

ANALISA DAN PERHITUNGAN PREDIKSI PASANG SURUT MENGGUNAKAN METODE ADMIRALTY DAN METODE *LEAST SQUARE* (STUDI KASUS PERAIRAN TARAKAN DAN BALIKPAPAN)

Supriyono¹, Widodo S Pranowo² Sofyan Rawi³, Bambang Herunadi⁴

¹Mahasiswa Program Studi S1 Hidrografi, STTAL

²Dosen Pengajar Prodi S1 Hidrografi, STTAL

³Peneliti dari Dinas Hidro-Oceanografi TNI AL

⁴Peneliti dari Balai Teknologi Survei Kelautan, BPPT

ABSTRAK

Pengamatan pasut dilakukan untuk menentukan nilai komponen pasut yang nantinya dapat digunakan untuk keperluan kerekayasaan dan pemetaan. Metode *least squares* dapat digunakan untuk menentukan komponen-komponen pasut selain metode *Admiralty*.

Metode penentuan komponen pasut dan prediksinya yang umum menggunakan beberapa metode, yaitu metode *Admiralty*, metode semi grafik, metode *least squares* dan lainnya. Metode yang umum digunakan adalah metode *Admiralty*, sedangkan metode lain jarang digunakan. Dengan berkembangnya teknologi komputer, maka berkembang pula metode alternatif lain. Salah satunya adalah metode *least squares* yang menggunakan bahasa program Matlab untuk eksekusinya.

Perhitungan menggunakan metode *least squares* menghasilkan nilai komponen amplitude yang mendekati nilai komponen hasil perhitungan metode *Admiralty* tetapi berbeda pada nilai fase. Metode *least squares* memberikan akurasi yang cukup baik pada hasil prediksi dan dengan komponen yang lebih banyak.

Kata kunci : pasang surut, admiralty, *least squares*

ABSTRACT

Tidal observations conducted to determine the tidal component and Chart datum that will be used for engineering and mapping. The least square method can be used to determine the tidal components in addition to the method Admiralty.

Tidal components and the method of determining the general predictions using several methods, namely Admiralty, semi-graphic method and others. Commonly used method is the method of Admiralty, whereas other methods are rarely used. With the development of computer technology, other alternative methods are introduced. One of them is a method of Least Square and Matlab programming language for execution.

Calculations of component amplitude using a method of Least Squares produce value that approaches the calculation method of Admiralty but differ in phase value. Least Square provides a fairly good accuracy in the prediction results and more components.

Key words : tide, admiralty, *least squares*.

Latar Belakang

Indonesia merupakan negara kepulauan dengan sebagian besar wilayahnya merupakan perairan. Potensi perairan di Indonesia merupakan posisi strategis untuk pelayaran internasional maupun nasional, bahkan skala terkecil pelayaran antar pulau di Indonesia. Untuk mendukung kegiatan pelayaran khususnya dan aktifitas yang dilakukan di perairan (transportasi air) pada umumnya, mutlak di ketahui gerakan naik dan turunnya permukaan air laut yang biasa disebut pasang surut. Pasang surut laut (pasut) merupakan gerakan naik turunnya permukaan laut yang disebabkan gaya tarik menarik antara bumi-bulan-matahari. Selain gaya tarik menarik tersebut pengaruh meteorologis dan oseanografi juga ikut berperan dalam pembentukan karakteristik pasang surut, sehingga di setiap permukaan bumi memiliki kedudukan permukaan air laut yang bervariasi dari satu tempat ke tempat lain dan dari waktu ke waktu.

Pengamatan pasang surut air laut selain untuk keperluan praktis juga untuk keperluan ilmiah dalam mempelajari fenomena lautan yang dapat berdampak langsung atau tidak langsung bagi kehidupan manusia. Pada daerah pesisir pengamatan pasut jangka panjang diperlukan untuk memprediksi kemungkinan terjadinya kenaikan muka laut yang dapat membahayakan kehidupan masyarakat pesisir. Pencegahan bencana secara dini dapat dilakukan dengan mengkaji secara seksama perilaku kedudukan muka air laut dari waktu ke waktu dalam jangka waktu yang panjang.

Untuk keperluan praktis, data pasut diperlukan dalam penentuan muka surutan (*chart datum*), yaitu sebagai bidang referensi kedalaman laut pada peta-peta navigasi laut, proyek rekayasa (jembatan, dok, dan pelabuhan), pengerukan alur pelayaran dan pelabuhan, penentuan garis dasar (*base lines*) untuk batas wilayah laut teritorial, serta operasi militer (pendaratan, penyelaman, demolisi, dan pemasangan ranjau), selain itu data pasang surut juga diperlukan dalam pelayaran di laut dangkal, karena sifat pasut yang periodik maka dapat diramalkan dengan mendapatkan nilai-nilai dari komponen-komponen pembentuknya.

Perhitungan komponen-komponen pasut dapat ditentukan dengan menggunakan admiralty, yang dalam proses perhitungannya parameter pasut (amplitudo dan fase) dipecahkan secara bertahap dengan menggunakan tabel-tabel dan skema-skema dan digunakan untuk panjang pengamatan 15 pihan dan 29 pihan.

Selain dengan metode admiralty perhitungan konstanta pasut juga dapat

ditentukan dengan menggunakan hitung perataan kuadrat terkecil metode kombinasi atau parameter, keunggulan metode ini disamping memberikan nilai parameter dan variansinya, juga tidak tergantung pada lamanya pengamatan.

Selama jumlah data pengamatan lebih besar daripada jumlah parameter yang akan ditentukan, semakin lama pengamatan maka nilai simpangan baku dari tiap-tiap komponen yang didapat akan semakin kecil dan komponen yang didapat juga akan semakin banyak sehingga untuk membuat prediksi pasut diharapkan mendapatkan hasil yang lebih baik.

Maksud dan Tujuan

Maksud yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah menganalisa pasut perairan Tarakan dan Balikpapan dengan data 1 tahun menggunakan metode *Least Square*, dan perhitungan prediksinya. Mengetahui cara menghitung konstanta pasut dan variansinya dengan menggunakan metode hitung perataan parameter.

Tujuan dari penulisan tugas akhir ini antara lain :

1. Mendapatkan nilai komponen pasut dan nilai akurasi prediksi pasut perairan Tarakan dan Balikpapan dengan menggunakan metode *Least Square* dan *Admiralty*.
2. Mendapatkan nilai variansi dari komponen pasut utama.
3. Menganalisa pasut menggunakan metode *Least Square*.

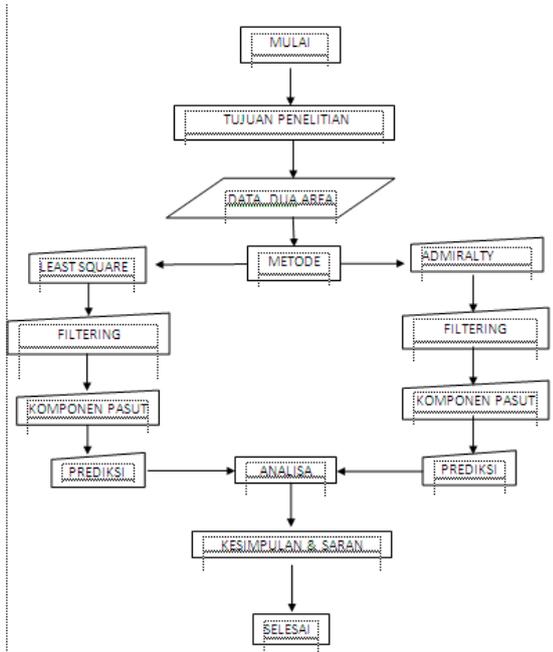
Ruang Lingkup

Pembatasan masalah pada penulisan tugas akhir ini adalah untuk melaksanakan perhitungan 9 komponen pasut yaitu M_2 , S_2 , N_2 , K_1 , O_1 , M_4 , MS_4 , K_2 , P_1 , yang berpengaruh terhadap siklus pasut Perairan Tarakan dan Balikpapan dengan menggunakan *Metode Least Square* kemudian melaksanakan perhitungan prediksi pasut dari hasil perhitungan komponen tadi dan menganalisa keakuratan hasil perhitungan tersebut serta membandingkan dengan hasil perhitungan dengan *Admiralty*. Adapun data yang digunakan adalah data pengamatan pasut Perairan Tarakan selama 1 tahun dan data pasut Balikpapan selama 6 bulan.

Perhitungan konstanta pasut dalam tugas akhir ini menggunakan perangkat lunak Ms. Office excel 2007 untuk pengolahan menggunakan metode Admiralty dan Matlab untuk pengolahan menggunakan metode *Least Square* hingga dapat dimengerti bagaimana tahapan-tahapan perhitungan.

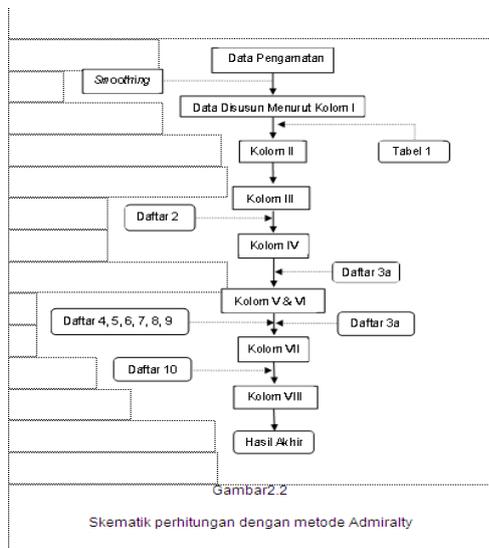
Dalam penulisan tugas akhir ini akan dibahas mengenai bagaimana cara pengolahan data pasang surut berdasarkan lamanya pengamatan yaitu periode 39 jam, 29 piantan, 3 bulan, 6 bulan, 1 tahun dengan menggunakan metode *Least Square* dan *Admiralty*.

Alur Pikir Penelitian



Metode Pengolahan Data

Perhitungandengan metode Admiralty, yaitu hitungan untuk mencari harga amplitudo (A) dan beda fase (g^0) dari data pengamatan selama 15 atau 29 piantan (hari pengamatan) dan *mean sea level* (S_0) yang sudah terkoreksi (*Smoothing*). Secara skematik, perhitungan dengan metode Admiralty melalui beberapa tahapan sepertidigambarkan pada gambar 2.2.



Skematik perhitungan dengan metode Admiralty

Analisis Harmonik Data Pasang Surut Laut Menggunakan Metoda Leastsquare

Terdapat beberapa metode analisis pasut, diantaranya metode harmonik yang mempertimbangkan bahwa variasi tinggi muka laut merupakan respons akibat resultan gaya-gaya pembangkit pasut yang periodik dalam waktutertentu.Dengan melakukan pengamatan tinggi muka laut maka sama dengan melakukan pengamatan terhadap gaya-gaya pembangkit pasut.

Model matematik analisis pasut metode harmonik dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$y(t) = Z_0 + \sum_{i=1}^n H_i \cos$$

$$(\omega_i t - g_i) \dots \dots \dots (1)$$

dengan $y(t)$: kedudukan permukaan air laut hasil pengamatan

Z_0 : kedudukan permukaan air laut rata-rata (MSL)

ω_i : kecepatan sudut komponen pasut ke-i

t : waktu pengamatan

H_i : amplitudo komponen pasut ke-i

g_i : fasa komponen pasut ke-i

i : indeks yang menyatakan komponen pasut, $i = 1, 2, \dots, n$.

n : jumlah komponen pasut

Untuk memecahkan persamaan harmonik tersebut dapat digunakan beberapa metode antara lain metode kuadrat terkecil.

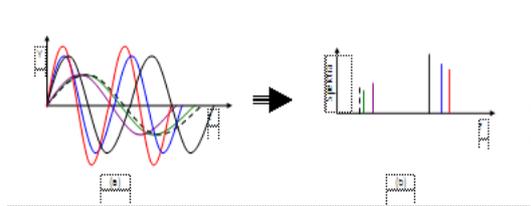
Dalam analisis pasut dengan menggunakan metode kuadrat terkecil, amplitudo dan fasa komponen dari persamaan harmonik pasut dihitung berdasarkan data pengamatan terhadap kedudukan muka air dalam jangka waktu tertentu, dengan menggunakan komponen yang diketahui frekuensinya. Banyaknya komponen pasut yang dapat diuraikan bergantung kepada panjangnya data, semakin panjang data pengamatan maka komponen pasut yang dapat dihasilkan akan semakin banyak. Sebagai contoh, jumlah dan pasangan komponen yang dihasilkan dari pengamatan dengan lama 1 bulan akan berbeda dengan lama pengamatan 1 tahun.

Untuk mengetahui komponen yang dapat dilibatkan dalam analisis pasut dari data pasut

yang diamati pada interval dan panjang pengamatan tertentu digunakan suatu metode yang dikenal dengan kriteria Rayleigh.

Konsep Dasar Kriteria Rayleigh

Kedudukan muka air laut sebagai respon dari fenomena pasut terbentuk dari pengaruh astronomis dan non-astronomis. Bila diasumsikan faktor non-astronomis tidak mempengaruhi fenomena pasut, maka kedudukan muka air laut dapat dinyatakan sebagai superposisi dari komponen astronomis, dan bila diuraikan memiliki bentuk seperti gambar (2.3.a) yang merupakan fungsi dari tinggi gelombang terhadap waktu, atau dikenal dengan domain waktu. Kemudian, bila dinyatakan dalam domain frekuensi akan terlihat komponen yang membentuknya yang merupakan fungsi dari kekuatan sinyal komponen (spektra) terhadap frekuensi komponen tersebut (gambar 2.3.b).



Gambar 2.3. Representasi dari suatu sinyal.
(a) domain waktu, (b) domain frekuensi

Untuk memperoleh komponen pasut tersebut diperlukan pengamatan terhadap kedudukan muka air laut dengan interval dan panjang pengamatan tertentu, oleh karena itu akan dijelaskan pula mengenai interval dan panjang pengamatan.

Interval dan Panjang Pengamatan

Data pasut dapat diamati dengan melakukan pengamatan pada setiap interval waktu tertentu, misalnya 1, 2, atau 3 jam. Kemudian, pengamatan dilakukan dengan panjang yang tertentu pula, seperti 15 hari, 1 bulan, 3 bulan, dan 1 tahun. Dengan mengamati pada interval yang berbeda, akan memiliki konsekuensi tertentu. Desain panjang pengamatan sangat berguna dalam menentukan karakteristik yang akan diperoleh dari data, atau mempengaruhi jenis informasi yang dapat diperoleh dari suatu data pengamatan. Pengamatan dengan interval sekecil mungkin pada dasarnya bertujuan antara lain agar dapat mengamati komponen pasut yang memiliki frekuensi kemunculan yang tinggi. Sebagai contoh, jika suatu komponen memiliki frekuensi kemunculan tiap 1 jam, tidak dapat teramati bila pengamatan dilakukan memiliki interval pengamatan tiap 2 jam. Selain itu pembahasan tentang pengaruh interval pengamatan erat

hubungannya dengan pengaruh *aliasing* [Lazuardy, 1995].

Dengan melakukan pengamatan pada interval Δt dan panjang pengamatan T , akan dihasilkan sejumlah komponen yang memiliki periode tertentu pula. Periode komponen terkait dengan frekuensi komponen tersebut, yakni seberapa sering komponen tersebut mempengaruhi kedudukan muka air laut. Sebagai contoh, komponen M2 mempengaruhi kedudukan muka air laut setiap 12.42 jam, sehingga M2 akan mengalami satu putaran penuh untuk setiap 12.42 jam, dan dapat ditulis bahwa frekuensi M2 adalah $1 \text{ cycle}/12.42 \text{ jam}$ atau $0.08051529791 \text{ cycle/jam}$. Dengan cara yang sama, dapat diketahui frekuensi komponen K1 adalah $1 \text{ cycle}/23.93 \text{ jam}$ atau $0.04178854994 \text{ cycle/jam}$.

Secara teoritis, jika pengamatan dilakukan dengan interval Δt dan panjang pengamatan T maka akan diperoleh frekuensi minimum, frekuensi maksimum, serta resolusi spektral dari komponen tersebut. Frekuensi terbesar dari komponen yang dapat teramati adalah frekuensi *Nyquist* f_N , yang didefinisikan sebagai berikut:

$$f_N = 1/(2\Delta t) \dots \dots \dots (2)$$

Frekuensi komponen yang teramati tidak akan melebihi frekuensi *Nyquist* tersebut. Jika dilakukan pengamatan pada interval setiap 1 jam, maka frekuensi terbesar dari komponen pasut yang dihasilkan adalah $f_N = 0.5 \text{ cycle/jam}$.

Kemudian, periode terpanjang (maksimum) dari komponen yang dapat diamati adalah komponen yang memiliki periode sama dengan panjang pengamatan. Bila periode suatu komponen lebih kecil dari panjang pengamatan dengan sendirinya akan teramati. Komponen yang memiliki periode terbesar memiliki arti bahwa frekuensi kemunculan komponen tersebut adalah paling kecil, sehingga dapat dikatakan bahwa suatu komponen akan dapat teramati bila memiliki frekuensi lebih besar atau sama dengan frekuensi minimum f_0 , yang dinyatakan sebagai berikut:

$$f_0 = 1/T \dots \dots \dots (3)$$

Oleh karena itu, dengan melakukan pengamatan data pasut yang dilakukan selama panjang waktu T dan interval pengamatan Δt , akan diperoleh komponen yang memiliki frekuensi lebih besar dari frekuensi minimumnya dan lebih kecil dari frekuensi maksimumnya (*Nyquist*) sebagai berikut:

$$f_0 \leq f \leq f_N \dots \dots \dots (4)$$

Selain kedua batas frekuensi tersebut, terdapat suatu batasan lain yakni resolusi spektral yang didefinisikan sebagai berikut:

$$\Delta f_{12} \cdot T = 1 \text{ atau } \Delta \omega \cdot T = 2\pi \dots \dots \dots (5)$$

Resolusi spektral tersebut menyatakan kemampuan untuk dapat membedakan atau mengenali komponen yang teramati sesuai dengan karakteristik data pengamatan yang dilakukan. Resolusi spektral tersebut berhubungan dengan kriteria Rayleigh yang akan dijelaskan pada pembahasan berikutnya.

Kriteria Rayleigh

2 buah komponen yang memiliki frekuensi berdekatan dapat dibedakan menjadi 2 buah entitas yang berbeda bila memiliki selisih frekuensi lebih kecil dari resolusi spektralnya, yang dinyatakan dengan ekspresi matematis sebagai berikut:

$$|f_1 - f_2| \geq 1/T \dots \dots \dots (6)$$

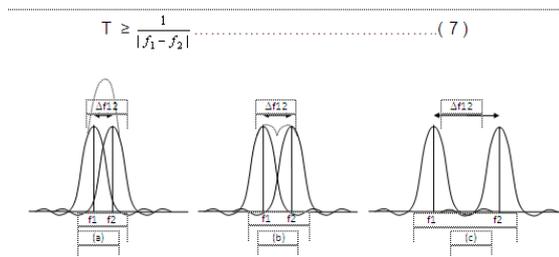
dengan f_1, f_2 = frekuensi sinyal (komponen pasut), $f = \omega / 2\pi$ (cycle per satuan waktu)

T = panjang pengamatan dalam jam

Bila selisih frekuensi kedua komponen tersebut lebih kecil dari resolusi spektralnya, maka kedua komponen tersebut tidak dapat dibedakan. Oleh karena itu terdapat salah satu komponen yang tidak semestinya teramati, sehingga perlu dilakukan pemisahan komponen. Agar kedua komponen tersebut dapat dipisahkan, maka harus memperkecil nilai resolusi spektral, yang berakibat bahwa panjang pengamatan T harus diperbesar.

Dari persamaan (6) dapat diketahui lama waktu yang diperlukan untuk memisahkan suatu komponen secara sempurna dengan frekuensi f_1 dan f_2 :

$$T \geq \frac{1}{|f_1 - f_2|} \dots \dots \dots (7)$$



Gambar .Pemisahan sinyal dengan kriteria Rayleigh. (a) sinyal tidak terpisahkan, (b) sinyal terpisahkan namun tidak sempurna, (c) sinyal yang terpisahkan dengan baik, menggunakan lama pengamatan T yang sama Waktu yang diperlukan untuk memisahkan suatu komponen

daripasangannya pembandingnya tersebut dikenal dengan istilah periode sinodik Sebagai contoh, waktu yang diperlukan untuk memisahkan komponen diurnal K1 dari komponen semidiurnal M2 adalah:

$$T = \frac{1}{|f_{K1} - f_{M2}|} = \frac{1}{|0.04178074 \text{ } 62 - 0.08051140 \text{ } 07| \text{ } cph} = 32 \text{ jam}$$

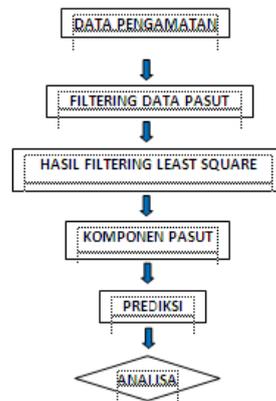
Pada spesies komponen pasut yang berbeda, seperti contoh di atas, periode sinodik suatu komponen memiliki waktu yang singkat, namun untuk spesies yang sama umumnya memerlukan waktu yang lebih lama. Pada spesies semidiurnal, periode sinodik komponen S2 bila digunakan pembanding M2, diperlukan data sepanjang:

$$T = \frac{1}{|f_{M2} - f_{S2}|} = \frac{1}{|0.08051140 \text{ } 07 - 0.08333333 \text{ } 33| \text{ } cph} = 355 \text{ jam} \approx 15 \text{ hari}$$

hari.

Sebelum pengolahan data pasut, terlebih dahulu dilakukan proses penghalusan (*smoothing*) data pengamatan untuk menghilangkan *noise*. Proses *smoothing* dilakukan secara grafis dengan membandingkan grafik yang dihasilkan dari data pengamatan dengan grafik fungsi sinusoidal dari model analisis harmonik pasut. Dalam analisis pasut dengan metode kuadrat terkecil, panjang pengamatan data pasut akan mempengaruhi jenis informasi yang dapat diperoleh. Jenis informasi yang dimaksud adalah banyak dan jenis konstanta pasut yang dapat dihasilkan dari pengamatan pasut. Semakin banyak konstanta pasut yang dihasilkan dari pengolahan data pasut maka akan menghasilkan analisis pasut yang semakin teliti.

Adapun diagram alir metode *leastsquare* dapat di gambarkan sebagai berikut



Model Pasang Surut

Tinggi muka air merupakan akibat dari berbagai faktor dan dapat direpresentasikan dengan persamaan model sebagai berikut.

$$h(t) = (h_0 + h_1 t) + \sum_{k=1}^n R_k \cos(\omega_k t + \varphi_k) \dots \dots \dots (1)$$

dengan t adalah waktu dalam satuan jam atau hari, $h(t)$ = tinggi muka laut pada waktu t , $(h_0 + h_1 t)$ = tinggi muka air rata-rata pada t dengan h_0 = tinggi muka air pada $t=0$ dan h_1 = trend/gradien perubahan tinggi muka air persatuan waktu. R_k dan φ_k adalah amplitudo dan fasa komponen harmonik ke- k , atau dikenal sebagai komponen pasut, ω_k adalah frekuensi harmonik pasut komponen ke- k .

Prinsip Metoda Least Square

Jika h_t adalah data pengamatan tinggi muka air pada waktu t dan $h(t)$ adalah prediksi tinggi muka air, dalam metoda Least Squares maka kuadrat dari selisih antara pengamatan dan model harus minimal. Oleh karena itu

$$\sum_{k=1}^n [h_t - h(t)]^2 = \text{minimal}$$

Persamaan (1) dapat dituliskan kembali ke dalam bentuk:

$$h(t) = (H_0 + H_1 t) + \sum_{k=1}^n A_k \cos(\omega_k t) + \sum_{k=1}^n B_k \sin(\omega_k t) \dots \dots (2)$$

dengan: $H_0 = h_0$, $H_1 = h_1$, adalah parameter tren, sedangkan $R_k = \sqrt{A_k^2 + B_k^2}$, dan $\varphi_k = \tan^{-1} \left(\frac{B_k}{A_k} \right)$ adalah komponen harmonik. Dalam hal ini $R_k = \sqrt{V_k^2 + U_k^2}$;

Agar kuadrat selisih pengamatan dan model minimal, maka turunan pertama persamaan (2) terhadap H_0, H_1, A_k dan B_k harus bernilai nol.

Analisis Tren

Analisis ini dimaksudkan untuk mencari komponen tren yang mungkin terdapat dalam data. Dalam analisis ini diasumsikan tren memenuhi persamaan linier, meskipun dalam kenyataannya tidak selalu demikian. Model yang digunakan adalah persamaan garis lurus sebagai fungsi waktu:

$$T(t) = (H_0 + H_1 t) \dots \dots \dots (3)$$

dengan H_1 adalah gradient. Apabila nilai gradien H_1 nol, maka kita hanya mendapatkan nilai rata-rata tinggi muka air H_0 .

Jika adalah data pengamatan tinggi muka air secara seriwaktu dengan interval tetap dan $T(t)$ adalah model trend tinggi muka air rata-rata, persamaan (3) dapat diselesaikan dengan kriteria kuadrat terkecil (*least square*) untuk mendapatkan nilai H_0 dan H_1 , sebagai berikut:

$$S_r = \sum_{t=1}^n [y_t - T(t)]^2 = \text{minimal}$$

$$S_r = \sum_{t=1}^n [y_t - H_0 - H_1 t]^2 = \text{minimal}$$

Maka akan diperoleh

$$\frac{\partial S_r}{\partial H_0} = 2 \sum_{t=1}^n (H_0 + H_1 t - y_t) \dots \dots \dots (4)$$

$$\frac{\partial S_r}{\partial H_1} = 2 \sum_{t=1}^n (H_0 + H_1 t - y_t) t = 0 \dots \dots \dots (5)$$

Persamaan (4) dan (5) akan menjadi:

$$\sum_{t=1}^n (H_0 + H_1 t) = \sum_{t=1}^n y_t$$

$$\sum_{t=1}^n (H_0 t + H_1 t^2) = \sum_{t=1}^n y_t t$$

$$\begin{bmatrix} \sum 1 & \sum t_i \\ \sum t_i & \sum t_i^2 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} H_0 \\ H_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum y_i \\ \sum y_i t_i \end{bmatrix} \dots \dots \dots (6)$$

Ini merupakan sistem persamaan linier yang berbentuk:

$$A h = b \dots \dots \dots (7)$$

dengan $A = \begin{bmatrix} \sum 1 & \sum t_i \\ \sum t_i & \sum t_i^2 \end{bmatrix}$, $h = \begin{bmatrix} H_0 \\ H_1 \end{bmatrix}$, dan $b = \begin{bmatrix} \sum y_i \\ \sum y_i t_i \end{bmatrix}$

Persamaan ini dapat diselesaikan dengan pembagian operasi *back slash* (1) dengan *matlab* sebagai berikut:

$$h = A \backslash b \dots \dots \dots (8)$$

atau menggunakan metode penyelesaian system persamaan linier lainnya seperti metode *eliminasi gauss*.

Dengan memanfaatkan sifat perkalian matriks, maka matriks A dan b dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$A = X'X, \text{ dan } b = X'Y, \text{ dengan } X = \begin{bmatrix} 1 & t_1 \\ 1 & t_2 \\ \dots & \dots \\ 1 & t_n \end{bmatrix}, Y = [y_1 \quad y_2 \quad \dots \quad y_n]$$

Dengan menggunakan rekaman tinggi muka air dari pengukuran sebelumnya dan diaplikasikan pada metode ini maka akan diperoleh nilai h_0, h_1 .

Analisis Harmonik

Analisis harmonik dilakukan untuk memperoleh komponen harmonik yang hadir dalam sinyal tinggi muka air. Jumlah komponen harmonik yang dianalisis sangat tergantung pada kondisi lingkungan dan dapat ditetapkan oleh analisis sesuai keperluan.

Penulisan kembali persamaan (2) sebagai model harmonik dan mengurangkan komponen tren dari persamaan ini akan memberikan:

$$H(t) = \sum_{k=1}^m A_k \cos(\omega_k t) + \sum_{k=1}^m B_k \sin(\omega_k t) \dots (9)$$

Apabila h_t adalah $y_t - T(t)$ dimana y_t adalah nilai pengamatan dan $T(t)$ adalah perhitungan tren, maka residu dapat diperoleh dengan formulasi:

$$\begin{aligned} S_r &= h_t - H(t) \\ &= h_t - \sum_{k=1}^m A_k \cos(\omega_k t) \\ &\quad - \sum_{k=1}^m B_k \sin(\omega_k t) \end{aligned} \quad (10)$$

Least square harus memenuhi kriteria:

$$\begin{aligned} S_r^2 &= \left[h_t - \sum_{k=1}^m A_k \cos(\omega_k t) - \sum_{k=1}^m B_k \sin(\omega_k t) \right]^2 \\ &= \text{minimal} \end{aligned}$$

Oleh karena itu:

$$\frac{\partial S_r^2}{\partial A_k} = 0$$

Dan

$$\frac{\partial S_r^2}{\partial B_k} = 0$$

Koefisien anu A_k dan B_k diperoleh melalui penyelesaian persamaan matriks untuk pendekatan *leastsquare* sebagai berikut:

$$[A][C] = [b] \quad (11)$$

Dalam hal ini $[C]$ adalah vektor analisa numerik $2n \times 1$, $[C] = [A_1 B_1 A_2 B_2 \dots A_n B_n]$ dengan $[A] = [X]'[X]$ dan $[b] = [X]'[Y]$ dimana

$$X \begin{bmatrix} \cos\omega_1 t_1 & \sin\omega_1 t_1 & \dots & \cos\omega_n t_1 & \sin\omega_n t_1 \\ \cos\omega_1 t_2 & \sin\omega_1 t_2 & \dots & \cos\omega_n t_2 & \sin\omega_n t_2 \\ \cos\omega_1 t_3 & \sin\omega_1 t_3 & \dots & \cos\omega_n t_3 & \sin\omega_n t_3 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \cos\omega_1 t_k & \sin\omega_1 t_k & \dots & \cos\omega_n t_k & \sin\omega_n t_k \end{bmatrix} \quad (12)$$

dengan $[Y] = [h_1 h_2 h_3 \dots h_n]$ yang berisi n buah data pengamatan setelah dikurangi tren atau dikurangkan nilai rata-ratanya (msl).

Penyelesaian system persamaan linier (persamaan 11) dilakukan dengan menggunakan perintah *backslash* pada Matlab:

$$C = A \backslash b \quad (13)$$

Solusi juga dapat dicari menggunakan metode penyelesaian sistem persamaan linier dalam metode numeric, seperti metode Eliminasi Gauss. Hasilnya adalah koefisien kosinus, A_k , dan sinus, B_k . Selanjutnya amplitude dan fasa dapat ditentukan berdasarkan persamaan berikut:

$$R_k = \sqrt{A_k^2 + B_k^2} \text{ dan } \varphi_k = \tan^{-1} \left(\frac{B_k}{A_k} \right)$$

Analisis Hasil Pengolahan

Setelah semua proses perhitungan menggunakan kedua metode selesai dan didapatkan hasil prediksinya, maka akan dilaksanakan analisa dengan membandingkan hasil perhitungan komponen pasut kedua metode. Pada *Metode Least Square* yang menghasilkan lebih banyak komponen, maka 9 komponen utama metode *Admiralty* yang akan menjadi patokan.

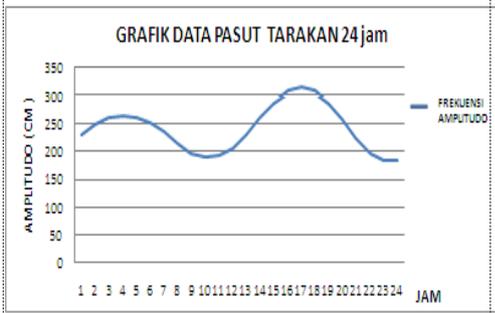
Prediksi pasut akan menggunakan skema pembuktian terbalik dengan cara memprediksi pasut menggunakan komponen pasut hasil perhitungan masing-masing metode di dua area yang berbeda. Hasil prediksi dan analisa bukan digunakan untuk mencari kesalahan metode lain, tetapi diharapkan apabila hasil perhitungan komponen pasut dan prediksi menggunakan *Metode Least Square* akurat, dapat dipertimbangkan menggunakan *Metode Least Square* sebagai metode alternatif pengolahan data pasut terutama untuk data yang panjang (lebih dari 1 bulan) atau *time series* yang panjang.

Metode Admiralty

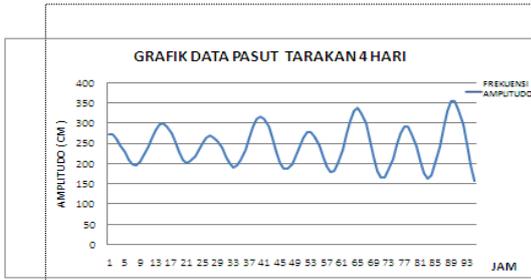
Proses perhitungan komponen pasut menggunakan metode *Admiralty* biasanya untuk data pasut jangka pendek, yaitu 15 piantan atau 29 piantan. Untuk data pasut lebih dari 29 piantan, salah satu cara yang umum digunakan adalah dengan menghitung rata-rata dari beberapa perhitungan 29 piantan terhadap data tersebut. Dalam perairan Tarakan ini yang memiliki panjang data 1 tahun atau sebanyak 366 hari (piantan), dan perairan Balikpapan yang memiliki panjang data 6 bulan.

Komponen Pasut Tarakan

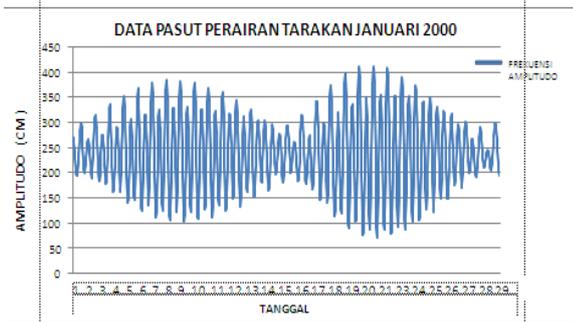
Pada metode *Admiralty*, langkah pertama yang harus dilakukan adalah *Smoothing* data untuk menghilangkan *noise*. Pada perairan Tarakan ini, data yang dimiliki tidak memerlukan *smoothing* karena tidak ada *noise* yang mengganggu. Dapat dilihat dari beberapa data yang diambil secara acak, sebagaimana disajikan dalam gambar



Gambar Grafik data 1 x 24 jam pada tanggal 2 Januari 2000(Tarakan)



Gambar Grafik data 4 x 24 jam pada tanggal 1 hingga 5 Januari 2000(Tarakan)



Gambar Grafik data selama 29 x 24 jam, pada bulan Januari 2000(Tarakan)

Terlihat dalam rangkaian gambar 4.1 tersebut, terbentuk sebuah pola grafik sinusoidal. Pada gambar 4.1 yang merupakan grafik data 24 jam, diambil secara acak dari 366 hari, terlihat grafiknya sinusoidal yang baik tanpa ada anomali (*noise*). Kemudian data diperpanjang lagi menjadi 4 x 24 jam pada gambar 4.2 yang juga diambil secara acak, juga terlihat grafik sinusoidal. Lalu dilaksanakan penggambaran grafik untuk data 1 bulan pada gambar 4.3, juga terlihat grafik sinusoidal yang baik sehingga dapat disimpulkan bahwa data yang ada sudah baik dan dapat diproses ke tahap berikutnya.

Setelah melaksanakan proses *smoothing*, langkah berikutnya pada metode *Admiralty* adalah memasukkan data tersebut ke kolom I dan kemudian melakukan perhitungan untuk mengisi kolom II dan seterusnya sampai kolom VIII hingga didapat hasil akhir berupa komponen pasut sebanyak 9 komponen. Proses perhitungan ini adalah untuk data 29 piantan

pertama dalam hal ini adalah tanggal 1 Januari 2000 sampai tanggal 29 Januari 2000.

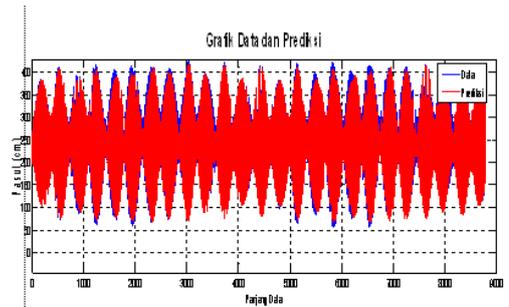
Kemudian dilakukan perhitungan untuk 29 piantan kedua dari tanggal 2 Januari 2000 hingga 30 Januari 2000 dan begitu seterusnya, sehingga diperlukan pengulangan sebanyak 336 kali untuk menghitung data 1 tahun. Diperoleh data rata-rata yang disajikan pada tabel

AMPLITUDO										
	S ₀	M ₂	S ₂	N ₂	K ₁	O ₁	M ₄	MS ₄	K ₂	P ₁
max	247	96	88	19	19	18	4	6	24	6
min	236	81	50	6	9	11	3	3	14	3
mean	243	88	68	13	14	14	3	4	18	4
astdv	3.46	5.09	12.13	3.91	3.55	1.88	0.30	0.90	3.27	1.17
range	11	15	38	12	11	7	1	3	10	4

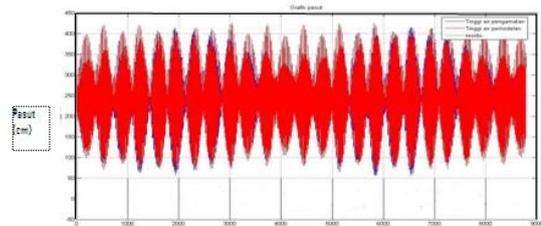
Tabel Rekapitulasi Hitungan Metode Admiralty Perairan Tarakan

Mean Sea Level rata-rata tahunan hasil hitungan pada metode *Admiralty* adalah 243 cm.

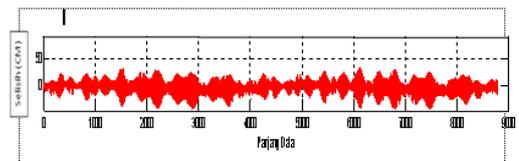
Prediksi Pasut



Gambar . Grafik data prediksi Metode Admiralty Tarakan Tahun 2000

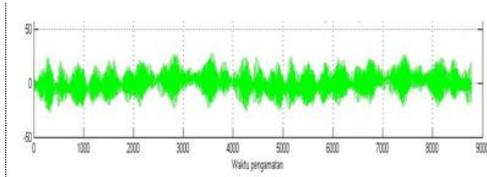


Gambar Grafik data prediksi Metode Least Square Tarakan Tahun 2000



Gambar . Residu Prediksi Pasut Metode Admiralty Tarakan tahun 2000

Pada gambar 4.6. dapat dilihat bahwa grafik hasil prediksi data pasut dengan hasil perhitungan akurasi rata-rata error sebesar 9.2cm.

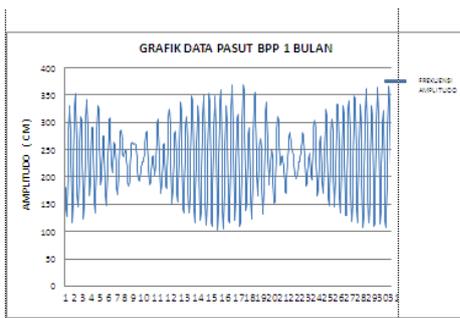


Gambar Residu Prediksi Pasut Metode *Least Square* Tarakantahun 2000

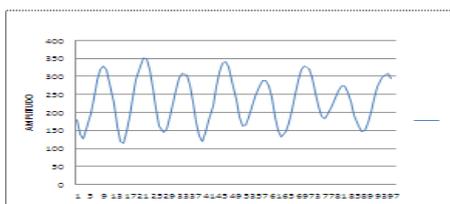
Pada gambar .dapat dilihat bahwa grafik hasil prediksi data pasut dengan hasil perhitungan akurasi rata-rata error sebesar 9,4 cm.

Komponen Pasut Balikpapan

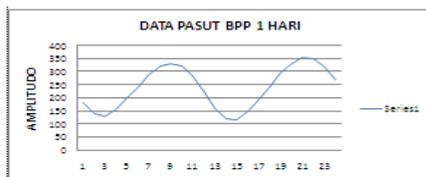
Pada metode *Admiralty*, langkah pertama yang harus dilakukan adalah *Smoothing* data untuk menghilangkan *noise*. Pada perairan Balikpapan ini, data yang dimiliki tidak memerlukan *smoothing* karena tidak ada noise yang mengganggu. Dapat dilihat dari beberapa data yang diambil secara acak, sebagaimana disajikan dalam gambar



Gambar Grafik data selama 1 bulan, pada bulan Januari tahun 2000(Balickpapan)



Gambar 4.9Grafik data 4 x 24 jam pada tanggal 1 hingga 5 Januari 2000



(Balkpapan)

Gambar Grafikdata 24 jam pada tanggal 1Januari 2000 (Balickpapan)

Tabel Rekapitulasi Hitungan Metode Admiralty Balikpapan

Tabel 4.2 Rekapitulasi Hitungan Metode Admiralty Balikpapan

AMPLITUDO										
	S ₀	M ₂	S ₂	N ₂	K ₁	O ₁	M ₄	MS ₄	K ₂	P ₁
max	234	55	68	21	26	20	5	6	18	9
min	112	36	32	3	13	7	1	2	9	4
mean	140	40	51	5	17	15	3	4	14	6
stdv	44.53	6.68	15.51	6.57	5.04	4.56	1.11	1.89	4.15	1.51
range	122	19	36	18	13	13	4	4	9	5

FASE										
	S ₀	M ₂	S ₂	N ₂	K ₁	O ₁	M ₄	MS ₄	K ₂	P ₁
max	347	242	317	359	245	321	355	242	359	
min	110	202	34	104	35	221	77	202	104	
mean	257	223	185	195	173	274	185	223	195	
stdv	82.22	13.66	121.33	91.78	54.52	37.67	102.80	13.66	91.78	
range	237	40	283	255	190	100	278	40	255	

Keterangan :

Max merupakan nilai maksimal/tertinggi dari 338 data

Min merupakan nilai minimal/terendah dari 338 data

Avg merupakan rata-rata (jumlah nilai data per panjang data atau $\frac{\sum x}{n}$)

Stdv merupakan standar deviasi ($\sqrt{\frac{\sum(x-\bar{x})^2}{n-1}}$)

n merupakan banyak data

Range merupakan jarak (selisih) nilai max dan min

Dari hasil rekapitulasi itu, didapat hasil komponen pasut berupa Amplitudo dan fase rata-rata selama 1 tahun.dapat dilihat pada tabel 4.2 diatas.

Metode *Least Square*

Filtering

Pada proses ini, data yang ada dirubah dari *time domain* menjadi *frequency domain* kemudian dipilih data frekuensi yang berpengaruh kuat terhadap data dan juga membuang data frekuensi yang tidak terlalu kuat pengaruhnya. Setiap perairan mempunyai karakteristik tertentu dan khas yang berbeda antara satu dengan yang lain, sehingga proses ini tidak sama pada setiap perairan.

Pada perairan Tarakan dan Balikpapan ini, proses dilaksanakan dengan metode *filtering high and lowpasses (band pass)* dalam arti frekuensi yang melebihi ambang perioda atas dan perioda bawah akan diminimalisir dan digunakan data frekuensi yang berada di antara

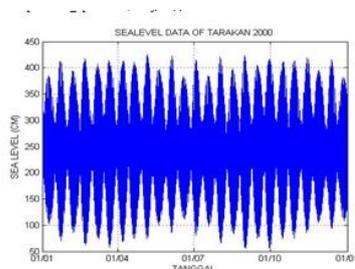
ambang batas perioda atas dan perioda bawah tersebut.

Skrip Matlab

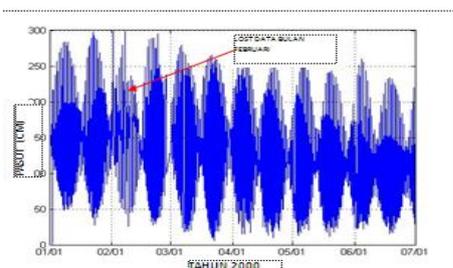
Program komputer untuk melakukan proses mencari prediksi pasang surut dibuat dalam sistem MatLab. Program komputer terdiri dari 2 modul utama, yaitu modul analisis harmonik (anhar.m).

- Anhar.m (analisis harmonik) merupakan modul untuk menganalisis data sealevel untuk mendapatkan komponen harmonik.
 - **Input:** data tinggi muka air yang diperoleh dari data frekuensi harmonik.
 - **Output:** komponen harmonik (frekuensi, amplitudo dan fasa)
 - Fungsi penunjang meliputi:
 - o detren.m (analisis tren linier) fungsi untuk melakukan analisis tren linier data tinggi muka air
 - o frek_har.m (Frekuensi Harmonik) fungsi untuk memanggil frekuensi harmonik sesuai panjang data yang akan dianalisis.
 - o har_lsq.m (harmonikleastsquare) fungsi untuk menghitung komponen harmonik menggunakan metode *leastsquare*
 - o amplitude_spectrum.m (spektrumamplitude) fungsi untuk menggambarkan spektrum komponen harmonik (amplitude)
 - o sl_pred.m (prediksitinggi muka air) fungsi untuk melakukan prediksi tinggi muka air berdasarkan masukan tanggal yang diinginkan;
 - o sl_plot.m (pengeplotan tinggi muka air) program untuk melakukan pengeplotan tinggi muka air

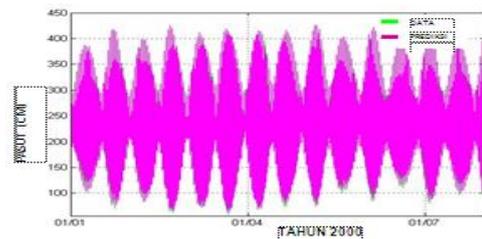
Komponen Pasut Tarakan



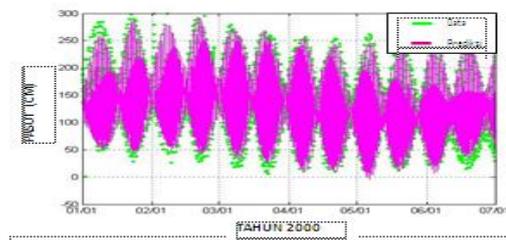
Gambar Grafik data pasut Tarakan 1 tahun



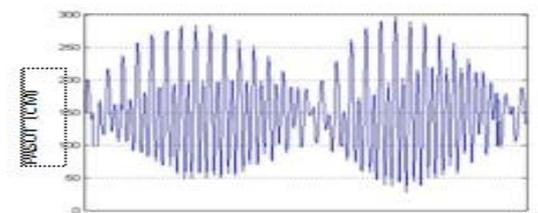
Gambar Grafik data prediksi Tarakan 1 tahun



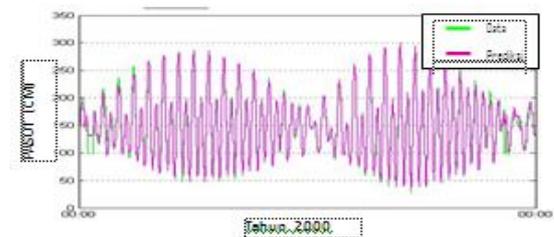
Gambar Grafik data selama 6 bulan, tahun 2000 (Balikpapan)



Gambar Grafik data prediksi selama 6 bulan, pada tahun 2000 (Balikpapan)



Gambar Grafik data Balikpapan selama 1 bulan, pada bulan Januari 2000



Gambar Grafik data prediksi selama 1 bulan (Balikpapan)

Analisa Metode Admiralty dan Metode Leastsquare

Untuk melaksanakan analisa, maka hasil pengolahan dan perhitungan *Leastsquare* yang digunakan adalah 9 komponen, sesuai dengan jumlah komponen yang dihasilkan oleh metode *Admiralty*.

Tabel Rekapitulasi Metode Least Square Tarakan dan Balikpapan

NO	KOMPONEN	FREKUENSI	AMPLITUDE		FASE	
			TARAKAN	BALIK PAPAN	TARAKAN	BALIK PAPAN
1	M2	12	93	56	-51	-70
2	S2	13	57	43	-134	-143
3	N2	12	13	8	94	62
4	K1	6	17	22	149	16
5	O1	6	14	15	135	149
6	M4	24	3	2	-65	159
7	MS4	25	4	2	-46	-145
8	K2	13	14	13	94	51
9	P1	6	6	6	88	89

Tabel Rekapitulasi bedafase antara Tarakan dan Balikpapan dalam derajat dan jam

NO	KOMPONEN	FASE	
		Dalam derajat	Dalam jam
1	M2	19	0,64
2	S2	9	0,30
3	N2	31	1,02
4	K1	-13	-0,83
5	O1	-10	-0,64
6	M4	-220	-3,65
7	MS4	99	1,64
8	K2	3	0,11
9	P1	3	0,18

Tabel Tabel beda amplitudo metode admiralty dan metode leastsquare Tarakan

Komponen	Amplitudo (cm)	
	Leastsquare	Admiralty
M2	93	86
S2	57	60
N2	13	13
K1	17	18
O1	14	15
M4	3	4
MS4	4	6
K2	14	16
P1	6	6

Tabel Tabel Beda amplitudo metode admiralty dan metode leastsquare Balikpapan.

Komponen	Amplitudo (cm)	
	Leastsquare	Admiralty
M2	93	86
S2	57	45
N2	13	9
K1	22	23
O1	15	15
M4	2	3
MS4	2	2
K2	13	14
P1	6	6

Kesimpulan

- Perhitungan komponen pasut dengan menggunakan metode Admiralty dan metode Least Square menghasilkan nilai amplitudo yang berbeda tetapi nilainya saling mendekati.
- Nilai amplitudo hasil perhitungan menggunakan metode Least Square menghasilkan nilai yang berbeda terhadap nilai amplitudo hasil perhitungan metode Admiralty.
- Dengan data pengamatan pasut yang lebih panjang lebih baik untuk perhitungan menggunakan metode Least Square karena akan menghasilkan analisis pasut yang lebih teliti dan mendapatkan nilai amplitudo dan fase yang lebih tepat untuk keperluan prediksi pasut.

d. Pada metode Least Square data blank dapat di kerjakan, komponen yang di keluarkan/dihasilkan lebih banyak.

e. Pada metode Least Square pada dua area yang berbeda antara Tarakan dan Balikpapan di dapat fase di Tarakan lebih dulu daripada di Balikpapan.

Saran

- Dengan akurasi yang cukup tinggi, pengolahan data pasut yang simpel, metode Least Square cukup layak untuk dijadikan sebagai salah satu metode pengolahan data pasut dengan menggunakan software Matlab.
- Data yang berdurasi panjang *sampling ratenya* tidak konsisten dapat menggunakan metode Least Square.
- Diperlukan penelitian lebih lanjut dan modifikasi pada script matlab, sehingga metode Least Square dapat dikembangkan lagi untuk analisa arus pasang surut.

DAFTAR PUSTAKA

- Djunarsjah, Eka (2004). "Analisis Pasut Metode Kuadrat Terkecil", ITB Bandung.
- Fajar Agung Sutrisno (2012). "Analisa dan Perhitungan Prediksi Pasang Surut Menggunakan Cyclic Descent Methode dan Metode Admiralty (Study Kasus Perairan Tarakan). STTAL Jakarta.
- Hanselman, D dan Littlefield, D (1997). "The Student of MATLAB version 5" Upper Saddle River, New Jersey.
- Heryoso Setiyono (1996). "Kamus Oseonografi" UGM Bulaksumur Yogyakarta.
- Kahar, Joenil (2007). "Geodesi : Teknik Kuadrat Terkecil". ITB Bandung
- Poerbandono, dan Djunarsjah, E. (2005). "Survei Hidrografi". Refika Aditama, Bandung..
- Rawi, S. (1985). "Pasut Pendidikan Survei Laut Rekayasa". ITB-Bakosurtanal.
- (2003). "Teori Umum Pasut, Diktat Kuliah Jurusan Hidro- Oseanografi". STTAL, Jakarta.
- (1995) "Pengantar Oseonografi" DISHIDROS Jakarta.

