

KAJIAN PASANG SURUT DENGAN METODE *LEAST SQUARE* DI PERAIRAN KABUPATEN BENGKALIS

Muhammad Yoganda¹⁾, Andy Hendri²⁾, Imam Suprayogi²⁾

¹⁾Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau

²⁾Dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau

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

Email : muhammad.yoganda@student.unri.ac.id

ABSTRACT

Analysis of tidal components can be done with several methods, namely least square method, admiralty and so forth. The least square method is a tidal harmonic analysis method used to analyze and to predict tides in this research. Daily observation data of 15 days in each hour will be simulated against 158 variations of time using Hijri calendar, to find out the initial variation of observational data that best matches the tidal prediction in Bengkalis waters. The analysis was carried out using tidal data in the waters around the port of Roro Bengkalis. The analysis results show that the smallest average root mean square error (RMSE) value is on the initial variation of the 30th data for verification of the simulation data. The 30th days of the Hijri calendar is in the new moon phase. The tidal type of the location of the research based on the value of the Formzahl number was classified at the double mixed tide prevailing type (mixed tide prevailing semidiurnal).

Keywords: formzahl, least square method, RMSE, tide prediction

1. PENDAHULUAN

Provinsi Riau merupakan provinsi yang dilalui oleh jalur pelayaran internasional yang padat karena berada di perairan Selat Malaka dan Laut Cina Selatan. Salah satu kabupaten di provinsi Riau yang memiliki jalur pelayaran yang cukup padat adalah kabupaten Bengkalis. Kabupaten Bengkalis terletak di pesisir Timur Pulau Sumatera, yaitu antara 2°7'37,2" – 0°55'33,6" LU dan 100°57'57,6" – 102°30'25,2" BT yang terdiri dari pulau-pulau dan lautan dengan luas wilayah 7.773,93 km². Kawasan laut dan pantai pada pulau ini dimanfaatkan untuk berbagai kegiatan manusia seperti pelayaran, pemanfaatan sumber daya hayati perairan, pariwisata dan lain sebagainya. Dalam pelaksanaan kegiatan tersebut memerlukan pengetahuan mengenai parameter atau fenomena oseanografi. Salah satu fenomena oseanografi tersebut adalah fenomena pasang surut.

Pasang surut (pasut) air laut merupakan gerakan naik turunnya permukaan air laut secara berkala yang disebabkan oleh gaya tarik menarik antara benda-benda angkasa terutama matahari dan bulan terhadap massa air di bumi (Pariwono, 1989). Pengaruh benda angkasa lainnya dapat diabaikan karena jaraknya lebih jauh atau ukurannya lebih kecil (Dronkers, 1964). Pasang surut merupakan suatu fenomena yang bersifat periodik, sehingga pasang surut dapat diprediksi dengan memperoleh komponen-komponen pembentuknya.

Beberapa metode yang sering digunakan untuk memprediksi pasut yaitu metode *admiralty* dan *least square*. Metode yang digunakan untuk memprediksi elevasi pasut di Perairan Bengkalis ini adalah metode *least square*. Metode *least square* sering digunakan setelah ditemukan alat penghitung modern numeris. Hal ini dikarenakan metode ini memerlukan proses perhitungan matriks dengan dimensi

matriks yang besar (Gumelar et al., 2016).

Data yang digunakan untuk memprediksi pasut pada Perairan Bengkalis ini cukup panjang, yaitu selama lebih kurang 6 bulan dengan pengamatan tiap jam yang diperoleh dari Badan Informasi Geospasial (*BIG*). Data pengukuran pasang surut berada di Kabupaten Bengkalis. Koordinat lokasi pengukuran yaitu pada 1°27'57,50" LU dan 102°6'26,50" BT. Lokasi tersebut berada di sekitar Pelabuhan Roro Bengkalis. Data pengamatan 15 harian di tiap jam akan disimulasikan terhadap 158 variasi waktu berdasarkan penanggalan Hijriah untuk mengetahui variasi awal data pengamatan yang paling cocok terhadap prakiraan pasut di lokasi ini.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Defenisi Pasang Surut

Menurut Dronkers (1964) pasang surut laut merupakan suatu fenomena pergerakan naik turunnya permukaan air laut secara berkala yang diakibatkan oleh kombinasi gaya gravitasi dan gaya tarik menarik dari benda-benda astronomi terutama oleh matahari, bumi dan bulan. Pengaruh benda angkasa lainnya dapat diabaikan karena jaraknya lebih jauh atau ukurannya lebih kecil.

2.2 Komponen Pasang Surut

Komponen pasang surut merupakan uraian dari resultan gaya penggerak pasang surut. Resultan gaya pasut adalah resultan dari gaya tarik menarik antara bumi, bulan dan matahari. Komponen-komponen pasang surut ini terbagi menjadi tiga kelompok, yaitu kelompok pertama adalah komponen pasang surut yang termasuk ke dalam kelompok *semi-diurnal tide* yang terdiri atas komponen *M2*, *S2*, *N2*, dan *K2*. Kelompok kedua adalah komponen pasang surut yang

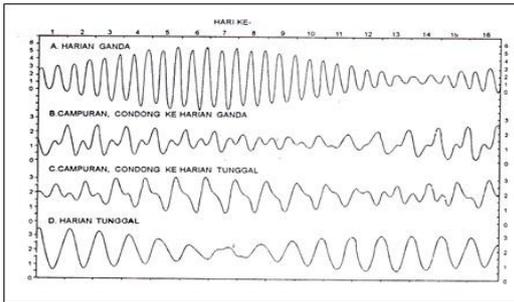
termasuk ke dalam kelompok *diurnal tide* yang terdiri atas komponen *K1*, *O1*, *P1*. Kelompok ketiga adalah komponen pasang surut yang termasuk ke dalam kelompok *Short Periode* yang terdiri atas komponen *M4* dan *MS4*. Masing-masing komponen pasang surut tersebut mempunyai periode (*T*) yang berbeda-beda dan dihitung dalam satuan waktu (jam).

2.3 Tipe Pasang Surut

Menurut Triatmodjo (2010) pasang surut di Indonesia dapat dibagi menjadi empat tipe seperti pada Gambar 1, yaitu:

- Pasang surut harian ganda (*semi diurnal tide*), yaitu 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. Periode pasang surut rata-rata adalah 12 jam 25 menit. Pasang surut jenis ini terdapat di Selat Malaka sampai Laut Andaman.
- Pasang surut harian tunggal (*diurnal tide*), yaitu dalam satu hari terjadi satu kali air pasang dan satu kali air surut. Periode pasang surut adalah 24 jam 50 menit. Pasang surut tipe ini terjadi di perairan Selat Karimata.
- Pasang surut campuran condong ke harian ganda (*mixed tide prevailing semidiurnal*), yaitu dalam satu hari terjadi dua kali air pasang dan dua kali air surut, tetapi tinggi dan periodenya berbeda. Pasang surut jenis ini banyak terdapat di perairan Indonesia Timur.
- Pasang surut campuran condong ke harian tunggal (*mixed tide prevailing diurnal*), yaitu 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. Pasang surut jenis ini

terdapat di Selat Kalimantan dan Pantai Utara Jawa Barat.



Gambar 1. Tipe pasang surut
Sumber : Triatmojo, 2010

Tipe pasut yang akan ditentukan dengan menggunakan metode *least square* ini dilakukan dengan cara menghitung bilangan *formzahl* (F) dengan ketentuan sebagai berikut:

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

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 rata-rata 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

Adapun klasifikasi tipe pasang surutnya dapat dilihat pada Tabel 1.

Nilai F	Tipe Pasang Surut
$\leq 0,25$	Harian Ganda
0,25-1,50	Campuran Condong ke Harian Ganda
1,50-3,00	Campuran Condong ke Harian Tunggal
$\geq 3,00$	Harian Tunggal

Sumber : Triatmojo, 2010

2.4 Elevasi Muka Air

Elevasi muka air laut selalu berubah setiap saat. Maka dari itu diperlukan suatu elevasi yang ditetapkan berdasarkan data pasang surut, yang dapat digunakan sebagai pedoman di dalam perencanaan suatu bangunan pantai. Beberapa elevasi tersebut adalah sebagai berikut:

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

Elevasi muka air laut dapat dihitung dari nilai komponen-komponen pasut yang diperoleh dari hasil perhitungan analisis pasut metode *Least Square*. Berikut ini adalah beberapa persamaan untuk menentukan elevasi muka air rencana (Dalpan et al., 2015)

$$MHWL = S_0 + (M_2 + K_1 + O_1) \quad \dots(2)$$

$$HHWL = S_0 + (M_2 + S_2 + K_2 + K_1 + O_1 + P_1) \quad \dots(3)$$

$$MSL = S_0 \quad \dots(4)$$

$$LLWL = S_0 - (M_2 + S_2 + K_2 + K_1 + O_1 + P_1) \quad \dots(5)$$

$$MLWL = S_0 - (M_2 + K_1 + O_1) \quad \dots(6)$$

2.5 Metode Least Square

Metode *least square* adalah metode yang digunakan untuk menganalisa komponen pasut sehingga elevasi pasut dapat diprediksi. Komponen pasut yang timbul oleh faktor astronomi dan pasang surut perairan dangkal bersifat periodik, sedangkan gangguan faktor meteorologi bersifat musiman dan kadang-kadang sesaat saja. Tanpa memperhatikan faktor meteorologi, maka elevasi pasang surut merupakan penjumlahan dari komponen yang membentuknya dan dapat dinyatakan dalam fungsi sinus. Persamaannya dapat dituliskan sebagai berikut (Ongkosongo, 1989):

$$\eta(t) = S_0 + \sum_{i=1}^N A_i \cos(\omega_i t - P_i) \quad \dots(7)$$

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

Hasil akhir dari metode analisis ini berupa nilai amplitudo dan fase dari sembilan komponen pasang surut, yaitu M_2 , S_2 , K_2 , N_2 , O_1 , K_1 , P_1 , MS_1 , dan M_4 .

2.6 Tingkat Kesalahan (*error*)

Perhitungan tingkat kesalahan bertujuan untuk mengetahui seberapa besar perbedaan data hasil simulasi dengan data pengukuran. Perhitungan tingkat kesalahan pada penelitian ini menggunakan persamaan *Root Mean Square Error (RMSE)*. *RMSE* adalah nilai tingkat kesalahan hasil simulasi. Semakin mendekati nilai 0 nilai *RMSE* maka hasil elevasi prediksi semakin

akurat. Perhitungan nilai *RMSE* dihitung dengan menggunakan rumus pada Persamaan 8.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_{oi} - y_{pi})^2}{n}} \quad \dots(8)$$

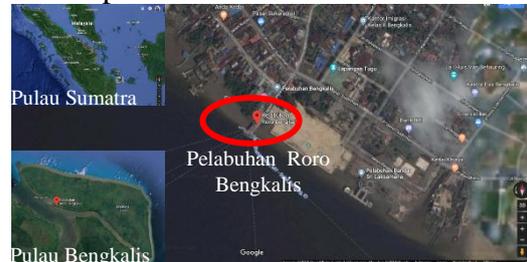
dengan y_{oi} adalah nilai data pengukuran ke-i, y_{pi} adalah nilai data prediksi ke-i, dan n adalah jumlah data.

3. METODOLOGI PENELITIAN

Metode analisa data pasang surut yang digunakan dalam memprediksi pasang surut adalah metode *least square*. Tahapan metodologi penelitiannya yaitu lokasi penelitian, data penelitian dan prosedur penelitian.

3.1 Lokasi Penelitian

Data yang digunakan pada penelitian ini diambil di daerah perairan sekitar pelabuhan Roro Bengkalis dengan koordinat $1^{\circ}27'57,50''$ LU dan $102^{\circ}6'26,50''$ BT. Lokasinya dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Lokasi Penelitian
Sumber : Google Maps, 2018

3.2 Data Penelitian

Data yang digunakan dalam penelitian ini berupa data sekunder. Data sekunder tersebut adalah data pasut yang didapat dari Badan Informasi Geospasial (*BIG*). Data pasut yang digunakan adalah data tanggal 22 Agustus 2015 sampai 11 Oktober 2016 atau 8 Dzulqaidah 1436 H sampai 10 Muharram 1438 H. Data pasut tersebut berupa data jam-jaman.

3.3 Prosedur Penelitian

3.3.1 Studi Literatur

Pengumpulan sumber pustaka yang terdiri dari buku-buku ilmiah, diktat kuliah, ataupun jurnal-jurnal, untuk mendapatkan referensi tentang dasar-dasar teori serta langkah-langkah penelitian yang berkaitan dengan kajian pasang surut dengan metode *least square*.

3.3.2 Pengumpulan Data

Mengumpulkan data sekunder pasang surut yang didapat dari Badan Informasi Geospasial (*BIG*).

3.3.3 Perhitungan Simulasi Data Pasang Surut dengan Metode *Least Square*

Perhitungan simulasi data pasang surut menggunakan metode *least square*, yaitu dengan melakukan beberapa tahap perhitungan sampai akhirnya dapat diprediksi nilai elevasi pasut pada masa yang akan datang. Simulasi pasut yang dilakukan sebanyak 158 variasi awal waktu pengamatan. Terdapat dua tahap perhitungan metode *least square* yaitu:

- a. Tahap pertama adalah menghitung nilai amplitudo, fase komponen tersebut.
- b. Tahap kedua yaitu menghitung elevasi pasut prediksi menggunakan metode *least square*.

3.3.4 Verifikasi Data Hasil Simulasi Pasut

Verifikasi data hasil simulasi tersebut dilakukan untuk memverifikasi variasi data input. Verifikasi dilakukan untuk menghitung tingkat kesalahan data yang diperoleh dengan persamaan *RMSE*.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

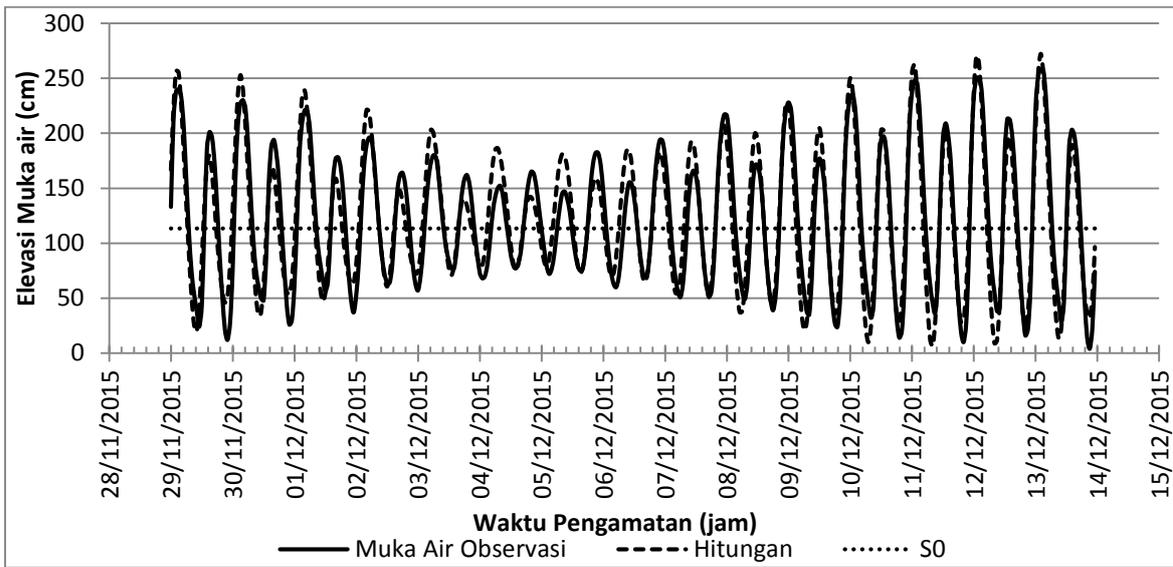
4.1 Hasil Verifikasi

Prediksi elevasi pasut didapatkan dengan menggunakan komponen harmonik pasut yang telah diperoleh

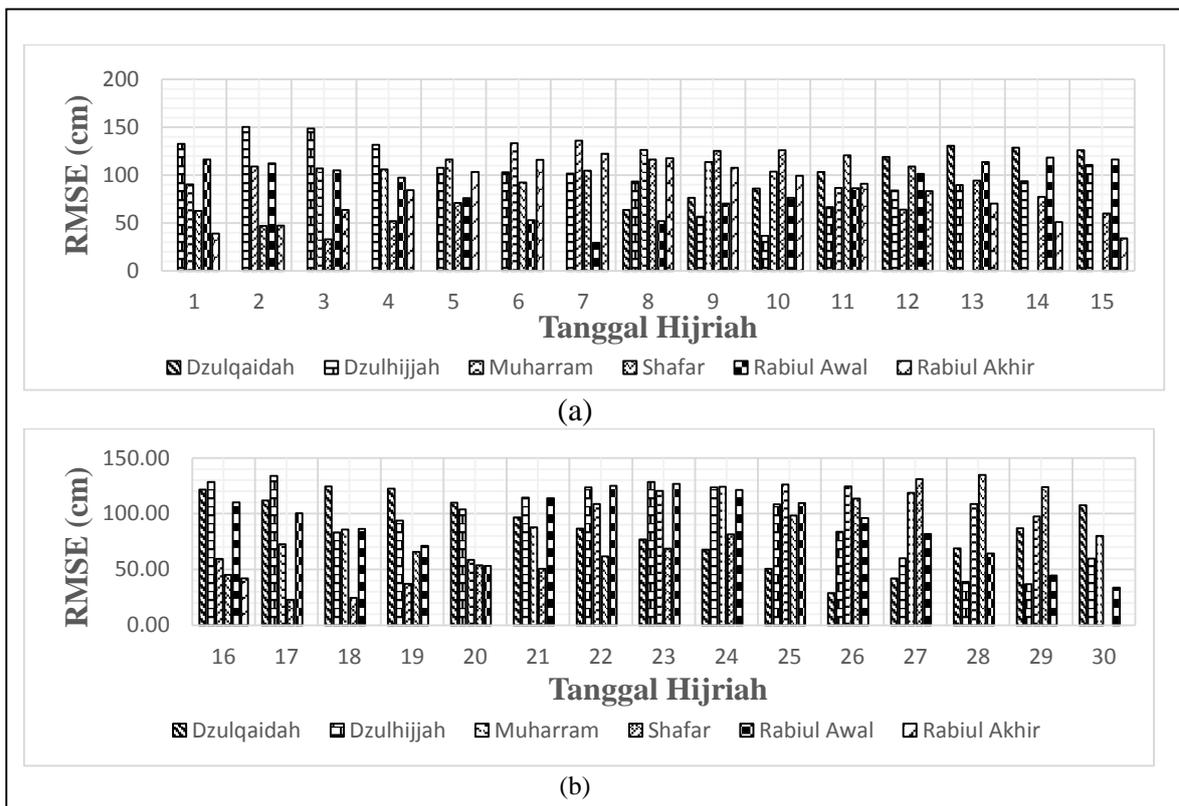
pada komponen pasut. Kemudian elevasi pasut hasil simulasi tersebut diverifikasi dengan elevasi pasut pengamatan dilapangan. Tujuan dari dilakukannya verifikasi ini adalah untuk mengetahui hasil prediksi yang telah didapat pada proses analisa sudah mendekati hasil sebenarnya atau tidak.

Perbandingan elevasi pasut simulasi dengan elevasi data pengamatan dapat dilihat pada Gambar 3. Dari gambar tersebut terlihat bahwa data elevasi pasut hasil simulasi tersebut memiliki pola yang hampir sama dengan elevasi pasut pengamatan. Perbedaan yang terlihat pada gambar tersebut yaitu perbedaan tinggi rendahnya elevasi data prakiraan dengan data pengamatan terutama pada pertengahan bulan.

Nilai rerata *RMSE* yang diperoleh dari hasil verifikasi terhadap variasi data input dapat dilihat pada Gambar 4. Gambar 4 menunjukkan bahwa nilai *RMSE* terkecil dari 158 simulasi sebesar 22,86 cm yaitu pada tanggal 17 Shaffar. Nilai *RMSE* tersebut kemudian direratakan sehingga didapatkan nilai *RMSE* rerata terkecil hasil simulasi terdapat pada tanggal 30 penanggalan Hijriah, yaitu sebesar 70,22 cm. Tanggal 30 Hijriah berada pada fase bulan mati.



Gambar 3 Perbandingan Elevasi Pasut Simulasi dengan Elevasi Data Pengamatan



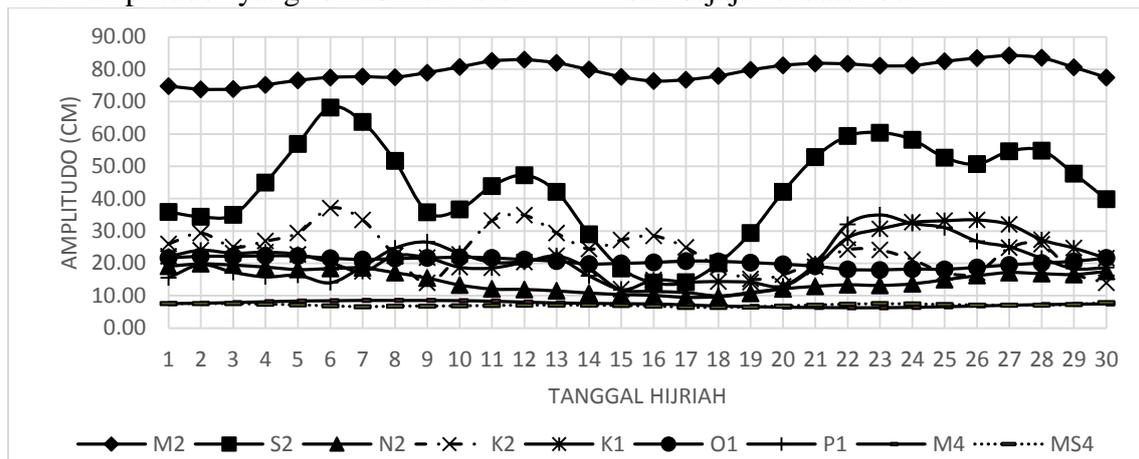
Gambar 4 Diagram Nilai *RMSE* Hasil Verifikasi Variasi Data *Input* Tanggal 1-15 Hijriah (a) dan Tanggal 16-30 Hijriah (b)

4.2 Komponen Pasut

Perhitungan yang dilakukan saat mengolah data prediksi pasut menghasilkan variasi komponen sebanyak waktu pengamatan yaitu 158 variasi. Nilai komponen yang didapat digunakan sebagai referensi untuk prakiraan pasut yang terjadi di lokasi penelitian ini yaitu nilai komponen yang menghasilkan nilai RMSE terkecil. Hal ini sudah dibahas sebelumnya bahwa hasil verifikasi dari RMSE terkecil dapat digunakan untuk mengetahui akurasi elevasi pasut simulasi dengan elevasi pasut prediksi, dan juga dapat dijadikan sebagai awal waktu pengambilan data pasut di lapangan.

Gambar 5 menunjukkan bahwa nilai amplitudo yang dihasilkan oleh

metode *least square* ini memiliki pola yang tidak beraturan. Komponen S_2 , K_2 , K_1 , P_1 , berfluktuasi dan memiliki pola yang tidak stabil. Komponen yang paling berfluktuasi dihasilkan oleh komponen pasut S_2 . Komponen S_2 ini diakibatkan oleh gravitasi matahari dengan orbit lingkaran dan sejajar ekuator bumi. Sedangkan M_2 , O_1 , N_2 , M_4 dan MS_4 terlihat pada gambar tersebut memiliki pola yang relatif. Hal tersebut dikarenakan nilai rata-rata amplitudo setiap tanggalnya tidak terlalu jauh perbedaannya. Komponen yang menghasilkan nilai amplitudo terbesar dihasilkan oleh komponen pasut M_2 . Komponen ini diakibatkan oleh gaya gravitasi bulan dengan orbit lingkaran dan sejajar ekuator bumi



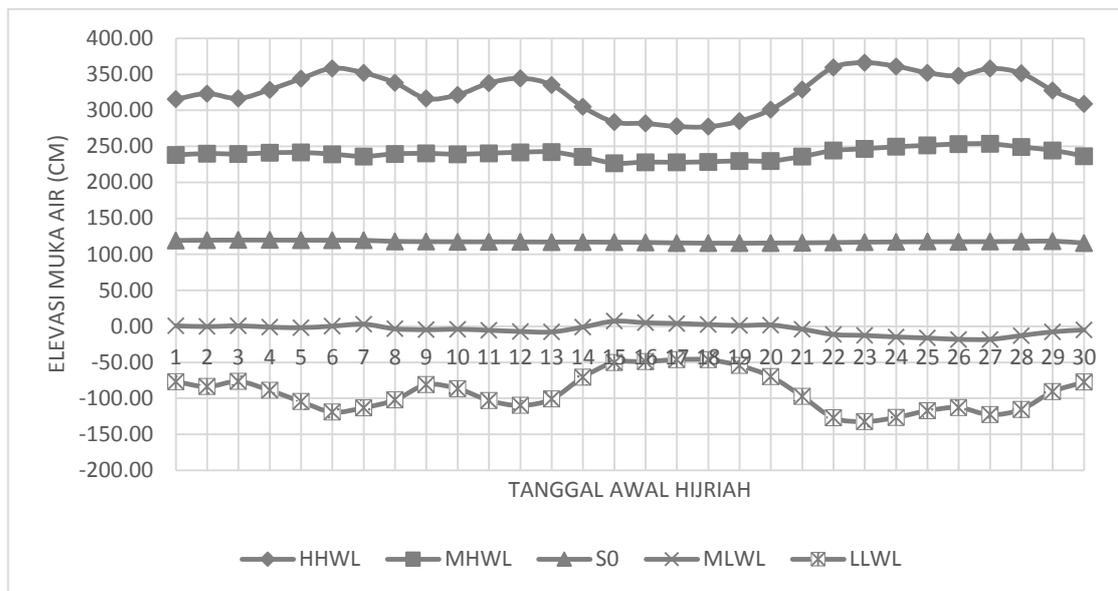
Gambar 5 Nilai Amplitudo Rerata Tiap Komponen

4.3 Tipe Pasut

Berdasarkan hasil perhitungan menggunakan Persamaan 1, diperoleh nilai bilangan *Formzahl* di lokasi perairan sekitar Pelabuhan Roro Bengkalis yaitu sebesar 0,31. Pada Tabel 1 dapat diketahui bahwa jenis pasang surut yang terjadi di daerah penelitian adalah pasang surut campuran condong ke harian ganda (*mixed tide prevailing semi diurnal*) dengan rentang nilai $0,25 < F < 1,50$.

4.4 Tinggi Elevasi Muka Air

Nilai amplitudo yang telah didapat dari setiap komponen pasang surut digunakan untuk menghitung elevasi muka air. Elevasi muka air laut yang dihitung yaitu nilai pasang tertinggi (*HHWL*), nilai muka air tinggi rerata (*MHWL*), muka air laut rerata (*MSL*), nilai muka air rendah rerata (*MLWL*) dan surut terendah (*LLWL*). Hasil perhitungan elevasi pasut rerata untuk tiap tanggal hijriah dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6 Elevasi Muka Air Rerata Prediksi

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

- Tanggal awal simulasi yang menghasilkan nilai elevasi pasut dengan nilai *RMSE* rerata terkecil terjadi pada tanggal 30 Hijriah (fase bulan mati).
- Nilai rerata *RMSE* terkecil hasil simulasi metode *least square* yaitu 70,22 cm.
- Hasil perhitungan bilangan *formzahl* menunjukkan bahwa tipe pasut di Perairan Bengkalis masuk pada klasifikasi tipe pasut campuran condong harian ganda (*mixed tide prevailing semidiurnal*), yaitu pada $range\ 0,25 < F < 1,50$.

5.2 Saran

- Data yang digunakan sebaiknya data yang lebih panjang dan lengkap daripada penelitian ini, agar diperoleh hasil lebih baik.
- Input data pasut yang dilakukan pada penelitian ini sepanjang 6 bulan dengan penanggalan Hijriah. Analisis hanya dilakukan untuk data input. Sehingga hasil penelitian ini tidak memberikan informasi mengenai nilai

komponen pasut dan nilai elevasi pasut di waktu yang akan datang dan waktu yang tepat untuk mengamati pasut di lapangan. Maka saran dari penelitian ini yaitu perlu dilakukan analisis untuk memprediksi komponen pasut dan elevasi pasut di waktu yang akan datang.

6. Daftar Pustaka

- Dalpan, E., Pratomo, A., & Adil, I. (2015). Analisis Pasang Surut Di Dermaga Sungai Enam Kijang Kabupaten Bintang Provinsi Kepulauan Riau Abstrak.
- Dronkers, J. J. (1964). Tidal computations in rivers and coastal waters.
- Gumelar, J., Sasmito, B., & Amarrohman, F. J. (2016). Analisis Harmonik Dengan Menggunakan Teknik Kuadrat Terkecil Untuk Penentuan Komponen-komponen Pasut Di Wilayah Laut Selatan Pulau Jawa Dari Satelit Altimetri Topex/poseidon Dan Jason-1. *Jurnal Geodesi Undip*, 5(1), 194–203.

- Ongkosongo, O. S. R. (1989). *Pasang Surut. Jakarta: Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia.*
- Pariwono, J. I. (1989). Kondisi pasang surut di Indonesia. *Otto SR Ongkosongo, Suyarso (Eds). Pasang Surut. Pusat Penelitian Dan Pengembangan Oseanologi, Jakarta.*
- Triatmodjo, B. (2010). *Perencanaan Pelabuhan.* Yogyakarta: Beta Offset.