

MODEL PERIODIK DAN STOKASTIK DATA PASANG SURUT JAM-JAMAN DARI PELABUHAN PANJANG

Ahmad Zakaria¹⁾

Abstract

The aim of this study are intended to compare periodic and stochastic tide models generated by using FFT frequencies and astronomic frequencies. The Fourier series are used to simulated periodic model, and the autoregressive method is employed to simulate stochastic model. 253 dominant FFT frequencies and 9 astronomic frequencies are used as constituent frequencies to simulate periodic models. 512 hours of data are used for the model.

Results of this study present that the periodic and stochastic models using the FFT frequencies give more accurate results than periodic and stochastic models by using the astronomic frequencies.

Keywords: *Periodic and stochastic models, FFT, autoregressive method, tides*

Abstrak

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk membandingkan hasil pemodelan matematika untuk model periodik - stokastik pasang surut dari pelabuhan Panjang, baik model periodik - stokastik yang menggunakan frekuensi dari FFT, maupun model periodik - stokastik yang menggunakan frekuensi astronomi. Persamaan Fourier diaplikasikan untuk menghasilkan model periodik, dan persamaan autoregressive diaplikasikan untuk menghasilkan model stokastik. Pada penelitian ini, dipergunakan 253 frekuensi FFT dan 9 frekuensi astronomi, dengan panjang data 512 jam. Model periodik - stokastik yang menggunakan frekuensi FFT memberikan hasil yang lebih akurat dibandingkan dengan model yang menggunakan frekuensi astronomi.

Kata kunci: Model periodik dan stokastik, FFT, metode autoregressive, pasang surut.

1. PENDAHULUAN

Terjadinya fenomena pasang surut permukaan air laut merupakan suatu fenomena yang terjadi di setiap pantai dan setiap waktu di permukaan bumi ini. Kegiatan penelitian terjadinya pergerakan pasang surut air laut sudah dilakukan orang sejak dulu. Fenomena kejadian pasang surut air laut yang sering juga disebut dengan sebutan pasut ini merupakan suatu kejadian alam yang berupa proses naik dan turunnya permukaan air laut secara periodik atau harmonik. Adanya pergerakan ini ditimbulkan oleh karena adanya gaya tarik menarik antara benda-benda langit yang ada di angkasa. Gaya tarik menarik yang paling besar adalah disebabkan oleh gaya tarik matahari dan gaya tarik oleh bulan terhadap massa air yang ada di bumi. Jika kita beradada di pinggir pantai, proses terjadinya pasang surut laut dapat dilihat secara langsung. Gerakan naik turunnya permukaan air di laut mempengaruhi aktifitas kehidupan manusia yang tinggal di daerah pantai. Seperti, aktifitas pelayaran, kegiatan pembangunan bangunan pantai, aktifitas nelayan, dan lain sebagainya.

Kegiatan pengamatan terhadap gerak harmonik pasang surut permukaan air laut sudah sejak lama dilakukan oleh manusia. Seperti yang dilakukan oleh Herodotus dan Aristoteles. Mereka sudah sejak lama menulis hasil pengamatannya mengenai fenomena pasang surut air laut yang terjadi. Aristoteles membuat kesimpulan bahwa kejadian naik dan turunnya

¹ Staf Pengajar Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung, Jl. Prof. Sumantri Brojonegoro No 1 Gedong pelabuhan Panjang, Bandar Lampung. Surel: ahmad.zakaria@eng.unila.ac.id.

permukaan air laut selalu terjadi untuk setiap waktu yang relatif tetap, walaupun belakangan diketahui, ternyata bahwa kesimpulan yang diambilnya tidak benar.

Teori kejadian gerak pasang surut permukaan air laut yang dikenal sekarang ini adalah berasal dari teori gravitasi yang dikemukakan oleh Newton, dan teori persamaan gerak (Euler). Selanjutnya, teori ini juga dipelajari oleh Laplace yang selanjutnya menurunkan persamaan teori pasang surut air laut ini secara matematika.

Penggunaan program aplikasi pengolahan data pasang surut ini biasanya bertujuan untuk menguraikan komponen harmonik pasang surut yang sering disebut juga sebagai konstanta harmonik pasang surut. Metode yang sejak lama dan sering dipergunakan untuk penguraian komponen pasang surut adalah metode admiralty. Selain itu juga untuk menganalisis harmonik pasang surut berkembang metode kuadrat terkecil, dan metode spektrum. Dengan menggunakan konstanta harmonik pasang surut, maka kejadian pasang surut untuk waktu ke depan dapat diramalkan. Dengan semakin meningkatnya teknologi komputer maka akan semakin akuratnya konstanta harmonik pasang surut yang didapat.

Banyak para insinyur dan ahli oseanografi menggunakan analisis Fourier dan metode kuadrat terkecil untuk menguraian komponen gerak harmonik pasang surut. Karena dengan metode ini dapat dibuat model periodik pasang surut untuk mensimulasikan pergerakan harmonik permukaan pasang surut air laut.

Sejalan dengan kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi, metode analisis data seri waktu untuk dapat meningkatkan akurasi model juga berkembang. Untuk memodelkan data seri waktu gerak harmonik pasang surut yang lebih akurat, model periodik dan stokastik sudah dikembangkan oleh Zakaria (2011). Dengan menggunakan model ini, akurasi pemodelan yang didapat menjadi akurat. Pada penelitian ini, metode FFT, analisis Fourier dan metode autoregressive dipergunakan untuk memodelkan gerak pasang surut.

2. METODE PENELITIAN

2.1. Data Pasang Surut

Data pasang surut yang dipergunakan untuk penelitian ini adalah data pasang surut jam-jaman yang didapat dari stasiun pengamat Pasang Surut Pelabuhan Panjang, Teluk Betung (Profinsi Lampung). Panjang data pasang surut yang dipergunakan untuk penelitian ini adalah 512 jam (22 hari). Data yang dipergunakan merupakan data dari bulan Januari tahun 2002, Januari tahun 2003 dan Januari tahun 2004.

2.2. Fungsi data seri waktu

Suatu data seri dari waktu dapat diuraikan menjadi beberapa komponen. Ini dapat berupa komponen yang bersifat periodik dan komponen yang bersifat stokastik. Data ini dapat dipresentasikan sebagai suatu fungsi yang terdiri dari beberapa fungsi data seri waktu $X(t)$. Data seri waktu $X(t)$ ini juga dipresentasikan sebagai model yang terdiri dari beberapa fungsi berikut (Rizalihadi, 2002; Bhakar dkk, 2006; dan Zakaria, 2008),

$$X(t) = T(t) + P(t) + S(t) \quad [1]$$

Dimana,

$X(t)$ = data seri waktu pasut (jam-jaman)

$T(t)$ = komponen trend, $t = 1, 2, 3, \dots, N$

$P(t)$ = komponen periodik

$S(t)$ = komponen stokastik

Komponen trend ini digambarkan sebagai suatu perubahan yang terjadi secara linier terhadap waktu/periode untuk hasil pencatatan data pasang surut yang panjang. Untuk

durasi pendek, komponen ini dapat diabaikan. Didalam penelitian ini, data pasut yang dipergunakan, diasumsikan tidak memiliki komponen yang bersifat trend. Sehingga Persamaan [1] dapat dipresentasikan sebagaimana persamaan berikut,

$$X(t) \approx P(t) + S(t) \tag{2}$$

Persamaan [2] merupakan persamaan pendekatan untuk mensimulasikan model periodik dan stokastik dari data pasang surut jam-jaman.

2.3. Frekuensi Astronomi

Untuk bisa memodelkan gerak harmonik pasang surut, biasanya frekuensi astronomi dipergunakan untuk mendapatkan konstanta harmonik. Didalam memodelkan gerak harmonik pasang surut umumnya dipergunakan 9 frekuensi astronomi berikut,

Tabel 1. 9 komponen harmonik pasang surut.

no	constituent	Frekuensi (derajat/jam)	Periode (jam)
1	M2	28,98	12,42
2	S2	30,00	12,00
3	N2	28,44	12,66
4	K1	15,04	23,93
5	O1	13,94	25,82
6	M4	57,97	6,21
7	MS4	58,98	6,10
8	P1	14,96	24,07
9	K2	30,08	11,97

Sumber: Zakaria (1998)

2.4. Frekuensi FFT

Selain dengan menggunakan frekuensi astronomi seperti yang dijelaskan di atas, frekuensi harmonik pasang surut juga dapat dihasilkan dari transformasi Fourier (FFT). Metode FFT ini merupakan metode transformasi yang sudah biasa dipergunakan didalam bidang keteknikan, untuk mentransformasi data dari domain waktu menjadi domain frekuensi. Metode ini dipresentasikan sebagai bentuk persamaan transformasi sebagai berikut, (Zakaria, 2003):

$$P(f_m) = \frac{\Delta t}{2\sqrt{\pi}} \sum_{n=-N/2}^{n=N/2} P(t_n) \cdot e^{-\frac{2\pi \cdot i}{M} \cdot m \cdot n} \tag{3}$$

$P(t_n)$ merupakan data seri pasang surut dalam domain waktu, dan $P(f_m)$ merupakan data seri pasang surut dalam domain frekuensi. t_n merupakan variabel seri waktu yang menunjukkan panjang data ke N , f_m adalah variabel seri frekuensi.

Dengan menggunakan frekuensi pasang surut yang didapat dengan mengaplikasikan Persamaan [3], amplitudo pasang surut sebagai fungsi frekuensi pasang surut dapat dihasilkan. Amplitudo maksimum dari amplitudo-amplitudo pasang surut yang dihasilkan dari hasil transformasi merupakan amplitudo signifikan. Frekuensi pasang surut yang berasal dari amplitudo signifikan diasumsikan sebagai frekuensi pasang surut yang dominan. Setiap frekuensi pasang surut signifikan yang dihasilkan untuk setiap seri data yang

diolah didalam penelitian ini dipergunakan untuk menghitung dan menentukan komponen harmonik pasang surut dari stasiun pelabuhan Panjang.

2.5. Komponen Periodik

Komponen periodik $P(t)$ dipresentasikan sebagai suatu gerak perpindahan yang berosilasi dalam suatu interval tertentu (Kottegoda, 1980). Frekuensi komponen $P(t)$ dihasilkan menggunakan metode Transformasi Fourier. Dari bagian yang berosilasi menunjukkan keberadaan komponen $P(t)$. Dalam metode ini, periode - periode maksimum dapat diprediksi menggunakan Transformasi Fourier. Frekuensi yang didapat dari metode spektrum menunjukkan adanya suatu yang bersifat periodik. Komponen periodik pasang surut $P(f_m)$ ini dapat dipresentasikan dalam bentuk frekuensi sudut (ω_r). Selanjutnya komponen periodik presentasikan sebagai suatu persamaan dalam bentuk persamaan Fourier berikut (Zakaria, 2010a, 2010b):

$$\hat{P}(t) = S_o + \sum_{r=1}^{r=k} A_r \sin(\omega_r . t) + \sum_{r=1}^{r=k} B_r \cos(\omega_r . t) \quad [4]$$

Persamaan [4] dapat disusun menjadi sebuah persamaan berikut,

$$\hat{P}(t) = \sum_{r=1}^{r=k+1} A_r \sin(\omega_r . t) + \sum_{r=1}^{r=k} B_r \cos(\omega_r . t) \quad [5]$$

dimana:

$P(t)$ = komponen periodik

$\hat{P}(t)$ = model dari komponen periodik

$P_o = A_{k+1}$ = rerata tinggi pasang surut

ω_r = frekuensi sudut (derajat/jam)

t = waktu (jam)

A_r, B_r = koefisien komponen Fourier

k = jumlah komponen yang signifikan

2.6. Komponen Stokastik

Komponen Stokastik terbentuk dari nilai nilai yang bersifat random dan tidak dapat diitung secara tepat. Persamaan stokastik pasang surut, dapat dipresentasikan sebagai suatu fungsi matematika sebagai berikut (Zakaria, 2011b),

$$S(t) = \varepsilon + \sum_{k=1}^p b_k . S(t - k) \quad [6]$$

Persamaan [6] dapat dijabarkan menjadi persamaan berikut,

$$S(t) = \varepsilon + b_1 . S(t - 1) + b_2 . S(t - 2) + \dots + b_p . S(t - p) \quad [7]$$

Dimana,

b_r = parameter model autoregressif (cm).

ε = konstanta bilangan random (cm).

$r = 1, 2, 3, 4, \dots, p$ = tingkat order komponen stokastik

Dari pengolahan data pasang surut, selisih data seri waktu pasang surut $X(t)$ dengan model harmonik pasang surut $P(t)$ akan menghasilkan residu model pasang surut yang diasumsikan sebagai komponen stokastik $S(t)$. Dari komponen stokastik $S(t)$, dapat diturunkan model autoregressif, yaitu berupa konstanta bilangan random model stokastik dengan menggunakan metode kuadrat terkecil (*least squares method*).

2.7. Metode Kuadrat Terkecil (*Least Squares Method*)

2.7.1. Komponen periodik

Metode kuadrat terkecil merupakan solusi pendekatan untuk menguraikan komponen periodik $P(t)$, dan untuk menentukan fungsi $\hat{P}(t)$. Dengan mengaplikasikan metode kuadrat terkecil (*Least squares method*) pada Persamaan (5), maka dapat dihasilkan jumlah kuadrat error, yang merupakan selisih antara data pasang surut dan model periodik pasang surut (Zakaria, 2010a, 2011a) sebagaimana persamaan berikut,

$$\text{Jumlah Kuadrat Error} = J = \sum_{t=1}^{t=m} \left\{ P(t) - \hat{P}(t) \right\}^2 \quad [8]$$

J merupakan jumlah kuadrat galat/error yang nilainya tergantung dari nilai A_r dan B_r . Dimana koefisien J hanya dapat menjadi minimum jika Persamaan (8) memenuhi persamaan sebagai berikut,

$$\frac{\partial J}{\partial A_r} = \frac{\partial J}{\partial B_r} = 0 \text{ dengan } r = 1, 2, 3, 4, 5, \dots, k \quad [9]$$

Dengan cara mengaplikasikan metode kuadrat terkecil, komponen harmonik Fourier A_r dan B_r dapat dihasilkan dengan cepat. Berdasarkan koefisien Fourier tersebut, dapat diturunkan beberapa persamaan sebagai berikut,

a. elevasi pasang surut rerata (SWL),

$$P_o = A_{k+1} \quad [10]$$

b. amplitudo dari komponen periodik/harmonik pasang surut,

$$C_r = \sqrt{A_r^2 + B_r^2} \quad [11]$$

c. Fase dari komponen harmonik pasang surut,

$$\varphi_r = \arctan \left[\frac{B_r}{A_r} \right] \quad [12]$$

SWL dari elevasi pasang surut, amplitudo dan fase dari komponen harmonik dapat disubstitusikan sehingga persamaan menjadi seperti persamaan berikut,

$$\hat{P}(t) = S_o + \sum_{r=1}^{r=k} C_r \cdot \text{Cos}(\omega_r \cdot t - \varphi_r) \quad [13]$$

Persamaan [13] merupakan model gerak harmonik pasang surut.

2.7.2. Komponen stokastik

Model stokastik dihitung setelah model periodik didapat. Berdasarkan hasil perhitungan yang didapat dari model periodik pasang surut tersebut dapat dihitung komponen stokastik pasang surut. Komponen stokastik merupakan selisih atau residu (sisa) antara data pasang surut dengan hasil perhitungan pasang surut yang didapat dari model periodik. Selisih antara seri data pasang surut dan seri model periodik pasang surut merupakan seri komponen stokastik, yang dipresentasikan seperti berikut,

$$S(t) \approx X(t) - P(t) \quad [14]$$

Persamaan [14] dapat diselesaikan dengan mempergunakan cara yang sama dengan yang dipergunakan untuk mendapatkan komponen periodik seri pasang surut. Dengan menggunakan Persamaan [8], model gerak harmonik pasang surut dapat disusun menjadi persamaan sebagai berikut (Zakaria, 2013),

$$\text{Jumlah Kuadrat Error} = J = \sum_{t=1}^{t=m} \left\{ S(t) - \hat{S}(t) \right\}^2 \quad [15]$$

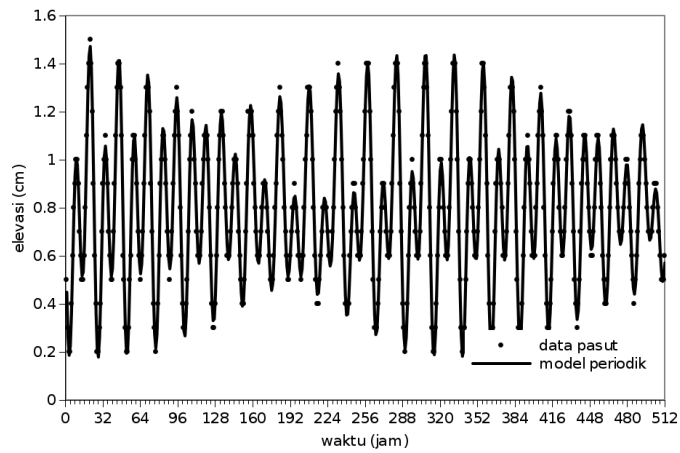
J merupakan jumlah kuadrat error yang nilainya tergantung dari nilai ε dan b_r . Dimana koefisien J akan minimum bila memenuhi persamaan sebagai berikut berikut,

$$\frac{\partial J}{\partial \varepsilon} = \frac{\partial J}{\partial b_r} = 0 \quad \text{dengan } r = 1, 2, 3, 4, 5, \dots, p \quad [16]$$

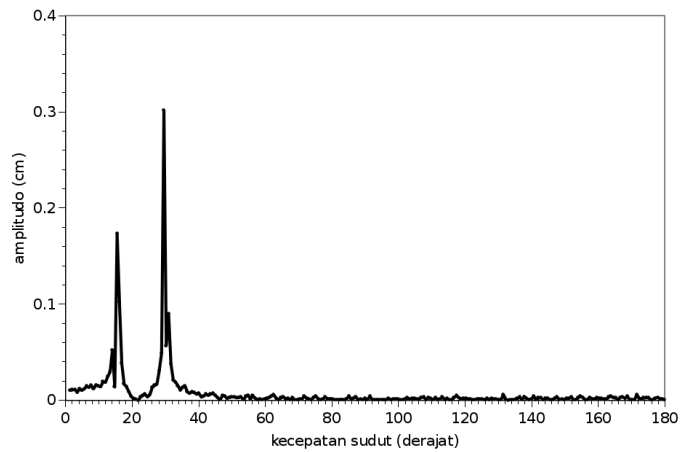
Selanjutnya, menggunakan Persamaan [16], parameter stokastik ε dan b_r model stokastik untuk seri data pasang surut dari stasiun pelabuhan Panjang dapat dihitung.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

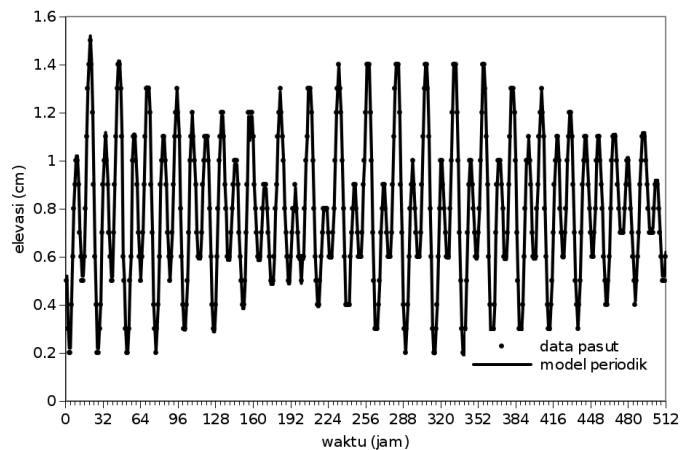
Untuk penelitian ini, pemodelan periodik dan stokastik pasang surut dilakukan dengan menggunakan 3 seri data pasang surut dari 3 tahun yang dipergunakan dari data pasang surut dari Pelabuhan Panjang. Panjang masing masing data adalah 512 jam (22 hari), yaitu data dari jam 01:00 tanggal 1 bulan Januari 2002 sampai dengan jam 08:00 tanggal 22 bulan Januari 2002, data dari jam 01:00 tanggal 1 Januari 2003 sampai dengan jam 08:00 tanggal 22 Januari 2003, untuk data tahun 2004 juga dimulai dari jam 01:00 tanggal 1 Januari 2004 sampai jam 08:00 tanggal 22 Januari 2004. Berdasarkan hasil analisis yang sudah dilakukan didapat hasil sebagai berikut,



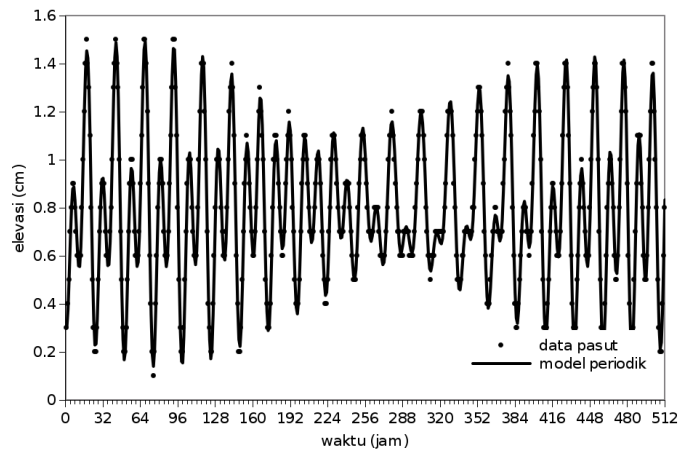
Gambar 1. Data vs model periodik pasang surut pelabuhan Panjang tanggal 1 jam 01:00 s/d tanggal 22 jam 08:00 bulan Januari 2002 (frekuensi astronomi).



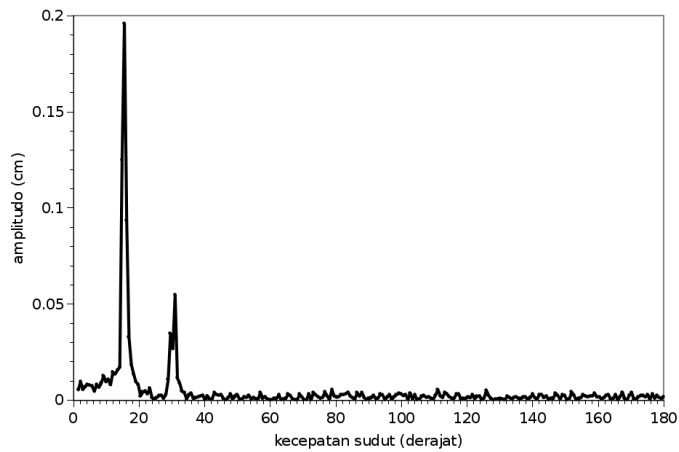
Gambar 2. Spektrum pasang surut pelabuhan Panjang tanggal 1 jam 01:00 s/d tanggal 22 jam 08:00 bulan Januari 2002.



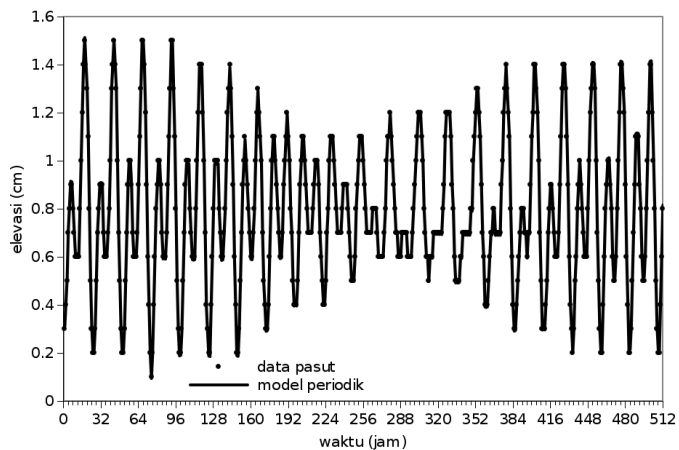
Gambar 3. Data vs model periodik pasang surut pelabuhan Panjang tanggal 1 jam 01:00 s/d tanggal 22 jam 08:00 bulan Januari 2002 (frekuensi FFT).



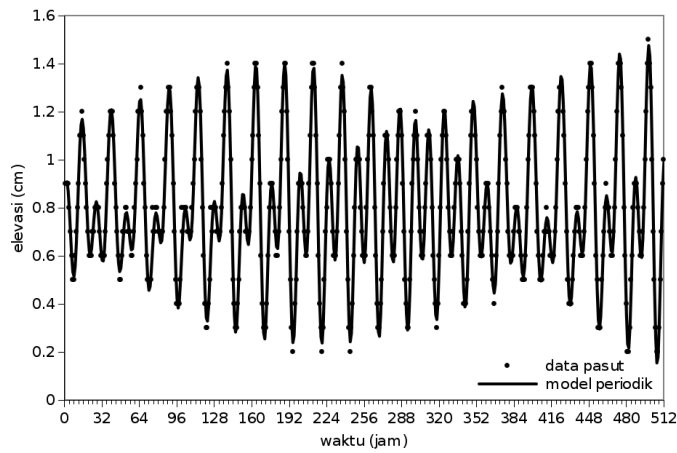
Gambar 4. Data vs model periodik pasang surut pelabuhan Panjang tanggal 1 jam 01:00 s/d tanggal 22 jam 08:00 bulan Januari 2003 (frekuensi astronomi).



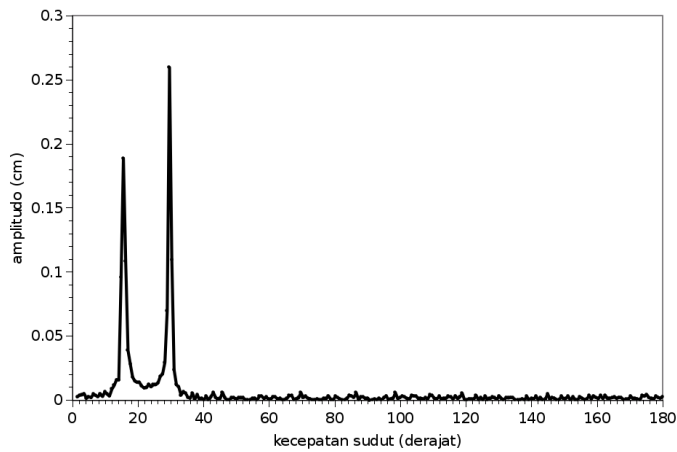
Gambar 5. Spektrum pasang surut pelabuhan Panjang tanggal 1 jam 01:00 s/d tanggal 22 jam 08:00 bulan Januari 2003.



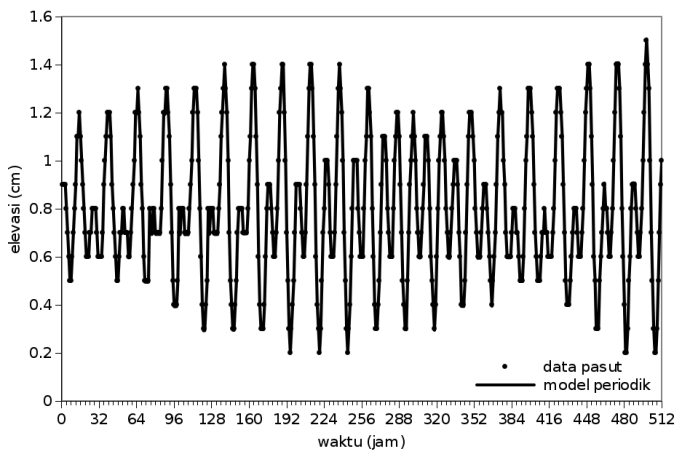
Gambar 6. Data vs model periodik pasang surut pelabuhan Panjang tanggal 1 jam 01:00 s/d tanggal 22 jam 08:00 bulan Januari 2003 (frekuensi FFT).



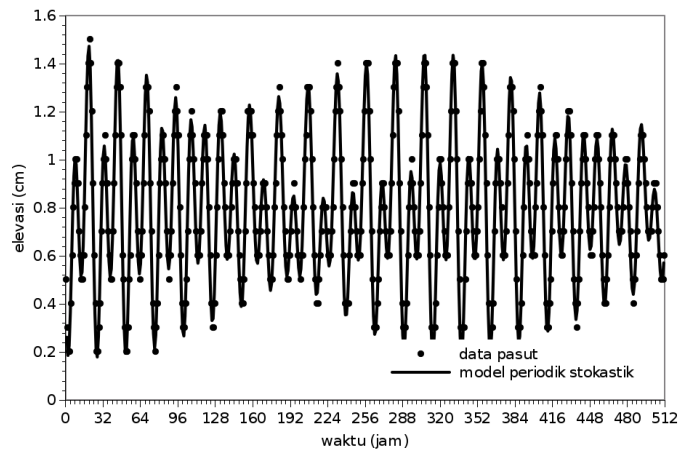
Gambar 7. Data vs model periodik pasang surut pelabuhan Panjang tanggal 1 jam 01:00 s/d tanggal 22 jam 08:00 bulan Januari 2004 (frekuensi astronomi).



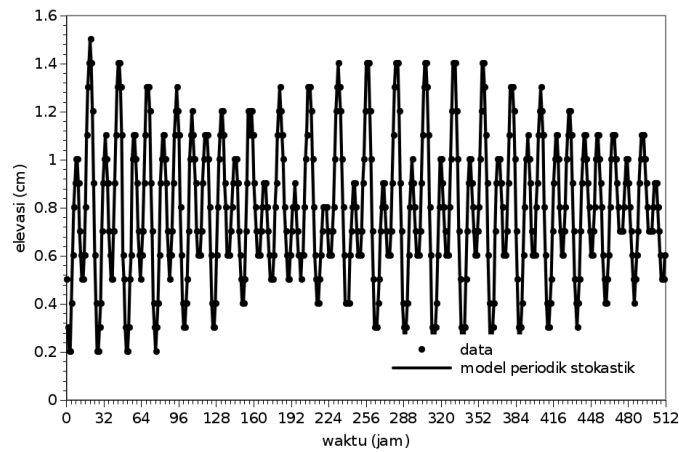
Gambar 8. Spektrum pasang surut pelabuhan Panjang tanggal 1 jam 01:00 s/d tanggal 22 jam 08:00 bulan Januari 2004.



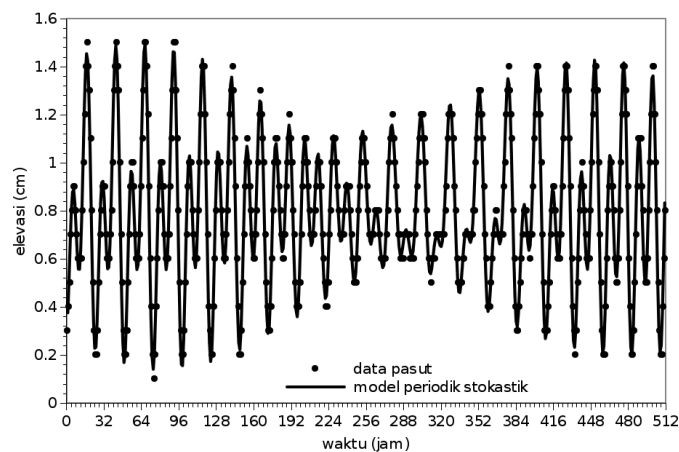
Gambar 9. Data vs model periodik pasang surut pelabuhan Panjang tanggal 1 jam 01:00 s/d tanggal 22 jam 08:00 bulan Januari 2004 (frekuensi FFT).



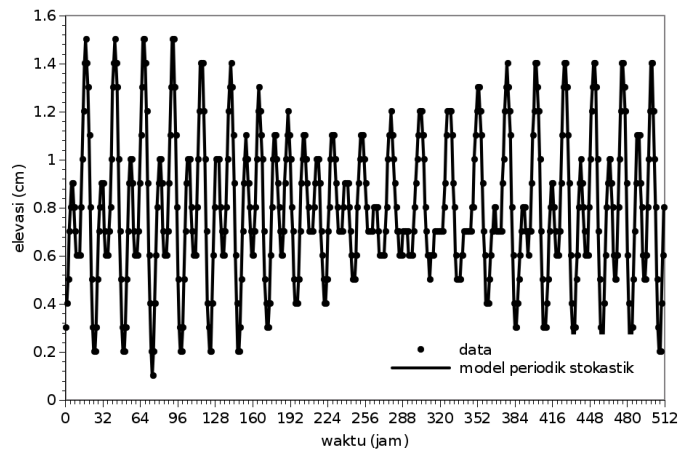
Gambar 10. Data vs model periodik - stokastik pasang surut pelabuhan Panjang tanggal 1 jam 01:00 s/d tanggal 22 jam 08:00 Januari 2002 (astronomi).



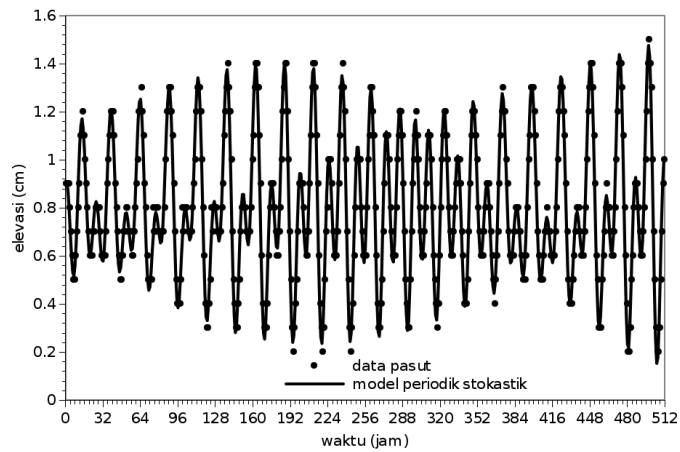
Gambar 11. Data vs model periodik - stokastik pasang surut pelabuhan Panjang tanggal 1 jam 01:00 s/d tanggal 22 jam 08:00 Januari 2002 (frekuensi FFT).



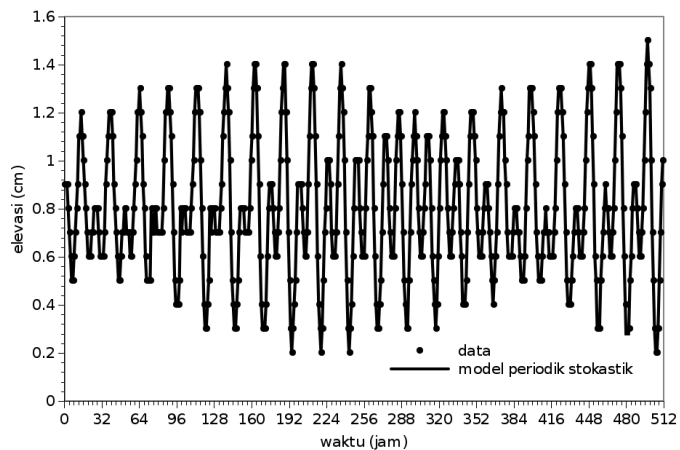
Gambar 12. Data vs model periodik - stokastik pasang surut pelabuhan Panjang tanggal 1 jam 01:00 s/d tanggal 22 jam 08:00 Januari 2003 (frekuensi astronomi).



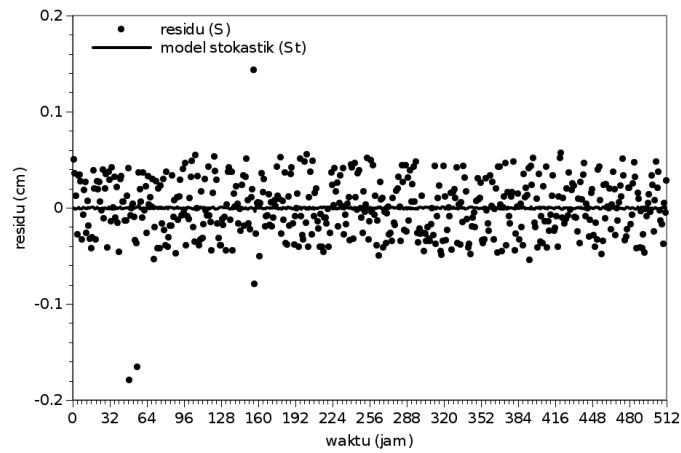
Gambar 13. Data vs model periodik - stokastik pasang surut pelabuhan Panjang tanggal 1 jam 01:00 s/d tanggal 22 jam 08:00 Januari 2003 (frekuensi FFT).



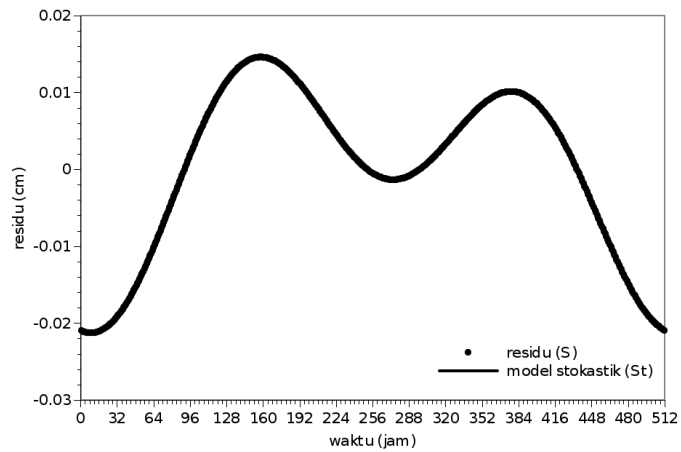
Gambar 14. Data vs model periodik - stokastik pasang surut pelabuhan Panjang tanggal 1 jam 01:00 s/d tanggal 22 jam 08:00 Januari 2004 (astronomi).



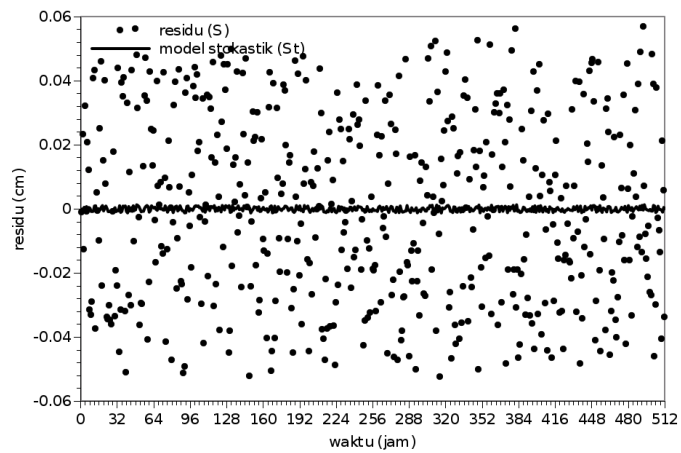
Gambar 15. Data vs model periodik - stokastik pasang surut pelabuhan Panjang tanggal 1 jam 01:00 s/d tanggal 22 jam 08:00 Januari 2004 (frekuensi FFT).



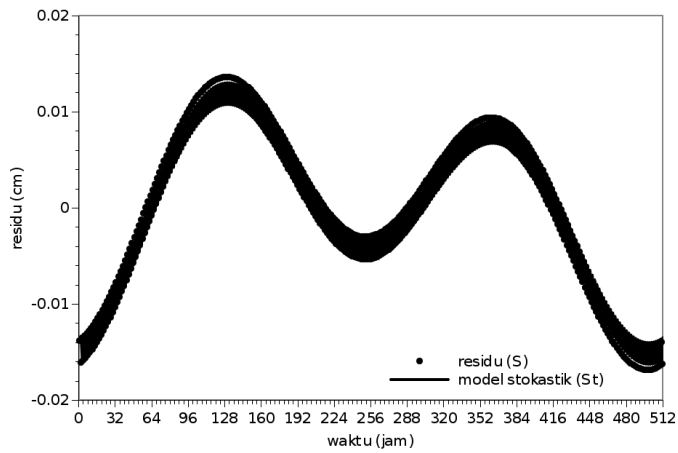
Gambar 16. Residu vs model stokastik pasang surut pelabuhan Panjang tanggal 1 jam 01:00 s/d tanggal 22 jam 08:00 Januari 2002 (frekuensi astronomi).



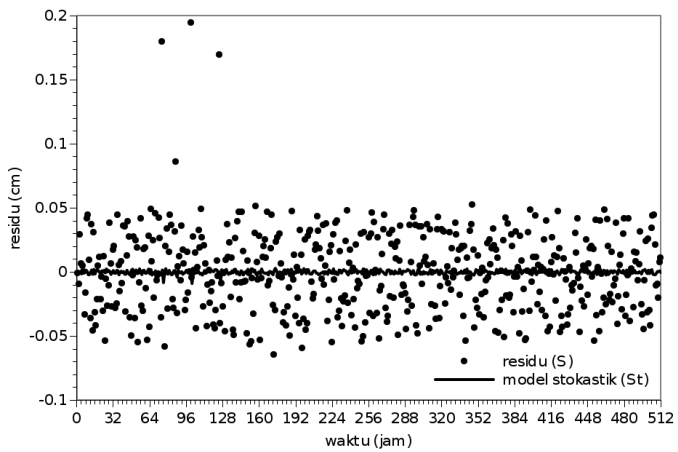
Gambar 17. Residu vs model stokastik pasang surut pelabuhan Panjang tanggal 1 jam 01:00 s/d tanggal 22 jam 08:00 Januari 2002 (frekuensi FFT).



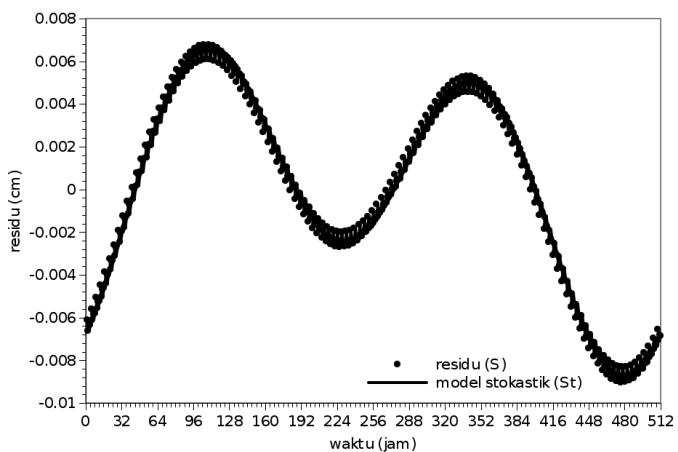
Gambar 18. Residu vs model stokastik pasang surut pelabuhan Panjang tanggal 1 jam 01:00 s/d tanggal 22 jam 08:00 Januari 2003 (frekuensi astronomi).



Gambar 19. Residu vs model stokastik pasang surut pelabuhan Panjang tanggal 1 jam 01:00 s/d tanggal 22 jam 08:00 Januari 2003 (frekuensi FFT).



Gambar 20. Residu vs model stokastik pasang surut pelabuhan Panjang tanggal 1 jam 01:00 s/d tanggal 22 jam 08:00 Januari 2004 (frekuensi astronomi).



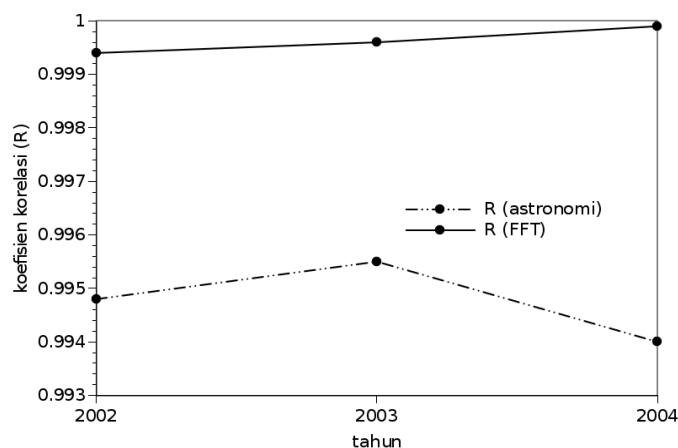
Gambar 21. Residu vs model stokastik pasang surut pelabuhan Panjang tanggal 1 jam 01:00 s/d tanggal 22 jam 08:00 Januari 2004 (frekuensi FFT).

Berdasarkan hasil penelitian yang sudah dilakukan didapat hasil penelitian yang berupa perbandingan antara data pasang surut dan model gerak harmonik/periodik pasang surut pelabuhan Panjang yang menggunakan frekuensi astronomi untuk tahun 2002, 2003 dan 2004. Hasil ini dipresentasikan dalam Gambar 1, Gambar 4, dan Gambar 7. Untuk perbandingan antara data dan model periodik/harmonik yang mempergunakan frekuensi dari FFT ditunjukkan dalam Gambar 3, Gambar 6, dan Gambar 9. Dimana frekuensi FFT nya ditunjukkan dalam Gambar 2, Gambar 5, dan Gambar 8.

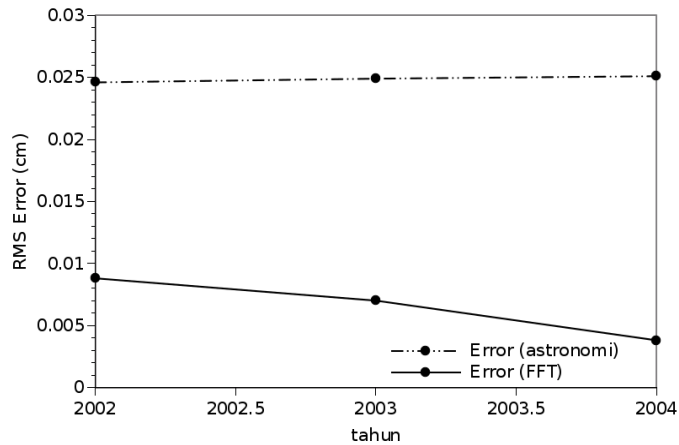
Perbandingan data dengan model periodik-stokastik pasang surut pelabuhan Panjang yang menggunakan frekuensi astronomi ditunjukkan dalam Gambar 10, Gambar 12, dan Gambar 14. Perbandingan data dengan model periodik-stokastik pasang surut yang menggunakan frekuensi dari FFT ditunjukkan dalam Gambar 11, Gambar 12, dan Gambar 15.

Perbandingan residu pasang surut dengan model stokastik yang menggunakan frekuensi astronomi ditunjukkan dalam Gambar 16, Gambar 18, dan Gambar 20. Perbandingan residu dengan model stokastik yang menggunakan frekuensi dari FFT ditunjukkan dalam Gambar 17, Gambar 19, dan Gambar 21.

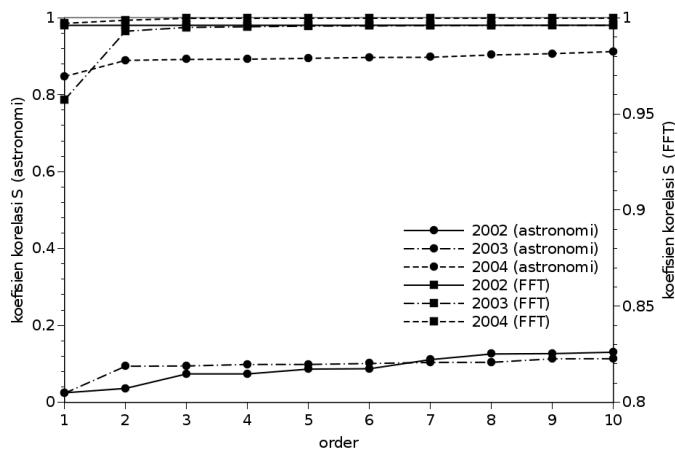
Berdasarkan hasil yang dipresentasikan ini menunjukkan bahwa model periodik, stokastik, dan model periodik-stokastik pasang surut dari pelabuhan Panjang yang menggunakan frekuensi dari FFT menghasilkan model yang lebih baik dibandingkan dengan model yang menggunakan frekuensi dari astronomi. Hasil perbandingan ini juga dapat dilihat dari besarnya nilai koefisien korelasi (R) dan RMS error model periodik pasang surut yang dipresentasikan pada Gambar 22 dan Gambar 23 yang mempresentasikan koefisien korelasi (R) dan RMS error dari model periodik pasang surut dari stasiun pelabuhan Panjang. Koefisien korelasi dari model stokastik pasang surut dari stasiun pelabuhan Panjang dipresentasikan pada Gambar 24, koefisien korelasi (R) model periodik - stokastik pasang surut stasiun pelabuhan Panjang dipresentasikan pada Gambar 25, sedangkan RMS error dari model periodik - stokastik pasang surut stasiun pelabuhan Panjang dipresentasikan pada Gambar 26 sebagai berikut,



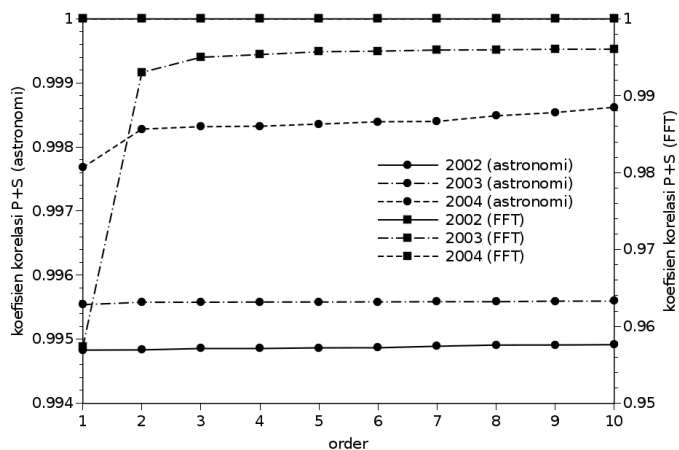
Gambar 22. Perubahan koefisien korelasi (R) model periodik pasang surut pelabuhan Panjang versus tahun (2002, 2003, 2004) yang berbeda.



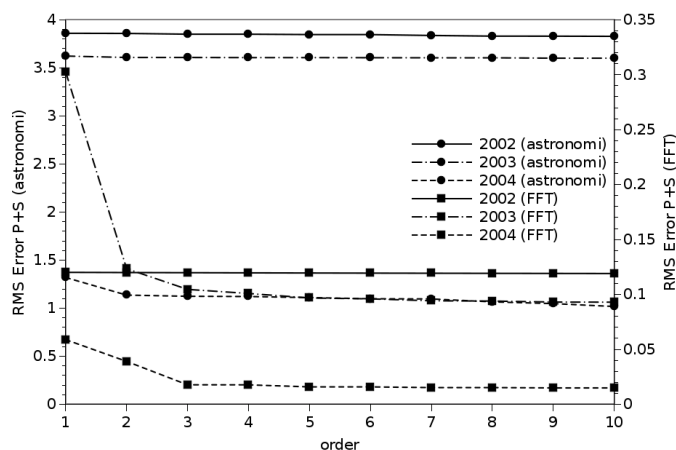
Gambar 23. Perubahan RMS Error (cm) model periodik pasang surut pelabuhan Panjang versus tahun (2002, 2003, 2004) yang berbeda.



Gambar 24. Perubahan koefisien korelasi (R) model stokastik (S) pasang surut pelabuhan Panjang versus order.



Gambar 25. Perubahan koefisien korelasi (R) model periodik - stokastik (P+S) pasang surut pelabuhan Panjang versus order.



Gambar 26. Perubahan RMS Error (cm) model periodik – stokastik pasang surut pelabuhan Panjang versus order.

Untuk melakukan analisis model periodik stokastik data pasang surut stasiun pelabuhan Panjang dipergunakan 2 tipe perhitungan, yaitu yang menggunakan 9 frekuensi dari 9 komponen astronomi berdasarkan teori Dodsoon, dan yang menggunakan 253 frekuensi dari FFT. Berdasarkan hasil penelitian ini diketahui bahwa untuk model stokastik yang menggunakan 9 frekuensi astronomi dengan menggunakan 2 order konstanta autoregressif sudah menghasilkan model yang cukup baik sedangkan untuk pemodelan stokastik yang mempergunakan frekuensi dari FFT harus menggunakan 3 order konstanta autoregressif untuk menghasilkan model yang baik. Kecendrungan hasil penelitian ini juga berbeda dengan yang dipresentasikan oleh Zakaria (2013), dimana untuk model stokastik pasang surut Tanjung Perik yang menggunakan 9 komponen astronomi membutuhkan 5 order konstanta autoregressif. Untuk kajian korelasi data dan model, pemodelan periodik yang menggunakan frekuensi dari FFT memberikan koefisien korelasi rata rata sebesar 0,9996 sedangkan pemodelan periodik yang menggunakan frekuensi astronomi memberikan koefisien korelasi yang lebih kecil, yaitu rata rata sebesar 0,9948. Untuk pemodelan periodik - stokastik, pemodelan yang menggunakan frekuensi dari FFT memberikan koefisien korelasi rata rata sebesar 0,99999. Koefisien korelasi ini jauh lebih baik dibandingkan dengan koefisien korelasi yang didapat dari model periodik - stokastik yang menggunakan frekuensi astronomi yaitu rata rata hanya sebesar 0,9963.

Apabila ditinjau dari RMS error, pemodelan periodik yang menggunakan frekuensi dari FFT memberikan RMS error rata rata sebesar 0,07 mm sedangkan pemodelan periodik yang menggunakan frekuensi dari astronomi memberikan RMS error lebih besar, yaitu rata rata sebesar 0,2 mm. Hasil ini lebih baik dari hasil pemodelan periodik yang mempergunakan data dari stasiun Tanjung Perik (Zakaria, 2013). Untuk pemodelan periodik-stokastik yang menggunakan frekuensi dari FFT memberikan nilai RMS error rata rata sebesar 0,9 mm, sedangkan pemodelan periodik-stokastik yang menggunakan frekuensi astronomi memberikan RMS error rata rata sebesar 28,5 mm.

Dari hasil pemodelan periodik, pemodelan stokastik, maupun pemodelan periodik-stokastik pasang surut dari stasiun pelabuhan Panjang ini menunjukkan bahwa pemodelan yang mempergunakan frekuensi dari FFT memberikan hasil pemodelan yang jauh lebih baik bila dibandingkan dengan pemodelan yang mempergunakan frekuensi astronomi.

4. SIMPULAN

Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa model periodik, stokastik, dan periodik-stokastik pasang surut dari stasiun pelabuhan Panjang yang menggunakan frekuensi dari FFT menghasilkan model yang jauh lebih akurat bila dibandingkan dengan model yang menggunakan frekuensi dari astronomi.

DAFTAR PUSTAKA

- Bhakar, S.R., Singh, Raj Vir, Chhajed, Neeraj, and Bansal, Anil Kumar, 2006, Stochastic modeling of monthly rainfall at kota region. *ARPJ Journal of Engineering and Applied Sciences*, Vol.1 (3), pp. 36-44.
- Kottegoda, N.T. 1980, *Stochastic Water Resources Technology*, The Macmillan Press Ltd., London. p. 384.
- Rizalihadi, M. 2002, The generation of synthetic sequences of monthly rainfall using autoregressive model. *Jurnal Teknik Sipil Universitas Syah Kuala*, Vol. 1 (2), pp. 64-68.
- Zakaria, A. 1998, *Preliminary study of tidal prediction using Least Squares Method*. Thesis (Master), Bandung Institute of Technology, Bandung, Indonesia.
- Zakaria, A. 2003, *Numerical Modelling of Wave Propagation Using Higher Order Finite Difference Formulas*. Thesis (Doktor), Curtin University of Technology, 247 hlm.
- Zakaria, A. 2008, The generation of synthetic sequences of monthly cumulative rainfall using FFT and least squares method. *Prosiding Seminar Hasil Penelitian & Pengabdian kepada masyarakat*, Universitas Lampung, Vol. 1, pp. 1-15.
- Zakaria, A. 2010a, A study periodic modeling of daily rainfall at Purajaya region. *Seminar Nasional Sain & Teknologi III*, Lampung University, Vol. 3, pp. 1-15.
- Zakaria, A. 2010b, *Studi pemodelan stokastik curah hujan harian dari data curah hujan stasiun Purajaya*, Prosiding Seminar Nasional Sain Mipa dan Aplikasinya, Lampung University, Vol. 2, pp. 145-155.
- Zakaria, A. 2011a, A study modeling of 15 days cumulative rainfall at Purajaya Region, *International of Geology*, Vol. 5(4), pp. 101 – 107.
- Zakaria, A. 2011b, Stochastic characteristics of daily rainfall at Purajaya Region, *ARPJ Journal of Engineering and Applied Sciences*, Vol 6 (6), pp. 23 -30.
- Zakaria, A. 2013, *Model periodik dan stokastik data pasang surut jam-jaman dari stasiun Tanjung Periok*, Prosiding Seminar Sains dan Teknologi V, Lembaga Penelitian Universitas Lampung, pp. 50-72.

