

**ANALISIS HARMONIK DENGAN MENGGUNAKAN  
TEKNIK KUADRAT TERKECIL  
UNTUK PENENTUAN KOMPONEN-KOMPONEN PASUT  
DI WILAYAH LAUT SELATAN PULAU JAWA  
DARI SATELIT ALTIMETRI TOPEX/POSEIDON DAN JASON-1**

**Jaka Gumelar, Bandi Sasmito, Fauzi Janu Amarrohman \*)**

Program Studi Teknik Geodesi Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro  
Jl. Prof Sudarto SH, Kampus Tembalang, Semarang, Telp. (024) 76480785, 76480788  
E-mail: geodesi@undip.ac.id

**ABSTRAK**

Laut selatan Pulau Jawa merupakan salah satu wilayah perairan yang dimiliki oleh Indonesia. Merupakan bagian dari Samudra Hindia, perairan ini memiliki banyak potensi baik dari segi ekologi, fisika, maupun kerawanan terjadinya bencana alam. Pasang surut air laut merupakan salah satu fenomena yang bisa dijadikan referensi dalam penentuan kebijakan perihal pengelolaan sumber daya alam dan sebagai data pelengkap untuk menggambarkan kondisi laut pada masa mendatang.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui komponen-komponen pasang surut dan tipe pasang surut di perairan selatan Pulau Jawa. Data yang digunakan adalah *Sea Level Anomaly* (SLA) dari data Satelit Topex/Poseidon tahun 1992-2002 dan data Satelit Jason-1 tahun 2002-2011. Metode interpolasi *Inverse Distance Weight* (IDW) digunakan untuk menentukan besar SLA pada titik normal yang kemudian dilanjutkan dengan proses analisis harmonik menggunakan teknik kuadrat terkecil dengan pembobotan untuk menentukan komponen pasang surut. Proses pengolahan analisis harmonik ini menggunakan aplikasi *Microsoft Excel 2010* yang dikombinasikan dengan aplikasi *Matlab 7.6.0* untuk proses interpolasi data.

Hasil dari penelitian ini menunjukkan terdapat 21 komponen yang berpengaruh dalam pembentukan pasang surut air laut pada perairan Cilacap, Sadeng, dan Prigi yang terdiri dari 4 komponen periode panjang, 8 komponen diurnal, dan 9 komponen semidiurnal. Sedangkan tipe pasang surut yang terbentuk pada perairan selatan Pulau Jawa yaitu campuran condong harian ganda.

**Kata Kunci :** Analisis harmonik, *Inverse Distance Weight*, Komponen pasang surut, Pasang surut

**ABSTRACT**

*South Java's sea is one of Indonesia's territorial waters which is part of Indian Ocean. It has a lot of potentials in terms of ecology, physics, and vulnerability to natural disasters. Tide is one phenomenon that can be used as a reference in policy decisions regarding the management of natural resources and as supplementary data to describe the condition of the sea in the future.*

*The aim of this research was to determine the components and south Java's sea tide types. The data used is Sea Level Anomaly (SLA) data from satellites Topex/ Poseidon in 1992-2002 and data satellite Jason-1 in 2002-2011. Inverse Distance Weight (IDW) interpolation method is used to determine the SLA at the normal point followed by harmonic analysis process using least squares with weighted technique to determine the components of the tides. Calculation of harmonic analysis process was using Microsoft Excel 2010 combined with Matlab 7.6.0 application for the interpolation of data.*

*The result of this research showing there are 21 components that influence the formation of the tide in waters Cilacap, Sadeng, and Prigi which is consists of 9 long period component, 8 diurnal component, and 9 semidiurnal components. While the type of tidal formed in the waters south of the island of Java, which is a mixed tide prevailing semidiurnal.*

**Keywords :** Components of tide, Harmonic analysis, Invers Distance Weight, Tide

\*) Penulis, Penanggungjawab

## I. Pendahuluan

### I.1. Latar Belakang

Laut selatan Pulau Jawa merupakan salah satu wilayah perairan yang dimiliki oleh Indonesia. Laut ini merupakan bagian dari Samudra Hindia yang membentang luas di bagian selatan belahan bumi. Wilayah perairan selatan Pulau Jawa ini memiliki banyak potensi baik dari segi ekologi maupun fisika yang dapat menghasilkan sumber daya alam yang tak tergantikan. Selain memiliki keunikan kondisi oseanografi, laut selatan Pulau Jawa juga memiliki potensi terjadinya bencana alam seperti tsunami yang terjadi di Pangandaran pada tahun 2006 (Hakim, 2011).

Karena potensinya tersebut maka perlu diadakan kajian-kajian lebih mendalam tentang kondisi di perairan laut selatan Pulau Jawa yang hasilnya bisa dijadikan sebagai referensi dalam penentuan kebijakan perihal pengelolaan sumber daya alam dan sebagai data pelengkap untuk menggambarkan kondisi laut pada masa mendatang. Salah satu fenomena yang bisa dijadikan acuan untuk mengetahui kondisi perairan suatu daerah yaitu dengan mengamati pasang surut suatu wilayah perairan.

Pasang surut merupakan suatu fenomena pergerakan naik turunnya permukaan air laut secara berkala yang diakibatkan oleh kombinasi gaya gravitasi dan gaya tarik menarik dari benda-benda astronomi terutama oleh matahari, bumi dan bulan. Pengaruh benda angkasa lainnya dapat diabaikan karena jaraknya lebih jauh atau ukurannya lebih kecil (Dronkers, 1964). Untuk meramalkan pasang surut diperlukan data amplitudo dan beda fase dari masing-masing komponen pembangkit pasang surut. Komponen pasang surut dapat dianalisa dengan metode harmonik, dengan dasar bahwa pasang surut yang terjadi adalah superposisi atau penjumlahan dari berbagai komponen pasang surut. Namun, untuk bisa menganalisa pasang surut tersebut dibutuhkan data yang lengkap dan akurat. Bahkan diperlukan pengamatan yang cukup lama untuk bisa menentukan dengan baik tipe pasang surut suatu perairan. Ketersediaan akan data di wilayah perairan Indonesia sangatlah terbatas. Keterbatasan akan data ini disebabkan karena sulitnya melakukan pengambilan data terutama di daerah lepas pantai.

### I.2. Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Berapa besar nilai komponen pasang surut tiap titik pengamatan di wilayah perairan selatan Pulau Jawa selama tahun 1992-2011?
2. Adakah perbedaan tipe pasang surut tiap titik pengamatan dari hasil analisa komponen-komponen pasang surut di wilayah perairan selatan Pulau Jawa selama tahun 1992-2011?

### I.3. Maksud dan Tujuan Penelitian

Adapun maksud dan tujuan penelitian ini adalah :

1. Untuk mengetahui nilai komponen-komponen pasang surut tiap titik pengamatan di wilayah perairan Cilacap, Sadeng, dan Prigi.
2. Untuk mengetahui perbedaan tipe pasang surut tiap titik pengamatan dari hasil analisa komponen-komponen pasang surut di wilayah perairan Cilacap, Sadeng, dan Prigi.

### I.4. Ruang Lingkup Penelitian

Adapun ruang lingkup dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Lokasi pengamatan satelit altimetri dilakukan di 3 titik pengamatan yang terletak di wilayah perairan selatan Pulau Jawa. Titik 1 terletak di koordinat  $9^{\circ}43'16.15''$  LS dan  $107^{\circ}40'7.27''$  BT yaitu pada wilayah perairan Cilacap, Titik 2 terletak di koordinat  $9^{\circ}46'37.36''$  LS dan  $110^{\circ}35'8.53''$  BT yaitu pada wilayah perairan Sadeng, Titik 3 terletak di  $9^{\circ}43'15.12''$  LS dan  $113^{\circ}24'57.89''$  BT yaitu pada wilayah perairan Prigi.
2. Data pengamatan misi satelit altimetri Topex/Poseidon (1992-2002) dan data satelit Jason-1 (2002-2011) yang diperoleh dari basis data RADS altimetry.
3. Penggunaan metode analisis harmonik dalam penentuan konstanta pasang surut laut dan uji hipotesis dalam pemilihan komponen pasang surut.

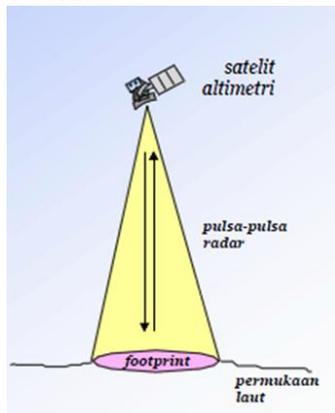
## II. Tinjauan Pustaka

### II.1. Satelit Altimetri

Satelit Altimetri dilengkapi dengan pemancar pulsa radar (*transmitter*), penerima pulsa radar yang sensitif (*receiver*), serta jam berakurasi tinggi. Pada sistem ini, altimeter radar yang dibawa oleh satelit memancarkan pulsa-pulsa gelombang elektromagnetik (radar) kepermukaan laut. Pulsa-pulsa tersebut

dipantulkan balik oleh permukaan laut dan diterima kembali oleh satelit.

Informasi utama yang ingin ditentukan dengan satelit altimetri adalah topografi dari muka laut. Hal ini dilakukan dengan mengukur ketinggian satelit di atas permukaan laut dengan menggunakan waktu tempuh dari pulsa radar yang dikirimkan ke permukaan laut, dan dipantulkan kembali ke satelit. Prinsip kerja satelit altimetri dapat digambarkan seperti pada Gambar II.1 berikut



Gambar II.1. Prinsip satelit altimetri (Abidin, 2001)

Untuk mengeliminasi efek dari gelombang serta gerakan muka laut berfrekuensi tinggi lainnya, jarak ukuran adalah jarak rata-rata dalam daerah *footprint*. Dari data rekaman waktu tempuh sinyal dapat ditentukan posisi vertikal permukaan laut, topografi muka laut (SST), Undulasi Geoid, Topografi es, lokasi dan kecepatan arus laut. Dari data amplitudo gelombang pantul dapat diperoleh informasi mengenai kecepatan angin sepanjang permukaan *groundtrack* satelit, dan batas laut serta es. Sementara itu dari data bentuk dan struktur muka gelombang pantul dapat dilihat tinggi gelombang, panjang gelombang dominan, informasi termoklin, dan kemiringan lapisan es.

Satelit altimetri Topex/Poseidon dan Jason memiliki perioda pengulangan selama 9.9156 hari. Dalam hal ini satu kali *cycle* adalah waktu yang dibutuhkan oleh satelit untuk melintas dan kembali ke posisi awal. Satelit ini dirancang agar mencakup daerah pengamatan lautan seluas mungkin dengan inklinasi orbit 66° dan mempunyai jarak antar lintasan yang renggang yakni sekitar 3° atau sekitar 315 km pada ekuator serta jarak antar titik pengamatan di atas permukaan laut sepanjang lintasan  $\pm 7$  km. Dalam melintasi lintasannya menuju *cycle* berikutnya tidak selalu tepat pada posisi lintasan

yang sama, melainkan terdapat variasi posisi lintasan yaitu  $\pm 1$  km.

## II.2. Pasang Surut

Pasang surut laut merupakan gejala naik turunnya permukaan laut karena adanya pengaruh gaya yang timbul oleh benda-benda langit terutama oleh adanya gaya tarik bulan dan matahari terhadap bumi (Daeli, 2008). Puncak gelombang disebut pasang tinggi dan lembah gelombang disebut surut rendah. Perbedaan vertikal antara pasang tinggi dan surut rendah disebut rentang pasang surut (*tidal range*). Periode pasang surut adalah waktu antara puncak atau lembah gelombang ke puncak atau lembah gelombang berikutnya. Harga periode pasang surut bervariasi antara 12 jam 25 menit hingga 24 jam 50 menit.

Pasang surut laut merupakan hasil dari gaya tarik gravitasi dan efek sentrifugal. Efek sentrifugal adalah dorongan ke arah luar pusat rotasi. Gravitasi bervariasi secara langsung dengan massa tetapi berbanding terbalik terhadap jarak. Meskipun ukuran bulan lebih kecil dari matahari, gaya tarik gravitasi bulan dua kali lebih besar daripada gaya tarik matahari dalam membangkitkan pasang surut laut karena jarak bulan lebih dekat daripada jarak matahari ke bumi. Gaya tarik gravitasi menarik air laut ke arah bulan dan matahari dan menghasilkan dua tonjolan (*bulge*) pasang surut gravitasional di laut. Lintang dari tonjolan pasang surut ditentukan oleh deklinasi, yaitu sudut antara sumbu rotasi bumi dan bidang orbital bulan dan matahari.

### II.2.1. Tipe Pasang Surut

Berdasarkan nilai F, Courtier (1938) membagi tipe pasang surut menjadi empat tipe (Rufaida, 2008).

1. Pasang surut harian ganda (*semi diurnal tide*)

Dalam satu hari terjadi dua kali pasang dan dua kali air surut dengan tinggi yang hamper sama dan pasang surut terjadi secara berurutan secara teratur. Periode pasang surut rata-rata adalah 12 jam 24 menit.

2. Pasang surut harian tunggal (*diurnal tide*)

Dalam satu hari terjadi satu kali air pasang dan satu kali air surut. Periode pasang surut adalah 24 jam 50 menit.

3. Pasang surut campuran condong ke harian ganda (*mixed tide prevailing semidiurnal*)

Dalam satu hari terjadi dua kali air pasang dan dua kali air surut, tetapi tinggi dan periodenya berbeda.

4. Pasang surut campuran condong ke harian tunggal (*mixed tide prevailing diurnal*)

Pada tipe ini dalam satu hari terjadi satu kali air pasang dan satu kali air surut, tetapi kadang-kadang untuk sementara waktu terjadi dua kali pasang dan dua kali surut dengan tinggi dan periode yang sangat berbeda.

### II.2.2. Komponen Pasang Surut

Mengingat pasang surut sebagai efek gaya pembangkit bergejala periodik, maka dapat dinyatakan sebagai jumlah linier gelombang-gelombang stasioner dan bergerak. Setiap gelombang harus mewakili setiap atraksi periodik (Ingham, 1974), dan dinamakan komponen pasang surut. Dalam jangka waktu yang panjang, kombinasi suku-suku pasang surut mungkin terjadi, bisa berupa kombinasi frekuensi. Hal ini mengakibatkan timbulnya variasi komponen pasang surut.

Berdasarkan periode pengulangannya, gelombang pasang surut laut dapat dikelompokkan ke dalam tiga komponen utama (Khusuma, 2008), yaitu:

1. Komponen semi diurnal (setengah harian)
2. Komponen diurnal (harian)
3. Komponen periode panjang (dwi mingguan atau lebih)

Komponen-komponen pasang surut laut dimodelkan sesuai dengan periode masing-masing komponen ke dalam bentuk persamaan sinusoidal. Persamaan sinusoidal tersebut dibentuk oleh variabel berupa frekuensi gelombang, amplitudo gelombang, dan fase. Karena pengelompokan gelombang pasang surut dilakukan berdasarkan periode gelombangnya, maka besar periode dan frekuensi gelombang pasang surut di setiap tempat adalah sama. Besar amplitudo dan fase gelombang pasang surut laut dapat berubah-ubah sesuai perairan yang diamati (Khusuma, 2008).

### II.3. Metode Kuadrat Terkecil

Pada metoda ini hitungan dilakukan dengan menggunakan persamaan harmonik pasang surut seperti pada persamaan berikut:

$$h(t_i) = S_0 + \sum_j^m a_j \cos(2\pi f_j t_i - \theta_j) \dots \dots \dots (II.1)$$

Keterangan,

$S_0$  = tinggi rata-rata permukaan air di atas datum yang digunakan

$t_i$  = waktu ke- $i$

$h$  = tinggi permukaan air pada waktu ke- $i$

$m$  = jumlah komponen yang digunakan

$a_j$  = amplitudo komponen ke- $j$

$2\pi f_j$  = frekuensi komponen ke- $j$  ( $\omega_j$ )

$\theta_j$  = keterlambatan fase komponen ke- $j$

Besar amplitudo dan beda fase setiap komponen pasang surut laut dapat dihitung dengan menggunakan analisis harmonik pasang surut laut. Analisis harmonik dapat dilakukan dengan dua metode, yaitu metode *admiralty* dan metode kuadrat terkecil.

Metode kuadrat terkecil banyak digunakan setelah alat penghitung numeris modern ditemukan. Hal ini dikarenakan metode kuadrat terkecil memerlukan proses penghitungan matriks dengan dimensi matriks yang besar (tergantung pada jumlah data). Untuk melakukan analisis harmonik diatas sebuah lokasi perairan, diperlukan data pengukuran pasang surut laut dari lokasi perairan tersebut. Data pengukuran pasang surut laut dari lapangan adalah tinggi permukaan air di atas datum pada waktu ke- $i$  ( $h(t_i)$ ). Pada pengukuran pasang surut laut dengan menggunakan palem, datum yang digunakan adalah dasar dari palem yang digunakan adalah dasar dari palem pasang surut laut. Pada studi ini, karena pengukuran dilakukan dengan menggunakan satelit altimetri, datum yang digunakan adalah permukaan MSS (*Mean Sea Surface*). Karena permukaan MSS merupakan pendekatan dari permukaan MSL, nilai tinggi rata-rata pasang surut laut ( $S_0$ ) yang dihitung dengan menggunakan data altimetri harus mendekati nilai nol.

### III. Metodologi Penelitian

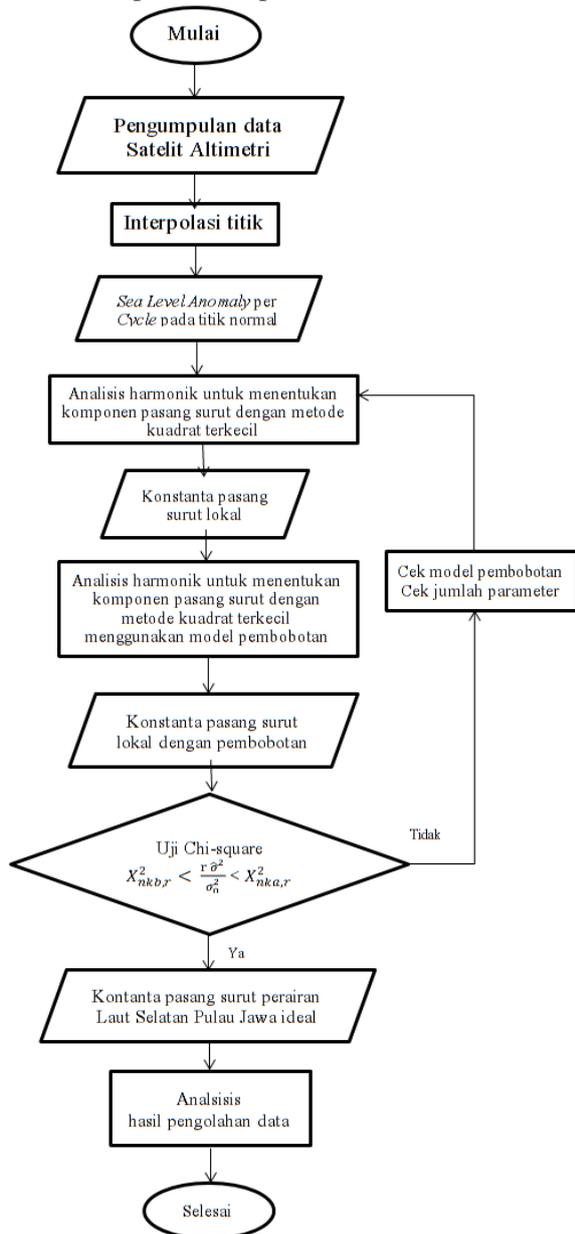
Penentuan konstanta pasut pada studi ini menggunakan pendekatan analisis harmonik dengan metode kuadrat terkecil. Penentuan konstanta pasut laut pada studi ini menggunakan data SLA (*Sea Level Anomaly*) dari satelit Topex/Poseidon dan Jason-1, dimana koreksi pasut laut yang biasanya diperoleh dari model pasut global yang tidak dilibatkan. Sebelum dilakukan proses analisis harmonik terlebih dahulu dilakukan penentuan titik normal dimana titik-titik pengamatan satelit dengan metode interpolasi.

Pembobotan dilakukan pada proses analisis untuk mendapatkan hasil analisis harmonik yang optimal. Setelah pembobotan dimasukkan dan pengolahan dilakukan, maka konstanta pasut laut bisa diperoleh. Untuk bisa

mengontrol kualitas data maka lokasi titik pengamatan dilakukan pada titik *crossover* sehingga perbandingan kualitas data bisa dilakukan antara *pass ascending* dan *pass descending*. Uji hipotesis *chi-square* dilakukan untuk melihat apakah hasil pengolahan dapat diterima secara statistik sehingga bisa diketahui kualitas data dan jumlah parameter yang sesuai.

Pembahasan dari hasil pengolahan berupa perbandingan jumlah dan nilai komponen pasut yang digunakan pada tiap titik pengamatan. Dari hasil tersebut bisa dianalisa karakteristik perairan pada tiap titik pengamatan di perairan selatan Pulau Jawa.

Diagram alir pengolahan data pada tugas akhir ini dapat dilihat pada Gambar III.1 berikut.



Gambar III.1. Diagram alir penelitian

### III.1. Alat dan Bahan Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian adalah dengan menggunakan perangkat komputer yang memiliki spesifikasi sebagai berikut:

1. Perangkat keras (*hardware*)  
Laptop Toshiba Satellite L745 Intel® Core™ i5– 2410M CPU @ 2.30 GHz (4CPUs), ~2.3GHz, RAM 4.00 GB
2. Perangkat lunak (*software*)
  - a. Matlab 7.6.0 untuk pengolahan proses interpolasi *IDW*
  - b. Microsoft Excel 2010 untuk pengolahan metode kuadrat terkecil
  - c. Microsoft Word 2010 untuk pembuatan laporan

Bahan yang digunakan dalam penelitian yaitu:

- a. Data SLA Satelit Altimetri Topex/Poseidon tahun 1992-2002
- b. Data SLA Satelit Altimetri Jason-1 tahun 2002-2011
- c. Data *Sea Level Monitoring* Stasiun Cilacap, Sadeng, dan Prigi tahun 2008-2011

### III.2. Pengambilan Data

Data satelit altimetri dapat diakses melalui internet yaitu lewat situs RADS dengan alamat <http://rads.tudelft.nl/rads/rads.shtml>. RADS (*Radar Altimeter Database*) itu sendiri adalah sebuah sistem basis data yang menyediakan data dari berbagai satelit altimetri yang dapat dimanfaatkan untuk mencari dan memanipulasi data dari berbagai misi satelit.

Lokasi penelitian pada tugas akhir terletak di wilayah selatan Pulau Jawa yang memiliki karakteristik laut dalam di wilayah Indonesia. Tabel III.1 dan Gambar III.2 berikut menunjukkan titik-titik pengamatan yang dijadikan objek penelitian pada tugas akhir ini.

Tabel III.1. Lokasi titik pengamatan

| No Titik | Lintang        | Bujur            | Keterangan Lokasi |
|----------|----------------|------------------|-------------------|
| 1        | 9°43'16.15" LS | 107°40'7.27" BT  | Perairan Cilacap  |
| 2        | 9°46'37.36" LS | 110°35'8.53" BT  | Perairan Sadeng   |
| 3        | 9°43'15.12" LS | 113°24'57.89" BT | Perairan Prigi    |



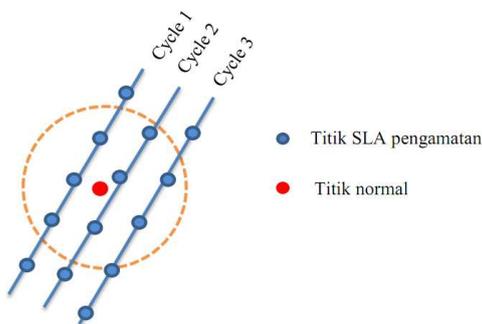
Gambar III.2. Lokasi titik pengamatan

Penentuan konstanta pasang surut di dalam tugas akhir ini melibatkan data dari Oktober 1992 sampai Desember 2011. Data sepanjang ini merupakan data pada cycle 2 hingga cycle 364 dari Topex/Poseidon dan cycle 1 hingga cycle 368 dari Jason-1.

**III.3. Interpolasi Titik Normal**

Orbit satelit altimetri yang berputar mengelilingi permukaan bumi memiliki variasi posisi-posisi tiap *groundtrack* yaitu  $\pm 1$  km yang menyebabkan satelit tidak bisa mengulang ke satu titik yang sudah pernah dilalui sebelumnya. Untuk menciptakan konsistensi pada satu titik pengamatan dan juga untuk memudahkan proses pengolahan data maka perlu ditentukan satu titik normal yang digunakan sebagai titik yang tetap.

Dalam penelitian ini menggunakan metode IDW (*Inverse Distance Weight*) dalam menentukan interpolasi titik normal. IDW merupakan metode interpolasi dengan menggunakan bobot jarak titik normal terhadap titik pengamatan atau nilai SLA disekitarnya. Gambar III.3 berikut memperlihatkan interpolasi kuadratik untuk memperoleh SLA di atas titik normal.



Gambar III.3. *Inverse Distance Weight*

**III.4. Perhitungan Analisis Harmonik**

Perhitungan analisis harmonik pada setiap titik dalam penelitian ini dilakukan dalam tiga tahap. Tahap pertama dilakukan analisis harmonik dengan metode kuadrat terkecil tanpa menggunakan bobot. Pengolahan pada tahap ini

menggunakan seluruh komponen pasang surut laut yang ada, yaitu 21 buah komponen pasang surut. Dari hasil pengolahan tahap pertama ini akan dibentuk matriks bobot yang didapat dari turunan nilai koreksi tiap pengamatan.

Tahap kedua dilakukan analisis harmonik dengan jumlah komponen yang sama dengan tahap pertama. Namun, pada tahap ini pengolahan kuadrat terkecil menggunakan matriks bobot yang diperoleh dari pengolahan tahap pertama. Setelah dilakukan analisis harmonik dengan menggunakan bobot, dilakukan uji *chi-square* untuk melihat apakah pengolahan sudah sesuai dengan ketentuan ataukah belum. Apabila hasil uji *chi-square* sesuai maka data yang diperoleh dari pengolahan sudah bisa langsung dianalisis. Apabila hasil uji *chi-square* tidak sesuai maka pengolahan akan berlanjut pada tahap ketiga.

Tahap ketiga dilakukan pengeliminasian komponen-komponen yang seharusnya tidak terlibat dalam proses pengolahan data. Pengeliminasian tersebut dilakukan dengan cara menyeleksi komponen pasang surut laut yang mempunyai amplitudo rendah. Batasan amplitudo itu sendiri ditentukan dengan cara *trial and error* sampai nilai uji *chi-square* terletak di antara batas atas dan batas bawah. Komponen yang tidak tereliminasi selanjutnya digunakan kembali untuk proses analisa harmonik seperti pada tahapan sebelumnya. Setelah analisa harmonik dilakukan, uji *chi-square* kembali diterapkan dan apabila masih belum sesuai maka dilakukan pengeliminasian komponen kembali. Proses perhitungan analisis harmonik dianggap selesai apabila hasil uji *chi-square* berada pada daerah yang sudah ditentukan.

**IV. Hasil dan Pembahasan**

**IV.1. Hasil Interpolasi Titik Normal**

Dari hasil perhitungan *Inverse Distance Weight* didapat ketinggian *SLA* pada titik normal. Pada pengolahannya tidak semua data tiap *cycle* tersedia, ada beberapa *cycle* yang datanya kosong atau bernilai *NaN* yang diakibatkan kesalahan pada saat Satelit Altimetri melakukan proses perekaman data. Hal ini mengakibatkan data hasil interpolasi pada titik normal tidak memiliki nilai atau bernilai *NaN*.

Tabel IV.1 berikut menampilkan jumlah data titik normal yang memiliki nilai dan tidak memiliki nilai atau bernilai *NaN* dari setiap *cycle* terekam pada tiap *pass*.

Tabel IV.1. Data hasil interpolasi titik normal

| Perairan | Pass | Jumlah Cycle Terekam | Hasil Interpolasi Data |     |
|----------|------|----------------------|------------------------|-----|
|          |      |                      | Data Terinterpolasi    | NaN |
| Cilacap  | 051  | 710                  | 671                    | 39  |
|          | 242  | 710                  | 664                    | 46  |
| Sadeng   | 127  | 710                  | 659                    | 51  |
|          | 064  | 710                  | 668                    | 42  |
| Prigi    | 203  | 710                  | 657                    | 53  |
|          | 140  | 710                  | 633                    | 77  |

### IV.2. Analisis Harmonik Metode Kuadrat Terkecil

Dari pengolahan analisis harmonik menggunakan metode kuadrat terkecil akan didapat nilai amplitudo dan fase dari komponen-komponen pembentuk pasang surut. Tabel IV.2, IV.3, dan IV.4 berikut ditunjukkan besarnya amplitudo dalam satuan meter (m) dan fase dalam satuan derajat (°) dari komponen pasang surut pada setiap titik pengamatan.

Tabel IV.1. Komponen pasang surut perairan Cilacap

| Komponen | 051 (ascending) |         |              |         | 242 (descending) |         |              |         |
|----------|-----------------|---------|--------------|---------|------------------|---------|--------------|---------|
|          | Tanpa Bobot     |         | Dengan Bobot |         | Tanpa Bobot      |         | Dengan Bobot |         |
|          | Amplitudo       | Fase    | Amplitudo    | Fase    | Amplitudo        | Fase    | Amplitudo    | Fase    |
| Sa       | 0,033           | 342,647 | 0,031        | 349,250 | 0,022            | 225,249 | 0,027        | 241,486 |
| Ssa      | 0,035           | 299,716 | 0,032        | 293,197 | 0,017            | 95,265  | 0,015        | 93,898  |
| Mm       | 0,015           | 7,010   | 0,014        | 177,393 | 0,003            | 192,059 | 0,006        | 219,628 |
| Mf       | 0,020           | 20,498  | 0,018        | 36,589  | 0,014            | 76,252  | 0,008        | 45,954  |
| Q1       | 0,032           | 213,493 | 0,033        | 218,188 | 0,045            | 286,798 | 0,036        | 289,151 |
| O1       | 0,066           | 291,411 | 0,066        | 291,496 | 0,048            | 223,230 | 0,051        | 220,265 |
| NO1      | 0,007           | 71,112  | 0,009        | 65,087  | 0,007            | 149,482 | 0,009        | 124,525 |
| P1       | 0,056           | 194,433 | 0,059        | 194,086 | 0,020            | 61,558  | 0,021        | 76,132  |
| S1       | 0,017           | 186,860 | 0,018        | 183,533 | 0,008            | 230,021 | 0,012        | 223,834 |
| K1       | 0,175           | 276,082 | 0,173        | 276,275 | 0,138            | 259,048 | 0,137        | 259,253 |
| J1       | 0,014           | 219,542 | 0,015        | 225,964 | 0,004            | 40,631  | 0,007        | 44,409  |
| OO1      | 0,009           | 137,224 | 0,008        | 143,907 | 0,005            | 89,803  | 0,004        | 280,993 |
| 2N2      | 0,005           | 345,361 | 0,003        | 212,479 | 0,018            | 115,897 | 0,019        | 103,142 |
| MU2      | 0,007           | 22,956  | 0,009        | 30,198  | 0,017            | 78,807  | 0,024        | 81,546  |
| N2       | 0,046           | 98,893  | 0,048        | 100,475 | 0,049            | 21,224  | 0,056        | 22,986  |
| NU2      | 0,008           | 341,383 | 0,006        | 343,696 | 0,023            | 120,510 | 0,014        | 127,833 |
| M2       | 0,273           | 84,280  | 0,279        | 83,244  | 0,208            | 173,414 | 0,219        | 174,802 |
| L2       | 0,018           | 101,204 | 0,018        | 99,392  | 0,002            | 236,948 | 0,002        | 194,162 |
| T2       | 0,011           | 166,235 | 0,010        | 167,654 | 0,032            | 158,636 | 0,036        | 152,148 |
| S2       | 0,180           | 207,344 | 0,181        | 205,731 | 0,093            | 238,017 | 0,107        | 234,629 |
| K2       | 0,046           | 99,200  | 0,049        | 97,462  | 0,017            | 242,090 | 0,018        | 253,312 |

Tabel IV.2. Komponen pasang surut perairan Sadeng

| Komponen | 127 (ascending) |         |              |         | 064 (descending) |         |              |         |
|----------|-----------------|---------|--------------|---------|------------------|---------|--------------|---------|
|          | Tanpa Bobot     |         | Dengan Bobot |         | Tanpa Bobot      |         | Dengan Bobot |         |
|          | Amplitudo       | Fase    | Amplitudo    | Fase    | Amplitudo        | Fase    | Amplitudo    | Fase    |
| Sa       | 0,082           | 338,894 | 0,080        | 340,032 | 0,079            | 181,384 | 0,076        | 182,057 |
| Ssa      | 0,040           | 318,453 | 0,042        | 317,137 | 0,017            | 280,975 | 0,019        | 283,766 |
| Mm       | 0,010           | 121,356 | 0,008        | 143,711 | 0,006            | 136,741 | 0,006        | 164,839 |
| Mf       | 0,005           | 139,250 | 0,008        | 150,260 | 0,002            | 207,311 | 0,007        | 181,882 |
| Q1       | 0,041           | 223,226 | 0,042        | 217,391 | 0,033            | 191,428 | 0,036        | 187,506 |
| O1       | 0,057           | 113,355 | 0,064        | 109,405 | 0,069            | 332,017 | 0,066        | 333,998 |
| NO1      | 0,005           | 335,821 | 0,010        | 284,692 | 0,015            | 221,059 | 0,017        | 220,294 |
| P1       | 0,058           | 252,784 | 0,054        | 244,817 | 0,078            | 330,690 | 0,078        | 334,867 |
| S1       | 0,011           | 217,878 | 0,013        | 239,337 | 0,012            | 315,824 | 0,018        | 320,114 |
| K1       | 0,198           | 294,499 | 0,198        | 293,345 | 0,198            | 149,242 | 0,196        | 148,186 |
| J1       | 0,008           | 165,078 | 0,011        | 105,376 | 0,015            | 40,936  | 0,018        | 24,869  |
| OO1      | 0,015           | 33,460  | 0,013        | 20,500  | 0,005            | 42,305  | 0,007        | 64,171  |
| 2N2      | 0,014           | 293,532 | 0,012        | 291,976 | 0,003            | 215,074 | 0,008        | 240,180 |
| MU2      | 0,013           | 36,497  | 0,011        | 12,715  | 0,011            | 100,536 | 0,010        | 127,205 |
| N2       | 0,068           | 212,645 | 0,075        | 213,066 | 0,062            | 87,255  | 0,067        | 86,863  |
| NU2      | 0,028           | 53,842  | 0,023        | 48,549  | 0,032            | 13,646  | 0,035        | 9,310   |
| M2       | 0,333           | 90,783  | 0,343        | 269,152 | 0,331            | 263,337 | 0,339        | 265,535 |
| L2       | 0,005           | 68,848  | 0,008        | 33,846  | 0,019            | 322,995 | 0,022        | 321,122 |
| T2       | 0,021           | 326,961 | 0,020        | 322,804 | 0,036            | 24,623  | 0,038        | 23,425  |
| S2       | 0,201           | 234,383 | 0,205        | 231,517 | 0,223            | 172,281 | 0,226        | 172,808 |
| K2       | 0,107           | 102,951 | 0,103        | 99,065  | 0,052            | 14,003  | 0,049        | 19,644  |

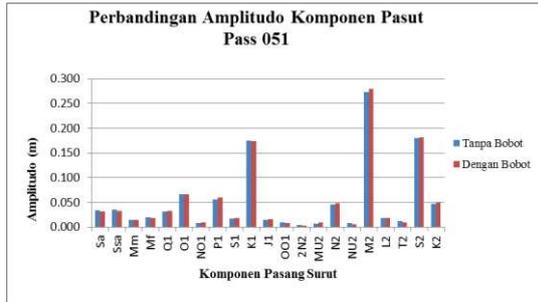
Tabel IV.3. Komponen pasang surut perairan Prigi

| Komponen | 203 (ascending) |         |              |         | 140 (descending) |         |              |         |
|----------|-----------------|---------|--------------|---------|------------------|---------|--------------|---------|
|          | Tanpa Bobot     |         | Dengan Bobot |         | Tanpa Bobot      |         | Dengan Bobot |         |
|          | Amplitudo       | Fase    | Amplitudo    | Fase    | Amplitudo        | Fase    | Amplitudo    | Fase    |
| Sa       | 0,114           | 297,414 | 0,114        | 297,414 | 0,114            | 297,414 | 0,114        | 297,414 |
| Ssa      | 0,048           | 43,376  | 0,048        | 43,376  | 0,048            | 43,376  | 0,048        | 43,376  |
| Mm       | 0,009           | 326,797 | 0,009        | 326,797 | 0,009            | 326,797 | 0,009        | 326,797 |
| Mf       | 0,013           | 339,074 | 0,013        | 339,074 | 0,013            | 339,074 | 0,013        | 339,074 |
| Q1       | 0,048           | 101,066 | 0,048        | 101,066 | 0,048            | 101,066 | 0,048        | 101,066 |
| O1       | 0,055           | 350,891 | 0,055        | 350,891 | 0,055            | 350,891 | 0,055        | 350,891 |
| NO1      | 0,022           | 348,349 | 0,022        | 348,349 | 0,022            | 348,349 | 0,022        | 348,349 |
| P1       | 0,051           | 316,562 | 0,051        | 316,562 | 0,051            | 316,562 | 0,051        | 316,562 |
| S1       | 0,010           | 352,022 | 0,010        | 352,022 | 0,010            | 352,022 | 0,010        | 352,022 |
| K1       | 0,186           | 56,207  | 0,186        | 56,207  | 0,186            | 56,207  | 0,186        | 56,207  |
| J1       | 0,022           | 7,833   | 0,022        | 7,833   | 0,022            | 7,833   | 0,022        | 7,833   |
| OO1      | 0,007           | 195,509 | 0,007        | 195,509 | 0,007            | 195,509 | 0,007        | 195,509 |
| 2N2      | 0,005           | 284,748 | 0,005        | 284,748 | 0,005            | 284,748 | 0,005        | 284,748 |
| MU2      | 0,021           | 206,283 | 0,021        | 206,283 | 0,021            | 206,283 | 0,021        | 206,283 |
| N2       | 0,029           | 244,841 | 0,029        | 244,841 | 0,029            | 244,841 | 0,029        | 244,841 |
| NU2      | 0,067           | 166,010 | 0,067        | 166,010 | 0,067            | 166,010 | 0,067        | 166,010 |
| M2       | 0,225           | 97,584  | 0,225        | 97,584  | 0,225            | 97,584  | 0,225        | 97,584  |
| L2       | 0,026           | 205,007 | 0,026        | 205,007 | 0,026            | 205,007 | 0,026        | 205,007 |
| T2       | 0,024           | 328,566 | 0,024        | 328,566 | 0,024            | 328,566 | 0,024        | 328,566 |
| S2       | 0,104           | 81,366  | 0,104        | 81,366  | 0,104            | 81,366  | 0,104        | 81,366  |
| K2       | 0,067           | 355,839 | 0,067        | 355,839 | 0,067            | 355,839 | 0,067        | 355,839 |

Dari Tabel IV.1, IV.2, dan IV.3 dapat dilihat bahwa pada setiap titik pengamatan terdapat 21 komponen pasang surut yang memiliki pengaruh dalam pembentukan pasang surut di laut selatan Pulau Jawa

#### IV.2.1. Perbandingan Model Pembobotan

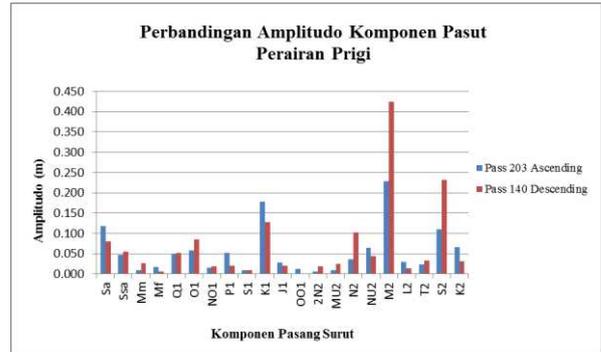
Pengolahan metode kuadrat terkecil dengan metode tanpa bobot dan dengan bobot akan mempengaruhi hasil dari analisis harmonik pada data. Untuk mengetahui seberapa besar pengaruh bobot terhadap hasil komponen pasang surut maka pada Gambar IV.1 berikut akan ditunjukkan diagram selisih nilai amplitudo dan fase komponen pasang surut pada pass 051.



Gambar IV.1. Diagram amplitudo dan fase pass 051

Dari Gambar IV.1 dapat dilihat bahwa metode pembobotan tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap amplitudo namun cukup memberikan pengaruh pada nilai fase.

**IV.2.2. Perbandingan Pass Ascending dan Descending**



Gambar IV.2. Diagram perbandingan amplitudo

Perbandingan nilai amplitudo pada perairan Cilacap dan Sadeng tidak terlalu signifikan, namun pada perairan Prigi terdapat perbedaan yang signifikan pada beberapa komponen.

Besarnya selisih nilai amplitudo pada perairan Prigi ini disebabkan oleh banyaknya nilai *SLA* yang kosong (*NaN*) pada pengukuran *pass* 203 dan *pass* 140. Semakin banyaknya data yang kosong akan semakin tidak merepresentasikan keadaan sesungguhnya pada perairan tersebut sehingga menyebabkan kualitas hasil pengolahan semakin berkurang.





Gambar IV.3. Diagram perbandingan fase

perbandingan nilai fase komponen-komponen pasang surut antara *pass ascending* dan *pass descending* memiliki selisih nilai yang relatif besar. Perbedaan tersebut dipengaruhi oleh frekuensi aliasing yang digunakan dalam analisis harmonik. Frekuensi yang dibuat semakin rendah secara otomatis menyebabkan panjang gelombang semakin besar sehingga fase dari gelombang pun akan berubah pula, namun perubahan frekuensi ini tidak terlalu merubah amplitudo suatu gelombang.

**IV.3. Tipe Pasang Surut**

Tabel IV.4. Tipe pasang surut

| Titik Pengamatan | Pass | Nilai <i>Formzhal</i> | Tipe Pasang Surut             |
|------------------|------|-----------------------|-------------------------------|
| Perairan Cilacap | 051  | 0,518                 | Campuran condong harian ganda |
|                  | 242  | 0,577                 | Campuran condong harian ganda |
| Perairan Sadeng  | 127  | 0,479                 | Campuran condong harian ganda |
|                  | 064  | 0,464                 | Campuran condong harian ganda |
| Perairan Prigi   | 203  | 0,697                 | Campuran condong harian ganda |
|                  | 140  | 0,325                 | Campuran condong harian ganda |

Dari Tabel IV.4 dapat dilihat bahwa semua titik pengamatan memiliki tipe pasang surut yang sama yaitu campuran condong harian ganda. Dimana dalam satu hari terjadi dua kali pasang dan dua kali surut, tetapi tinggi dan periodenya berbeda. Hal ini sesuai dengan tipe pasang surut perairan selatan Pulau Jawa yang disebutkan oleh Triatmodjo tahun 1996.

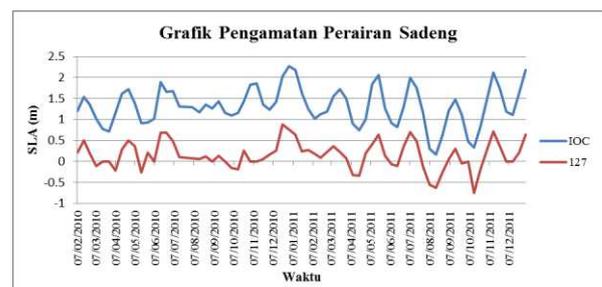
**IV.4. Verifikasi SLA Satelit Altimetri dengan SLA IOC *Sea Level Monitoring***

Dalam penelitian ini metode yang digunakan untuk verifikasi yaitu membandingkan grafik *SLA* Satelit Altimetri dengan grafik pengamatan pasang surut stasiun IOC.

IOC adalah satu-satunya badan PBB khusus dalam ilmu pengetahuan dan jasa laut. IOC berfokus dan bekerjasama lembaga yang berkaitan dengan ilmu pengetahuan laut, pengamatan dan pertukaran data, dan layanan

seperti sistem peringatan tsunami global. Salah satu situs yang dikelola IOC yaitu <http://www.ioc-sealevelmonitoring.org/> yang menyediakan data monitoring permukaan laut secara *online* dimana data monitoring didapat dari stasiun pengamatan yang tersebar di beberapa tempat.

Gambar IV.4 berikut adalah grafik perbandingan *SLA* perairan Sadeng dari IOC dengan *SLA* dari Satelit Altimetri *pass* 127 dan *pass* 064. *SLA* dari IOC diambil pada tanggal 7 Februari 2010 sampai tanggal 31 Desember 2011, sedangkan *SLA* dari Satelit Altimetri diambil dari *cycle* 298-368.



Gambar IV.4. Grafik pengamatan SLA

Dari Gambar IV.4 menunjukkan bahwa terdapat kecenderungan *SLA* yang sama antara pengamatan Satelit Altimetri dengan pengamatan pasang surut dari stasiun IOC.

**V. Kesimpulan dan Saran**

**V.1. Kesimpulan**

Berdasarkan pengolahan data dan pembahasan yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Hasil uji *chi-square* menyatakan terdapat 21 Komponen pasang surut yang berpengaruh dalam pembentukan pasang surut pada laut selatan Pulau Jawa yang terdiri dari 4 komponen periode panjang, 8 komponen diurnal, dan 9 komponen semidiurnal dengan nilai amplitudo rata-rata komponen

Sa sebesar 0,069m , Ssa sebesar 0,035m, Mm sebesar 0,012m, Mf sebesar 0,011m, Q1 sebesar 0,041m, O1 sebesar 0,065m, NO1 sebesar 0,014m, P1 sebesar 0,047m, S1 sebesar 0,013m, K1 sebesar 0,168m, J1 sebesar 0,016m, OO1 sebesar 0,008m, 2N2 sebesar 0,011m, MU2 sebesar 0,015m, N2 sebesar 0,064m, NU2 sebesar 0,031m, M2 sebesar 0,305m, L2 sebesar 0,016m, T2 sebesar 0,027m, S2 sebesar 0,177m, dan K2 sebesar 0,053.

2. Ketiga titik pengamatan memiliki tipe pasang surut yang sama yaitu condong harian ganda dengan nilai *formzhal* pada *pass ascending* dan *descending* masing-masing 0.518 dan 0.577 untuk perairan Cilacap, 0.479 dan 0.464 untuk perairan Sadeng, 0.697 dan 0.325 untuk perairan Prigi. Nilai MSL rata-rata dari laut selatan Pulau Jawa yaitu 0,021m sedangkan nilai HHWL dan LLWL yaitu 0.713m dan -0.671m.

## V.2. Saran

1. Perlu adanya proses pra-pengolahan untuk mengatasi masalah kekosongan nilai pada data pengamatan.
2. Perlu adanya studi lebih lanjut tentang penggunaan koreksi-koreksi yang tepat pada data pengamatan terutama mengenai kesalahan orbit satelit dan argumen astronomis serta koreksi nodal untuk menghasilkan data pengamatan yang lebih teliti.
3. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai uji stastistik *chi-square* dimana derajat kepercayaan dinaikkan sehingga seleksi hasil perataan menjadi lebih ketat dan diharapkan hasilnya bisa lebih baik.
4. Perlu dilakukan pemodelan pasang surut dari nilai komponen pasang surut yang sudah diperoleh sebagai prediksi pasang surut di masa mendatang sehingga bisa dimanfaatkan untuk kegiatan transportasi perairan, kegiatan nelayan, dan lain-lain.

## Daftar Pustaka

- Abidin, H. Z. 2001. *Geodesi Satelit*. PT Pradnya Paramita. Bandung.
- AVISO dan PODAAC. 2003. *User Handbook IGRD and GDR Product edition 2.0*. NASA dan CNES.
- Daeli, W. R. 2008. Penentuan Konstanta Pasut Laut di Wilayah Perairan Sibolga dari Data Topex/Poseidon (1992-2002) dengan Menggunakan Metode Analisis Harmonik. Program Studi Teknik Geodesi dan Geomatika Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumian Institut Teknologi Bandung. Bandung.
- Dronkers, J. J. 1964. *Tidal Computations in Rivers and Coastal Waters*. North-Holland Publishing Company. Amsterdam.
- Hakim, B. A. 2011. *Karakteristik Kondisi Oseanografi dan Potensinya di Perairan Selatan Jawa Indonesia*. <http://dokumen.tips/documents/karakteristik-kondisi-oseanografi-dan-potensinya.html>. Diakses pada tanggal 12 November 2015.
- Ingham, A. E. 1974. *Sea Surveying*. John Wiley and Son. Brent Wood.
- IOC. 2015. *Sea Level Station Monitoring Facility*. <http://www.ioc-sealevelmonitoring.org>. Diakses pada tanggal 8 September 2015.
- Khusuma, F. H. 2008. Analisis Harmonik dengan Menggunakan Teknik Kuadrat Terkecil untuk Penentuan Komponen-komponen Pasut di Perairan Dangkal dari Data Topex/Poseidon. Program Studi Teknik Geodesi dan Geomatika Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumian Institut Teknologi Bandung. Bandung.
- Limantara, Y. 2013. Analisis *Sea Level Rise* Menggunakan Data Satelit Altimetri Jason-2 Periode 2008-20012. Fakultas Teknik Program Studi Teknik Geodesi Universitas Diponegoro. Semarang.
- RADS. 2015. *Radar Altimeter Database System*. <http://rads.tudelft.nl/rads/rads.shtml>. Diakses pada tanggal 25 Juli 2015.
- Rufaida, N. A. 2008. *Perbandingan Metode Least Square (Program World Tides dan Program Tifa) Dengan Metode Admiralty Dalam Analisis Pasang Surut*. Program Studi Oseanografi Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumian Institut Teknologi Bandung. Bandung.
- Triatmodjo, B. 1996. *Pelabuhan*. Beta Offset. Yogyakarta.