

BAB 2

SISTEM KOORDINAT, ITRF 2005 DAN IGS

2.1 Sistem Koordinat

Sistem referensi koordinat adalah sistem [termasuk teori, konsep, deskripsi fisis dan geometris, serta standar dan parameter] yang digunakan dalam pendefinisian koordinat dari suatu atau beberapa titik dalam ruang. Sedangkan kerangka referensi koordinat dimaksudkan sebagai realisasi praktis dari sistem referensi, sehingga sistem tersebut dapat digunakan untuk pendeskripsian secara kuantitatif posisi dan pergerakan titik-titik, baik di permukaan bumi (kerangka terrestris) ataupun di luar bumi (kerangka selestia atau ekstra-terestris). Kerangka referensi biasanya direalisasikan dengan melakukan pengamatan-pengamatan geodetik, dan umumnya direpresentasikan dengan menggunakan suatu set koordinat dari sekumpulan titik maupun obyek (seperti bintang dan quasar). Sistem referensi koordinat dapat dikatakan sebagai suatu idealisasi dari sistem koordinat, dan kerangka referensi koordinat adalah realisasi dari sistem koordinat.

Dalam bidang geodesi dan geomatika, posisi suatu titik biasanya dinyatakan dengan koordinat (dua dimensi atau tiga dimensi) yang mengacu pada suatu sistem koordinat tertentu. Sistem koordinat itu sendiri didefinisikan dengan menspesifikasikan tiga parameter berikut, yaitu:

- Lokasi titik asal (titik nol) dari sistem koordinat;
- Orientasi dari sumbu-sumbu koordinat; dan
- Besaran (kartesian, *curvilinear*) yang digunakan untuk mendefinisikan posisi suatu titik dalam sistem koordinat tersebut.

Setiap parameter dari sistem koordinat tersebut dapat dispesifikasikan lebih lanjut, dan bergantung pada spesifikasi parameter yang digunakan maka dikenal beberapa jenis sistem koordinat. Secara umum, sistem-sistem koordinat dapat dikategorikan dalam tiga kelompok besar, yaitu:

- Sistem koordinat terrestrial

- Sistem koordinat seletial, dan
- Sistem koordinat orbital

Dalam penentuan posisi suatu titik di permukaan bumi, titik nol dari sistem koordinat yang digunakan dapat berlokasi di titik pusat massa bumi (sistem koordinat geosentrik), maupun di salah satu titik di permukaan bumi (sistem koordinat toposentrik). Sistem koordinat geosentrik banyak digunakan oleh metode-metode penentuan posisi ekstra-terestris yang menggunakan satelit dan benda-benda langit lainnya, baik untuk menentukan posisi titik-titik di permukaan bumi maupun posisi satelit. Sedangkan sistem koordinat toposentrik banyak digunakan oleh metode-metode penentuan posisi terestris. Dilihat dari orientasi sumbunya, ada sistem koordinat yang sumbu-sumbunya ikut berotasi dengan bumi (terikat bumi) dan ada yang tidak (terikat langit). Sistem koordinat yang terikat bumi umumnya digunakan untuk menyatakan posisi titik-titik yang berada di bumi, dan sistem yang terikat langit umumnya digunakan untuk menyatakan posisi titik dan obyek di angkasa, seperti satelit dan benda-benda langit. Dilihat dari besaran koordinat yang digunakan, posisi suatu titik dalam sistem koordinat ada yang dinyatakan dengan besaran-besaran jarak seperti sistem koordinat kartesian dan ada yang dengan besaran-besaran sudut dan jarak seperti pada sistem koordinat ellipsoid atau geodetik.

2.2 Sistem Koordinat Dalam Geodesi Satelit

Pada dasarnya ada tiga sistem referensi koordinat yang banyak digunakan dalam bidang geodesi satelit, yaitu sistem-sistem

- CIS (*Conventional Inersial Sistem*)
- CTS (*Conventional Terrestrial Sistem*), dan
- Sistem ellipsoid

Sistem CIS umumnya digunakan untuk mendefinisikan posisi dan pergerakan satelit, sedangkan sistem-sistem CTS dan Ellipsoid untuk mendefinisikan posisi dan pergerakan titik di permukaan bumi. Sistem CIS, karena sifatnya yang geosentrik dan terikat langit, kadangkala dinamakan sistem ECSF (*Earth-Centered Space-Fixed*); dan sistem CTS, karena sifatnya yang geosentrik dan terikat bumi, sering juga dinamakan sistem ECEF (*Earth-Centered Earth Fixed*). Sedangkan sistem referensi ellipsoid kadang juga dinamakan sistem geodetik. Berikut akan dijelaskan CTS dan sistem Ellipsoid.

2.2.1 Sistem Koordinat Referensi CTS

CTS, sistem koordinat referensi yang terikat bumi, dalam geodesi satelit digunakan untuk pendeskripsi posisi dan pergerakan titik-titik di permukaan bumi. Sistem koordinat ini berotasi dengan bumi, dan juga berevolusi bersama bumi mengelilingi matahari. Sistem ini mempunyai karakteristik sebagai berikut:

- Titik nol sistem koordinat adalah pusat bumi (*Earth-centered*), dan sumbu-sumbu sistem koordinatnya terikat ke bumi (*earth-fixed*).
- Sumbu-X berada dalam bidang meridian Greenwich (meridian nol) dan terletak pada bidang ekuator bumi.
- Sumbu-Z mengarah ke CTP (*Conventional Terrestrial Pole*). CTP adalah kutub menengah bola langit pengganti CIO (*Conventional International Origin*). CIO adalah posisi rata-rata sumbu rotasi bumi dari tahun 1900 sampai 1905.
- Sumbu-Y tegak lurus sumbu-sumbu X dan Z, dan membentuk sistem koordinat tangan – kanan (*right-handed sistem*).

Pengikatan sumbu-sumbu sistem koordinat CTS ke bumi dilakukan dengan menggunakan sekumpulan titik-titik di permukaan bumi (kerangka dasar) yang koordinatnya ditentukan dengan pengamatan benda-benda langit dan satelit artificial bumi. Berdasarkan pada pengamatan yang digunakan maka dikenal beberapa CTS seperti CTS VLBI, CTS LLR, CTS SLR, dan CTS GPS. Beberapa kerangka realisasi CTS yang cukup banyak digunakan saat ini adalah: WGS (*World Geodetic Sistem*) 1984 dan ITRF (*International Terrestrial Reference Frame*).

2.2.2 Sistem Koordinat Ellipsoid

Permukaan bumi dapat didekati secara baik dengan suatu ellipsoid putaran, yaitu ellips meridian yang diputar mengelilingi sumbu pendeknya. Oleh sebab itu secara geometrik, koordinat titik-titik di permukaan bumi juga dapat dinyatakan koordinatnya dalam sistem referensi ellipsoid. Seperti halnya sistem CTS, sistem referensi ellipsoid ini berotasi dengan bumi dan juga berevolusi bersama bumi mengelilingi matahari.

Sistem referensi koordinat ellipsoid mempunyai karakteristik sebagai berikut:

- Titik nol sistem koordinat adalah pusat ellipsoid.
- Sumbu-X berada dalam bidang meridian nol dan terletak pada bidang ekuator ellipsoid.
- Sumbu-Z berimpit dengan sumbu pendek ellipsoid.

- Sumbu-Y tegal lurus sumbu-sumbu X dan Z, dan membentuk sistem koordinat tangan-kanan

Dalam sistem referensi ellipsoid, koordinat suatu titik umumnya dinyatakan sebagai (φ, λ, h) , dimana φ adalah lintang geodetik, λ adalah bujur geodetik, dan h adalah tinggi ellipsoid. Dalam hal ini koordinat juga dapat dinyatakan dengan besaran-besaran jarak (X,Y,Z).

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} (R_N + h) \cdot \cos\varphi \cdot \cos\lambda \\ (R_N + h) \cdot \cos\varphi \cdot \sin\lambda \\ ((1 - e^2)R_N + h) \cdot \sin\varphi \end{pmatrix} \quad (1.1)$$

Pada rumus diatas R_N dan e adalah jari-jari kelengkungan vertical dan eksentrisitas ellipsoid referensi, yang keduanya dapat dihitung sebagai berikut:

$$R_N = \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 \cdot \sin^2 \varphi}}, \quad e^2 = \frac{a^2 - b^2}{a^2} \quad (1.2)$$

Dimana a dan b adalah setengah sumbu panjang dan setengah sumbu pendek dari ellipsoid referensi yang digunakan. Dari rumus (1.1) terlihat bahwa transformasi dari (X,Y,Z) ke (φ, λ, h) tidak dapat dilakukan secara langsung seperti halnya dari (φ, λ, h) ke (X,Y,Z), karena persamaannya tidak linier.

2.2.3 Hubungan Antara Sistem Koordinat CTS dan Sistem Koordinat Ellipsoid

Hubungan antara sistem koordinat CTS dan sistem koordinat ellipsoid dalam hal ini titik nol kedua sistem dapat berbeda, seperti halnya juga orientasi dari sumbu-sumbu koordinatnya. Karena dalam sistem ellipsoid, koordinat suatu titik dipengaruhi oleh ukuran dan bentuk dari ellipsoid, maka perbedaan skala antara kedua sistem mungkin saja terjadi. Kalau koordinat suatu titik dalam sistem CTS dan sistem ellipsoid dinyatakan sebagai:

$$X_{CTS} = (X_T, Y_T, Z_T) \quad (1.3)$$

$$X_{EII} = (X_E, Y_E, Z_E) \quad (1.4)$$

Dan koordinat titik nol sistem ellipsoid dalam sistem CTS, yang merupakan komponen transisi antara kedua sistem, dinyatakan sebagai:

$$\mathbf{X}_0 = (X_0, Y_0, Z_0) \quad (1.5)$$

Dan $(\boldsymbol{\varepsilon}_x, \boldsymbol{\varepsilon}_y, \boldsymbol{\varepsilon}_z)$ mendefinisikan sudut-sudut rotasi mengelilingi sumbu-sumbu (X,Y,Z) yang diperlukan untuk mengimpitkan arah-arah sumbu X, Y, dan Z dari sistem ellipsoid dalam ruang dengan arah sumbu-sumbu sistem CTS, maka koordinat dari kedua sistem dapat dihubungkan dengan menggunakan hubungan matematis berikut:

$$\mathbf{X}_{CTS} = \mathbf{X}_0 + s \cdot \mathbf{R}_1(\boldsymbol{\varepsilon}_x) \cdot \mathbf{R}_2(\boldsymbol{\varepsilon}_y) \cdot \mathbf{R}_3(\boldsymbol{\varepsilon}_z) \cdot \mathbf{X}_{EII} \quad (1.6)$$

Dimana s adalah faktor skala, dan \mathbf{R}_i adalah matriks rotasi yang dapat diformulasikan sebagai berikut [krakiwsky & Wells, 1971]:

$$\begin{aligned} \mathbf{R}_1(\boldsymbol{\theta}) &= \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\theta & \sin\theta \\ 0 & -\sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix}, \quad \mathbf{R}_2(\boldsymbol{\theta}) = \begin{bmatrix} \cos\theta & 0 & -\sin\theta \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin\theta & 0 & \cos\theta \end{bmatrix} \\ \mathbf{R}_3(\boldsymbol{\theta}) &= \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta & 0 \\ -\sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (1.7)$$

Perlu dicatat bahwa untuk sudut-sudut rotasi $(\boldsymbol{\varepsilon}_x, \boldsymbol{\varepsilon}_y, \boldsymbol{\varepsilon}_z)$ yang kecil, maka persamaan (1.7) dapat dituliskan dalam bentuk akhirnya sebagai berikut:

$$\begin{bmatrix} X_T \\ Y_T \\ Z_T \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \end{bmatrix} + s \cdot \begin{bmatrix} 1 & \boldsymbol{\varepsilon}_z & -\boldsymbol{\varepsilon}_y \\ -\boldsymbol{\varepsilon}_z & 1 & \boldsymbol{\varepsilon}_x \\ \boldsymbol{\varepsilon}_y & -\boldsymbol{\varepsilon}_x & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X_E \\ Y_E \\ Z_E \end{bmatrix} \quad (1.8)$$

Perlu ditekankan disini bahwa hubungan antara CTS dan sistem ellipsoid pada dasarnya mendefinisikan suatu datum geodetik. Datum geodetik adalah sejumlah parameter yang digunakan untuk mendefinisikan bentuk dan ukuran ellipsoid referensi yang digunakan untuk pendefinisian koordinat geodetik, serta kedudukan dan orientasinya dalam ruang terhadap tubuh bumi yang dalam hal ini direpresentasikan oleh sistem CTS. Terdapat 8 parameter dari suatu datum geodetik, yaitu:

- Dua parameter yang mendefinisikan bentuk dan ukuran ellipsoid referensi, yaitu a dan f,

- Tiga parameter translasi, yaitu (X_0, Y_0, Z_0) yang mendefinisikan koordinat titik pusat ellipsoid terhadap pusat bumi, dan
- Tiga parameter rotasi, yaitu $(\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z)$ mendefinisikan arah-arah sumbu X, Y, dan Z ellipsoid dalam ruang terhadap sumbu-sumbu bumi yang diwakili oleh sumbu-sumbu X, Y dan Z dari sistem CTS.

Disamping pendefinisian terhadap suatu sistem yang geosentrik, datum geodetik juga dapat dinyatakan terhadap suatu sistem yang sifatnya toposentrik. Pada pendefinisian datum dengan pendekatan toposentrik, ada 8 parameter datum geodetik adalah:

- Dua parameter yang mendefinisikan bentuk dan ukuran ellipsoid referensi, yaitu a dan f ,
- Tiga parameter translasi, yang dalam hal ini diwakili oleh dua parameter defleksi vertical (ξ_0, η_0) dan undulasi geoid (N_0) di titik datum, dan
- Tiga parameter rotasi, yang dalam hal ini diwakili oleh koordinat geodetic di titik datum (φ_0, λ_0) dan asimut geodetik dari titik datum ke suatu titik awal α_0 .

Perlu dicatat dalam hal ini bahwa cukup umum dalam pendefinisian datum secara toposentrik, ellipsoid referensi yang digunakan diimpitkan dan dibuat sejajar dengan geoid di titik datum, yaitu dengan mengadopsi hubungan berikut:

$$N_0 = \xi_0 = \eta_0 = 0 \quad (1.9)$$

2.2.4 ITRS Dan ITRF

ITRS pada prinsipnya adalah sistem CTS yang didefinisikan, direalisasikan dan dipantau oleh IERS (*International Earth Orientation System*). Secara umum karakteristik dari sistem koordinat ITRS adalah sebagai berikut. (*IERS 2000*):

Sistem geosentrik, dimana pusat massanya didefinisikan untuk seluruh Bumi termasuk lautan dan atmosfer. Unit panjang yang digunakan adalah meter.

- **Sumbu-Z** mengarah ke kutub CTP yang dinamakan IRP (*IERS Reference Pole*).
- **Sumbu-X** berada dalam bidang meridian Greenwich yang dinamakan IRM (*IERS Reference Meridian*) dan terletak dalam bidang ekuator Bumi.
- **Sumbu-Y** tegak lurus dengan sumbu-sumbu X dan Z dan membentuk sistem koordinat tangan kanan.

Evolusi waktu dari orientasi sistem koordinat dipastikan dengan menerapkan kondisi ***no-net-rotation*** dalam konteks pergerakan tektonik (horizontal) untuk seluruh permukaan bumi. Dibandingkan dengan orientasi yang didefinisikan oleh BIH pada 1984.0, perlu dicatat beberapa hal sebagai berikut [IERS,2000]:

- Kutub IRP (*IERS Reference Pole*) dan meridian nol IRM (*IERS Reference Meridian*) yang mempunyai tingkat konsistensi dengan arah-arah BIH pada level sekitar 0.005”
- Kutub CTP dari BIH didekatkan ke CIO pada tahun 1967 dan sejak itu dijaga tingkat kestabilannya secara independen sampai 1987.
- Tingkat presisi ikatan antara IRF dan CIO adalah sekitar 0.003”

Sistem ITRS direalisasikan dengan koordinat dan kecepatan dari sejumlah titik yang tersebar di seluruh permukaan Bumi, dengan menggunakan metode-metode pengamatan VLBI, LLR, GPS, SLR dan DORIS. Kerangka realisasinya dinamakan ITRF (*International Terrestrial Reference Frame*). Kerangka ini juga terikat dengan kerangka ICRF melalui pengamatan VLBI.

Pada saat ini kerangka ITRF terdiri dari sekitar 300 titik di permukaan bumi, yang mempunyai koordinat dengan ketelitian sekitar 1-3 cm serta kecepatan dengan ketelitian sekitar 2-8 mm/tahun. Titik-titik ITRF ini terdapat pada semua lempeng tektonik utama serta hampir semua lempeng-lempeng yang kecil. Pada saat ini, jaring kerangka ITRF dipublikasikan setiap tahunnya oleh IERS, dan umumnya diberi nama ITRF-yy, dimana yy menunjukkan tahun terakhir dari data yang digunakan untuk menentukan kerangka tersebut. Sebagai contoh, ITRF 94 adalah kerangka koordinat dan kecepatan yang dihitung pada tahun 1995 dengan menggunakan semua data IERS sampai akhir 1994.

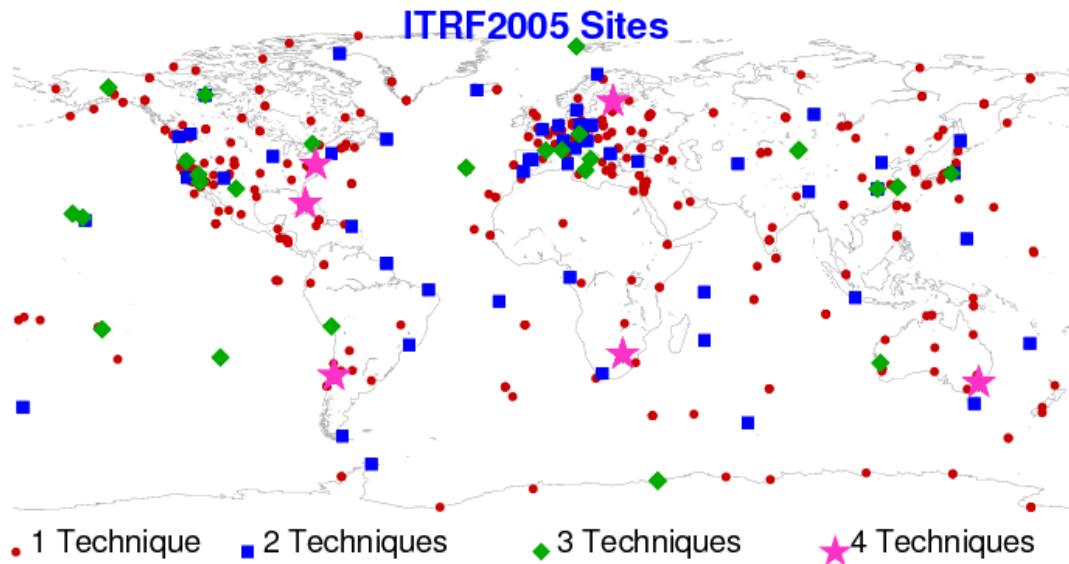
Akhirnya perlu ditekankan bahwa koordinat koordinat dalam suatu kerangka ITRF tertentu juga dapat dihubungkan dengan koordinat titik dalam suatu kerangka ITRF lainnya atau kerangka koordinat lainnya seperti WGS72 dan WGS84.

Untuk mendapatkan koordinat dalam kerangka ITRF 2005 dapat dilalui dengan cara sebagai berikut :

- Menggunakan minimal *constrained* untuk semua solusi *constrained* yang hilang. Solusi ini digunakan untuk solusi SLR dan DORIS.
- Menggunakan kondisi *no-net-translation* dan *no-net-rotation* dengan persamaan normal.
- Kombinasi dari TRF dan EOP akan menjadi solusi untuk posisi stasiun, kecepatan dan EOP di setiap minggunya.

- Mengkombinasikan penggunaan titik ikat lokal.

Untuk standar deviasi yang dihasilkan pada SINEX ITRF 2005 yaitu 0.690717136561903. berikut ini adalah gambar dari titik-titik yang ada dalam ITRF 2005 :



Gambar 2.1 Distribusi titik-titik ikat dalam kerangka ITRF 2005

2.2.5 Kerangka Referensi Dan Metode Perealisasiannya

Komponen utama dalam perealisasi suatu sistem referensi menjadi kerangka referensi adalah dipilihnya metode pengamatan yang mempunyai ketelitian sesuai dengan yang diharapkan, serta menentukan stasiun-stasiun pengamatan yang menjadi acuan dalam penentuan posisi sesuai dengan sistem yang dipilih. Dalam ITRF stasiun-stasiun pengamatan tersebut dinamakan SSC (*Sets of Station Coordinates*). Dimana koordinat dan kecepatan dari stasiun pengamatan itu adalah representasi dari kerangka referensi. Pada stasiun-stasiun pengamatan tersebut terus-menerus dilakukan pengamatan dengan salah satu atau kombinasi dari metode-metode penentuan posisi seperti VLBI, SLR, LLR dan GPS. Hal ini dilakukan untuk memonitor posisi dan kecepatan dari stasiun pengamatan tersebut yang terjadi akibat deformasi global maupun lokal sehingga kerangka referensi tersebut tetap konsisten dengan definisi yang telah ditetapkan sebelumnya. Pada saat sinyal GPS dalam perjalannya dari satelit sampai pengamat tidak terlepas dari berbagai kesalahan dan bias. Kesalahan dan bias tersebut dapat terkait karena satelit GPS, medium propagasi yang dilalui sinyal satelit, receiver GPS, data pengamatan dan lingkungan sekitar pengamat (*Abidin, 2000*):

a) Kesalahan Orbit (Ephemeris)

Kesalahan ephemeris adalah kesalahan dimana orbit yang dilaporkan ephemeris orbit tidak sama dengan orbit yang sebenarnya sehingga dapat mempengaruhi ketelitian posisi titik-titik yang ditentukan.

b) Bias Ionosfer

Radiasi matahari menyebabkan lapisan ionosfer mempunyai sejumlah elektron dan ion bebas yang bergantung pada besarnya intensitas radiasi matahari serta densitas gas pada lapisan tersebut. Hal tersebut akan mempengaruhi kecepatan, arah, polarisasi, dan kekuatan sinyal yang melaluinya. Dalam hal ini, ionosfer akan memperlambat data pseudorange dan mempercepat data fase. Oleh karenanya ukuran jarak yang dihasilkan menjadi kurang teliti.

c) Bias Troposfer

Pada saat sinyal satelit melewati lapisan troposfer, sinyal akan mengalami refraksi yang menyebabkan perubahan pada kecepatan dan arah sinyal sehingga dapat mempengaruhi hasil ukuran jarak. Lapisan troposfer ini memperlambat data psudorange dan data fase.

d) Multipath

Multipath adalah fenomena yang terjadi karena sinyal dari satelit tiba di antenna GPS melalui dua atau lebih lintasan yang berbeda (Abidin, 2000). Dalam hal ini satu sinyal merupakan sinyal yang sebenarnya dan sinyal yang lain merupakan sinyal tidak langsung yang dipantulkan oleh benda-benda di sekitar antena seperti gedung, pepohonan, mobil, dan lain-lain. Adanya lebih dari satu lintasan menyebabkan sinyal-sinyal tersebut berinterferensi.

e) *Cycle slip*

Cycle slip adalah terputusnya jumlah gelombang penuh pada saat pengamatan berlangsung. Hal tersebut salah satunya diakibatkan karena matinya receiver GPS.

f) Ambiguitas Fase

Ambiguitas Fase adalah jumlah gelombang penuh berupa bilangan bulat dan merupakan kelipatan panjang gelombang yang tidak terukur oleh receiver pada saat pengamatan berlangsung (Zikra, 2004). Penentuan ambiguitas diperlukan pada saat pengubahan data fase menjadi hasil ukuran jarak sehingga dihasilkan ketelitian yang sangat presisi. Nilai ambiguitas fase akan selalu tetap selama pengamatan tidak terjadi *cycle slip*. Penentuan

ambiguitas fase ini dilakukan dengan cara pemberian koreksi terhadap nilai ambiguitas fase yang mengembang (*float*) sehingga didapat nilai ambiguitas fase yang integer.

g) Kesalahan Jam

Kesalahan jam ini dapat berupa kesalahan jam satelit maupun kesalahan jam receiver. Bentuk kesalahan jam ini adalah dalam bentuk offset waktu atau offset frekuensi yang dapat mempengaruhi ukuran jarak.

Ada beberapa macam cara yang dapat dilakukan untuk menghilangkan atau mengurangi efek kesalahan dan bias pengamatan yaitu mengestimasi parameter dari kesalahan dan bias dalam proses hitung perataan, pengurangan data pengamatan (*differencing*), menghitung besar kesalahan dan bias secara langsung atau dari model, menggunakan strategi pengamatan dan pengolahan data yang tepat, dan mengabaikan kesalahan dan bias itu sendiri (*Abidin, 2000*).

Secara umum, metode penentuan posisi dengan GPS dapat dibagi menjadi dua, yaitu Metode Penentuan Posisi Absolut dan Metode Penentuan Posisi Relatif. Penentuan posisi absolut hanya membutuhkan satu receiver GPS saja, sedangkan pada penentuan posisi relatif atau diferensial membutuhkan minimal dua buah receiver GPS. Dalam survei GPS yang menuntut ketelitian tinggi misalnya pada survei deformasi Lembang ini, metode yang digunakan adalah metode diferensial dengan moda jaring, artinya titik-titik pengamatan di sekitar Lembang diikatkan ke beberapa titik ikat atau referensi yang dalam penulisan akhir ini bervariasi antara 5 titik ikat sampai 84 titik ikat.

Metode diferensial dengan moda jaring dapat didefinisikan sebagai proses penentuan koordinat dari sejumlah titik terhadap beberapa buah titik yang telah diketahui koordinatnya dengan menggunakan data pengamatan fase dari sinyal GPS (*Abidin, 2002*). Pada umumnya jenis survei yang dilakukan adalah survei statik.

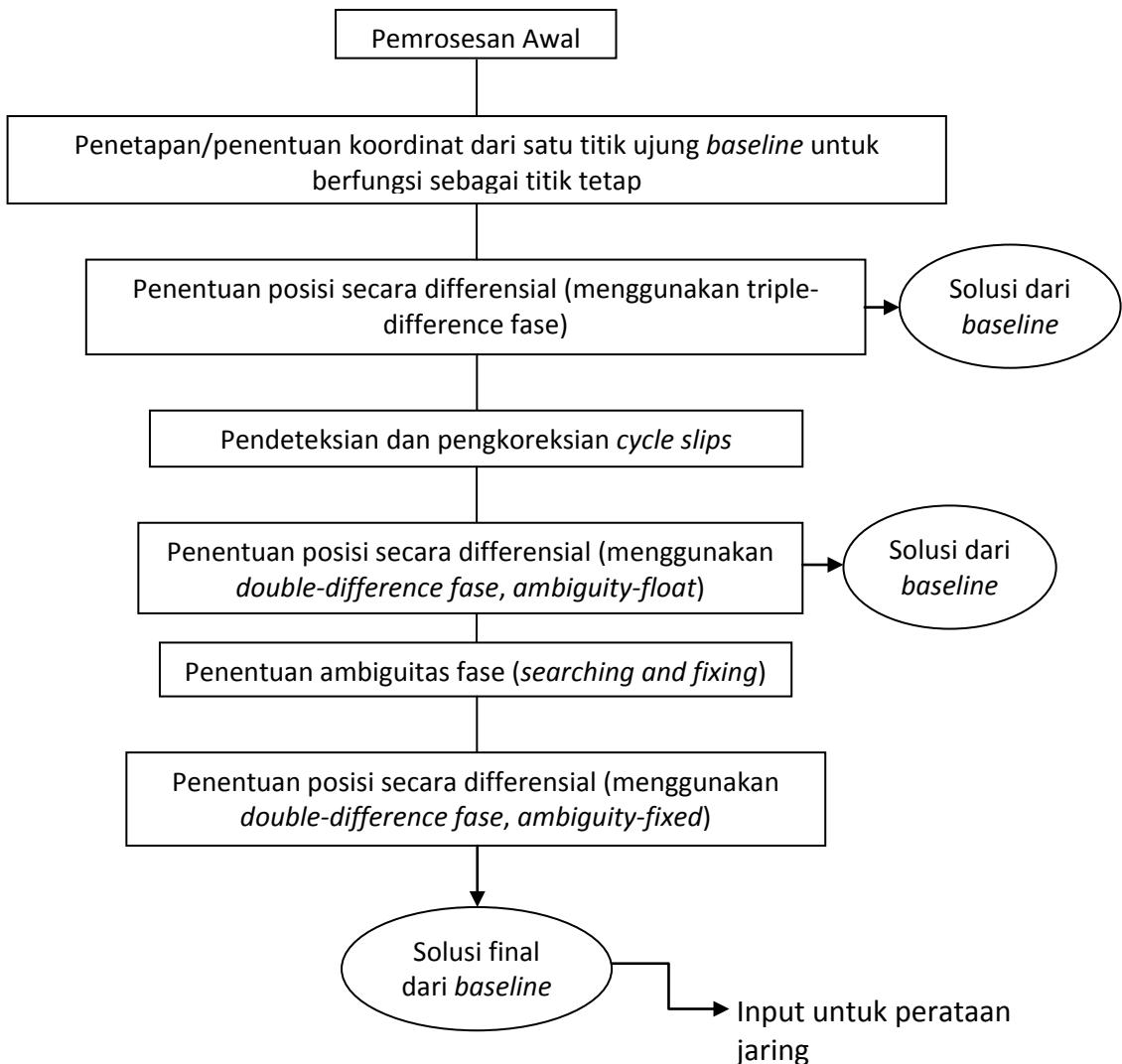
Titik –titik pengamatan deformasi diletakkan pada daerah sekitar patahan sehingga dapat dilihat pola pergerakannya. Selanjutnya titik-titik pengamatan tersebut diikatkan ke sebuah kerangka referensi, yang dalam penulisan tugas akhir ini, yaitu ITRF (*International Terrestrial Reference Frame*) 2005. Kerangka ini terdiri dari 300 titik yang menyebar di seluruh permukaan bumi dan didapatkan dengan pengukuran secara kontinyu menggunakan metode-metode pengamatan VLBI, LLR, GPS, SLR, dan DORIS. ITRF memiliki koordinat dengan ketelitian 1-3 cm dan kecepatan dengan ketelitian 2-8 mm/tahun (*Abidin, 2000*). Kerangka ITRF terdiri dari titik-titik yang disebut titik IGS (*Internasional GNSS Service*) yang menyebar diseluruh lempeng

tektonik utama dan lempeng-lempeng kecil sehingga kerangka ini dapat digunakan sebagai referensi dalam studi pemantauan deformasi bumi. Pada realisasinya dalam pengolahan data GPS, titik-titik hasil pengamatan akan diikatkan (*differential*) ke beberapa titik IGS sesuai letak terdekat dan baik tidaknya kondisi titik ikat tersebut sehingga titik-titik pengamatan GPS dan titik IGS akan membentuk suatu jaring yang optimum atau *observation-maximum* (OBS-MAX). Parameter utama dari jaring optimum tersebut adalah jarak antar titik diusahakan yang pendek (*baseline* pendek). Adapun letak dari titik-titik IGS ini dapat dilihat pada gambar 2.1. Pada pengolahan jaring GPS dengan strategi OBS-MAX tersebut sama halnya dengan pengolahan jaring GPS pada umumnya, yaitu terdiri dari:

1. Pengolahan data dari setiap *baseline* dalam jaringan.
2. Perataan jaring yang melibatkan semua *baseline* untuk menentukan koordinat dari titik-titik dalam jaringan.
3. Transformasi koordinat titik-titik tersebut dari datum WGS 1984 ke datum yang diperlukan oleh pengguna.

Pengolahan *baseline* bertujuan untuk menghitung vektor *baseline* (dX , dY , dZ) antara dua titik ujung *baseline*. Data yang digunakan untuk pengestimasian vektor tersebut adalah data *double-difference* yaitu data pengamatan pengamat-satelit dalam suatu epok tertentu. Data digunakan agar efek kesalahan jam satelit dan receiver dieliminasi, sehingga tersisa ambiguitas fase dan efek atmosfer.

Diagram alir pengolahan *baseline* GPS dapat dilihat pada Gambar 2.2 berikut:



Gambar 2.2 Diagram alir pengolahan *baseline* GPS

Selanjutnya vektor-vektor *baseline* yang telah ditentukan diproses dalam suatu hitung perataan jaringan yang bertujuan untuk menentukan koordinat final dari titik-titik dalam jaringan. Pada umumnya metode perhitungan yang digunakan adalah metode perataan kuadrat terkecil. Ada dua tahapan dalam perataan jaringan GPS ini yaitu perataan jaringan bebas dan perataan jaringan terikat. Pada perataan jaringan bebas menggunakan hanya satu titik ikat IGS untuk mengecek konsistensi vektor *baseline*, satu terhadap yang lainnya membentuk suatu jaringan GPS yang optimal. Sedangkan pada perataan jaringan terikat, titik ikat IGS digunakan untuk menghasilkan koordinat final. Tujuan dari perataan jaringan terikat adalah untuk memeriksa konsistensi data ukuran *baseline* dengan titik-titik IGS yang telah ada. Setelah solusi dari jaringan didapat, semua titik-titik IGS yang digunakan dilakukan sebuah uji berdasarkan rata-rata dari

tiga parameter translasi menggunakan helmert. Jika ada titik IGS yang tidak sesuai maka titik tersebut harus dihilangkan dari proses pengolahan data dan proses perataan jaring kembali dilakukan. Jika semua koordinat final telah ditentukan maka para pengguna bisa melakukan transformasi dari datum WGS84 ke dalam datum tertentu yang diperlukan.

2.3 International GNSS Service (IGS)

Sejarah *International GNSS Service* (IGS) dimulai pada januari tahun 1994 sebagai pendukung dari *International Association of Geodesy* (IAG). Sejak juni 1992, IGS lebih dikenal dengan “*International GPS Service for Geodynamics*” kemudian pada tahun 1999 kembali berubah menjadi “*International GPS Service*”, dan akhirnya menjadi “*International GNSS Service*” sejak maret 2005. IGS bertujuan untuk mendukung penelitian ilmiah terutama yang mengacu atau menginginkan ketelitian yang tinggi dari data pengamatan bumi melalui teknologi GNSS (*Global Navigation Satellite Systems*). Selain untuk meningkatkan kualitas data dari GNSS, IGS pun bertujuan sebagai produk pendukung TRF (*Terrestrial Reference Frame*), rotasi Bumi, penelitian dan pengamatan Bumi, penentuan posisi, navigasi dan waktu. Saat ini terdapat lebih dari 200 titik IGS yang tersebar di lebih dari 80 negara di Dunia.

2.3.1 IGS Products

IGS mengumpulkan, mengarsipkan, dan mendistribusikan data pengamatan GPS dan GLONASS untuk keperluan engineering dan keilmuan. Akurasi dari hasil IGS dapat dilihat pada Tabel 2.1 berikut:

Tabel 2.1 Akurasi data hasil IGS (<http://igscb.jpl.nasa.gov>)

Table 1 IGS product summary

	Accuracy	Latency	Updates	Sample interval
GPS satellite ephemerides/satellite and station clocks				
Broadcast				
Orbits	~160 cm			
Sat. clks	~7 ns	Real time	—	Daily
Ultra-rapid (predicted half)				
Orbits	~10 cm			
Sat. clks	~5 ns	Real time	Four × daily	15 min
Ultra-rapid (observed half)				
Orbits	<5 cm			
Sat. clks	~0.2 ns	3 h	Four × daily	15 min
Rapid				
Orbits	<5 cm			
Sat. and Stn. clks	0.1 ns	17 h	Daily	15 min
5 min				
Final				
Orbits	<5 cm			
Sat. and Stn. clks	<0.1 ns	~13 days	Weekly	15 min
5 min				
GLONASS satellite ephemerides				
Final	15 cm	2 weeks	Weekly	15 min
Geocentric coordinates of IGS Tracking Stations (>130 sites)				
Final positions				
Horizontal	3 mm			
Vertical	6 mm	12 days	Weekly	Weekly
Final velocities				
Horizontal	2 mm/year			
Vertical	3 mm/year	12 days	Weekly	Weekly
Earth rotation parameters				
Ultra-rapid (predicted half)				
PM	0.3 mas			
PM rate	0.5 mas/day	Real time	Four × daily	Four × daily (00,06,12,18 UTC)
LOD	0.06 ms			
Ultra-rapid (observed half)				
PM	0.1 mas			
PM rate	0.3 mas/day	3 h	Four × daily	Four × daily (00,06,12,18 UTC)
LOD	0.03 ms			
Rapid				
PM	<0.1 mas			
PM rate	<0.2 mas/day	17 h	Daily	Daily (12 UTC)
LOD	0.03 ms			
Final				
PM	0.05 mas			
PM rate	<0.2 mas/day	~13 days	Weekly	Daily (12 UTC)
LOD	0.02 ms			
Atmospheric parameters				
Final tropospheric zenith path delay	4 mm	<4 weeks	Weekly	2 h
Ultra-rapid tropospheric zenith path delay	6 mm	2–3 h	Every 3 h	1 h
Final ionospheric TEC grid	2–8TECU	~11 days	Weekly	2 h, 5 deg (lon) × 2.5 deg (lat)
Rapid ionospheric TEC grid	2–9TECU	<24 h	Daily	2 h, 5 deg (lon) × 2.5 deg (lat)

Bagi pengguna GPS yang menginginkan ketelitian dalam skala meter, dapat menggunakan IGS *precise orbits and clocks* (dengan interval 15 menit), kemudian di gabungkan dengan data pseudorange dan data SPP (*Single Point Positioning*).