

# ANALISIS PASANG SURUT DI PANTAI DUMAI MENGGUNAKAN METODE *LEAST SQUARE* 15 PIANTAN

Muhammad Arif<sup>1)</sup>, Andy Hendri<sup>2)</sup>, Imam Suprayogi<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau

<sup>2)</sup>Dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau

Kampus Bina Widya Jl. HR Soebrantas KM 12,5 Pekanbaru, Kode 28293

Email : [arif.muhammad@student.unri.ac.id](mailto:arif.muhammad@student.unri.ac.id)

## ABSTRACT

*Least square is a method of tidal harmonic analysis that ignores meteorological factors in analyzing and predicting tidal elevations. This study analyzes the accuracy of tidal elevation predictions based on the initial date of the simulation. The analysis used 15 days tidal data from Pelindo Port C, Dumai. Furthermore, the results of the study were compared with the results of the most recent study, namely predictions of tide admiralty 15 days in the same location. The results of this study indicate that the results of the 15 days least square method prediction are more accurate than the admiralty method. The RMSE value from the least square method calculation gives the smallest Root Mean Square (RMSE) value of 34,56 cm, while the admiralty method is 71,38 cm. The most appropriate time to take primary data in the field for the purposes of tidal predictions is at the beginning of the third week of each month in the hijri calendar or when the half moon phase.*

*Keywords : least square method, tidal prediction, RMSE*

## A. PENDAHULUAN

Provinsi Riau terletak pada daerah pesisir yang membentang sepanjang lereng Bukit Barisan hingga Selat Malaka. Provinsi Riau merupakan negeri bahari di perairan Selat Malaka dan Laut Cina Selatan yang memiliki potensi besar dalam bidang kemaritiman. Potensi tersebut seperti sumber daya perikanan maupun kegiatan ekspor dan impor. Wilayah pesisir ini dapat dikembangkan melalui pengembangan potensi perikanan dan pendukungnya. Hal tersebut dapat terwujud jika ada acuan data pendukung mengenai parameter oseanografi. Salah satu parameter oseanografi yang memegang peranan penting adalah fenomena pasang surut (pasut) air laut (Adibrata, 2007).

Pasang surut laut adalah fenomena alam yang dipengaruhi oleh interaksi astronomi yaitu gaya gravitasi antara

matahari dan bulan yang bergerak mengitari bumi.

Pengamatan pasang surut di wilayah pantai perlu dilakukan sebagai data awal dalam perencanaan konstruksi fisik bangunan pantai seperti *jetty*, *breakwater*, *sea wall*, dermaga dan bangunan pantai lainnya. Informasi yang diperoleh dari pengamatan pasut adalah untuk mengetahui nilai elevasi prediksi muka air tertinggi (*Highest High Water Level, HHWL*), muka air tinggi rerata (*Mean High Water Level, MHWL*), elevasi air terendah (*Lowest Low Water Level, LLWL*) dan muka air rendah rerata (*Mean Low Water Level, MLWL*).

Penelitian terdahulu menggunakan berbagai macam metode dalam menganalisis data pasut. *Admiralty* dan *least square* merupakan dua metode yang umum digunakan untuk menganalisa dan memprediksi elevasi pasut laut. Kedua metode tersebut merupakan metode

harmonik, yaitu metode yang menguraikan gelombang pasang surut menjadi beberapa komponen harmonik dimana ketinggian muka air yang disebabkan oleh gelombang pasut merupakan hasil penjumlahan dari komponen-komponen gaya pembangkit pasang surut. Perbedaan pada komponen meteorologisnya, metode *admiralty* memperhitungkan nilai tersebut sedangkan metode *least square* mengabaikannya.

Denafiar, et al (2017) menyatakan bahwa penggunaan metode *least square* sering digunakan karena metode ini mampu mengolah berapapun banyaknya data elevasi pasut. Alasan pemilihan metode *least square* berupa (Rahmasari, 2012):

1. Metode *least square* merupakan suatu proses perataan yang paling ketat (*rigorous*).
2. Mudah diaplikasikan dibanding metode-metode lainnya.
3. Dapat digunakan untuk proses perencanaan (optimisasi) sebelum survei sesungguhnya.

Penelitian data pasang surut menggunakan metode *admiralty* telah dilakukan oleh Ahmad, et al (2017) yang berlokasi di Pantai Dumai menggunakan data pengamatan simulasi selama 15 piantan yang menghasilkan nilai *root mean square error (RMSE)* sebesar 72,10 cm. Sedangkan penelitian dengan metode *least square* dilakukan oleh Ulum & Khomsin (2015) di stasiun pasut Surabaya yang juga menggunakan data pasut 15 piantan memberikan nilai *RMSE* sebesar 12,36 cm.

Sesuai permasalahan terkait fenomena pasut yang terjadi, maka dilakukan penelitian di lokasi Perairan Dumai menggunakan metode *least square* 15 piantan. Perairan Dumai dipilih sebagai lokasi penelitian karena memiliki ketersediaan data pasut yang cukup panjang. Selain ketersediaan data, lokasi ini juga telah dijadikan sebagai tempat penelitian oleh Ahmad, et al. (2017) menggunakan metode *admiralty* yang

nantinya dijadikan sebagai pembanding dengan metode *least square*.

## B. TINJAUAN PUSTAKA

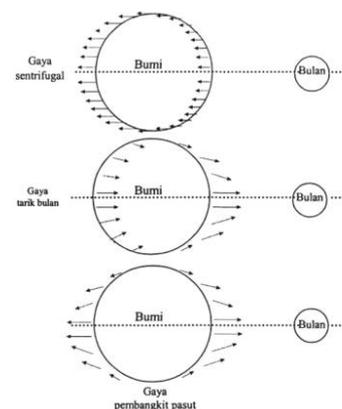
### B.1 Teori Pasang Surut

Teori tentang pasang surut terbagi menjadi dua kelompok, yaitu teori keseimbangan (*equilibrium theory*) dan teori pasang surut dinamis (*dynamical theory*). Teori kesetimbangan menerangkan sifat-sifat pasang surut secara kualitatif. Teori ini beranggapan bahwa dalam kondisi bumi ideal yang seluruh permukaannya ditutupi oleh air dan pengaruh permukaan laut sebanding dengan gaya pembangkit pasang surut.

Teori pasang surut dinamis muncul untuk melengkapi teori keseimbangan. Menurut teori ini gaya pembangkit pasut menghasilkan gelombang pasut (*tide wave*) yang periodenya sebanding dengan gaya pembangkit pasut.

### B.2 Mekanisme Pembentukan Pasut

Pembentukan pasut terjadi karena adanya gaya pembangkit dalam prosesnya. Gaya pembangkit pasut merupakan resultan gaya sentrifugal dan gaya tarik benda langit (bulan dan matahari). Gaya pembangkit pasut menghasilkan dua pasang laut di dua sisi bumi yang berbeda. Pasang yang dibangkitkan oleh gaya gravitasi bulan terletak di sisi bumi yang dekat dengan bulan, sedangkan di sisi bumi sebaliknya atau yang jauh dari bulan juga mengalami pasang yang dibangkitkan oleh gaya sentrifugal (Pratiwi & Heliani, 2014).



Gambar 1. Mekanisme Pembentukan Pasut  
Sumber : Azis, 2006

Gambar 1 merupakan proses terjadinya pasut di permukaan bumi. Gerakan periodik dari bulan, dan matahari terhadap bumi selalu berubah secara periodik yang mengakibatkan dampak terhadap pasut laut di bumi.

### B.3 Komponen Pasang Surut

Konstanta pasang surut merupakan uraian dari resultan gaya penggerak pasang surut. Komponen-komponen utama pasang surut terdiri dari komponen tengah harian dan harian. Namun demikian, karena interaksinya dengan morfologi pantai dan superposisi antar gelombang pasang surut komponen utama, maka terbentuklah komponen-komponen pasang surut yang baru. Komponen pasut ini dibagi sesuai tipe pasut yang terjadi. Komponen utama pasut dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Komponen Pasang Surut

Jenis	Simbol	Keterangan
Semi diurnal	$M_2$	Gravitasi bulan
	$S_2$	Gravitasi matahari
	$N_2$	Perubahan jarak bulan ke bumi
	$K_2$	Perubahan jarak matahari ke bumi
Diurnal	$K_1$	Deklinasi sistem bulan dan matahari
	$O_1$	Deklinasi bulan
	$P_1$	Deklinasi matahari
	$M_4$	Gravitasi bulan
Perairan Dangkal	$MS_4$	Deklinasi sistem bulan dan matahari

Sumber : Pugh, 1996

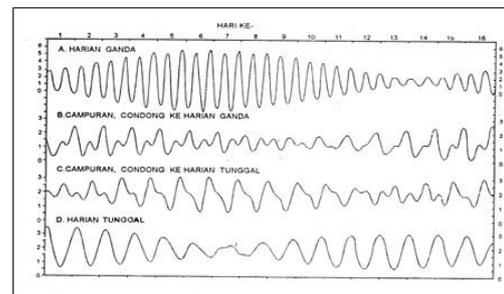
### B.4 Tipe-tipe Pasang Surut

Menurut Triatmodjo (2010) pasang surut di Indonesia dapat dibagi menjadi empat tipe, yaitu:

1. Pasang surut harian ganda (*semi diurnal tide*)  
 Dalam satu hari terjadi dua kali air pasang dan dua kali air surut dengan tinggi yang hampir sama dan pasang

surut terjadi secara berurutan secara teratur.

2. Pasang surut harian tunggal (*diurnal tide*)  
 Dalam satu hari terjadi satu kali air pasang dan satu kali air surut.
3. Pasang surut campuran condong ke harian ganda (*mixed tide prevailing semidiurnal*)  
 Dalam satu hari terjadi dua kali air pasang dan dua kali air surut, tetapi tinggi dan periodenya berbeda.
4. Pasang surut campuran condong ke harian tunggal (*mixed tide prevailing diurnal*)  
 Pada tipe ini dalam satu hari terjadi satu kali air pasang dan satu kali air surut, tetapi kadang-kadang untuk sementara waktu terjadi dua kali pasang dan dua kali surut dengan tinggi dan periode yang sangat berbeda. Tipe-tipe tersebut dapat dilihat dari Gambar 2.



Gambar 2. Tipe-tipe pasang surut  
 Sumber : Triatmodjo, 2010

Tipe pasang surut dapat ditentukan dengan mendapatkan konstanta pasut (*Tidal Constant/ Formzahl*) yang dihitung dengan menggunakan Persamaan (1).

$$F = \frac{AK_1 + AO_1}{AM_2 + AS_2} \dots\dots(1)$$

dengan:

$F$  : *Formzahl* atau konstanta pasang surut

$AK_1$  : Amplitudo dari anak gelombang pasang surut harian tunggal rata-rata yang dipengaruhi oleh deklinasi bulan dan matahari

$AO_1$  : Amplitudo dari anak gelombang pasang surut harian tunggal rerata yang dipengaruhi oleh deklinasi matahari

$AM_2$  : Amplitudo dari anak gelombang pasang surut harian ganda rata-rata yang dipengaruhi oleh bulan

$AS_2$  : Amplitudo dari anak gelombang pasang surut harian ganda rata-rata yang dipengaruhi oleh matahari

Berdasarkan hal tersebut didapatkan klasifikasi pasang surut sebagai berikut:

1. Pasang surut harian ganda jika  $F \leq 0,25$
2. Pasang surut campuran (ganda dominan) jika  $0,25 < F \leq 1,5$
3. Pasang surut campuran (tunggal dominan) jika  $1,5 < F \leq 3$
4. Pasang surut harian tunggal jika  $F > 3$

### B.5 Elevasi Pasang Surut

Elevasi muka air laut rencana merupakan parameter yang sangat penting didalam perencanaan bangunan pantai. Beberapa elevasi penting tersebut adalah sebagai berikut:

1. Muka air tinggi rerata (*Mean High Water Level, MHWL*), yaitu rerata dari muka air tinggi selama periode 19 tahun.
2. Muka air rendah rerata (*Mean Low Water Level, MLWL*), adalah rerata dari muka air rendah selama periode 19 tahun.
3. Muka air laut rerata (*Mean Sea Level, MSL*), merupakan muka air rerata dari *MHWL* dan *MLWL*. Elevasi ini digunakan sebagai referensi untuk elevasi di daratan.
4. Muka air tinggi tertinggi (*Highest High Water Level, HHWL*), adalah air tertinggi pada saat pasang surut purnama atau bulan mati.
5. Muka air rendah terendah (*Lowest Low Water Level, LLWL*), yaitu elevasi air terendah pada saat pasut purnama atau bulan mati.

Nilai elevasi-elevasi tersebut dihitung menggunakan rumus yang terdapat pada Tabel 2.

Tabel 2. Formula *Chart Datum*

Elevasi	Formula
<i>HHWL</i>	$S_0 + (M_2 + S_2 + K_2 + K_1 + O_1 + P_1)$
<i>MHWL</i>	$S_0 + (M_2 + K_1 + O_1)$
<i>MLWL</i>	$S_0 - (M_2 + K_1 + O_1)$
<i>LLWL</i>	$S_0 - (M_2 + S_2 + K_2 + K_1 + O_1 + P_1)$

Sumber : (Denafiar et al., 2017)

### B.6 Analisis Harmonik Pasang Surut Metode *Least Square*

Wardhana (2003) menyatakan metode *least square* adalah metode pendekatan yang dapat digunakan untuk regresi atau pembentukan persamaan dari titik-titik data diskritnya, dan untuk analisis kesalahan pengukuran.

Elevasi pasang surut merupakan penjumlahan dari komponen yang membentuknya dan dapat dinyatakan dalam fungsi sinus. Persamaannya dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\eta(t) = S_0 + \sum_{i=1}^n A_i \cos(\omega_i t - P_i) \quad \dots(2)$$

dengan :

$\eta(t)$  : elevasi pasang surut fungsi dari waktu

$A_i$  : amplitudo komponen ke-i

$\omega_i$  :  $\frac{2\pi}{T_i}$ ,  $T_i$  Periode komponen ke-i

$P_i$  : fase komponen ke- i

$S_0$  : duduk tengah (*mean sea level*)

$t$  : waktu

$N$  : jumlah komponen

Menggunakan aturan persamaan trigonometri, Persamaan 2 dapat ditulis menjadi persamaan 3 berikut.

$$\eta(t_n) = S_0 + \sum_{r=1}^k A_r \cos(\omega_r t_n) + \sum_{r=1}^k B_r \sin(\omega_r t_n) \quad \dots(3)$$

Dengan  $A_r = A_n \cos(\theta_j)$  dan  $B_r = A_n \sin(\theta_j)$ .

Besaran  $S_0$ ,  $A_r$ , dan  $B_r$  dapat ditentukan dengan tahapan perhitungan menggunakan Persamaan 4 sampai 9 (Pratiwi & Heliani, 2014):

1. Menentukan persamaan tinggi muka air laut,  $L' = AX$  .....(4)

2. Menentukan persamaan koreksi,  $v = (AX) - L$ . .....(5)

3. Menghitung nilai parameter,  $X = (A^T.A)^{-1}.A^T.L$  .....(6)

Berikut merupakan matrik desain dalam analisis harmonik pasut metode *least square* yang akan digunakan.

$$A = \begin{bmatrix} 1 & \cos(\omega_1 t_1) & \sin(\omega_1 t_1) & \dots & \cos(\omega_g t_1) & \sin(\omega_g t_1) \\ 1 & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & \cos(\omega_1 t_n) & \sin(\omega_1 t_n) & \dots & \cos(\omega_g t_n) & \sin(\omega_g t_n) \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$X = \begin{bmatrix} S_0 \\ A_1 \\ B_1 \\ \vdots \\ A_g \\ B_g \end{bmatrix} \quad \dots\dots\dots(8)$$

$$L = \begin{bmatrix} L_1 \\ L_2 \\ \vdots \\ L_n \end{bmatrix} \quad \dots\dots\dots(9)$$

dengan :

$A$  = Matriks koefisien (desain)

$X$  = Matriks komponen pasut

$L$  = Matriks obeservasi (pengamatan)

$L'$  = Elevasi pasut hitungan

Setelah besaran parameter diperoleh, kemudian dapat ditentukan nilai duduk tengah permukaan laut ( $S_0$ ), amplitudo, dan fase tiap komponen menggunakan Persamaan 2.13 sampai 2.15 (Foreman, Cherniawsky, & Ballantyne, 2009):

1. Duduk tengah permukaan laut (*mean sea level*)

$$S_0 = a_k$$

2. Amplitudo tiap komponen pasang-surut

$$C_r = \sqrt{a_k^2 + b_k^2}$$

3. Fase tiap komponen pasang-surut

$$P_r = \tan^{-1} \left( \frac{b_r}{a_r} \right)$$

Selanjutnya untuk memprediksi elevasi pasasng surut pada waktu tertentu

digunakan Persamaan 10 (Ulum & Khomsin, 2015):

$$\eta(t_n) = S_0 + \sum_{i=1}^n A_i f_i \cos(\omega_i t - P_i + X_i) \dots\dots(10)$$

dengan :

$f_i$  = faktor koreksi amplitudo dari komponen pasang surut ke- $i$

$X_i$  = argumen astronomi dari komponen pasang surut ke- $i$

$X_i = U_i + V_i$

$V_i$  = fase dari komponen pasang surut ke- $i$  pada jam 00:00 GMT

$U_i$  = faktor koreksi yang tergantung pada node bulan (*lunar nodes*)

### B.7 Tingkat Kesalahan

Jika terdapat nilai pengamatan dan ramalan untuk  $n$  periode waktu, maka akan terdapat  $n$  buah kesalahan dan ukuran statistik standar dapat didefensikan seperti pada Persamaan 11 (Makridakis, 1999).

$$e_i = X_i - \hat{X}_i \quad \dots\dots\dots(11)$$

Variabel  $e_i$  adalah kesalahan pada periode ke- $i$ ,  $X_i$  adalah nilai pengukuran atau pengamatan periode ke- $i$ ,  $\hat{X}_i$  adalah nilai prediksi periode ke- $i$ . Berikutnya dilakukan perhitungan *RMSE* menggunakan Persamaan 12.

*RMSE* (*Root Mean Square Error*)

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n e_i^2}{(n)}} \quad \dots\dots\dots(12)$$

## C. METODOLOGI PENELITIAN

### C.1 Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan menggunakan data pasut lokasi perairan Dumai dengan koordinat 1°41'20,88" LU dan 101°26'38,61" BT, tepatnya pada Pelabuhan Dumai – Dermaga C Pelindo. Pelabuhan ini merupakan pelabuhan utama di Provinsi Riau yang digunakan sebagai pelabuhan penghubung untuk kegiatan ekspor dan impor serta penumpang dengan tujuan Malaka – Malaysia. Lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Lokasi Penelitian  
Sumber : Maps, 2018

## C.2 Data Penelitian

Penelitian ini menggunakan data sekunder yang diperoleh dari Badan Informasi Geospasial (BIG). Data pasut yang akan disimulasi adalah data tanggal 13 Juli 2014 sampai 8 Desember 2014 (16 Ramadhan 1435 H sampai 16 Shafar 1436 H). Simulasi dilakukan sebanyak 135 variasi.

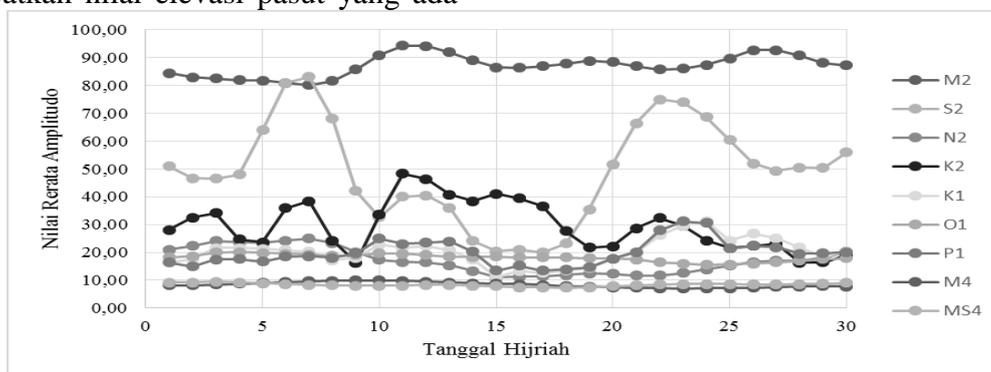
## C.3 PROSEDUR PENELITIAN

### C.3.1 Studi Literatur

Studi literatur berupa pengumpulan sumber pustaka yang terdiri dari buku-buku ilmiah, diktat kuliah, ataupun jurnal-jurnal untuk mendapatkan referensi mengenai teori serta langkah-langkah penelitian yang berkaitan dengan perhitungan prakiraan pasang surut dengan metode *least square*.

### C.3.2 Pengumpulan Data Pasut

Pengumpulan data pasut yaitu mendapatkan nilai elevasi pasut yang ada



Gambar 4. Nilai Amplitudo Rerata Komponen Pasut Utama

Berdasarkan Gambar 4, amplitudo yang berfluktuasi paling ekstrim adalah S2, N2, dan O1. Nilai amplitudo yang

di lapangan. Data pasut didapatkan dari Badan Informasi Geospasial (BIG).

### C.3.3 Pemilihan Data Pasut

Pemilihan data pasut, yaitu memilih data kontinyu dari data panjang pasut yang diperoleh.

### C.3.4 Simulasi Variasi Pasut

Simulasi data pasut dilakukan menggunakan metode *least square* yang bertujuan untuk mendapat nilai amplitudo dan fase dari setiap komponen utama pasut. Nilai amplitudo dan fase selanjutnya digunakan untuk menghitung elevasi pasut prediksi.

### C.3.5. Hasil dan Pembahasan

Hasil dan Pembahasan meliputi analisa terhadap hasil perhitungan Simulasi data panjang berdasarkan tingkat keakuratan elevasi pasut prediksi, penentuan tanggal yang paling efektif dalam melakukan input data pasut, menganalisa nilai komponen pasut.

## D. HASIL DAN PEMBAHASAN

### D.1 Komponen Pasut

Nilai amplitudo komponen pasut utama hasil perhitungan menggunakan metode *least square* dapat dilihat pada Gambar 4.

sangat berbeda berdampak pada tingginya elevasi pasut prediksi. Perbedaannya disebabkan karena elevasi muka air pada

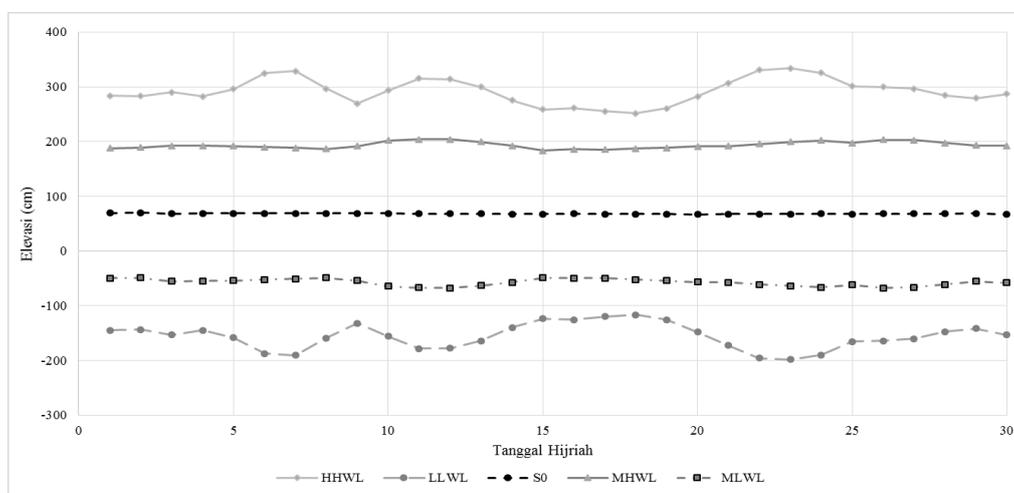
lokasi tinjauan tidak beraturan dan terdapat perbedaan tinggi secara jelas antar dua air tinggi dan dua air rendah yang berurutan (*mixed tide prevailing semidiurnal*).

## D.2 Tipe Pasut

Hasil perhitungan bilangan *Formzahl* rerata yang di lokasi tinjauan sebesar 0,28. Tipe pasut yang terjadi merupakan tipe campuran condong ke harian ganda (*mixed tide prevailing semidiurnal*) yang berarti kondisi pasut dalam satu hari terjadi dua kali air pasang dan dua kali air surut, tetapi tinggi dan periodenya berbeda.

## D.3 Elevasi Pasut Penting Prediksi

Perhitungan elevasi pasut penting meliputi nilai  $S_0$ , *HHWL*, *MHWL*, *LLWL*, dan *MLWL*. Elevasi pasut tersebut berguna dalam perencanaan bangunan pantai. Hasil perhitungan elevasi pasut rerata untuk tiap tanggal hijriah dapat dilihat pada Gambar 5. Perhitungan elevasi pasut penting Perairan Dumai berupa nilai *mean sea level* ( $S_0$ ) rerata sebesar 68,00 cm, *HHWL* dan *MHWL* terbesar 399,21 cm dan 225,08 cm sedangkan *MLWL* dan *LLWL* terendah -100,38 cm dan -274,51 cm.

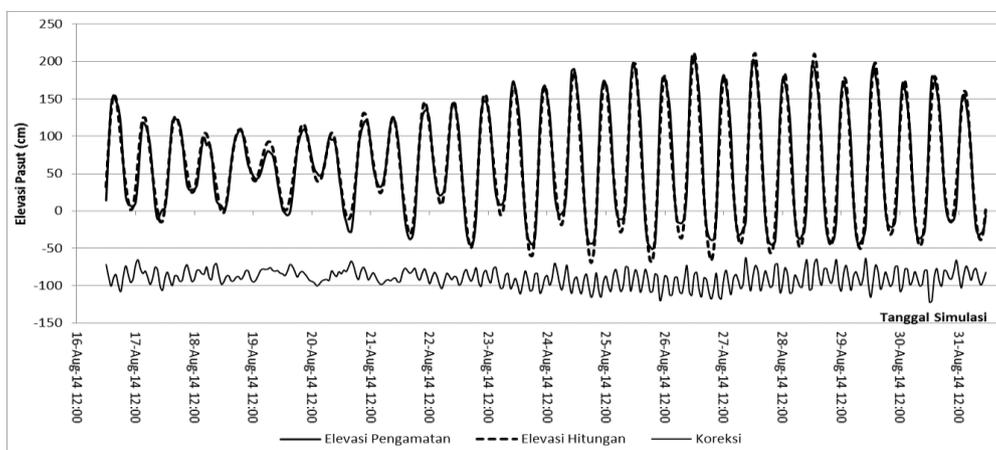


Gambar 5. Elevasi Pasut Penting Rerata

## D.4 Tingkat Kesalahan

Tingkat kesalahan yang dihitung berupa *RMSE*. Tingkat kesalahan terjadi apabila terdapat perbedaan antara elevasi

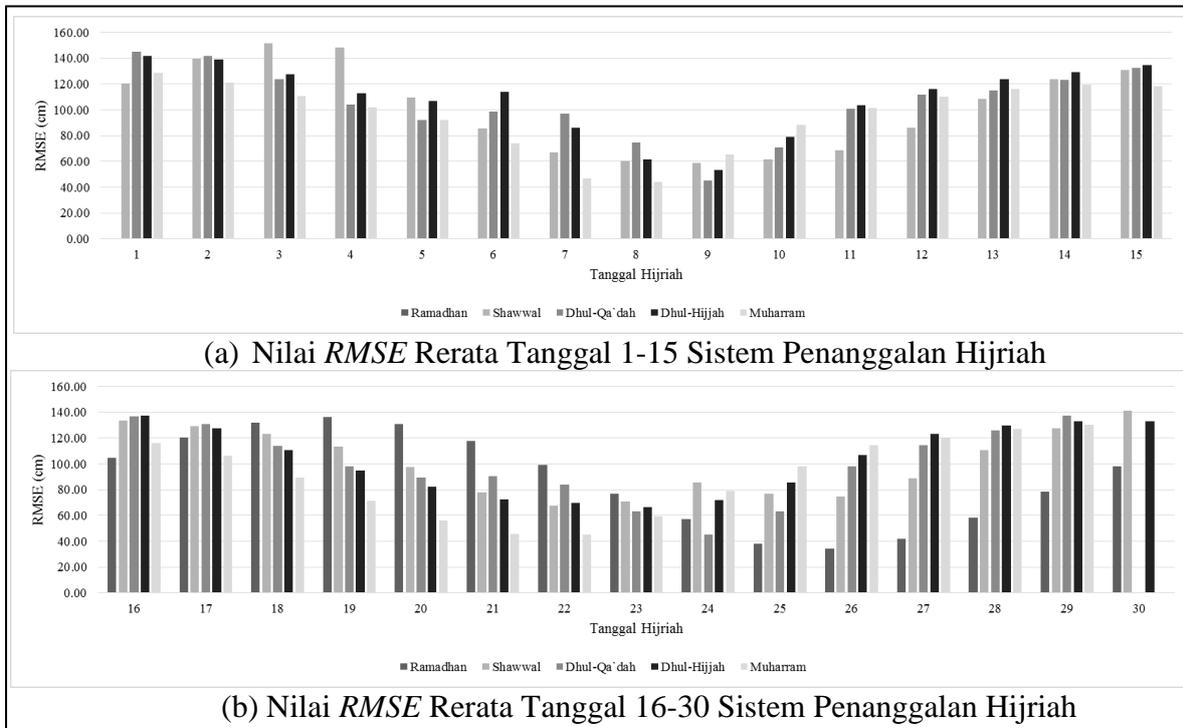
pasut prediksi dengan pengamatan. Nilai *RMSE* yang kecil terdapat pada simulasi variasi Pasut 36, dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Elevasi Pasut Hitungan, Pengamatan, dan Koreksi Variasi Pasut 36

Nilai *error* dari hasil elevasi pasut prediksi terhadap data *input* nya secara keseluruhan memiliki perbedaan yang sangat ekstrim. Nilai *RMSE* yang dihasilkan memiliki 2 puncak kesalahan terbesar dan 1 kesalahan terendah. Pola

yang dihasilkan dari elevasi pasut prediksi dan pengamatan pada model Pasut 36 adalah sama, yang tentunya memberikan nilai *RMSE* yang juga kecil. Nilai *RMSE* merata untuk semua simulasi dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 7. Gambar Diagram *RMSE* Terhadap Data *Input*

Pola yang dihasilkan dari perhitungan tingkat kesalahan menggunakan metode *least square* tidak beraturan, namun secara keseluruhan nilai *RMSE* rerata yang dihasilkan bernilai lebih kecil untuk simulasi yang dilakukan pada tanggal 7-8 (fase bulan setengah) sistem penanggalan hijriah, yaitu sebesar 70,31 cm.

## E. KESIMPULAN DAN SARAN

### E.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan pada penelitian ini, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Konstanta pasut yang paling berfluktuatif di lokasi Perairan Dumai adalah *S2*, *N2* dan *O1*.
2. Hasil perhitungan elevasi pasut penting Perairan Dumai berupa nilai *mean sea level (SO)* rerata sebesar 68,00 cm, *HHWL* dan *MHWL* terbesar 399,21 cm

dan 225,08 cm sedangkan *MLWL* dan *LLWL* terendah -100,38 cm dan -274,51 cm.

3. Waktu pengambilan data primer di lokasi Perairan Dumai dimulai pada tanggal 7-8 (fase bulan bungkuk) sistem penanggalan Hijriah.

### E.2 Saran

Penelitian ini terbatas pada prediksi yang dilakukan terhadap data *input*, sehingga tidak bisa diketahui kemampuan metode *least square* dalam memprediksi elevasi pasut dimasa yang akan datang. Maka saran dari penelitian ini adalah dilakukannya analisis lebih lanjut mengenai kemampuan metode *least square* dalam memprediksi elevasi pasut di waktu yang akan datang.

## DAFTAR PUSTAKA

- Adibrata, S. (2007). Analisis pasang surut di Pulau Karampuang, Provinsi Sulawesi Barat. *AQUATIC*, 1(1).
- Ahmad, Rosmiati., Hendri, Andy., dan Fauzi, M. (2017). Pengaruh Simulasi Awal Data Pengamatan Terhadap Efektivitas Prediksi Pasang Surut Metode Admiralty (Studi Kasus Pelabuhan Dumai). *Jom FTEKNIK*, 4(2), 1–10. <https://doi.org/10.24961/j.tek.ind.pert.2017.27.2.141>
- Azis, M. F. (2006). Gerak Air di Laut. *J. Oseana*, 31(4), 9–21.
- Denafiar, F. S., Nugraha, A. L., & Awaluddin, M. (2017). Pembuatan Program Penentuan Konstanta Harmonik dan Prediksi Data Pasang Surut dengan Menggunakan Visual Basic For Application (Vba) Ms. Excel. *Jurnal Geodesi Undip*, 6(4), 295–304.
- Foreman, M. G. G., Cherniawsky, J. Y., & Ballantyne, V. A. (2009). *Versatile harmonic tidal analysis: Improvements and applications*. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 26(4), 806–817. <https://doi.org/10.1175/2008JTECHO615.1>
- Geospasial, B. I. (2014). Data Pasang Surut Dumai. Medan. <http://www.bakosurtanal.go.id/>. Diakses.
- Ikhsan, E., & Suprayogi, A. (2012). Analisis Korelasi Prediksi Perubahan Genangan Rob Terhadap Prediksi Perubahan Zona Nilai Tanah di Kecamatan Semarang Utara. *Jurnal Geodesi Undip*, 1(1).
- Makridakis, S. (n.d.). dkk, 1999. *Metode Dan Aplikasi Peramalan*, 23–28.
- Maps, G. (2018). Peta.
- Ongkosongo, O. S. R. (1989). Pasang-Surut. *Jakarta: LIPI*.
- Pariwono, J. I. (1989). Kondisi pasang surut di Indonesia. *Otto SR Ongkosongo, Suyarso (Eds). Pasang Surut. Pusat Penelitian Dan Pengembangan Oseanologi, Jakarta*.
- Pond, S., & Pickard, G. L. (1978). *Introductory dynamic oceanography*, 241 pp. Pergamon, New York.
- Pratiwi, R. A. Y. U., & Heliani, L. S. (2014). *Analisis Periode Data Pasang Surut Terhadap Evaluasi Keamanan Elevasi Dermaga (Studi Kasus: Stasiun Pasut Jepara, Jawa Tengah)*. Universitas Gadjah Mada.
- Pugh, D. T. (1996). *Tides, surges and mean sea-level (reprinted with corrections)*. John Wiley & Sons Ltd.
- Rahmasari, N. (2012). *Simulasi Kriteria Prediksi Pasut Untuk Prakiraan Tinggi Muka Air Dalam Kurun Waktu Kritis (Nowcasting) Di Delta Mahakam*. Institut Teknologi Bandung.
- Schureman, P. (1924). *Tides: A manual of the harmonic analysis and prediction of tides*. US Government Printing Office.
- Triatmodjo, B. (2010). *Perencanaan Pelabuhan*. Yogyakarta: Beta Offset.
- Ulum, M., & Khomsin, K. (2015). Perbandingan Akurasi Prediksi Pasang Surut Antara Metode Admiralty Dan Metode Least Square. *Geoid*, 9(1), 65–72.
- Wardhana. (2003). Latar Belakang Air, (Westerink 1989), 1–4.