

Studi Proses *Cyclostationarity* untuk Prediksi Tinggi Pasut

NI MADE RAI RATIH CAHYA PERBANI

Jurusan Teknik Geodesi – FTSP Institut Teknologi Nasional, Bandung
Email : ratih_c@itenas.ac.id

ABSTRAK

Proses cyclostationarity dapat dilihat sebagai suatu siklus yang berulang secara stasioner. Pasut merupakan fenomena naik turunnya paras laut yang disebabkan oleh gaya tarik bulan dan matahari yang memiliki pergerakan periodik yang teratur sehingga sangat dimungkinkan pasut beserta besaran-besarannya bersifat periodik juga. Penelitian ditujukan untuk mengetahui apakah terjadi proses cyclostationarity pada data pasang tinggi sehingga dapat dibuat suatu model perilakunya yang dapat digunakan untuk prediksi pasang tinggi. Data pasang tinggi dicuplik dari data pasut mulai Oktober 2006 s.d Juli 2008 di Benoa Bali yang kemudian dikelompokkan menjadi dua bagian yang diasumsikan mewakili kondisi saat bulan purnama dan bulan mati dengan durasi 21 bulan. Pemodelan pasang tinggi dilakukan setelah diketahui kecenderungan data terlebih dahulu. Selanjutnya dihitung koefisien korelasi antara data dan hasil model untuk melihat seberapa besar hasil model dapat mewakili data. Dari penelitian dapat diketahui bahwa pasang tinggi di Benoa, Bali merupakan suatu proses cyclostationarity dengan periode satu siklusnya lebih kurang 385 hari dan rentang perubahannya lebih kurang 60 cm. Ditemukan juga bahwa diperlukan data lebih dari dua tahun untuk analisis yang lebih detail.

Kata kunci: cyclostationarity, pasang tinggi, pemodelan.

ABSTRACT

A cyclostationary process can be viewed as a multiple interleaved stationary process. Tide is a phenomenon of the rise and fall of sea level due to gravitational forces of the moon and the sun which has a regular periodic movement, so that tide and its properties likely has the periodic behaviour, too. This research is intended to find the possibility of cyclostationary process on spring tides data to model the behaviour for prediction purpose. The spring tides data is sampled from tide data from October 2006 to July 2008 at Benoa, Bali which is divided into two records which is assumed represent the condition of full and new moon. The data has 21 months length. The trend of data must be examined first for modelling the behaviour of spring tide. After that, the coefficient of correlation between the data and the model is calculated to see the realibility of the model to represent the data. It is found that spring tides in Benoa, Bali is a cyclostationarity process with period for one cycle about 385 hours and has range about 60 cm. Besides, it needs more than 2 years length tide data to hold the detailed analysis.

Keywords: cyclostationarity, spring tides, modelling

1. PENDAHULUAN

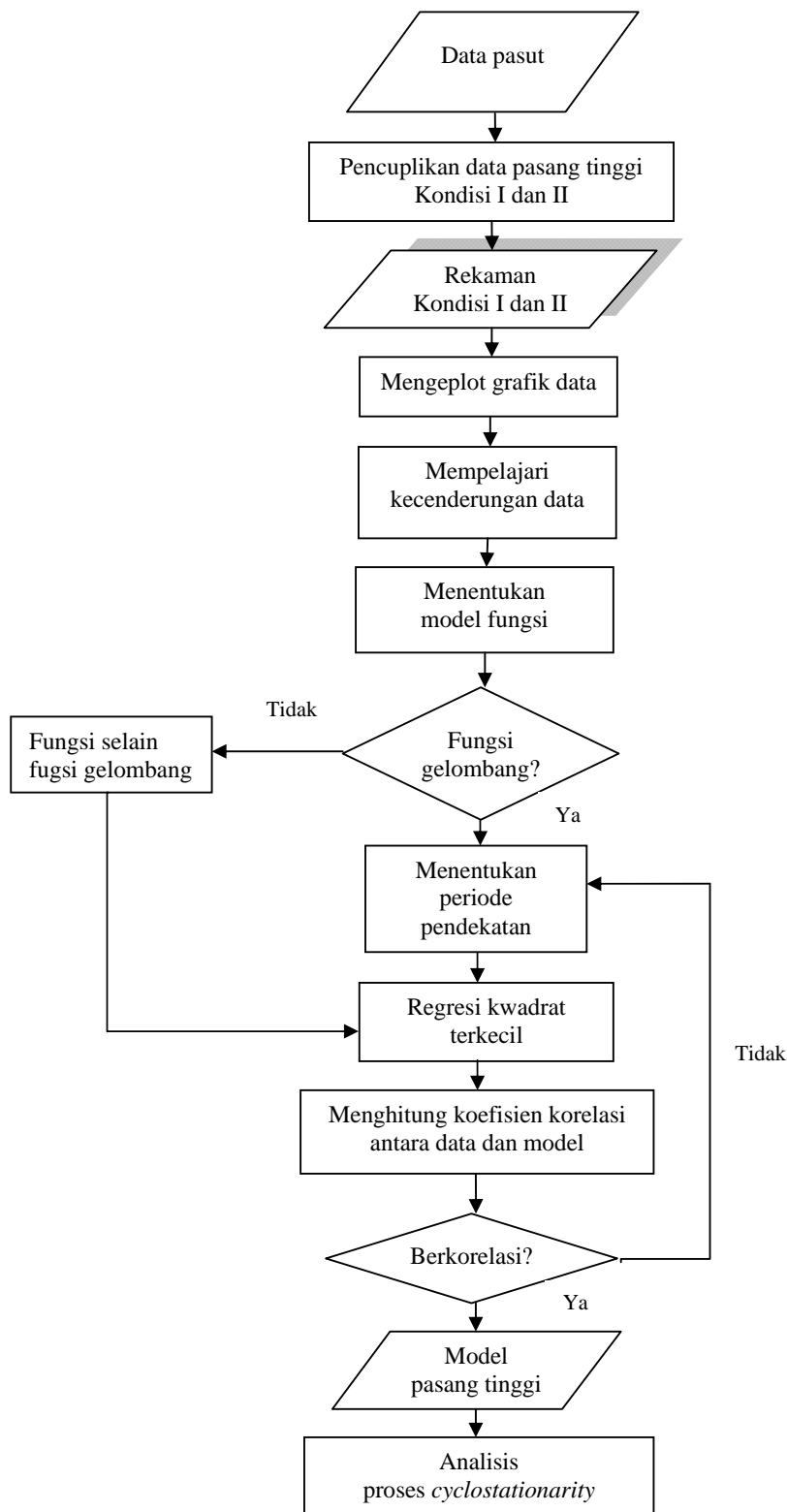
Proses *cyclostationarity* terjadi bila suatu sinyal memiliki besaran-besaran statistik yang siklusnya bervariasi terhadap waktu. Proses *cyclostationarity* dapat dilihat sebagai suatu siklus yang berulang secara stasioner. Proses ini dapat diilustrasikan seperti memodelkan suhu maksimum harian di Kota New York. Secara statistik suhu pada tanggal 21 Juli berbeda dengan suhu pada tanggal 20 Desember, tapi suhu pada tanggal yang sama di tahun yang berbeda dapat dikatakan identik secara statistik. Artinya suhu harian maksimum membentuk suatu siklus di mana suhu berubah dari hari ke hari dalam siklusnya dan akan berulang memiliki nilai yang sama (stasioner) di siklus berikutnya [1]. Beberapa penelitian mengenai proses *cyclostationarity* telah dilakukan, di antaranya [2] melakukan penelitian yang menerapkan proses *cyclostationarity* ini untuk memprediksi fenomena El Nino.

Suatu besaran dikatakan stasioner jika pada saat dengan kondisi yang sama rata-rata akan memberikan nilai yang sama. Ada beberapa besaran-besaran yang terkandung dalam pasut, di antaranya: Mean Sea Level, amplitudo dan fase konstanta pasut, air tinggi, air rendah, pasang tinggi, pasang rendah, tipe pasut. Pada penelitian ini kondisi sama yang dipertimbangkan untuk analisis hanya saat terjadinya pasang tinggi. Pasang tinggi terjadi pada saat bulan, bumi, dan matahari berada pada satu garis lurus, yaitu pada saat bulan di Kwartir II (bulan mati) dan Kwartir IV (bulan purnama). Selang waktu antara Kwartir II dan IV adalah setengah bulan sehingga pasang tinggi akan terjadi setengah bulan sekali, namun dengan kondisi sedikit berbeda, yaitu saat bulan mati (matahari-bulan-bumi) dan saat bulan purnama (matahari-bumi-bulan). Energi yang dihasilkan pada kedua keadaan tersebut sebetulnya hampir sama. Menurut Odenwalds (2002) dalam [3] tinggi air pada saat pasang tinggi saat bulan mati maupun purnama hampir sama karena pengaruh bulan terjadi pada kedua sisi baik bulan berada pada sisi yang dekat maupun di seberangnya. Pasang tinggi terbesar terjadi saat bulan berada pada jarak paling dekat dengan bumi yang disebut sebagai Pasut Perigee. Namun, supaya besaran yang dianalisis memiliki kondisi yang diasumsikan betul-betul sama maka pada penelitian ini data pasang tinggi dikelompokkan menjadi dua bagian. Karena bulan mati dan bulan purnama merupakan fenomena yang terjadi satu bulan sekali maka data pasut yang digunakan harus cukup panjang. Pada penelitian digunakan data pasut dengan durasi 21 bulan. Pemodelan pasang tinggi dilakukan setelah diketahui kecenderungan data pasang tinggi terlebih dahulu. Selanjutnya dihitung koefisien korelasi antara data dan hasil model untuk melihat seberapa besar hasil model dapat mewakili data.

Pasang surut laut (pasut) merupakan fenomena naik turunnya paras laut yang disebabkan oleh gaya tarik bulan dan matahari terhadap bumi dan juga dipengaruhi oleh gaya sentrifugal. Ketiga benda angkasa tersebut memiliki pergerakan yang teratur secara periodik [4] karenanya pasut juga merupakan suatu fenomena yang periodik. Sebagai fenomena yang bersifat periodik maka besaran-besaran yang dimiliki pasut akan bersifat periodik juga dalam satu siklus tertentu. Pengetahuan mengenai perilaku periodik pada pasut ini akan bermanfaat untuk prediksi tinggi air sehingga penelitian ditujukan untuk mengetahui apakah terjadi proses *cyclostationarity* pada data pasang tinggi sehingga dapat dibuat suatu model perilakunya yang dapat digunakan untuk prediksi pasang tinggi.

2. METODOLOGI

Metodologi yang dilakukan untuk mengetahui apakah terjadi proses *cyclostationarity* pada data pasang tinggi pasut sehingga dapat dibuat suatu model perilakunya yang dapat digunakan untuk prediksi tinggi air dijelaskan pada Gambar 1 berikut ini.



Gambar 1. Metodologi penelitian

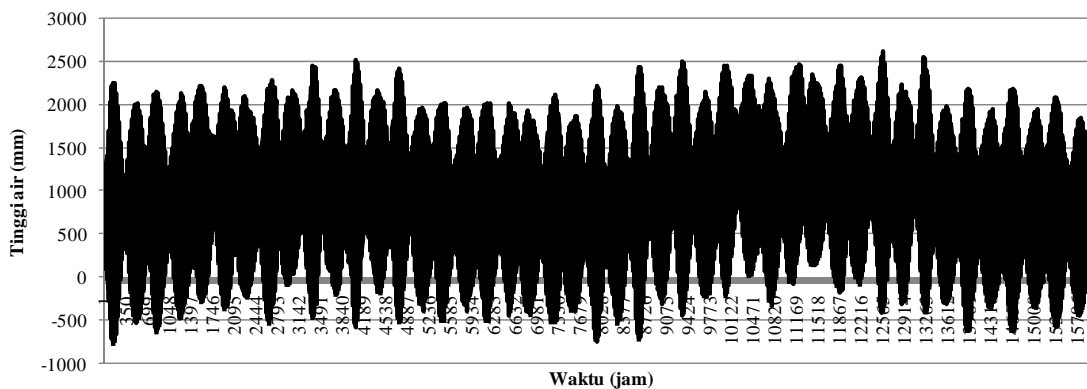
Keterangan:

- Data pasut yang digunakan adalah data Bulan Oktober 2006 s.d. Juli 2008 di Benoa, Bali yang bersumber dari Sea Level Center, University of Hawaii.
- Besarnya koefisien korelasi antara data dan model dihitung menggunakan rumus dalam [5].

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Gambaran Umum Pasang Tinggi

Gambaran mengenai pasang tinggi yang terjadi di Benoa, Bali pada Bulan Oktober 2006 s.d Juli 2008 dapat dilihat pada Gambar 2 berikut ini.



Gambar 2. Pengamatan pasut Bulan Oktober 2006 s.d Juli 2008 di Benoa, Bali (sumber data: Sea Level Center, University of Hawaii)

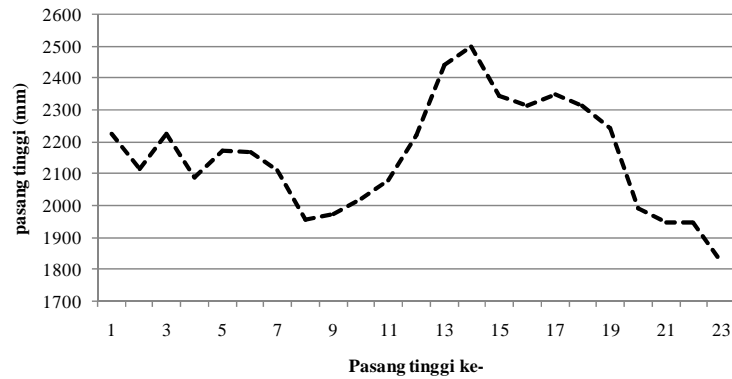
Pasang tinggi terjadi pada saat kedudukan matahari, bumi, dan bulan berada pada satu garis lurus di mana pengaruh bulan diperkuat oleh matahari. Saat itu terjadi pasang yang setinggi-tingginya. Pasang tinggi terjadi lebih kurang setengah bulan sekali. Walaupun antara dua pasang yang berturutan dipengaruhi oleh kondisi kedudukan matahari, bulan, dan matahari berada pada satu garis lurus, namun ada perbedaan. Pasang pertama terjadi saat bulan berada di sisi yang sama dengan matahari (saat bulan mati pada Kwartir II), sedangkan pasang yang berikutnya terjadi saat bulan dan matahari berada pada posisi berseberangan relatif terhadap posisi bumi (saat bulan purnama pada Kwartir IV). Pada data pasut terlihat sebagai puncak-puncak dengan tunggang air terbesar. Untuk di Lokasi Benoa, Bali dapat dilihat pada Gambar 2 di mana terjadi 45 pasang tinggi.

3.2 Pencuplikan Data Pasang Tinggi

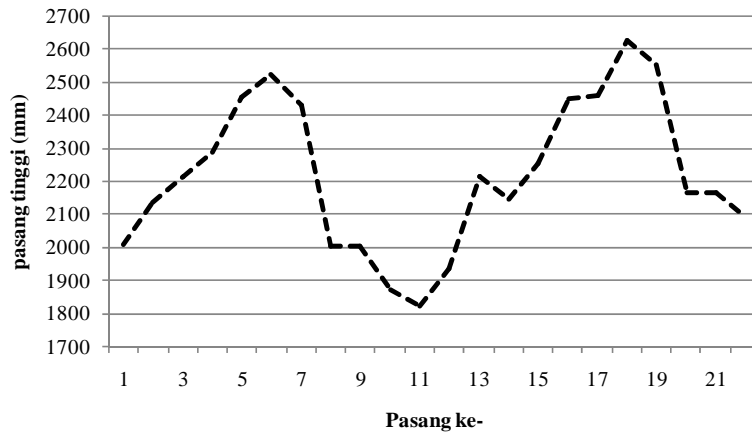
Data pasang tinggi pada penelitian ini dibedakan menjadi dua, yaitu; Kondisi I dan Kondisi II. Belum diketahui dengan pasti saat-saat terjadinya bulan mati dan bulan purnama di Benoa Bali pada periode data yang tersedia. Karenanya pasang yang pertama terjadi dalam data disebut sebagai Kondisi I dan pasang yang terjadi berikutnya disebut sebagai Kondisi II. Bulan purnama dan bulan mati terjadi secara bergantian sehingga data pasang tinggi untuk Kondisi I dan II juga didatakan secara bergantian. Data pasang tinggi dicuplik dari data pasut dengan melihat lokasi puncak-puncak pada grafik data pasut pada Gambar 2. Walaupun menurut Odenwalds (2002) dalam [3] tinggi air pada saat pasang tinggi saat bulan mati dan bulan purnama hampir sama, namun pada penelitian ini dibedakan menjadi dua kondisi. Hal ini dimaksudkan agar data yang dianalisis merupakan data yang dipengaruhi oleh kondisi yang sama.

3.3 Pemodelan

Pemodelan data dilakukan dengan mempertimbangkan kecenderungan yang diperlihatkan oleh data pasang tinggi. Kecenderungan data Kondisi I dan II dapat dilihat pada Gambar 3 dan Gambar 4 berikut ini.



Gambar 3. Kecenderungan data pasang tinggi Kondisi I



Gambar 4. Kecenderungan data pasang tinggi Kondisi II

Grafik data Kondisi I dan II memperlihatkan kecenderungan perubahan pasang tinggi dari waktu ke waktu dengan perilaku mendekati fungsi sinusoidal. Karenanya berdasarkan kecenderungan yang diperlihatkan oleh data maka dipilih fungsi gelombang untuk memodelkan perilaku pasang tinggi, yaitu:

$$h(t) = Amp \cos(\omega t - \varphi) \quad (1)$$

di mana:

- Amp adalah amplitudo gelombang
- t adalah waktu
- ω adalah frekuensi gelombang
- φ adalah fase gelombang.

Frekuensi gelombang ditentukan berdasarkan periode pendekatan dari dua nilai yang hampir sama dengan pola yang berulang yang lebih jelas terlihat pada Kondisi II di Gambar 4. Periode (T) untuk Kondisi I diperoleh 9241 jam (=385,04 hari) sedangkan untuk Kondisi II diperoleh 9242 jam (=385,08 hari). Dari periode tersebut diperoleh frekuensi gelombang menggunakan rumus $\omega = \frac{2\pi}{T}$. Regresi terhadap data digunakan regresi kwadrat terkecil. Hasil yang diperoleh dapat dilihat pada Tabel 1 berikut ini.

Tabel 1. Hasil pemodelan pasang tinggi di Benoa, Bali

Kondisi	Amplitudo (mm)	Fase (derajat)	Kofisien korelasi
I	180.028379	37.57614	0.997487
II	294.423633	121.8513	0.997515

Rentang perubahan pasang tinggi dapat ditentukan dari dua kali nilai amplitudonya. Berdasarkan Tabel I dapat dihitung bahwa rentang perubahan pasang tinggi di Benoa, Bali untuk mencapai 589 mm \approx 60 cm. Untuk memberikan gambaran mengenai kemampuan model dalam mewakili data pada penelitian ini digunakan koefisien korelasi. Dari Tabel 1 dapat dilihat bahwa fungsi gelombang hasil model memiliki korelasi yang tinggi dengan data sehingga dapat dikatakan bahwa fungsi tersebut dapat digunakan untuk prediksi pasang tinggi.

3.4 Hasil Model Proses *Cyclostationarity* Pasang Tinggi

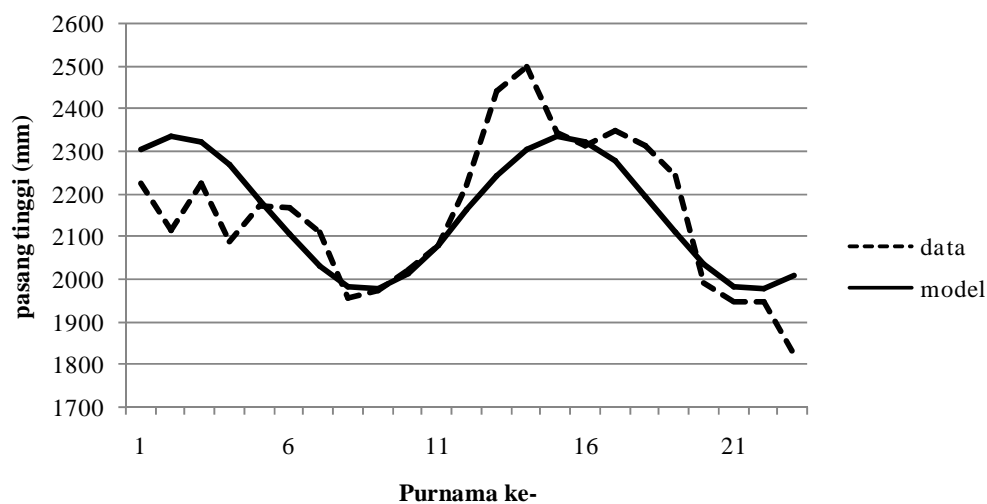
Data dan hasil model pasang tinggi Kondisi I dapat dilihat pada Tabel 2 dan Gambar 5, sedangkan untuk Kondisi II dapat dilihat pada Tabel 3 dan Gambar 6 berikut ini.

Tabel 2. Data dan hasil model pasang tinggi Kondisi I

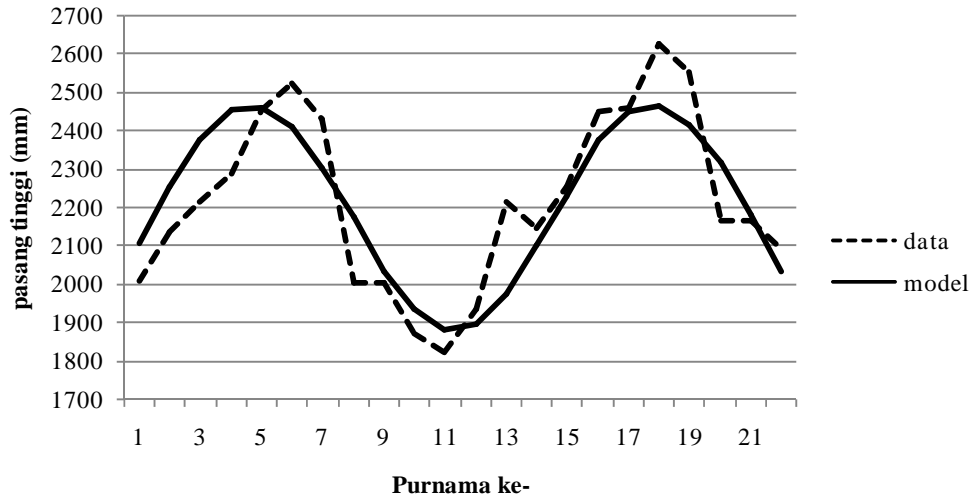
Pasang ke-	Waktu (jam)	Selang waktu (jam)	Data pasang tinggi (mm)	Pasang tinggi model (mm)
1	111		2224	2307
2	806	29	2114	2335
3	1552	31	2224	2322
4	2248	29	2091	2272
5	3029	33	2171	2186
6	3700	28	2168	2105
7	4395	29	2112	2032
8	5116	30	1957	1985
9	5860	31	1974	1979
10	6533	28	2025	2012
11	7265	31	2080	2082
12	7961	29	2221	2164
13	8632	28	2441	2243
14	9327	29	2501	2305
15	9998	28	2347	2335
16	10744	31	2313	2324
17	11440	29	2351	2277
18	12197	32	2312	2195
19	12892	29	2242	2111
20	13612	30	1992	2034
21	14357	31	1948	1985
22	15077	30	1948	1979
23	15724	27	1824	2009
Rata-rata =		30	2156	2156

Tabel 3. Data dan hasil model pasang tinggi Kondisi II

Pasang ke-	Waktu (jam)	Selang waktu (jam)	Data pasang tinggi (mm)	Pasang tinggi model (mm)
1	495		2009	2107
2	1240	31	2138	2254
3	1936	29	2213	2374
4	2718	33	2287	2454
5	3365	27	2456	2461
6	4060	29	2521	2408
7	4756	29	2431	2303
8	5427	28	2005	2173
9	6147	30	2005	2034
10	6819	28	1872	1933
11	7577	32	1822	1878
12	8272	29	1937	1895
13	8967	29	2213	1972
14	9712	31	2147	2102
15	10359	27	2254	2230
16	11190	35	2448	2375
17	11885	29	2458	2449
18	12581	29	2624	2462
19	13227	27	2551	2417
20	13923	29	2165	2316
21	14643	30	2165	2178
22	15389	31	2090	2034
Rata-rata =		30	2219	2219



Gambar 5. Kecenderungan cyclostationarity pasang tinggi Kondisi I



Gambar 6. Kecenderungan *cyclostationarity* pasang tinggi Kondisi II

Berdasarkan data pasang tinggi yang dicuplik dari data pasut di Benoa Bali pada Bulan Oktober 2006 s.d Juli 2008 selang waktu terjadinya pasang tinggi Kondisi I adalah antara 27 s.d. 31 hari, sedangkan untuk Kondisi II antara 27-35 hari. Rata-ratanya 30 hari, sesuai dengan kenyataan bahwa pasang purnama atau pasang perbani terjadi sebulan sekali. Gambaran mengenai data dan model yang dihasilkan dapat dilihat pada Gambar 5 dan 6. Dari gambar-gambar tersebut dapat dilihat bahwa data pasang tinggi berubah dari waktu waktu. Satu siklus gelombang memiliki periode rata-rata lebih dari setahun, yaitu: 385 hari. Data yang tersedia hanya dapat mewakili 1,5 gelombang dan belum cukup untuk menganalisis suatu proses *cyclostationarity* lebih detail. Namun, gambaran yang diberikan sudah mengindikasikan adanya siklus yang berulang. Artinya untuk analisis proses *cyclostationarity* pasang tinggi di Benoa, Bali diperlukan data paling sedikit dua periode gelombang, yaitu 770 hari (lebih dari dua tahun).

4. KESIMPULAN

Berdasarkan pembahasan studi proses *cyclostationarity* pasang tinggi di Benoa, Bali dapat ditarik beberapa kesimpulan, yaitu: pasang tinggi pada saat bulan mati dan bulan purnama merupakan suatu proses *cyclostationarity* dengan periode satu siklusnya lebih kurang 385 hari dengan rentang perubahan antara pasang tinggi mencapai lebih kurang 60 cm. Di samping itu, ditemukan juga bahwa untuk analisis proses *cyclostationarity* lebih detail di Benoa, Bali diperlukan data pasut lebih dari dua tahun.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] NN. (2010). "Cyclostationarity Process". *Wikipedia, The Free Encyclopedia*
- [2] Kim, K. Y. (1999). "On Statistical Prediction of Cyclostationarity Process". *Revision submitted to the Journal of Climate. Climate System Research Program, Texas A&M University, Texas.*
- [3] NN. (2010). "Moon Tide. How The Moon Affects Ocean Tides". *Ask The Astronomer.*
- [4] NN. (2007). "MIKE 21. Tidal Analysis and Prediction Modul. Scientific Documentation". *DHI Water Environment, Denmark*
- [5] Chapra, S. C. dan R. P. Canale. (1988). "Numerical Methods for Engineers". *McGraw-Hill Book Company, New York.*