

PENENTUAN KOORDINAT GEODETIK TITIK BM PASUT JAWA DARI DATA PENGAMATAN GPS

Herry Risdianto

Dosen Teknik Survei dan Pemetaan
Universitas Indo Global Mandiri Palembang
Email: harun_raster@yahoo.co.id

Abstrak

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menentukan koordinat geodetik titik BM Pasut Pulau Jawa. Penentuan koordinat dilakukan dengan pengukuran GPS di titik BM Pasut selama 3 hari. Ketelitian hasil pengolahan data ditunjukkan dari nilai simpangan baku koordinat lintang (ϕ), bujur (λ), dan tinggi elipsoid (h) masing-masing titik. Hasil pengolahan data menunjukkan bahwa koordinat lintang memiliki ketelitian berkisar antara $1,84 \times 10^{-6}$ detik sampai $1,84 \times 10^{-6}$ detik. Koordinat bujur memiliki ketelitian berkisar antara $1,85 \times 10^{-6}$ detik sampai $1,94 \times 10^{-6}$ detik. Sedangkan ketinggian elipsoid memiliki ketelitian berkisar antara 9 sampai 12 cm. Titik pengamatan yang memiliki ketelitian tinggi elipsoid paling baik adalah Sunda Kelapa, dengan tingkat ketelitian sebesar 9,7 cm, sedangkan titik pengamatan yang memiliki ketelitian tinggi elipsoid paling rendah adalah Prigi, dengan tingkat ketelitian sebesar 12 cm.

Kata kunci : geodetik, koordinat, GPS, ellipsoid.

Abstract

The purpose of this research was to determine the geodetic coordinates Tidal BM points of Java. Determination of the coordinates is done by GPS measurements at this points for 3 days. Accuracy of the data processing shown on the value of the standard deviation of latitude (ϕ), longitude (λ), and ellipsoid height (h). The Results of data processing showed that latitude coordinates has range accuracy from $1.84 \times 1.84 \times 10^{-6}$ sec to 10^{-6} sec. Longitude coordinates has range accuracy from $1.85 \times 1.94 \times 10^{-6}$ sec to 10^{-6} sec. While the ellipsoid height has range accuracy from 9 to 12 cm. Observation point that has the highest accuracy of ellipsoid high is Sunda Kelapa, with a level of accuracy of 9.7 cm, while the observation point that has the lowest of accuracy ellipsoid high is Prigi, with a level of accuracy of 12 cm.

Keywords : geodetic, coordinates, GPS, ellipsoid

I. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara kepulauan yang terdiri lebih dari 17.000 buah pulau (Kahar, dkk., 1994). Indonesia setidaknya memiliki lima buah pulau besar yaitu Pulau Jawa, Kalimantan, Papua, Sulawesi, dan Sumatera. Masing-masing pulau tersebut memiliki beberapa referensi ketinggian (datum vertikal) lokal sendiri-sendiri yang tidak terkoneksi antara satu dan yang lainnya.

Idealnya, datum vertikal mengacu pada bidang geoid (Merry, 2003), yaitu model fisis bumi yang merupakan bidang *equipotensial* gayabarat. Pada prakteknya di Indonesia, referensi yang digunakan adalah muka laut rerata (MLR) yang diukur pada satu atau beberapa stasiun pasang surut (pasut) dalam periode waktu tertentu. Antar stasiun pasut tidak saling terkoneksi, sehingga tinggi MLR terhadap geoid yang dijadikan sebagai datum vertikal dari masing-masing stasiun pasut bersifat lokal

yang bisa memiliki perbedaan hingga mencapai 2 m (Jiao, dkk., dalam Zhang, dkk., 2008). Permasalahan pada sistem ini dapat mempengaruhi berbagai kegiatan yang memerlukan data ketinggian di Indonesia. Solusi untuk mengatasi masalah tersebut memerlukan upaya penyatuan (unifikasi) sistem tinggi sehingga masing-masing datum vertikal berada pada bidang referensi yang sama.

Kahar, dkk. (1994) mengungkapkan bahwa masalah unifikasi sistem tinggi dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu: (1) melalui penentuan topografi paras laut (TPL), dan (2) melalui penentuan beda potensial antara titik-titik pengamatan pasut. Penentuan TPL dilakukan karena TPL merupakan sumber utama yang mendasari perbedaan datum vertikal (Vergos dan Tziavos, 2012). TPL merupakan bias antara MLR dan geoid (Novotny, dkk., 2006).

Penentuan TPL dapat dilakukan apabila MLR dan geoid memiliki referensi ketinggian yang sama, yaitu elipsoid. Nilai undulasi geoid (geoid) memiliki referensi tinggi elipsoid, sedangkan nilai MLR referensi tinggi adalah titik nol rambu pasut. Untuk mentransformasikan nilai MLR sehingga bereferensi tinggi elipsoid maka perlu diikatkan dengan titik yang memiliki nilai koordinat geodetiknya. Titik ikat yang biasanya digunakan adalah titik ikat *Bench Mark* (BM) yang berada di dekat stasiun pengamatan pasut (BM Pasut). Koordinat geodetik dapat ditentukan dengan melakukan pengukuran GPS. Pada penelitian ini telah dilakukan pengukuran dan pengolahan data pengamatan GPS di titik BM Pasut Pulau Jawa. Penelitian ini dibatasi dengan hanya meneliti 6 titik BM Pasut yang tersebar di Pulau Jawa, yaitu BM Pasut Cilacap, Pamengpeuk, Prigi, Sadeng, Semarang, dan Sunda Kelapa.

II. TINJAUAN PUSTAKA

II.1. *Global positioning System* (GPS)

Global Positioning System (GPS) merupakan sistem penentuan posisi yang menggunakan teknologi satelit (Xu, 2007). GPS mulai dikembangkan pada tahun 1973 oleh Departemen Pertahanan Amerika dan mulai digunakan untuk menyelesaikan permasalahan geodesi sejak tahun 1983 (Seeber, 2003). Sistem GPS memiliki 24 satelit yang ditempatkan pada 6 buah orbit dimana terdapat 4 satelit pada masing-masing orbit (Kaplan dan Hegarty, 2006). Prinsip yang mendasari penentuan posisi pada GPS adalah dengan mengukur jarak antara *receiver* dan satelit pengamatan GPS yang telah diketahui posisinya. Melalui data posisi satelit dan jarak antara *receiver* dan satelit, maka posisi dari *receiver* dapat ditentukan (Xu, 2007).

Sistem GPS terdiri atas tiga segmen utama, yaitu segmen angkasa, segmen sistem kontrol, dan segmen pengguna. Segmen angkasa terdiri dari satelit-satelit yang terletak pada ketinggian sekitar 20200 km dari permukaan bumi. Segmen sistem kontrol terdiri dari stasiun pemonitor dan pengontrol kondisi satelit. Sedangkan segmen pengguna merupakan pemakai GPS termasuk alat-alat penerima dan pengolah sinyal GPS (*receiver* GPS) dan perangkat lunak pengolah data GPS (Seeber, 2003).

II.1.1. Data Pengamatan GPS

Setiap satelit GPS secara kontinu memancarkan sinyal-sinyal gelombang pada frekuensi L-band yang dinamakan L1 dan L2. Sinyal L1 berfrekuensi 1575,42 MHz dan sinyal L2 berfrekuensi 1227,60 MHz. Sinyal L1 membawa 2 buah kode biner yang dinamakan kode-P (*p-code*, *Precise or Private Code*) dan kode-C/A *9C/A-code* (*Clear Access or Coarse Acquisition*), sedangkan sinyal L2 hanya membawa kode-C/A (Kahar, dkk., 1994). Dengan mengamati sinyal-sinyal dari satelit dalam jumlah dan waktu yang cukup, kemudian dapat diproses untuk memperoleh informasi mengenai posisi, kecepatan ataupun waktu.

Data pengamatan dasar GPS adalah fase (*carrier phase*, ϕ) dan waktu tempuh (Δt) dari sinyal-sinyal L1 dan L2 (Abidin, 2007). Hasil pengamatan tersebut diperoleh dua jenis jarak yaitu *pseudorange* dan *carrier phase*. *Pseudorange* adalah jarak hasil hitungan oleh *receiver* GPS dari data ukuran waktu perambatan sinyal satelit ke *receiver*, sedangkan *carrier phase* adalah beda fase yang diukur oleh *receiver* GPS dengan cara mengurangkan fase sinyal pembawa yang datang dari satelit dengan sinyal serupa yang dibangkitkan dalam *receiver* (Rizos, 1999 dalam Panuntun, 2012). Persamaan pengamatan dengan *pseudorange* dan *carrier phase* berturut-turut dinyatakan dalam persamaan (II.1) dan persamaan (II.2) (Kahar, dkk., 1994) :

$$P = \rho + c \cdot (dt - dT) + d_{ion} + d_{trop} + e \dots \dots \dots (II.1)$$

$$\Phi = \rho + c \cdot (dt - dT) + \lambda \cdot N - d_{ion} + d_{trop} + \varepsilon \dots \dots \dots (II.2)$$

Dalam hal ini,

P	: jarak <i>pseudorange</i> (m)
Φ	: jarak fase (m)
ρ	: jarak geometris antara pengamat dengan satelit (m)
c	: kecepatan cahaya dalam ruang vakum (m/dt)
λ	: panjang gelombang dari sinyal (m)
N	: ambiguitas fase
e, ε	: efek dari <i>multipath</i> dan <i>noise</i>
dt, dT	: kesalahan dan <i>offset</i> dari jam <i>receiver</i> dan jam satelit (m)
d_{ion} , d_{trop}	: bias yang disebabkan oleh refraksi ionosfer dan troposfer (m)

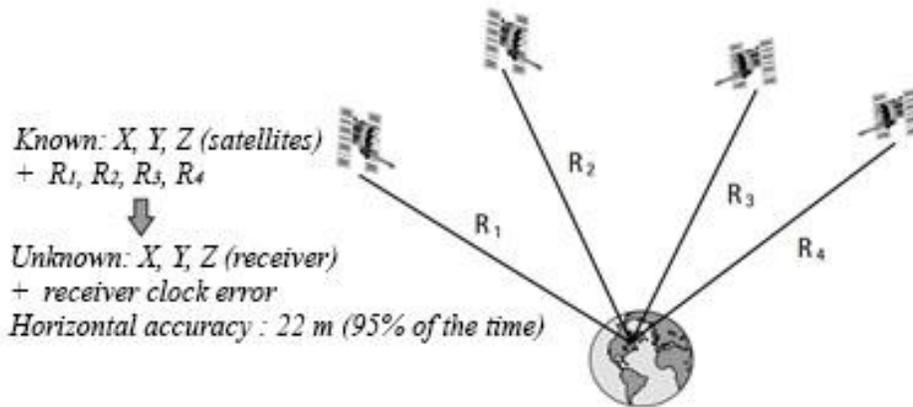
II.1.2. Penentuan Posisi Menggunakan GPS

Penentuan posisi menggunakan GPS dapat dilakukan dengan dua metode, yaitu metode absolut dan metode relatif. Penentuan posisi menggunakan metode absolut dapat dilakukan dengan menggunakan sebuah *receiver* GPS. Sedangkan penentuan posisi metode relatif dilakukan menggunakan minimum dua buah *receiver* GPS (El-Rabbany, 2002).

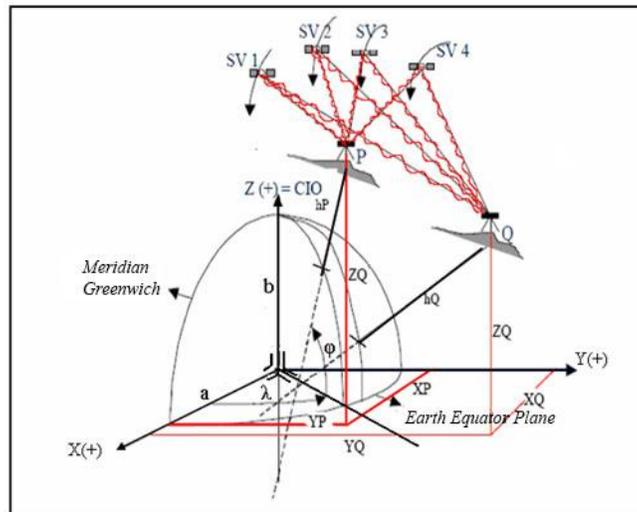
Penentuan posisi metode absolut atau yang biasanya dikenal sebagai *standalone positioning* merupakan penentuan posisi yang paling mendasar pada sistem GPS. Posisi titik pengamatan dapat ditentukan dengan mengukur jarak antara *receiver* dan satelit GPS yang posisinya sudah diketahui. Koordinat diperoleh dari *receiver* yang mengamati minimum empat buah satelit yang masing-masing diukur jaraknya. Penentuan posisi menggunakan metode absolut hanya menggunakan data pengukuran *pseudorange* sehingga menghasilkan koordinat dengan ketelitian yang relatif rendah. Metode ini hanya digunakan untuk pekerjaan yang mensyaratkan ketelitian yang tidak terlalu tinggi saja, semisal untuk penentuan posisi pendekatan dalam rangka perencanaan proyek.

Penentuan posisi metode relatif (*relative positioning*) atau yang biasa juga disebut sebagai metode diferensial (*differential positioning*) dilakukan menggunakan minimum dua buah *receiver* yang masing-masing *receiver* mengamati minimum empat buah satelit. Penentuan posisi metode relatif dapat menggunakan data pengukuran jarak *pseudorange* maupun *carrier phase*, sehingga dapat menghasilkan koordinat dengan tingkat ketelitian yang lebih baik. Pada prinsipnya, penentuan posisi metode relatif mengarah pada penentuan vektor antar dua titik berdiri alat

yang biasanya disebut sebagai *baseline* (Sunantyo, 1999 dalam Panuntun, 2012).



Gambar II.1. Prinsip penentuan posisi metode absolut (El-Rabbany, 2002)



Gambar II.2. Prinsip penentuan posisi metode relatif (Widjajanti, 2010)

II.2. Sistem Koordinat

Posisi suatu titik di permukaan bumi dapat didefinisikan secara absolut maupun relatif. Secara relatif, posisi suatu titik ditentukan berdasarkan letaknya terhadap posisi titik yang lain yang dijadikan sebagai acuan. Sedangkan secara absolut, posisi suatu titik dinyatakan dengan koordinat, baik dalam ruang satu, dua, tiga, maupun empat dimensi. Penjaminan adanya

konsistensi dan standarisasi, perlu ada suatu sistem dalam menyatakan koordinat. Sistem ini disebut sistem referensi koordinat, atau secara singkat disebut sistem koordinat (Abidin, 2001).

Dalam bidang geodesi, secara garis besar dikenal dua macam sistem koordinat, yaitu sistem koordinat terestris dan sistem koordinat langit. Sistem koordinat terestris meliputi sistem koordinat geografik dan

geodetik yang biasanya digunakan untuk mendefinisikan posisi suatu titik di permukaan bumi. Sedangkan sistem koordinat langit meliputi sistem koordinat horison, sistem koordinat sudut waktu dan sistem koordinat ekliptika. Sistem koordinat langit ini digunakan untuk mendefinisikan posisi benda-benda langit seperti bintang, matahari, planet, bulan, satelit buatan dan sebagainya (Fahrurrazi, 2011). Dalam tulisan ini disajikan sistem koordinat terestris yang dijadikan acuan bagi posisi titik-titik di permukaan bumi dengan komponen koordinat geodetik (φ_p , λ_p , h_p) dan kartesi (X_p , Y_p , Z_p).

Sistem koordinat terestrial merupakan sistem koordinat yang digunakan sebagai acuan posisi spasial titik-titik dipermukaan bumi dan sekitarnya atau obyek-obyek yang terkait dengan bumi (Fahrurrazi, 2011). Dalam sistem koordinat ini bumi dimodelkan berbentuk elipsoid maupun bola. Apabila model elipsoid yang digunakan, maka sistem koordinat yang dikembangkan adalah sistem koordinat geodetik.

Dalam penentuan posisi titik di permukaan bumi, titik nol (origin) dapat berlokasi di titik pusat masa bumi (sistem koordinat geosentrik), maupun di salah satu titik di permukaan bumi (sistem koordinat toposentrik) (Abidin, 2001). Sistem koordinat geosentrik banyak digunakan dalam metode-metode penentuan posisi ekstra-terestris yang menggunakan satelit dan benda-benda langit lainnya, dan sistem koordinat toposentrik banyak digunakan oleh metode-metode penentuan posisi terestris.

II.2.1. Sistem Koordinat Geodetik

Sistem koordinat geodetik mengacu pada model elipsoid tertentu dan tergantung juga pada ukuran, bentuk dan orientasi tiga dimensi elipsoid yang digunakan (elipsoid referensi). Posisi suatu titik dalam sistem

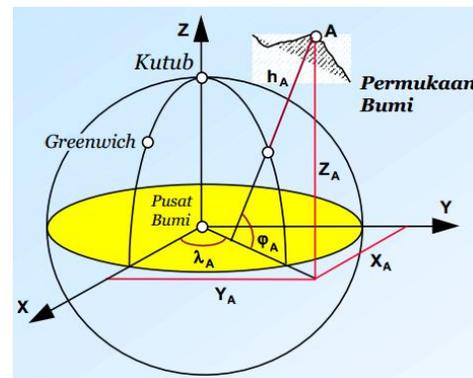
koordinat geodetik dapat dinyatakan dengan komponen lintang geodetik (φ), bujur geodetik (λ), dan tinggi (h). lintang geodetik merupakan jarak busur meridian diukur mulai dari ekuator (0°) ke arah kutub utara (positif) atau ke arah kutub selatan (negatif) sampai ke proyeksi titik pengamatan pada permukaan elipsoid referensi. Bujur geodetik merupakan jarak busur ekuator diukur mulai dari meridian Greenwich (0°) ke arah timur (positif) atau ke arah barat selatan (negatif) sampai ke meridian yang dilalui titik pengamatan. Sedangkan tinggi adalah titik suatu titik di atas bidang elipsoid referensi yang diukur sepanjang garis normal elipsoid yang melalui titik tersebut.

II.2.2. Sistem Koordinat Kartesi 3D

Dalam sistem koordinat kartesi 3D origin dan orientasi sumbu-sumbu koordinat didefinisikan sebagai berikut (Fahrurrazi, 2011) :

1. Origin sistem koordinat berimpit dengan titik pusat bumi (geosentrik).
2. Sumbu Z positif ke arah kutub utara.
3. Sumbu X positif ke arah meridian Greenwich.
4. Sumbu Y melengkapi sumbu X dan sumbu Z sedemikian sehingga membentuk sistem tangan kanan.

Geometri dari sistem koordinat geodetik dan sistem koordinat kartesi 3D diperlihatkan pada Gambar II.3.



Gambar II.3. Geometri sistem koordinat geodetik dan sistem koordinat kartesi 3D (Abidin, 2001)

II.3. Transformasi Koordinat

II.3.1. Transformasi Koordinat Geodetik Ke Kartesi 3d

Transformasi koordinat, dari koordinat geodetik ke koordinat kartesian 3D dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan (II.3), (II.4) dan (II.5) (Fahrurrozi, 2011).

$$X = (N + h) \cos \varphi \cos \lambda \dots\dots\dots(II.3)$$

$$Y = (N + h) \cos \varphi \sin \lambda \dots\dots\dots(II.4)$$

$$Z = [N(1 - e^2) + h] \sin \varphi \dots\dots\dots(II.5)$$

Dimana,

$$N = \frac{a}{\sqrt{(1 - e^2 \sin^2 \varphi)}} \dots\dots\dots(II.6)$$

Dalam persamaan-persamaan tersebut, N merupakan jari-jari kelengkungan vertikal utama untuk lintang titik pengamatan.

II.3.2. Transformasi Koordinat Kartesi 3D Ke Koordinat Geodetik

Transformasi koordinat kartesi 3D ke koordinat geodetik dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan (II.7) s.d (II.11) (Fahrurrazi, 2011). Nilai koordinat bujur geodetik dapat langsung dihitung dengan menggunakan persamaan (II.7).

$$\lambda = \tan^{-1} \left(\frac{Y}{X} \right) \dots\dots\dots(II.7)$$

Sedangkan nilai koordinat lintang dan tinggi harus dihitung dengan iterasi, yaitu dengan cara:

1. Menghitung nilai φ pendekatan dengan persamaan (II.8).

$$\varphi_o = \tan^{-1} \left(\frac{Z}{\sqrt{X^2 + Y^2}} \right) \dots\dots\dots(II.8)$$

2. Menghitung nilai N dengan menggunakan persamaan (II.9).

$$N_i = \frac{a}{\sqrt{(1 - e^2 \sin^2 \varphi_i)}} \dots\dots\dots(II.9)$$

3. Menghitung nilai h menggunakan persamaan (II.10).

$$h_i = \frac{\sqrt{X^2 + Y^2}}{\cos \varphi_i} - N_i \dots\dots\dots(II.10)$$

4. Menghitung nilai φ dengan menggunakan persamaan (II.11).

$$\varphi_{i+1} = \tan^{-1} \left(\frac{Z}{\sqrt{X^2 + Y^2}} \left(1 - \frac{e^2 N_i}{N_i + h_i} \right)^{-1} \right) \dots\dots\dots(II.11)$$

Langkah 2 sampai dengan langkah 4 diulangi sampai perbedaan harga $\varphi_{i+1} - \varphi_i$ tidak signifikan (mendekati nol).

II.4. Simpangan Baku

Analisis terhadap hasil pengolahan data dapat dilakukan dengan menggunakan nilai simpangan baku. Nilai simpangan baku merupakan besaran yang menyatakan penyimpangan terhadap nilai rata-ratanya. Nilai simpangan baku dihitung dengan menggunakan persamaan (II.12) (modifikasi Walpole dan Myers, 1995).

$$\delta = \frac{\sqrt{\sum(N_m - N_i)^2}}{n-1} \dots\dots\dots(II.12)$$

Dalam hal ini,

- δ : simpangan baku
- N_m : nilai rata-rata

II.5. Perambatan kesalahan

Data pengukuran di lapangan biasanya digunakan untuk menghitung besaran lainnya berdasarkan hubungan fungsional (model matematika). Jika hasil ukuran di lapangan mengandung kesalahan, maka hasil hitungan juga mempunyai kesalahan. Penentuan kesalahan hitungan sebagai fungsi dari kesalahan pengukuran disebut sebagai perambatan kesalahan (Mikhail dan Gracie, 1981).

Dimisalkan x merupakan nilai ukuran dan y merupakan nilai baru yang dihitung dari nilai x sesuai dengan persamaan (II.13).

$$y = ax + b \dots \dots \dots (II.13)$$

Persamaan (II.13) direpresentasikan oleh garis lurus seperti yang diperlihatkan pada Gambar II.4.

Apabila x_1 merupakan nilai sebenarnya dari x dan dx merupakan kesalahan dari x , maka nilai x dirumuskan pada persamaan (II.14) (Mikhail dan Gracie, 1981).

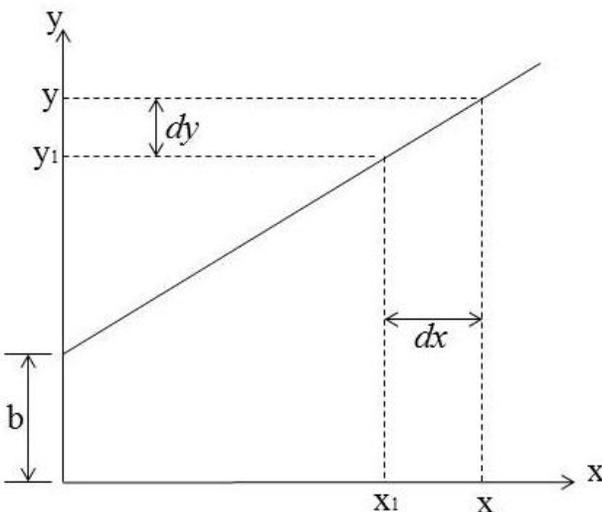
$$x = x_1 + dx \dots \dots \dots (II.14)$$

Kemudian jika y_1 merupakan nilai sebenarnya dari y , maka y_1 dapat dihitung dari nilai x_1 dengan menggunakan persamaan (II.15)

$$y_1 = ax_1 + b \dots \dots \dots (II.15)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan (II.14) ke dalam persamaan (II.15) maka diperoleh persamaan (II.16).

$$y = y_1 + adx \dots \dots \dots (II.16)$$



Gambar II.4. Grafik persamaan garis lurus

Jika dy merupakan kesalahan dari y , berdasarkan persamaan (II.16) maka nilai dy dapat dihitung menggunakan persamaan (II.17) dan (II.18).

$$dy = adx \dots \dots \dots (II.17)$$

$$dy = \frac{dy}{dx} dx \dots \dots \dots (II.18)$$

Persamaan (II.18) merupakan persamaan untuk menghitung perambatan kesalahan untuk persamaan linier. Hitungan perambatan kesalahan untuk persamaan non linier dilakukan menggunakan persamaan (II.19) (Mikhail dan Gracie, 1981).

$$dy = \frac{dy}{dx} dx + dx^2 \dots \dots \dots (II.19)$$

Persamaan (II.18) dan (II.19) digunakan untuk menghitung nilai perambatan kesalahan untuk fungsi y yang memiliki satu variabel x . Apabila fungsi y terdiri lebih dari satu variabel ($x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$), maka nilai perambatan kesalahannya dapat dihitung menggunakan persamaan (II.20) (Soeta'at, 2003).

$$dy^2 = \left(\frac{dy}{dx_1}\right)^2 dx_1^2 + \left(\frac{dy}{dx_2}\right)^2 dx_2^2 + \left(\frac{dy}{dx_3}\right)^2 dx_3^2 + \dots + \left(\frac{dy}{dx_n}\right)^2 dx_n^2 \dots \dots \dots (II.20)$$

Apabila dx yang digunakan adalah varian dari pengukuran (δ_x^2) dan δ_y^2 adalah varian dari y , maka persamaan (II.20) menjadi persamaan (II.21).

$$\delta_y^2 = \left(\frac{dy}{dx_1}\right)^2 \delta_{x_1}^2 + \left(\frac{dy}{dx_2}\right)^2 \delta_{x_2}^2 + \left(\frac{dy}{dx_3}\right)^2 \delta_{x_3}^2 + \dots + \left(\frac{dy}{dx_n}\right)^2 \delta_{x_n}^2 \dots \dots \dots (II.21)$$

III. CARA PENELITIAN

III.1. Bahan dan Alat Penelitian

- a. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari:
1. Data pengamatan GPS titik BM Pasut Cilacap, Pamengpeuk, Prigi, Sadeng, Semarang, dan Sunda Kelapa selama 3 hari pada tanggal 6September 2013 sampai dengan 8September 2013 (doy 249, doy 250, dan doy 251) dalam bentuk data observasi dan navigasi.
 2. Data pengamatan stasiun IGS, yaitu data pengamatan stasiun CNMR, COCO, CUSV, DGAR, DARW, KAT1, dan PIMO.
 3. Data precise ephemeris yang berupa data IGS final orbit.
- b. Peralatan yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari perangkat keras dan perangkat lunak yang antara lain, yaitu:
1. Satu buah *notebook* yang digunakan sebagai alat pengolah data.
 2. *Printer* yang digunakan untuk mencetak hasil.
 3. TEQC, untuk pengujian kualitas data GPS.
 4. GAMIT dan GLOBK versi 10.4, untuk pengolahan data GPS.
 5. Matlab 2009, untuk membuat program hitungan transformasi koordinat.
 6. Microsoft Word 2010, untuk proses penulisan laporan

III.2. Tahapan Penelitian

III.2.1. Penentuan lokasi penelitian

Penelitian ini dilakukan di wilayah pesisir selatan Pulau Jawa. Stasiun pasut yang digunakan sebagai obyek kajian penelitian yaitu stasiun pasut Cilacap, Pamengpeuk, Prigi, Sadeng, Semarang, dan Sunda Kelapa Cilacap, Sadeng dan Prigi.

III.2.2. Pengumpulan Data

Data-data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari data yang diukur dilapangan dan data yang diperoleh dengan cara mengunduh dari situs penyedia masing-masing data.

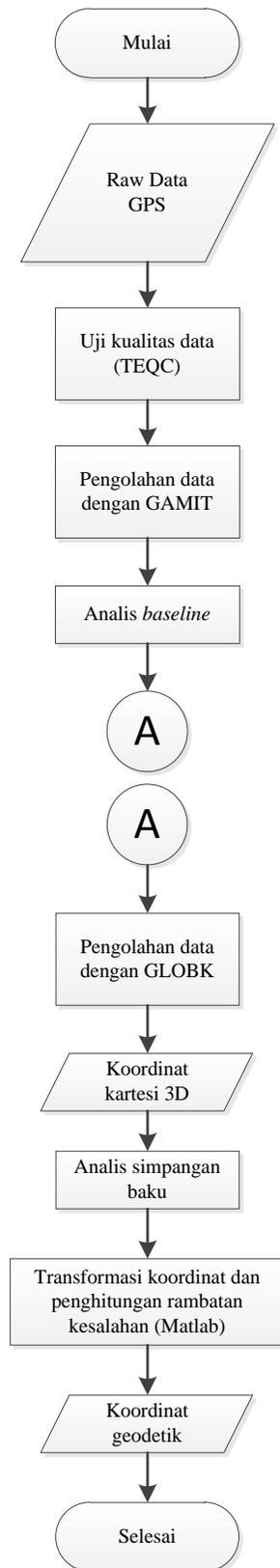
Tabel III.1. Jenis data yang diperlukan dalam penelitian

No	Jenis Data	Instansi Penyedia Data
1	Data pengamatan GPS titik BM Pasut	Pengukuran di lapangan
2	Data Pengamatan Stasiun IGS	<i>Website</i> : http://igs.cb.jpl.nasa.gov
3	Data precise ephemeris	<i>Website</i> : http://igs.cb.jpl.nasa.gov

III.2.3. Pengolahan Data

Pengukuran GPS dilakukan untuk mendapatkan koordinat geodetik BM pasut di lokasi pengamatan pasut Prigi, Sadeng, dan Cilacap. Agar menghasilkan koordinat dengan tingkat ketelitian yang lebih baik maka dilakukan pengukuran menggunakan metode *differential*. Pengukuran dilakukan dengan menambah titik pengamatan lain yaitu BM pasut di lokasi pengamatan pasut Pamengpeuk, Semarang, dan Sunda Kelapa. Hal ini dilakukan untuk menghasilkan geometri jaring GPS yang lebih baik.

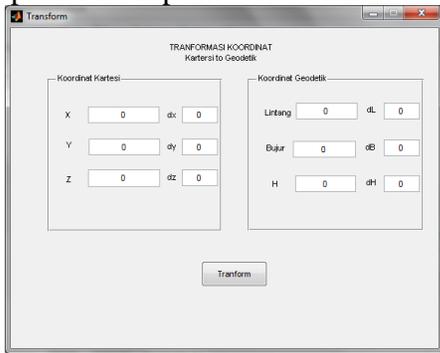
Raw data pengukuran GPS tidak bisa langsung digunakan. *Raw data* harus diolah terlebih dahulu sehingga menghasilkan koordinat dengan tingkat ketelitian yang baik. Tahapan pengolahan data GPS hingga menghasilkan koordinat geodetik dijelaskan pada tahapan seperti yang ditunjukkan dalam diagram alir pada Gambar III.1.



Gambar III.1. Diagram alir pengolahan *raw data* pengukuran GPS

1. Uji kualitas data. Sebelum melakukan pengolahan data menggunakan GAMIT dan GLOBK, perlu dilakukan pengujian terlebih dahulu terhadap *raw data* pengukuran GPS untuk mengetahui kualitas dari *raw data* tersebut. Kualitas data pengukuran ditunjukkan dari nilai *moving average* dari *multipath* untuk sinyal L1 (MP1) dan nilai *moving average* dari *multipath* untuk sinyal L2 (MP2).
2. Pengolahan data. Pengolahan data pengukuran GPS dilakukan menggunakan GAMIT dan GLOBK. Pengolahan data dilakukan secara bersama-sama dengan titik pengamatan GPS tambahan yaitu BM pasut Pamempuek, Semarang, dan Sunda Kelapa. Proses pengolahan data dilakukan dengan mengikatkan titik-titik pengamatan GPS dengan titik ikat global berjumlah tujuh buah yaitu, CNMR, COCO, CUSV, DGAR, DARW, KAT1, dan PIMO.
3. Transformasi koordinat dan hitungan perambatan kesalahan. Hasil pengolahan data menggunakan GAMIT dan GLOBK adalah koordinat kartesi 3D. Karena pada penelitian ini koordinat yang dibutuhkan adalah koordinat geodetik, maka perlu dilakukan proses transformasi dari koordinat kartesi 3D ke koordinat geodetik. Proses transformasi dilakukan secara iterasi dengan menggunakan persamaan (II.7), (II.8), (II.9), (II.10) dan (II.11). Pada proses transformasi koordinat, model elipsoid yang digunakan adalah WGS-84. Hitungan perambatan kesalahan dilakukan menggunakan persamaan (II.21) dimana y merupakan persamaan (II.7), (II.8), (II.9), (II.10) dan (II.11). Hitungan perambatan kesalahan tersebut

dilakukan secara iterasi dan dilakukan beriringan dengan penghitungan transformasi koordinat. Hitungan perambatan kesalahan dihentikan apabila penghitungan transformasi koordinat berhenti, yaitu ketika perbedaan harga ($\phi_{i+1} - \phi_i$) tidak signifikan (mendekati nol). Hitungan transformasi koordinat dan perambatan kesalahan ini dilakukan menggunakan perangkat lunak Matlab dengan merancang desain *Graphical User Interface* (GUI) seperti yang diperlihatkan pada Gambar III.2.



Gambar III.2 GUI program hitungan transformasi koordinat

III.2.4. Metode Analisis

Analisis hasil pengolahan data GPS dilakukan dengan melihat nilai MP1, MP2, simpangan baku koordinat X, Y, dan Z, dan simpangan baku koordinat ϕ , λ , dan h

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

IV.2.1. Kualitas Data dengan TEQC

Pengukuran GPS dilakukan untuk mendapatkan koordinat geodetik titik BM pasut di lokasi pengamatan pasut Prigi, Sadeng, dan Cilacap. Pengukuran dilakukan

menggunakan metode *differential*. Untuk menghasilkan jaring GPS yang lebih baik maka pengukuran dilakukan dengan menambah titik pengamatan lain yaitu titik BM pasut di lokasi pengamatan pasut Pamengpeuk, Semarang, dan Sunda Kelapa.

Salah satu faktor yang mempengaruhi kualitas data pengamatan adalah efek dari *multipath* yang ditunjukkan melalui nilai MP1 dan MP2. Hasil cek kualitas data dengan TEQC memberikan nilai MP1 dan MP2 yang dapat dijadikan bahan analisis untuk mengetahui kualitas dari data yang digunakan.

Tabel IV.1 menunjukkan nilai MP1 dan MP2 dari masing-masing titik pengamatan. Hasil hitungan menggunakan TEQC dari ketiga *doy* menghasilkan nilai MP1 paling besar terdapat pada titik pengamatan Pamengpeuk, yaitu dengan nilai rata-rata mencapai 0,881 m, sedangkan nilai MP1 paling kecil terdapat pada titik pengamatan Semarang, yaitu dengan nilai rata-rata mencapai 0,439 m. Nilai MP2 paling besar terdapat pada titik pengamatan Sunda Kelapa, yaitu mencapai rata-rata nilai MP2 sebesar 0,943 m, sedangkan nilai MP2 paling kecil terdapat pada titik pengamatan Cilacap, dengan nilai MP2 rata-rata sebesar 0,519 m. Adanya nilai MP1 dan MP2 di atas 0,5 m menunjukkan bahwa terdapat beberapa data pengamatan yang kurang baik. Hal ini dapat mempengaruhi tingkat ketelitian dari hasil pengolahan data tersebut.

Tabel IV.1. Nilai MP1 dan MP2 masing-masing titik pengamatan

Nama titik	Efek <i>Multipath</i>	<i>Doy</i>			Rata-rata
		249	250	251	
Cilacap	MP1	0,572	0,562	0,384	0,506
	MP2	0,572	0,625	0,361	0,519
Pamengpeuk	MP1	0,984	0,999	0,659	0,881
	MP2	0,955	0,998	0,741	0,898
Prigi	MP1	0,672	0,693	0,598	0,654
	MP2	0,965	0,920	0,816	0,900

Sadeng	MP1	0,520	0,510	0,531	0,520
	MP2	0,567	0,548	0,586	0,567
Semarang	MP1	0,448	0,447	0,422	0,439
	MP2	0,700	0,653	0,607	0,653
Sunda Kelapa	MP1	0,653	0,635	0,603	0,630
	MP2	0,966	0,973	0,891	0,943

IV.2.2. Hasil Pengolahan dengan GAMIT dan GLOBK

Hasil akhir pengolahan data GPS menggunakan GAMIT dan GLOBK menghasilkan koordinat dengan sistem koordinat kartesi 3D. Nilai koordinat beserta tingkat ketelitian dari masing-masing titik pengamatan terdapat pada *org-file*. Nilai koordinat beserta tingkat ketelitian dari masing-masing titik pengamatan yang terdapat pada *org-file* diperlihatkan pada Tabel IV.2.

Tabel IV.2 memperlihatkan bahwa nilai simpangan baku terkecil untuk sumbu X terdapat pada titik pengamatan Prigi, yaitu mencapai nilai 21,64 cm, sedangkan nilai simpangan baku terbesarnya terdapat pada titik pengamatan Sunda Kelapa, yaitu mencapai nilai 22,30 cm. Pada sumbu Y, nilai simpangan baku terkecil terdapat pada titik pengamatan Sunda Kelapa, yaitu sebesar 7,06 cm, sedangkan nilai simpangan baku terbesar terdapat pada titik pengamatan Prigi yaitu sebesar 8,90 cm. Pada sumbu Z, nilai simpangan baku terkecilnya mencapai 20,50 cm yang terdapat pada titik pengamatan Prigi, sedangkan nilai simpangan baku terbesarnya sebesar 20,65

cm terdapat pada titik pengamatan Sunda Kelapa.

Hasil pengolahan data GPS yang diperlihatkan pada Tabel IV.9 menunjukkan bahwa ketelitian rata-rata koordinat pada sumbu X sebesar 21,95 cm, sumbu Y sebesar 7,99 cm, dan sumbu Z sebesar 20,56 cm. Hasil tersebut menunjukkan bahwa nilai koordinat sumbu Y memberikan hasil yang paling baik, sedangkan nilai koordinat sumbu X memberikan hasil dengan tingkat ketelitian yang paling jelek.

Hasil pengolahan data pengukuran GPS menunjukkan bahwa secara keseluruhan tingkat ketelitian yang dihasilkan berada pada tingkat desimeter. Hanya ketelitian koordinat sumbu Y saja yang bisa mencapai ketelitian pada tingkat sentimeter. Hal ini disebabkan oleh adanya data yang kurang baik, yaitu data yang memiliki nilai MP1 dan MP2 di atas 0,5 m, yang digunakan dalam proses pengolahan. Selain itu, adanya *noise* pada *pseudorange*, serta dugaan adanya kesalahan pada kualitas orbit, koordinat apriori, atau kondisi atmosfer diduga menjadi faktor rendahnya tingkat ketelitian koordinat yang dihasilkan.

Tabel IV.2. Koordinat hasil pengolahan data GPS dengan GLOBK

Titik pengamatan	Koordinat (m)			Simpangan baku (cm)		
	X	Y	Z	S _X	S _Y	S _Z
Cilacap	-2059387,8509	5975347,7243	-854497,2875	22,01	7,84	20,56
Pamengpeuk	-1920158,3042	6022922,6117	-844686,5717	22,19	7,50	20,58
Prigi	-2336640,3169	5863606,1509	-913036,4166	21,64	8,90	20,50
Sadeng	-2241925,0002	5902093,4898	-902538,5362	21,76	8,42	20,52
Semarang	-2209597,2189	5933594,0760	-766271,1447	21,83	8,23	20,58
Sund.Kelapa	-1834083,5764	6070992,3049	-676006,4371	22,30	7,06	20,65

IV.2.3. Koordinat Titik Pengamatan dalam Sistem Geodetik

Hasil proses transformasi koordinat dari sistem koordinat kartesi 3D ke sistem koordinat geodetik diperlihatkan pada Tabel IV.3. Hasil transformasi menunjukkan bahwa titik-titik pengamatan terletak antara $6^{\circ} 7' 30''$ s.d. $8^{\circ} 17' 7,66''$ LS dan $106^{\circ} 48' 36''$ s.d. $111^{\circ} 43' 37,2''$ BT. Titik pengamatan paling timur dan paling selatan adalah titik pengamatan Prigi sedangkan titik pengamatan yang paling barat dan paling utara adalah titik pengamatan Sunda Kelapa. Tabel IV.3 juga menunjukkan bahwa posisi ketinggian titik-titik pengamatan berada di atas 19 m dari bidang elipsoid, dengan rata-rata ketinggiannya adalah 25,425 m. Titik pengamatan yang paling rendah adalah Sunda Kelapa, dengan ketinggian sebesar

19,055 m, sedangkan titik pengamatan yang paling tinggi adalah Prigi, dengan ketinggian sebesar 30,355 m.

Tabel IV.3 memperlihatkan juga ketelitian masing-masing koordinat. Koordinat lintang memiliki ketelitian berkisar antara $1,84 \times 10^{-6}$ detik sampai $1,84 \times 10^{-6}$ detik. Koordinat bujur memiliki ketelitian berkisar antara $1,85 \times 10^{-6}$ detik sampai $1,94 \times 10^{-6}$ detik. Sedangkan ketinggian elipsoid memiliki ketelitian berkisar antara 9 sampai 12 cm. Titik pengamatan yang memiliki ketelitian tinggi paling baik adalah Sunda Kelapa, dengan tingkat ketelitian sebesar 9,7 cm, sedangkan titik pengamatan yang memiliki ketelitian tinggi paling rendah adalah Prigi, dengan tingkat ketelitian sebesar 12 cm.

Tabel IV.3. Koordinat geodetik titik pengamatan GPS

Titik Pengamatan	Koordinat Geodetik			Ketelitian		
	Lintang (ϕ)	Bujur (λ)	Tinggi Elipsoid (h)	$d\phi$ (detik)	$d\lambda$ (detik)	dh (cm)
Cilacap	$-7^{\circ} 45' 3,35''$	$109^{\circ} 0' 57,6''$	24,591	1,85E-06	1,90E-06	10,8
Pamengpeuk	$-7^{\circ} 39' 41,11''$	$107^{\circ} 40' 58,8''$	21,722	1,85E-06	1,93E-06	10,3
Prigi	$-8^{\circ} 17' 7,66''$	$111^{\circ} 43' 37,2''$	30,355	1,84E-06	1,85E-06	12,0
Sadeng	$-8^{\circ} 11' 22,38''$	$110^{\circ} 47' 56,40''$	28,949	1,84E-06	1,87E-06	11,5
Semarang	$-6^{\circ} 56' 47,62''$	$110^{\circ} 25' 30''$	27,878	1,85E-06	1,87E-06	11,2
Sunda Kelapa	$-6^{\circ} 7' 30''$	$106^{\circ} 48' 36''$	19,055	1,86E-06	1,94E-06	9,7

V. KESIMPULAN DAN SARAN

V.1. Kesimpulan

1. Hasil pengolahan data menggunakan TEQC terdapat nilai MP1 dan MP2 di atas 0,5. Hal ini menunjukkan bahwa terdapat beberapa data pengamatan yang memiliki kualitas kurang baik.

2. Ketelitian koordinat kartesi secara keseluruhan berada pada tingkat desimeter. Hanya ketelitian koordinat sumbu Y saja yang bisa mencapai ketelitian pada tingkat sentimeter. Hal ini disebabkan oleh adanya data yang kurang baik, yaitu data yang memiliki nilai MP1 dan

MP2 di atas 0,5 m, yang digunakan dalam proses pengolahan

3. Koordinat lintang memiliki ketelitian berkisar antara $1,84 \times 10^{-6}$ detik sampai $1,84 \times 10^{-6}$ detik. Koordinat bujur memiliki ketelitian berkisar antara $1,85 \times 10^{-6}$ detik sampai $1,94 \times 10^{-6}$ detik. Sedangkan ketinggian elipsoid memiliki ketelitian berkisar antara 9 sampai 12 cm. Titik pengamatan yang memiliki ketelitian tinggi paling baik adalah Sunda Kelapa, dengan tingkat ketelitian sebesar 9,7 cm, sedangkan titik pengamatan yang memiliki ketelitian tinggi paling rendah adalah Prigi, dengan tingkat ketelitian sebesar 12 cm.

V.2. Saran

1. Diperlukan adanya pengukuran GPS yang kontinyu untuk memantau perubahan posisi titik BM Pasut.
2. Pada saat penentuan titik ikat IGS, perlu diperhatikan bentuk jaring pengamatannya.
3. Perlu dilakukan pengukuran GPS teliti untuk titik-titik BM Pasut di seluruh Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, HZ., 2001, *Geodesi Satelit*, PT. Pradnya Paramita, Jakarta.
- Abidin, HZ., 2007, *Penentuan Posisi dengan GPS dan Aplikasinya*, Edisi 3, PT Pradnya Paramita, Jakarta.
- El-Rabbany, A., 2002, *Introduction to GPS, The Global Positioning System*, 2nd Edition, Artech House, Boston.
- Fahrurrazi, D., 2011, *Sistem Acuan Geodetik*, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Kahar, J., dkk., 1994, *Pendefinisian Datum Tinggi Indonesia*, Institut Teknologi Bandung.
- Kaplan, ED. dan Hegarty, CJ., 2006, *Understanding GPS: Principles and Applications*, 2nd Edition, Artech House Publishers, Boston London.
- Merry, CL., 2003, *The African Geoid Project and Its Relevance to the Unification of African Vertical Reference Frames*, University of Cape Town School of Architecture, Planning and Geomatics, Rondebosch, South Africa.
- Mikhail, EM. Dan Gracie, G., 1981, *Analysis and Adjustment of Survey Measurements*, Van Nostrand Reinhold Company, New York.
- Novotny, K., Liebsch, G., Lehmann, A., dan Dietrich, R., 2006, *Combining Satellite Altimetry, Tide Gauge Observations and an Oceanographic Model to Derive the Baltic Sea Mean Sea Surface Topography*, Technische Universität Dresden, Institut für Planetare Geodäsie, Dresden, Germany.
- Panuntun, H., 2012, *Penentuan Posisi Anjungan Minyak Lepas Pantai dengan Titik Ikat GPS Regional dan Global*, Tesis, S2 Teknik Geomatika, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Seeber, G., 2003, *Satellite Geodesy*, 2nd Edition, Walter de Gruyter, Germany.
- Soeta'at, 2003, *Statistik dan Teori Kesalahan*, Jurusan Teknik Geodesi Universitas Gadjah Mada Yogyakarta.
- Vergos, GS. dan Tziavos, I.N., 2012, *Unification of the Greek Vertical Datum through a Deterministic Adjustment of Tide Gauge, Marine Geoid and Sea Surface Topography Data*, Department of Geodesy and Surveying, Aristotle University of Thessaloniki.

- Walpole, RE. dan Myers, RH., 1995, *Ilmu Peluang dan Statistika untuk Insinyur dan Ilmuwan*, Institut Teknologi Bandung.
- Widjajanti, N., 2010, *Deformation Analysis of Offshore Platform using GPS Technique and its Application in Structural Integrity Assesment*, Ph.D. Disertasi, Universiti Teknologi PETRONAS, Malaysia.
- Xu, G., 2007, *GPS: Teory, Algorithms, and Aplications*, Springer, Postdam, Germany.
- Zhang, L., Li, F., Chen, W., dan Zhang, C., 2008, *Height Datum Unification between Shenzhen and Hong Kong using the Solution of the Linearized Fixed-gravimetric Boundary Value Problem*, Journal of Geodesy, Springer-Verlag.