

Investigasi Variasi Tahunan Terhadap *Mean Sea Level* di Benoa, Bali

Ni Made Rai Ratih Cahya Perbani

Jurusan Teknik Geodesi, Institut Teknologi Nasional (Itenas) – Bandung

Email: ratih_c@itenas.ac.id

ABSTRAK

Mean Sea Level (MSL) merupakan permukaan laut stasioner yang bebas dari semua variasi yang bergantung pada waktu. Panjang data ideal untuk menentukan MSL adalah 18,61 tahun. Data pasut yang tersedia umumnya kurang dari yang disyaratkan. Data yang lebih pendek tidak dapat digunakan untuk menganalisis faktor-faktor yang periodenya lebih panjang meskipun faktor-faktor tersebut tetap mempengaruhi data. Penelitian ini ditujukan untuk menginvestigasi terjadinya variasi tahunan sehingga dapat digunakan untuk memberikan koreksi terhadap MSL yang dihitung dari data pendek (bulanan) dengan mempelajari struktur gelombang periode lebih panjang dan memodelkannya. Data pasut yang digunakan adalah data Tahun 2007 s.d. 2009 di Benoa, Bali yang dicuplik menjadi 36 data bulanan. Untuk pemodelan variasi tahunan digunakan fungsi gelombang dengan periode pendekatan diambil dari nilai-nilai ekstrim yang berulang. Dari penelitian dapat diketahui variasi tahunan dari MSL di Benoa, Bali terjadi dengan periode 12,2 bulan dan memiliki kemiripan dengan Gelombang Sa serta memiliki amplitudo sebesar 170,14 mm.

Kata kunci: Mean Sea Level, variasi tahunan, periode, amplitudo

ABSTRACT

Mean Sea Level (MSL) is a stationary sea level which would exist in the absence of all time dependent variations. It needs 18.61 years data length to determine ideal MSL. The established tidal data is commonly less than that required. Shorter data can not be used to analyze the factors which have longer periodes although these factors still affect the data. This research is intended to investigate the occurrence of annual variations that can be used to provide a correction to MSL which is determined from short data (monthly) by studying the longer period wave structure and model it. Tidal data used is the data from 2007 to 2009 at Benoa, Bali and sampled into 36 monthly data . The wave function is used to model the annual variation. Approximation of period wave is determined by taking extreme values which seem to have repetitive behaviour . It is found that the annual variation of MSL at Benoa, Bali occurs with a period of 12.2 months, similar with Sa wave, and has amplitude of 170.14 mm

Keywords: Mean Sea Level, annual variation, period, amplitude

1. PENDAHULUAN

Informasi mengenai pasut sangat berguna untuk berbagai bidang. Untuk bidang geodesi di antaranya adalah untuk menentukan Mean Sea Level (untuk keperluan penentuan datum tinggi) dan Chart Datum (untuk keperluan penentuan datum kedalaman) [1]. Ada berbagai definisi untuk Mean Sea Level (MSL), di antaranya adalah: MSL merupakan permukaan laut yang bebas dari semua variasi yang bergantung pada waktu, disebut juga *permukaan laut stasioner* [2]; MSL adalah permukaan yang dihitung dengan cara merata-ratakan hasil pengamatan pasut secara aritmatika biasa, tapi sebelum nilai rata-rata tersebut dihitung harus diterapkan metode lain terlebih dahulu yang mencakup aplikasi filter *low-pass* untuk mengeliminasi pengaruh pasut dan *surges* [3], MSL merupakan titik nol bagi ordinat dari komponen harmonik pasut dan permukaan laut tanpa gangguan pasut [4]; bidang tempat pasut berosilasi; rata-rata dari suatu periode pengamatan yang panjang, sebaiknya selama 18,61 tahun.

MSL merupakan tinggi muka air rata-rata untuk periode panjang, idealnya dalam kurun waktu 18,61 tahun, atau tinggi muka air rata-rata tanpa pengaruh pasut. Pengambilan data pasut yang digunakan untuk menentukan MSL seharusnya dilakukan secara terus menerus selama 18,61 tahun dengan selang waktu satu jam. Jika data tersebut tersedia maka MSL dapat ditentukan dengan menghitung rata-rata aritmatika biasa dari data pasut. Namun, penyelenggaraan data pasut selama 18,61 tahun tanpa jeda bukanlah merupakan hal yang mudah untuk dilakukan. Umumnya, data pasut yang tersedia biasanya memiliki panjang data kurang dari yang disyaratkan. Dengan demikian, berdasarkan definisi Emery [3] MSL masih dapat ditentukan dengan mengeliminasi pengaruh pasut.

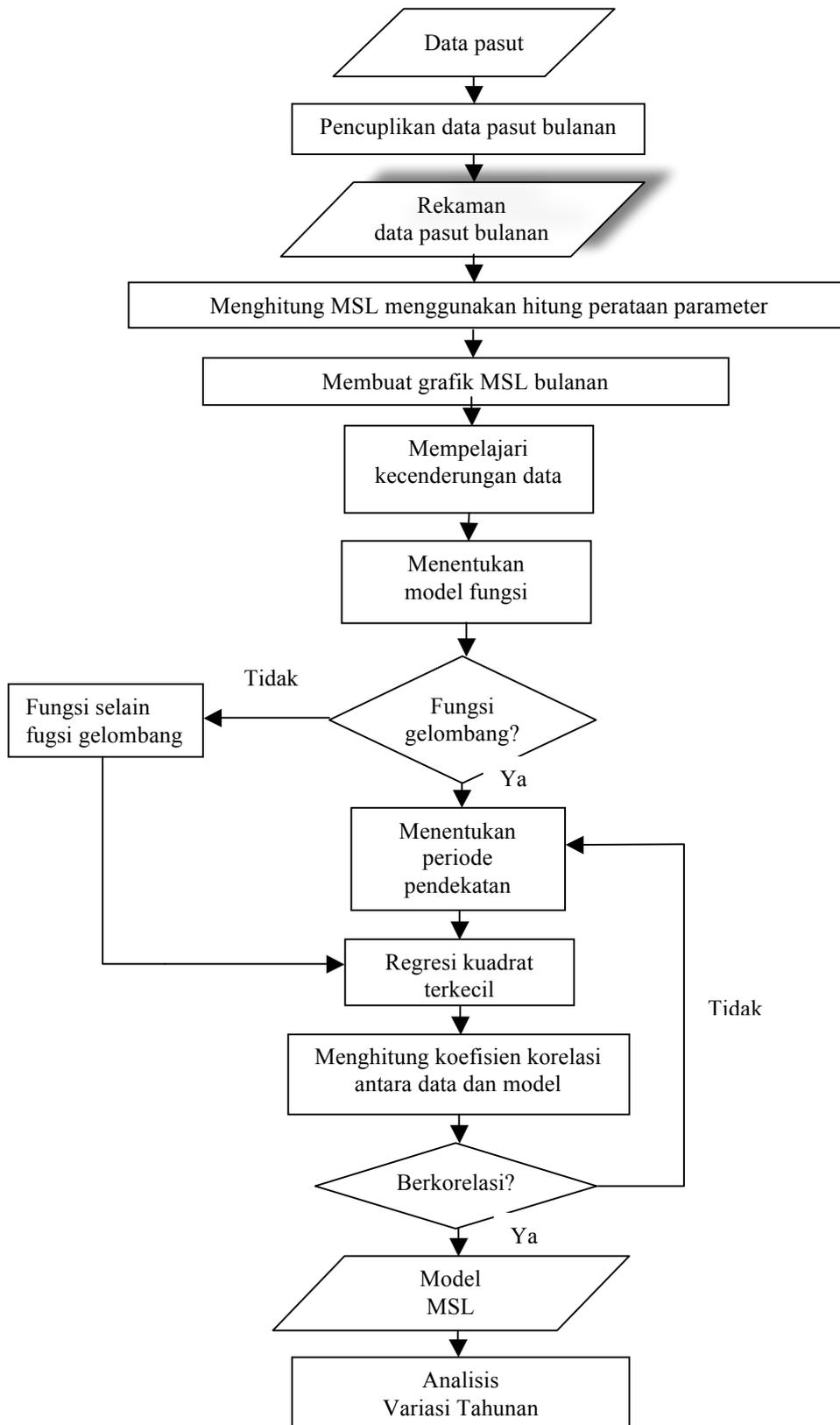
Bulan adalah benda langit utama yang menimbulkan pasut di bumi. Periode 18,61 tahun merupakan periode regresi noktah bulan. Peristiwa regresi noktah bulan juga akan menjadi salah satu hal yang mempengaruhi sifat-sifat pasut. Karenanya untuk menganalisis muka laut secara lengkap diperlukan data sekitar 18,61 tahun. Untuk menentukan MSL perlu dimasukkan kecenderungan jangka panjang yang terdiri dari: muka laut rata-rata jangka panjang, kecenderungan linier, pasut nodal dengan periode 18,61 tahun, variasi tahunan, pengaruh-pengaruh meteorologis [5]. Namun, faktor-faktor tersebut tidaklah mudah untuk diperoleh dan diketahui.

Berdasarkan penelitian studi proses *cyclostationarity* untuk prediksi tinggi pasut [6] diketahui bahwa pasang tinggi di Benoa, Bali memiliki sifat *cyclostationarity* dengan periode sekitar setahun. Dengan pengetahuan tersebut maka pada penelitian ini investigasi dibatasi hanya untuk faktor variasi tahunan karena belum tersedianya data pasut sepanjang 18,61 tahun di Benoa, Bali untuk investigasi pasut nodal dan model-model pengaruh meteorologis di Benoa masih perlu dikembangkan.

Data yang lebih pendek tidak dapat digunakan untuk menganalisis faktor-faktor yang periodenya lebih panjang meskipun faktor-faktor tersebut tetap mempengaruhi data. Sungguhpun demikian, dengan mempelajari perilaku pasut yang mempengaruhi MSL diharapkan dapat digunakan untuk menentukan MSL yang lebih teliti meskipun dari data pasut dengan periode lebih pendek. Penelitian ini ditujukan untuk menginvestigasi terjadinya variasi tahunan sehingga dapat digunakan untuk memberikan koreksi terhadap MSL yang dihitung dari data pendek (bulanan) dengan mempelajari struktur gelombang periode lebih panjang dan memodelkannya.

2. METODOLOGI

Metodologi yang digunakan untuk mengetahui perilaku MSL yang terjadi di Benoa, Bali merupakan pengembangan lebih lanjut dari metodologi yang digunakan pada studi proses *cyclostationarity* untuk prediksi tinggi pasut [6]. Pada penelitian ini yang dianalisis adalah MSL bulanan. Metodologi yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Metodologi penelitian

Keterangan:

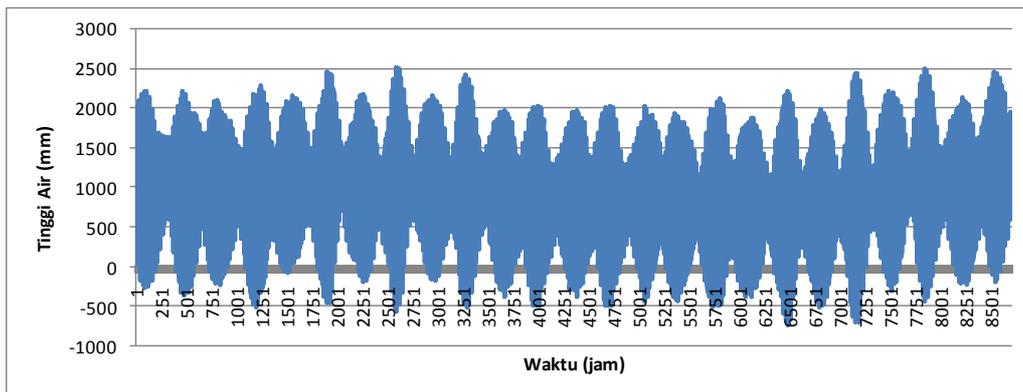
- Data pasut yang digunakan adalah data Tahun 2007 s.d. 2009 di Benoa, Bali yang bersumber dari Sea Level Center, University of Hawaii
- Konstanta pasut yang dipertimbangkan untuk menghitung MSL adalah M_2 , S_2 , K_1 , dan O_1
- Besarnya koefisien korelasi antara data dan model dihitung menggunakan persamaan dalam [7], yaitu:

$$r = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{\sqrt{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i\right)^2} \sqrt{n \sum_{i=1}^n y_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n y_i\right)^2}} \quad (1)$$

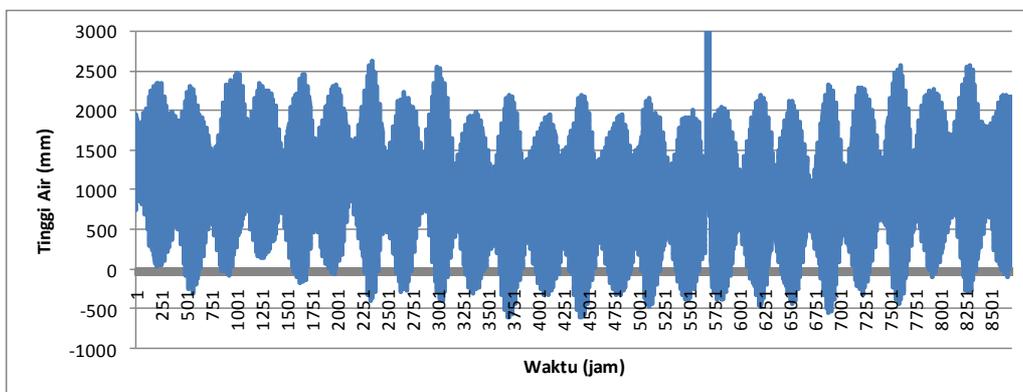
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Data Pasut

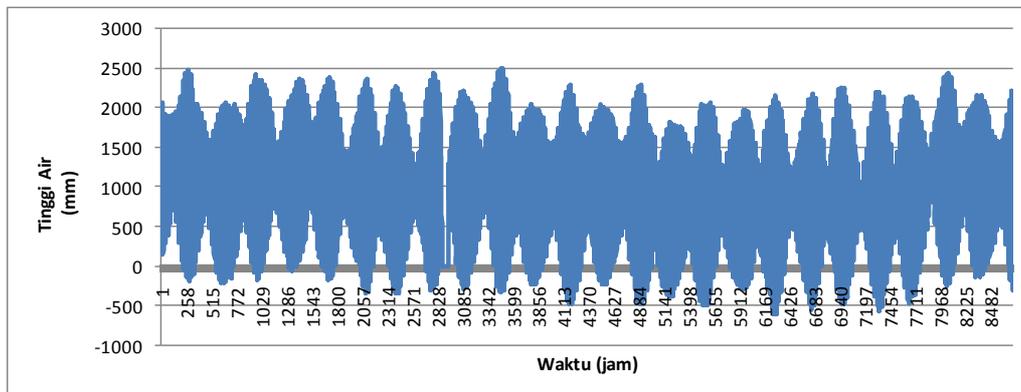
Gambaran mengenai data pasut di Benoa, Bali pada Tahun 2007, 2008, 2009 dapat dilihat pada Gambar 2, 3, dan 4 berikut:



Gambar 2. Data Pasut Tahun 2007 di Benoa, Bali
(sumber data: Sea Level Center, University of Hawaii)



Gambar 3. Data Pasut Tahun 2008 di Benoa, Bali
(sumber data: Sea Level Center, University of Hawaii)



Gambar 4. Data Pasut Tahun 2009 di Benoa, Bali
(sumber data: Sea Level Center, University of Hawaii)

Data pasut yang digunakan pada penelitian merupakan data pengamatan tiga tahun. Pemilihan rentang waktu tiga tahun tersebut dengan pertimbangan bahwa berdasarkan hasil penelitian proses *cyclostationarity* untuk pasang tinggi memerlukan data pasut lebih dari dua tahun untuk analisis pasut di Benoa, Bali [6]. Di Tahun 2008 dan 2009 ada data yang tidak lengkap, yaitu di Bulan Agustus 2008 dan Mei 2009 sehingga tidak dimungkinkan untuk menghitung MSL tahunan untuk Tahun 2008 dan 2009. Namun, dari data yang tersedia masih dimungkinkan untuk menentukan MSL bulanan. Dari Gambar 2, 3, dan 4 dapat dilihat bahwa pasut yang terjadi di Benoa tidak beresilasi di suatu bidang yang stasioner, tapi lebih terlihat sebagai suatu bidang yang juga beresilasi.

3.2 Pencuplikan Data Bulanan

Data pasut dari Januari 2007 s.d Desember 2009 di Benoa, Bali dicuplik menjadi data bulanan menjadi sebanyak 36 rekaman data. Pencuplikan data didasarkan pada bulan pengambilan data. Dalam rangka menghindari variasi frekuensi tinggi yang terjadi dalam periode beberapa hari atau kurang maka diperkenalkan nilai rata-rata bulanan [5]. Dengan demikian data pasut yang memiliki panjang data satu bulan lebih baik dibandingkan dengan data harian. Pemilihan data bulanan ini dilakukan dengan pertimbangan bahwa data yang tersedia masih layak untuk dicuplik menjadi data bulanan. Di Bulan Agustus 2008 ada 32 jam data yang tidak tersedia, sedangkan di Bulan Mei 2009 ada 16 jam yang tidak tersedia. Kekurangan data tersebut masih kurang dari dua hari dan dipertimbangkan masih dapat digunakan untuk mewakili data bulanan.

3.3 Pemilihan Konstanta Pasut

Gaya pembangkit pasut 83% -nya disebabkan oleh tujuh konstanta utama pasut, yaitu: M_2 , S_2 , N_2 , K_2 , K_1 , O_1 , dan P_1 [8]. Akan tetapi, untuk memisahkan gelombang M_2 dan N_2 diperlukan paling sedikit 27,6 hari. Data pasut bulanan di Benoa, Bali yang dicuplik dari data tahunan memiliki data paling pendek 26,25 hari di Bulan Agustus 2008. Data ini tidak cukup untuk menganalisis M_2 dan N_2 secara bersamaan. Dalam penelitian ini konstanta pasut yang dipertimbangkan untuk menghitung MSL baru empat konstanta utama, yaitu: M_2 , S_2 , K_1 , dan O_1 . Beda frekuensi terkecil antara keempat konstanta pasut tersebut, yaitu: antara M_2 dan S_2 adalah sebesar 0.0177308 rad/jam. Resolusi untuk dapat memisahkan dengan baik keempat konstanta tersebut minimal 354,4 jam (≈ 15 hari) [9]. Dengan demikian data di Bulan Agustus 2008 masih layak untuk digunakan dalam menentukan MSL.

3.4 Pemodelan

MSL terdiri dari muka laut rata-rata periode panjang, kecenderungan, pasut periodik, pengaruh meteorologis, dan residu seperti yang dinyatakan dalam Persamaan 2 berikut:

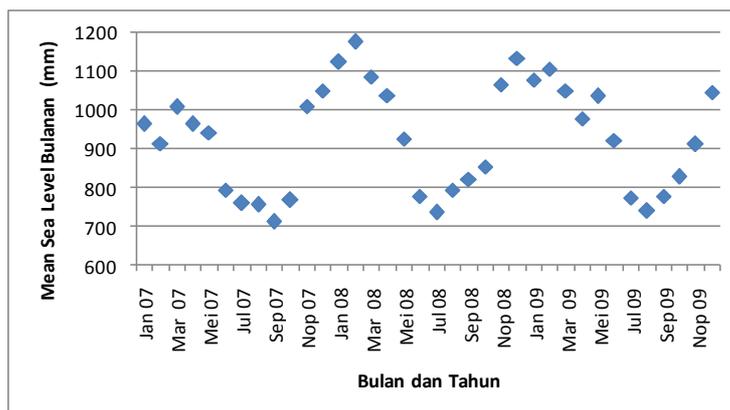
$$Z_0(t) = \bar{Z}_0 + at + N + S_a + S_{sa} + b_0 P_A + b_1 \frac{\partial P_A}{\partial x} + b_2 \frac{\partial P_A}{\partial y} + e(t) \quad (2)$$

di mana \bar{Z}_0 adalah muka laut rata-rata periode panjang, at adalah kecenderungan linier; N adalah pasut nodal periode 18,61 tahun; S_a, S_{sa} adalah variasi tahunan dan suku harmonik pertamanya; $P_A, \frac{\partial P_A}{\partial x}, \frac{\partial P_A}{\partial y}$ adalah tekanan udara lokal; b_0, b_1, b_2 adalah koefisien hubungan antara muka laut dan meteorologi; $e(t)$ adalah residu yang tidak termodelkan, termasuk juga kesalahan pengukuran [5].

Pemodelan yang disyaratkan pada Persamaan 2 merupakan pemodelan MSL yang ideal. Pada penelitian ini hanya salah satu faktor yang diinvestigasi, yaitu faktor variasi tahunan. Pemodelan data dilakukan dengan mempertimbangkan kecenderungan yang diperlihatkan oleh hasil hitungan MSL bulanan di Benoa, Bali mulai dari Januari 2007 s.d Desember 2009. Hasil hitungan MSL di Benoa dapat dilihat pada Tabel 1 dan kecenderungannya dapat dilihat pada Gambar 5.

Tabel 1 Hasil hitungan MSL bulanan di Benoa, Bali

Bulan dan Tahun	MSL (mm)
Jan 07	964
Feb 07	914
Mar 07	1008
Apr 07	963
Mei 07	942
Juni 07	795
Jul 07	760
Agt 07	755
Sep 07	712
Okt 07	768
Nop 07	1009
Des 07	1049
Jan 08	1123
Feb 08	1176
Mar 08	1087
Apr 08	1037
Mei 08	925
Juni 08	777
Jul 08	736
Agt 08	795
Sep 08	821
Okt 08	855
Nop 08	1065
Des 08	1134
Jan 09	1077
Feb 09	1107
Mar 09	1050
Apr 09	977
Mei 09	1036
Juni 09	921
Jul 09	773
Agt 09	740
Sep 09	777
Okt 09	828
Nop 09	911
Des 09	1046



Gambar 5. Kecenderungan MSL Bulanan di Benoa, Bali

Grafik MSL bulanan di Benoa, Bali mulai Januari 2007 s.d. Desember 2009 memperlihatkan kecenderungan perubahan MSL dari bulan ke bulan mendekati fungsi sinusoidal. Berdasarkan kecenderungan yang diperlihatkan oleh grafik pada Gambar 5 maka dicoba menggunakan fungsi gelombang pada Persamaan 3 untuk memodelkan perilaku MSL.

$$h(t) = Amp \cos(\omega t - \varphi) \tag{3}$$

di mana Amp adalah amplitudo gelombang, t adalah waktu, ω adalah frekuensi sudut dari gelombang, dan φ adalah fase gelombang. Frekuensi sudut diperoleh dari Periode T menggunakan rumus $\omega = \frac{2\pi}{T}$.

Frekuensi sudut gelombang ditentukan berdasarkan periode pendekatan dari nilai-nilai MSL ekstrim, yaitu selang waktu dari nilai yang paling tinggi dan juga dari nilai yang paling rendah. Dari Tabel 1 dapat diketahui bahwa nilai ekstrim tinggi terjadi pada Januari dan Desember 2008, sedangkan nilai ekstrim rendah terjadi pada September 2007, Juli 2008, Agustus 2009. Periode terjadinya nilai-nilai ekstrim tersebut berkisar antara 10 s.d. 12 bulan. Berdasarkan kisaran periode tersebut dihitung frekuensi sudut untuk digunakan dalam model fungsi gelombang pada Persamaan 3. Periode yang memberikan nilai koefisien korelasi tertinggi adalah 12,2 bulan dengan koefisien korelasi 0,89. Artinya model yang dihasilkan hampir 90% mewakili data. Model tersebut adalah $h(t) = 170,14 \cos(0.5150152 t - 0.7722623)$ di mana h dalam mm, t dinyatakan dalam bulan dan satuan sudut untuk menghitung cosinus menggunakan satuan radian.

3.4 Hasil Model Perubahan MSL Bulanan

MSL bulanan hasil hitungan dan model di Benoa, Bali dapat dilihat pada Tabel 2.

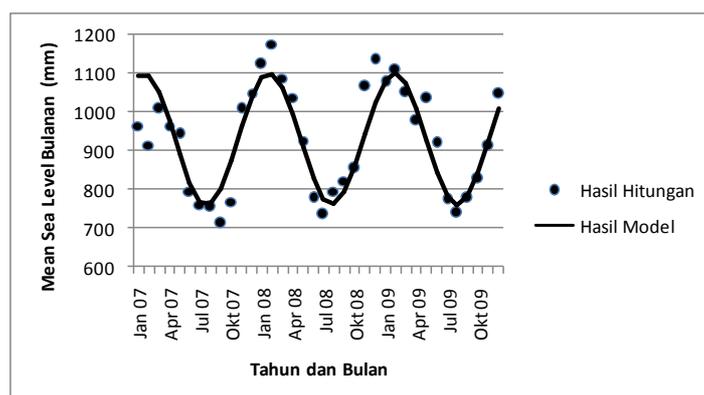
Tabel 2. MSL bulanan hasil hitungan dan model di Benoa, Bali

Bulan dan Tahun	MSL Hasil Hitungan (mm)	MSL Model (mm)
Jan 07	964	1095
Feb 07	914	1095
Mar 07	1008	1052
Apr 07	963	978
Mei 07	942	891
Juni 07	795	815

Tabel 2. MSL bulanan hasil hitungan dan model di Benoa, Bali (Lanjutan)

Bulan dan Tahun	MSL Hasil Hitungan (mm)	MSL Model (mm)
Jul 07	760	768
Agt 07	755	764
Sep 07	712	803
Okt 07	768	875
Nop 07	1009	961
Des 07	1049	1039
Jan 08	1123	1090
Feb 08	1176	1099
Mar 08	1087	1064
Apr 08	1037	994
Mei 08	925	909
Juni 08	777	828
Jul 08	736	774
Agt 08	795	761
Sep 08	821	792
Okt 08	855	858
Nop 08	1065	944
Des 08	1134	1025
Jan 09	1077	1083
Feb 09	1107	1100
Mar 09	1050	1074
Apr 09	977	1010
Mei 09	1036	926
Juni 09	921	843
Jul 09	773	782
Agt 09	740	760
Sep 09	777	782
Okt 09	828	843
Nop 09	911	926
Des 09	1046	1010

Hasil pemodelan perubahan MSL bulanan di Benoa, Bali dapat dilihat pada Gambar 6.

**Gambar 6. Hasil pemodelan perubahan Mean Sea Level bulanan di Benoa, Bali**

Dari Tabel 2 dan Gambar 6 dapat dilihat bahwa Mean Sea Level bulanan di Benoa, Bali seperti pasang tinggi dari hasil penelitian [6] juga bersifat *cyclostationarity* di mana siklus satu gelombang berulang dengan periode 12,2 bulan. Periode ini memiliki kemiripan periode variasi tahunan gelombang Sa yang memiliki periode 364,96 hari \approx 12,2 bulan [8]. Periode gelombang ini terlalu panjang untuk dapat dianalisis pada data bulanan. Karenanya pengaruh gelombang ini tidak dapat dianalisis dari data bulanan, padahal seharusnya MSL seharusnya merupakan suatu bidang stasioner yang tidak bervariasi terhadap waktu.

4. SIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil investigasi variasi tahunan terhadap MSL di Benoa, Bali dapat ditarik beberapa kesimpulan, yaitu: variasi tahunan dari MSL terjadi dengan periode 12,2 bulan dan memiliki kemiripan dengan Gelombang Sa serta memiliki amplitudo sebesar 170,14 mm. Penelitian ini baru memberikan kontribusi berupa salah satu faktor dari model pasut yang ideal dalam memberikan koreksi terhadap hasil hitungan MSL bulanan. Masih banyak faktor lain yang mempengaruhi MSL yang harus dikaji untuk menjadikan MSL menjadi bidang yang stasioner, di antaranya faktor meteorologi dan kecenderungan selain fungsi gelombang.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Perbani, N.M.R.R.C., (2002). "Pengaruh Variabilitas Mean Sea Level Terhadap Dinamika Pasang Surut di Perairan Indonesia dan Sekitarnya ". *Tesis*, Program Studi Oseanografi, Oseanografi dan Sains Atmosfer, Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- [2] Lisitzin, E. (1974). "Sea Level Changes". Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam.
- [3] Emery, W. J. dan R.E. Thomson. (1997). "Data Analysis Methods in Physical Oceanography". Elsevier Science, Ltd. , Oxford.
- [4] Ali, M. ; D. K. Mihardja; S. Hadi. (1994). "Pasang Surut Laut". Institut Teknologi Bandung.
- [5] Pugh, D. T, (1996).). "Tide, Surges, and Mean Sea Level". John Wiley & Sons, New York.
- [6] Perbani, N.M.R.R.C., (2010). "Studi Proses Cyclostationarity untuk Prediksi Tinggi Pasut", *Jurnal Itenas Rekayasa*, No.4, Vol 14, Oktober – Desember 2010, pp. 165 -175.
- [7] Chapra, S. C. dan R. P. Canale., (1988). "Numerical Methods for Engineers". McGraw-Hill Book Company, New York.
- [8] NN. (2007). "MIKE 21. Tidal Analysis and Prediction Modul. Scientific Documentation". DHI Water Environment, Denmark.
- [9] Perbani, N.M.R.R.C., (2010). "Studi Prosedur Dealiasing untuk Deteksi Konstanta Pasut Dominan". *Jurnal Itenas Rekayasa*, No.3, Vol 14, Juli - September 2010, pp. 133 - 140.