dan 60 hari pengamatan untuk lokasi 2.

Perbedaan hasil yang signifikan dari grafik data beberapa rentang waktu pengamatan ada pada 15 hari pertama pengamatan pasut. Kemungkinan besar hal ini dipengaruhi oleh kuantitas data ukuran. Karena dari perbandingan data menunjukkan rentang waktu pengamatan 15 hari pertama sangat berbeda jauh dari data ukuran dengan rentang waktu pengamatan 15 hari kedua (16 sampai 30 hari); 15 hari ketiga (31 sampai 40 hari) dan keempat (41 sampai dengan 60 hari) yang memiliki nilai standar deviasi relatif sama. Tipe pasut yang diperoleh pada 2 (dua) lokasi dari penelitian ini adalah *Mixed predominantly diurnal tide* atau pasang campuran tunggal dengan nilai rata-rata *formzahl* yang diperoleh pada lokasi 1 dari rentang waktu pengamatan 15, 30, 45 dan 60 hari adalah 1.74 dan pada lokasi 2 adalah 1.76. Adapun nilai *mean sea level (msl)* yang diperoleh pada lokasi 1 adalah 2.6 m; dan lokasi 2 adalah 2.1 m.

SARAN

Sebaiknya dilakukan penelitian lebih lanjut untuk memperoleh parameter rentang waktu pengamatan pasang surut yang optimal, khususnya pada lokasi yang sama. Sangat diperlukan juga ketersediaan literatur dan pustaka ilmu yang sama untuk mengkaji penelitian seperti ini, sehingga akan lebih banyak referensi sebagai sumber orientasi dalam penelitian. Alangkah baiknya perlu dilakukan penelitian perbandingan untuk kategori karakteristik lokasi, mengingat dalam penelitian ini, lokasi kedua berada pada sungai Martapura yang terletak di pusat kota, dan lokasi pertama yang berada dekat dengan muara sungai yang terhubung langsung pada sungai besar (Sungai Barito), sehingga dirasa perlu untuk membuat sebuah perbandingan data dengan menambah lokasi pengamatan pada alur sungai Barito yang mungkin estimasi jarak stasiun pengamatan hampir sama dengan lokasi kedua yang berada di pusat kota (± 6 Km dari lokasi pertama).

Mengingat alat pengamatan pasut yang digunakan adalah jenis digital otomatis tide gauge, dimana pembacaan ukuran pasut dapat direkam secara periodik, otomatis dan digital, maka perlu diperhatikan hal-hal yang menyangkut standar operasional penggunaannya, penempatan posisi alat harus benar-benar memperhatikan karakteristik lokasi pengamatan, estimasi waktu perekaman data terhadap daya baterai yang digunakan benar-benar harus diperhitungkan agar tidak terjadi kekosongan data dalam rentang waktu tertentu, sehingga memperoleh kuantitas data yang baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Atmodjo, Warsito. 2000. *Analisis pasang surut di pantai Kartini Jepara dengan Metode Kwadrat Terkecil*. Paper. Surabaya : Universitas Diponegoro
- Dalpan, Endi. 2015. *Analisis Pasang Surut Di Dermaga Sungai Enam Kijang Kabupaten Bintan Provinsi Kepulauan Riau*. Paper. Kepulauan Riau : FKIP UMRAH
- Dishidros. 2016. *Daftar Pasang Surut*. Jakarta: Dinas Hidro-Oseanografi
- Djaja, Rochman. 1987. *Pengamatan Pasang Surut Laut Untuk Penentuan Datum Ketinggian. Asean-Australia Cooperative Programs On Marine Science Project I : Tides and Tidal Phenomena*. Jakarta : LIPI
- Dronkers, J. 1964. *Tidal Computations in Rivers and Coastal Waters*. Amsterdam North Holland Publishing Company
- Emery, W.J and Richard E.T. *Data Analysis Methods in Physical Oceanography (Third Edition)*. Netherlands : Elsevier
- Hidayat, F. 2008. *Prediksi Nilai Mean Sea Level (msl) Berdasarkan Pengamatan Pasut 15 Piantan*. Banjarmasin : Politeknik Negeri Banjarmasin
- Hydrographic Department. 1996. *Tides*. Japan Maritime Safety Agency. Japan: Japan International Cooperation Agency.
- Ingham, A. E. 1974. *Sea Surveying*. John Wiley and Son. Brent Wood.
- Kahar, Joenil. 2008. *Geodesi*. Bandung: Institut Teknologi Bandung (ITB)
- Khotip, M.T. 2015. *Karakteristik Pasang Surut di Perairan Kalianget Kabupaten Sumenep*. Paper. Madura : Universitas Trunojoyo Madura
- Kelompok Keahlian (KK) Survei Hidrografi. 1989. *Pendidikan Survei Hidrografi*. Bandung: Institut Teknologi Bandung
- Mulyanto, H.R., 2007. *Sungai Fungsi & Sifat Sifatnya*. Yogyakarta: Graha Ilmu
- Poerbandono. 2005. *Survey Hidrografi*. Bandung : Refika Aditama
- Ridhallah, Azmi. 2015. *Survey Pasut Sungai Martapura dan Sungai Kuin Kota Banjarmasin*. Tugas Akhir. Agustus 2015. Hal. 22 BAB II
- Samuel. 2012. *Penentuan Chart Datum Pada Sungai Yang Dipengaruhi Pasang Surut*. Tugas Akhir. Juli 2012. Hal. 11 BAB II
- Thomson, R.E. 1981. *Oceanography of the British Columbia Coast*. Kanada : Thorn Press Ltd.
- Triatmodjo, Bambang. 1999. *Teknik Pantai*. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada
- Ulum M., dan Khomsin. 2007. *Perbandingan Akurasi Prediksi Pasang Surut Antara Metode Admiralty dan Metode Least Square*. Paper. Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Wyrtki. 1961. *Physical Oceanography of the Southeast Asian Water*. Naga Report, Vol.2

Daftar Pustaka dari Situs Internet (web site):

- Mochamadha, 2008. *Koreksi Pasut Untuk Menuju Survey Batimetrik Real Time* : <http://digilib.itb.ac.id/files/disk1/622/jbptitbpp-gdl-mochamadha-31084-4-2008ta-3.pdf>. Diakses pada tanggal : September 2016
- Ulum, Z. *Cara Perhitungan harmonic pasut menggunakan metode least square* : <https://cadex.co/2009/12/18/xls-svy-01-prediksi-pasut-dengan-vba-excel/> diakses pada tanggal : 20 November 2015
- Purnomo, D. 2012. *Sungai berdasarkan sumber airnya*. <http://pinterdw.blogspot.co.id/2012/05/sungai-berdasarkan-sumber-airnya.html>. Diakses pada tanggal : September 2016