

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Penelitian Sebelumnya

Penelitian ini merujuk ke beberapa penelitian sebelumnya yang membahas mengenai deformasi jembatan dan beberapa aplikasi penggunaan GPS (*Global Positioning System*) serta pengolahannya menggunakan *Scientific Software GAMIT (GPS Analysis Software of Massachusetts Institute of Technology and Scripps Institution of Oceanography)*.

Pertama adalah penelitian yang dilakukan oleh Amran Nur Utomo pada tahun 2013 mengenai bagaimana menentukan deformasi jembatan dengan memanfaatkan teknologi kamera *digital non metric* yang menggunakan metode fotogrametri rentang dekat atau *Close Range Photogrametry (CRP)*. Dari penelitian di atas, peneliti mengambil referensi mengenai deformasi jembatan.

Kedua adalah penelitian yang dilakukan oleh Andika Rizal Bahlefi yang dilakukan pada tahun 2013 mengenai pengamatan deformasi gunung api yang menggunakan metode pengukuran GPS. Karakteristik deformasi yang dikaji meliputi posisi, arah dan besar pergeseran dengan menggunakan Model Mogi. *Software* yang digunakan adalah *Scientific Software GAMIT*. Dari penelitian di atas, peneliti mengambil referensi mengenai deformasi gunung api, penggunaan GPS serta *Scientific Software GAMIT*.

Ketiga adalah penelitian yang dilakukan oleh Rizal Adhi Pratama tahun 2013 mengenai pengamatan lendutan vertikal jembatan Kali Babon dengan metode *Terrestrial Laser Scanner* yang mana dengan menggunakan metode tersebut didapatkan lendutan jembatan yang masih memenuhi standar kelayakan dan masih aman untuk digunakan. Dari penelitian di atas, peneliti mengambil referensi mengenai deformasi jembatan.

Keempat adalah penelitian yang dilakukan oleh Maulana Eras Rahadi tahun 2013 yang membahas mengenai ketelitian pengukuran *baseline* panjang GNSS

(*Global Navigation Satellite System*) dengan menggunakan dua *software* pengolahan yang berbeda yaitu *software* GAMIT 10.4 dan Topcon Tools V.7. Dari penelitian di atas, peneliti mengambil referensi mengenai penggunaan *software* GAMIT untuk pengolahan data GPS yang didapatkan.

Terakhir adalah penelitian yang dilakukan oleh Edy Saputera Purba yang dilakukan juga pada tahun 2013. Penelitian ini berfokus pada penentuan koordinat definitif *epoch* 2013 pada stasiun CORS Geodesi UNDIP yang juga pengolahan datanya menggunakan *software* GAMIT 10.4, sehingga penelitian ini dapat dijadikan sebagai referensi untuk menyusun penelitian kali ini.

Perbedaan penelitian ini dengan penelitian sebelumnya adalah penelitian ini menganalisa ketelitian titik kontrol horizontal pada pengukuran deformasi jembatan Penggaron yang pengolahan datanya menggunakan *software* terbaru dari GAMIT yaitu *software* GAMIT 10.5.

II.2 Jembatan

Jembatan adalah suatu konstruksi yang gunanya untuk meneruskan jalan melalui rintangan yang berada lebih rendah. Rintangan ini biasanya jalan lain (jalan air atau jalan lalu lintas biasa) (Struyk dan Veen, 1984). Jembatan juga merupakan salah satu prasarana untuk menunjang kelancaran transportasi di darat dan merupakan suatu struktur konstruksi yang memungkinkan rute transportasi melintasi sungai, danau, jalan raya, jalan kereta api dan lain-lain. Berdasarkan UU No.38 Tahun 2004 bahwa jalan dan juga termasuk bangunan atas jembatan sebagai bagian dari sistem transportasi nasional yang mempunyai peranan penting terutama dalam mendukung bidang ekonomi, sosial dan budaya serta lingkungan yang dikembangkan melalui suatu pendekatan pengembangan dari wilayah tertentu agar tercapai keseimbangan dan pemerataan pembangunan antar daerah.

Sejarah jembatan sudah cukup tua bersamaan dengan terjadinya hubungan komunikasi/transportasi antara sesama manusia dan antara manusia dengan alam lingkungannya. Macam dan bentuk serta bahan yang digunakan mengalami

perubahan sesuai dengan kemajuan jaman dan teknologi, mulai dari yang sederhana sekali sampai pada konstruksi yang mutakhir.

II.3 Deformasi

Deformasi adalah perubahan bentuk, posisi, dan dimensi dari suatu benda (Kuang,1996). Berdasarkan definisi tersebut deformasi dapat diartikan sebagai perubahan kedudukan atau pergerakan suatu titik pada suatu benda secara absolut maupun relatif. Dikatakan titik bergerak absolut apabila dikaji dari perilaku gerakan titik itu sendiri dan dikatakan relatif apabila gerakan itu dikaji dari titik yang lain. Perubahan kedudukan atau pergerakan suatu titik pada umumnya mengacu kepada suatu sistem kerangka referensi (absolut atau relatif).

Untuk mengetahui terjadinya deformasi pada suatu tempat diperlukan suatu survei, yaitu survei deformasi dan geodinamika. Survei deformasi dan geodinamika sendiri adalah survei geodetik yang dilakukan untuk mempelajari fenomena-fenomena deformasi dan geodinamika. Fenomena-fenomena tersebut terbagi atas dua, yaitu fenomena alam seperti pergerakan lempeng tektonik, aktivitas gunung api, dan lain-lain.

Fenomena yang lain adalah fenomena manusia seperti bangunan, jembatan, bendungan, permukaan tanah, dan sebagainya. Survei deformasi dan geodinamika itu sendiri bisa bermacam-macam metodenya. Metode konvensional bisa dilakukan dengan menggunakan theodolit ataupun sipat datar. Namun dengan kemajuan teknologi muncul metode baru dalam survei deformasi dan geodinamika, yaitu metode satelit. Dengan metode satelit dapat dilakukan dengan menggunakan *Global Positioning System* (GPS) ataupun dengan menggunakan penginderaan jauh.

II.4 Penentuan Posisi Dengan GPS (*Global Positioning System*)

GPS (*Global Positioning System*) adalah sistem satelit navigasi dan penentuan posisi yang dimiliki dan dikelola oleh Amerika Serikat. Sistem ini didesain untuk memberikan posisi dan kecepatan tiga-dimensi serta informasi mengenai waktu, secara kontinu di seluruh dunia tanpa bergantung waktu dan cuaca, dan bagi banyak

orang secara simultan. Saat ini GPS sudah banyak digunakan orang di seluruh dunia dalam berbagai bidang aplikasi yang menuntut informasi tentang posisi, kecepatan, percepatan ataupun waktu yang teliti. GPS dapat memberikan informasi posisi dengan ketelitian bervariasi dari beberapa millimeter (orde nol) sampai dengan puluhan meter.

Beberapa kemampuan GPS antara lain dapat memberikan informasi tentang posisi, kecepatan, dan waktu secara cepat, akurat, murah, dimana saja di bumi ini tanpa tergantung cuaca. Hal yang perlu dicatat bahwa GPS adalah satu-satunya sistem navigasi ataupun sistem penentuan posisi dalam beberapa abad ini yang memiliki kemampuan handal seperti itu (Abidin, 2007). Ketelitian dari GPS dapat mencapai beberapa mm untuk ketelitian posisinya, beberapa cm/s untuk ketelitian kecepataannya dan beberapa nanodetik untuk ketelitian waktunya. Ketelitian posisi yang diperoleh akan tergantung pada beberapa faktor yaitu metode penentuan posisi, geometri satelit, tingkat ketelitian data, dan metode pengolahan datanya.

Prinsip penentuan posisi dengan GPS yaitu menggunakan metode reseksi jarak, dimana pengukuran jarak dilakukan secara simultan ke beberapa satelit yang telah diketahui koordinatnya. Pada pengukuran GPS, setiap epoknya memiliki empat parameter yang harus ditentukan : yaitu 3 parameter koordinat X,Y,Z atau L,B,h dan satu parameter kesalahan waktu akibat ketidaksinkronan jam osilator di satelit dengan jam di *receiver* GPS. Oleh karena diperlukan minimal pengukuran jarak ke empat satelit.

Ada tiga macam tipe alat GPS, dengan masing-masing memberikan tingkat ketelitian (posisi) yang berbeda-beda. Tipe alat GPS pertama adalah tipe Navigasi (Handheld, Handy GPS). Tipe navigasi memiliki ketelitian posisi yang diberikan saat ini baru dapat mencapai tiga sampai enam meter. Tipe alat yang kedua adalah tipe geodetik *single frekuensi* (tipe pemetaan), yang biasa digunakan dalam survei dan pemetaan yang membutuhkan ketelitian posisi sekitar centimeter sampai dengan beberapa desimeter. Tipe terakhir adalah tipe Geodetik *dual frekuensi* yang dapat memberikan ketelitian posisi hingga mencapai milimeter. Tipe ini biasa digunakan

untuk aplikasi *precise positioning* seperti pembangunan jaring titik kontrol, survei deformasi, dan geodinamika.

Metode penentuan posisi dengan GPS pertama-tama terbagi dua, yaitu metode absolut dan metode diferensial. Masing-masing metode kemudian dapat dilakukan dengan cara *real time* atau *post-processing*. Apabila objek yang ditentukan posisinya diam maka metodenya disebut metode *static*. Sebaliknya apabila objek yang ditentukan posisinya bergerak, maka metodenya disebut kinematik.

Posisi yang diberikan oleh *GPS* adalah posisi 3 dimensi yang dinyatakan dalam datum WGS (*World Geodetic System*) 1984, sedangkan tinggi yang diperoleh adalah tinggi elipsoid. Adapun pengelompokan metode penentuan posisi dengan GPS berdasarkan mekanisme pengaplikasiannya dapat dilihat pada tabel berikut (**Tabel 2.1**).

Tabel 2. 1 Metode Penentuan Posisi dengan *GPS* (Abidin, 2007)

Metode	Absolut (1 receiver)	Diferensial (min 2 receiver)	Titik	Receiver
<i>Static</i>	√	√	Diam	Diam
<i>Kinematik</i>	√	√	Bergerak	Bergerak
<i>Rapid Static</i>		√	Diam	Diam (Singkat)
<i>Pseudeo Kinematik</i>		√	Diam	Diam dan Bergerak
<i>Stop and Go</i>		√	Diam	Diam dan Bergerak

Pada dasarnya GPS terdiri atas tiga segmen utama, yaitu:

- 1). Segmen angkasa (*space segment*)

Terdiri dari 24 satelit yang terbagi dalam enam orbit dengan inklinasi 55° dan ketinggian 20.200 km dan periode orbit 11 jam 58 menit.

2). Segmen sistem kontrol (*control sistem segment*)

Mempunyai tanggung jawab untuk memantau satelit GPS supaya satelit GPS dapat tetap berfungsi dengan tepat. Misalnya untuk sinkronisasi waktu, prediksi orbit dan *monitoring* “kesehatan” satelit.

3). Segmen pemakai (*user segment*)

Segmen pemakai merupakan pengguna, baik di darat, laut maupun udara, yang menggunakan *receiver* GPS untuk mendapatkan sinyal GPS sehingga dapat menghitung posisi, kecepatan, waktu dan parameter lainnya.

Ketelitian posisi yang didapat dari pengamatan GPS secara umum bergantung pada empat faktor yang dapat ditampilkan dalam **Tabel 2.2** seperti di bawah ini.

Tabel 2. 2 Ketelitian Posisi dengan *GPS* (Abidin, 2007)

Geometri Satelit	jumlah satelit
	lokasi dan distribusi satelit
	lama pengamatan
Ketelitian Data	tipe data yang digunakan
	kualitas <i>receiverGPS</i>
	level dari kesalahan dan bias
Strategi Pemrosesan Data	<i>real-time</i> dan <i>post processing</i>
	strategi eliminasi dan pengkoreksian kesalahan dan bias
	metode estimasi yang digunakan
	pemrosesan <i>baseline</i> dan perataan jaring
Metode Penentuan Posisi	<i>absolute</i> dan <i>differensial positioning</i>
	<i>static</i> , <i>rapid static</i> , <i>pseudo-kinematic</i> ,

	<i>stop and go, kinematic</i>
	<i>one dan multi monitor station</i>

II.5 Kesalahan Dan Bias Pengukuran GPS

Pada pengukuran GPS terdapat beberapa kesalahan dan bias yang sering terjadi. Menurut Abidin (2007), kesalahan dan bias GPS dikelompokkan menjadi lima kategori, yaitu kesalahan posisi satelit, medium propagasi, *receiver* GPS, data pengamatan dan lingkungan sekitar GPS *receiver*.

II.5.1. Satelit

a. Kesalahan orbit

Kesalahan dimana posisi satelit yang dilaporkan oleh *ephemeris* satelit tidak sama dengan posisi yang sebenarnya. Kesalahan *ephemeris* tersebut kemudian akan mempengaruhi ketelitian dari koordinat titik yang ditentukan, baik secara absolut maupun relatif. Patut dicatat bahwa dalam penentuan posisi secara relatif, semakin panjang *baseline* yang diamati maka efek bias *ephemeris* satelit akan semakin besar. Kesalahan orbit satelit GPS pada dasarnya dapat disebabkan oleh tiga faktor berikut secara bersama-sama, yaitu :

- 1). Kekurang telitian pada proses perhitungan orbit satelit oleh stasiun-stasiun pengontrol satelit
- 2). Kesalahan dalam prediksi orbit untuk periode waktu setelah *uploading* ke satelit
- 3). Penerapan kesalahan orbit yang sengaja diterapkan, seperti dalam kasus penerapan *selective Availability* (SA), yang sejak 2 Mei 2000 telah ditiadakan.

Perlu dicatat bahwa besarnya kesalahan orbit akan tergantung pada jenis *ephemeris* (orbit) yang digunakan. Pada dasarnya ada beberapa jenis informasi orbit (*ephemeris*) satelit GPS, yaitu : *Almanak*, *Broadcast Ephemeris*, *Ultra Rapid Ephemeris*, *Rapid Ephemeris*, dan *Precise Ephemeris*.

Ada beberapa cara yang dapat diaplikasikan untuk mereduksi efek kesalahan orbit, yaitu :

- 1). Menerapkan metode *differential positioning*
- 2). Memperpendek panjang *baseline*
- 3). Memperpanjang interval waktu pengamatan
- 4). Menentukan parameter kesalahan orbit dalam proses estimasi
- 5). Menggunakan informasi orbit yang lebih teliti, yang bisa diperoleh dari beberapa sumber eksternal setelah selang waktu tertentu, seperti *Ultra Rapid*, *Rapid Ephemeris*, dan *Precise Ephemeris*.

b. Kesalahan jam satelit

Jam atom pada satelit dalam perjalanan waktu akan mengalami penyimpangan dari sistem waktu GPS.

c. *Selective Availability* (SA)

Metode yang pernah diaplikasikan untuk memproteksi ketelitian posisi absolut secara *real-time* yang tinggi dari GPS hanya untuk pihak militer Amerika Serikat dan pihak-pihak yang berwenang. Tetapi sejak 2 Mei 2000, kebijakan *Selective Availability* sudah dinonaktifkan.

II.5.2. Medium Propagasi

a. Bias ionosfer

Ion-ion bebas (elektron) dalam lapisan ionosfer akan mempengaruhi propagasi sinyal GPS. Dalam hal ini ionosfer akan mempengaruhi kecepatan, arah, polarisasi, dan kekuatan GPS yang melaluinya. Ionosfer akan memperlambat kecepatan sinyal (ukuran jarak menjadi lebih panjang) dan mempercepat fase (ukuran jarak menjadi lebih pendek), dengan bias jarak (dalam unit panjang) yang sama besarnya. Jadi secara umum, bias ionosfer dapat mengakibatkan ukuran jarak yang dihasilkan menjadi kurang teliti.

Ada beberapa cara yang dapat digunakan untuk mereduksi efek bias ionosfer yaitu (Abidin, 2006):

- 1). Menggunakan data GPS dari dua frekuensi (L1 dan L2)

- 2). Melakukan pengurangan (*differencing*) data pengamatan
- 3). Memperpendek *baseline*
- 4). Menggunakan model prediksi global ionosfer (untuk data GPS *single frequency*) seperti model Bent dan Klobuchar
- 5). Menggunakan parameter koreksi yang dikirimkan oleh sistem *Wide Area differential GPS* (WADGPS).

b. Bias troposfer

Ketika melalui lapisan troposfer, sinyal GPS akan mengalami refraksi, yang menyebabkan perubahan kecepatan dan arah sinyal GPS. Bias troposfer ini akan mempengaruhi kecepatan sehingga akan menghasilkan ukuran jarak yang kurang teliti. Lapisan troposfer ini memperlambat data waktu dan data fase.

Dalam penentuan posisi menggunakan GPS ada beberapa cara yang dapat diterapkan untuk mereduksi efek troposfer (Abidin, 2006) yaitu :

- 1). *Differencing* hasil pengamatan
- 2). Memperpendek *baseline*
- 3). Kedua stasiun pengamat berada pada ketinggian dan kondisi meteorologi relatif sama
- 4). Penggunaan model koreksi standar troposfer seperti model *Hopfield* dan *Saastamoinen*
- 5). Model koreksi lokal troposfer
- 6). Penggunaan *Water Vapour Radiometer* untuk estimasi besar komponen basah
- 7). Estimasi nilai bias troposfer
- 8). Penggunaan parameter koreksi dari sistem *Wide Area Differential GPS* (WADGPS).

II.5.3. Receiver GPS

a. Kesalahan jam *receiver*

Harus mengacu ke sistem waktu yang sama, sinkron satu sama yang lainnya serta menjaga kestabilan *receiver*. Kesalahan jarak ke satelit oleh kesalahan jam *receiver* lebih besar dibanding jam satelit.

b. Kesalahan yang terkait dengan antena

Sebenarnya pusat fase antena adalah sumber radiasi yang sebenarnya dan dalam konteks GPS merupakan titik referensi yang sebenarnya digunakan dalam pengukuran sinyal secara elektronik. Dalam realitanya, karena sumber radiasi yang ideal tersebut sulit direalisasikan pada antena GPS, maka pusat fase antena GPS umumnya akan berubah-ubah tergantung pada elevasi pada azimut satelit serta intensitas sinyal dan lokasinya akan berbeda untuk sinyal L1 dan L2. Karena satelit GPS selalu bergerak, maka pusat fase antena akan berubah dari waktu ke waktu.

c. *Noise* (derau)

Suatu sinyal gangguan yang bersifat akustik (suara), listrik, maupun elektronik yang hadir dalam suatu sistem (rangkaiian listrik/ elektronika) dalam bentuk gangguan yang bukan merupakan sinyal yang diinginkan.

II.5.4. Data Pengamatan

a. Ambiguitas fase

Jumlah gelombang penuh yang tidak terukur oleh *receiver* GPS (Abidin, 2006). Untuk dapat merekonstruksi jarak ukuran antara satelit dengan antena maka harga ambiguitas fase tersebut harus ditentukan terlebih dahulu. Hal ini diperlukan pada saat perubahan data fase menjadi hasil ukuran jarak sehingga dihasilkan ketelitian yang sangat presisi. Nilai ambiguitas fase ini dilakukan dengan cara pemberian koreksi terhadap nilai ambiguitas fase yang mengambang (*float*) sehingga diperoleh nilai ambiguitas fase yang *integer*.

b. *Cycle slips*

Ketidak-kontinuan dalam jumlah gelombang penuh dari fase gelombang pembawa yang diamati, karena *receiver* yang disebabkan oleh satu dan lain hal, “terputus” dalam pengamatan sinyal. Hal-hal yang dimaksud antara lain :

- 1). Mematikan dan menghidupkan *receiver* secara sengaja
- 2). Terhalangnya sinyal GPS masuk ke antena disebabkan oleh bangunan, pohon dan jembatan
- 3). Rendahnya rasio *signal to noise*, yang disebabkan oleh beberapa faktor seperti dinamika *receiver* yang tinggi, aktivitas ionosfer yang tinggi
- 4). Adanya kerusakan komponen dalam *receiver*

II.5.5. Lingkungan Sekitar GPS Receiver

a. Multipath

Menurut Abidin (2006)., *multipath* adalah suatu fenomena dimana sinyal dari satelit tiba di antena GPS melalui dua atau lebih lintasan yang berbeda. Secara teoritis dapat terlihat besarnya efek maksimal akan terjadi ketika kekuatan sinyal pantulan sama dengan kekuatan sinyal langsung, dalam hal ini besarnya efek *multipath* tersebut adalah 0,25 panjang gelombang sinyal yang bersangkutan (untuk sinyal L1 = 5 cm dan untuk sinyal L2 = 6 cm). Disebabkan oleh perubahan dalam geometri satelit, efek *multipath* pada data pengamatan fase, mempunyai periode tipikal sekitar 30 menit. Efek *multipath* pada data pengamatan dapat terlihat pada *residual* dari pengamatan yang mempunyai *signature* yang bersifat *sinusoidal*. Beberapa metode/pendekatan yang dapat dilakukan dalam hal ini, adalah :

- 1). Menghindari lingkungan pengamatan yang reflektif
- 2). Menggunakan antena GPS yang baik dan tepat
- 3). Menggunakan bidang dasar antena pengabsorpsi sinyal, yang berguna untuk menahan sinyal pantulan yang datang dari bawah arah horizontal antena
- 4). Hindari melakukan pengamatan satelit yang berelevasi rendah, karena sinyal akan mudah mengalami proses pemantulan
- 5). Penggunaan *receiver* yang canggih
- 6). Melakukan pengamatan yang relatif lama

b. *Imaging*

Suatu fenomena yang melibatkan suatu benda konduktif (konduktor) yang berada dengan antena GPS, seperti *reflector* berukuran besar maupun *groundplane* dari antena itu sendiri. (Abidin, 2006).

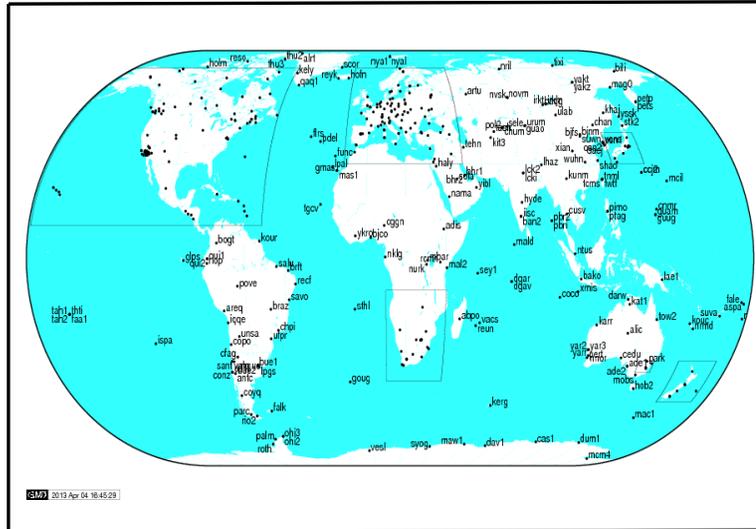
II.6 Data Rinex

Format data *RINEX (Receiver Independent Exchange)* adalah format standar yang kini diadopsi untuk pertukaran data survei GPS dan navigasi presisi. Beberapa karakteristik dari format RINEX adalah Format ASCII, dengan panjang setiap *record* maksimum 80 karakter, data fase diberikan dalam unit panjang gelombang, dan data *pseudorange* dalam unit meter, semua kalibrasi tergantung *receiver* sudah diaplikasikan ke data, tanda waktu adalah waktu pengamatan dalam kerangka waktu jam *receiver* (bukan waktu GPS), data pengamatan, data *Navigation Message*, dan data Meteorologi diberikan dalam *file-file* yang berbeda (Abidin, 2001). Perangkat lunak pengolah data survei GPS umumnya dapat memberikan *output* dan menerima *input* dalam format RINEX.

II.7 IGS (*International GNSS Service*)

IGS (*International GNSS Service*) ditetapkan dan diperkenalkan secara formal oleh IAG (*International Association Of Geodesy*) pada tahun 1993 dan mulai dioperasikan pada 1 Januari 1994 (Edy, 2013). IGS merupakan organisasi dan badan multi nasional yang menyediakan data GNSS, informasi orbit GPS, dan data pendukung penelitian geodetik dan geofisik lainnya (Yoga, 2011). IGS terbentuk dari jaringan stasiun GPS permanen global, pusat data dan analisis, kantor pusat, dan pengaturan. Jaringan IGS terdiri dari sekitar 200 stasiun dengan *receivers* GPS dan *dual-frequency* yang beroperasi secara kontinu. Jaringan IGS permanen digunakan untuk merealisasikan ITRF, dimana semua pengamatan GPS dapat dihubungkan. Selain itu, IGS juga menyediakan berbagai macam data diantaranya adalah GPS dari stasiun IGS. Data semuanya digunakan untuk kepentingan penelitian ilmiah dan

kebutuhan penggunaan GPS secara komersial. Persebaran stasiun IGS dapat dilihat pada **Gambar 2.1**.



Gambar 2. 1 *International GNSS Service* (www.igsb.jpl.nasa.gov)

II.8 Datum Geodetik

Datum adalah suatu *framework* yang bisa mendefinisikan suatu sistem koordinat yang mencakup elipsoid dan parameter lainnya. Ada dua cara untuk menentukan datum dengan cara tradisional yaitu dengan menggunakan dua datum terdiri dari datum vertikal dan datum horizontal dan dengan cara modern yang berdasarkan pada beberapa titik yang sudah terdefinisi.

Datum geodetik adalah parameter yang digunakan untuk mendefinisikan bentuk dan ukuran elipsoid referensi. Parameter-parameter ini selanjutnya digunakan untuk pendefinisian koordinat, serta kedudukan dan orientasinya dalam ruang di muka bumi yang dapat dijadikan sebagai titik kontrol geodetik. Setiap negara menggunakan suatu sistem datum geodetik yang masing-masing ditetapkan menjadi dasar acuan pemetaan nasionalnya.

Datum vertikal digunakan sebagai acuan untuk arah vertikal (ketinggian). Sedangkan datum horizontal digunakan sebagai referensi untuk posisi arah X dan Y

yang didefinisikan dengan menggunakan elipsoid yang mendekati harga geoid dan titik asal (Bakosurtanal, 2005).

Datum lokal adalah datum geodesi yang paling sesuai dengan bentuk geoid pada daerah yang tidak terlalu luas. Contoh datum lokal di Indonesia antara lain : Datum Genoek, Datum Monconglowe, DI 74 (Datum Indonesia 1974), DGN 95 (Datum Geodetik Indonesia 1995), dan SRGI 13 (Sistem Referensi Geospasial Indonesia 2013).

Datum regional adalah datum geodesi yang menggunakan elipsoid referensi yang bentuknya paling sesuai dengan bentuk permukaan geoid untuk area yang relatif lebih luas dari datum lokal. Datum regional digunakan bersamaan dengan negara yang berdekatan hingga negara yang terletak dalam satu benua. Contoh datum regional antara lain : Datum Indian dan Datum NAD (*North-American Datum*) 1983 yang merupakan datum untuk negara-negara yang terletak di benua Amerika bagian utara Datum Eropa 1989 digunakan oleh negara-negara yang terletak di benua Eropa, dan Datum Australia 1998 digunakan oleh negara-negara yang terletak di benua Australia.

Datum global adalah datum geodesi yang menggunakan elipsoid referensi yang sesuai dengan bentuk geoid seluruh permukaan bumi. Karena masalah penggunaan datum yang berbeda pada negara yang berdekatan maupun karena perkembangan teknologi penentuan posisi yang mengalami kemajuan pesat, maka penggunaan datum mengarah pada datum global. Datum global yang pertama adalah WGS 60, WGS 66, WGS 72, awal tahun 1984 dimulai penggunaan datum WGS 84, dan ITRF.

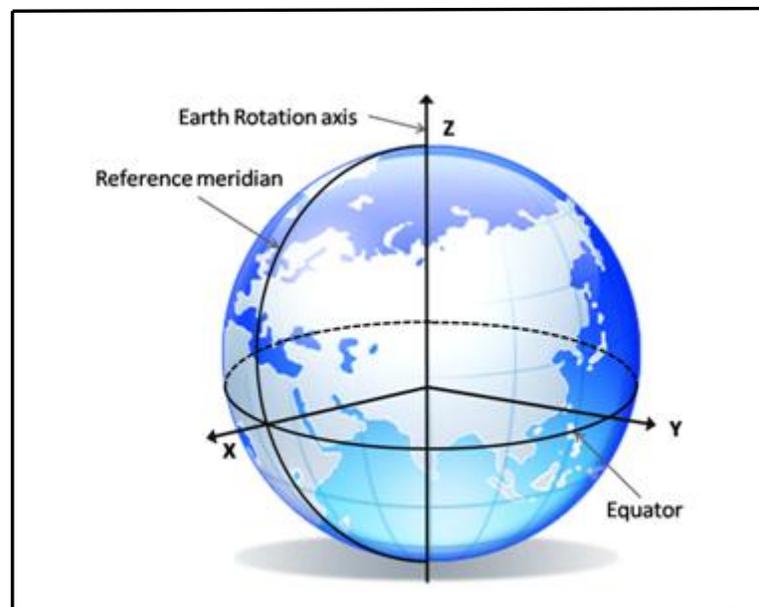
Penentuan datum dengan cara modern berdasarkan pada titik titik yang sudah terdefinisi biasanya menggunakan beberapa titik yang kemudian digunakan untuk mendefinisikan suatu datum dihitung dalam bentuk *International Terrestrial Reference Frame* (ITRF) menjadi suatu kerangka *fidusial*. Walaupun perhitungan koordinatnya dalam bentuk tiga dimensi, biasanya yang diambil hanya komponen horizontalnya saja.

Dengan adanya teknologi GPS penggunaan datum yang geosentris sudah menjadi suatu keharusan, sehingga semua koordinat harus dikonversikan ke dalam

datum ini. Dengan pengkonversian ini penggunaan koordinat akan menjadi lebih mudah lagi.

Dalam penetapan datum harus memperhatikan hal-hal sebagai berikut (Kahar, J 2008):

- 1). Menetapkan elipsoid putaran sebagai bidang acuan hitungan geodetik dengan menetapkan setengah sumbu panjang a dan pengepengan f
 - 2). Menentukan koordinat awal (φ, λ, h)
 - 3). Menentukan azimuth dari titik datum ke titik jaringan geodetik lainnya
 - 4). Mengukur jarak dari titik datum ke titik jaringan geodetik lainnya itu,
- Pendefinisian sistem koordinat geosentris dapat dilihat pada **Gambar 2.2** di bawah ini.



Gambar 2. 2 Sistem Koordinat Geosentris (www.blogs.itb.ac.id)

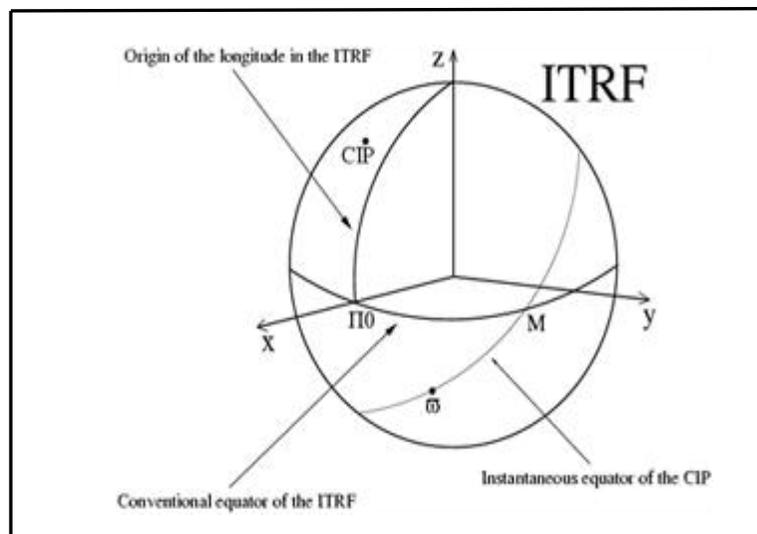
II.9 International Terrestrial Reference Frame (ITRF)

International Terrestrial Reference Frame menyediakan satu set koordinat dari beberapa titik yang terletak di permukaan bumi yang dapat digunakan untuk mengukur lempeng tektonik, *subsidence regional* atau digunakan untuk mengukur

rotasi bumi. Rotasi ini diukur dengan mengacu kepada bingkai yang terikat ke objek bintang, dan disebut *International Celestial Reference Frame (ICRF)*.

International Earth Rotation and Reference Systems Service (IERS) diciptakan pada tahun 1988 untuk membangun dan memelihara *International Celestial Reference Frame (ICRF)* dan *International Terrestrial Reference Frame (ITRF)*. Parameter Orientasi Bumi (*Earth Orientation Parameters, EOPs*) menghubungkan dua *frame* tersebut menjadi satu. *Frame* ini memberikan referensi umum untuk membandingkan pengamatan dan hasil dari lokasi yang berbeda.

ITRF dapat diperbaharui secara terus-menerus. ITRF terbaru yang dibangun pada tahun 1998 adalah ITRF2008. Pemodelan dari ITRF dapat dilihat pada **Gambar 2.3** di bawah ini.



Gambar 2.3. *International Terrestrial Reference Frame* (www.blogs.itb.ac.id)

II.10 Sistem Referensi Geospasial Indonesia 2013 (SRGI 13)

Sistem referensi merupakan hal yang sangat penting dan utama dalam menentukan posisi baik di permukaan bumi maupun di bawah permukaan bumi. Adapun saat ini, di Indonesia sedang berkembang sistem referensi baru yang paling mutakhir yaitu Sistem Referensi Geospasial Indonesia (SRGI) 2013.

SRGI 2013, yaitu suatu sistem koordinat nasional yang konsisten dan kompatibel dengan sistem koordinat global. SRGI 2013 digunakan sebagai referensi

tunggal dalam penyelenggaraan Informasi Geospasial Nasional. Berbeda dengan datum geodesi sebelumnya, SRGI 2013 memperhitungkan aspek pergerakan lempeng tektonik dan deformasi kerak bumi. Keberadaan wilayah Indonesia pada zona deformasi kerak bumi akibat interaksi pergerakan lempeng tektonik dan aktivitas seismik mengakibatkan posisi suatu titik akan berubah sebagai fungsi waktu. (www.bakosurtanal.go.id)

Sebelumnya, Badan Koordinasi Survei dan Pemetaan Nasional (Bakosurtanal) yang kemudian bertransformasi menjadi BIG (Badan Informasi Geospasial), sudah mengeluarkan sistem referensi koordinat seperti Indonesian Datum 1974 (ID-74) dan Datum Geodesi Nasional 1995 (DGN95). Dengan ID-74 yang kemudian diperbaharui menjadi DGN95, semua kegiatan pemetaan diharapkan mengacu pada satu sistem referensi nasional yang sama. Namun, pada praktiknya masih terdapat data atau peta lama yang dibuat dengan mengacu pada sistem referensi lama sehingga sebagian pihak tetap membuat peta dengan menggunakan sistem referensi tersebut sampai sekarang. Dampaknya Informasi Geospasial dengan sistem referensi yang beragam menyebabkan sulitnya integrasi data serta tidak menyambunginya (tidak *seamless*) satu data dengan data yang lain. (www.bakosurtanal.go.id)

Pemutakhiran sistem referensi geospasial merupakan hal yang sangat wajar mengingat perkembangan teknologi penentuan posisi pun sudah semakin teliti. Sistem referensi geospasial global yang menjadi acuan seluruh negara dalam mendefinisikan sistem referensi geospasial di negara masing-masing juga mengalami pemutakhiran dalam kurun waktu hampir setiap lima tahun atau lebih cepat. (www.bakosurtanal.go.id)

SRGI 2013 akan mendefinisikan beberapa hal, yaitu :

- a. Sistem Referensi Koordinat yang mendefinisikan titik pusat sumbu koordinat, skala dan orientasinya. Sistem referensi koordinat yang dimaksud merupakan sistem koordinat geosentris tiga dimensi dengan ketentuan :

- 1). Titik pusat sistem koordinat berhimpit dengan pusat massa bumi sebagaimana digunakan dalam ITRS.

- 2). Satuan dari sistem koordinat berdasarkan Sistem Satuan Internasional (SI).
 - 3). Orientasi sistem koordinat bersifat *equatorial*, dimana sumbu Z searah dengan sumbu rotasi bumi, sumbu X adalah perpotongan bidang ekuator dengan garis bujur yang melalui Greenwich (Greenwich Meridian), dan sumbu Y berpotongan tegak lurus terhadap sumbu X dan Z pada bidang ekuator sesuai dengan kaidah sistem koordinat tangan kanan, sebagaimana digunakan dalam ITRS.
- b. Kerangka Referensi Koordinat, sebagai realisasi dari sistem referensi koordinat berupa Jaring Kontrol Geodesi Nasional (JKGN). Kerangka referensi yang dimaksud merupakan realisasi dari Sistem Referensi Koordinat, yaitu berupa Jaring Kontrol Geodesi dengan nilai koordinat awal yang didefinisikan pada *epoch* 2012, tanggal 1 Januari 2012, yang terikat kepada kerangka referensi global ITRF 2008 atau hasil pemutakhirannya. Jaring Kontrol Geodesi sendiri merupakan sebaran titik kontrol geodesi yang terintegrasi dalam satu kerangka referensi Jaring Kontrol Geodesi yang dimaksud terdiri atas:
- 1). Sebaran stasiun pengamatan geodetik tetap/kontinu
 - 2). Sebaran titik pengamatan geodetik periodik
 - 3). Sebaran titik kontrol geodetik lainnya (www.bakosurtanal.go.id)
- c. Datum geodetik sebagaimana dimaksud menggunakan elipsoida referensi *World Geodetic System* 1984 (WGS84), dimana titik pusat elipsoida referensi berimpit dengan titik pusat massa bumi yang digunakan dalam ITRS. *World Geodetic System* 1984 (WGS84) memiliki nilai parameter seperti ditunjukkan pada **Tabel 2.3** di bawah ini.

Tabel 2. 3 Parameter WGS 84 (www.bakosurtanal.go.id)

No.	Parameter	Notasi	Nilai
1.	Setengah sumbu panjang elipsoida	a	6.378.137,0 meter
2.	Setengah sumbu pendek elipsoida	b	6.356.752,314245 meter
3.	Faktor pengepengan bumi	1/f	298,257223563
4.	Kecepatan sudut nominal rata-rata sumbu rotasi bumi	Ω	$7.292.115 \times 10^{-11}$ radian/detik
5.	Konstanta gaya berat geosentrik (termasuk massa atmosfer bumi)	GM	$3,986004418 \times 10^{14}$ meter ³ /detik ²

- d. Perubahan nilai koordinat terhadap waktu sebagai akibat dari pengaruh pergerakan lempeng tektonik merupakan vektor perubahan nilai koordinat sebagai fungsi waktu dari suatu titik kontrol geodesi yang diakibatkan oleh pengaruh pergerakan lempeng tektonik dan deformasi kerak bumi. Vektor perubahan nilai koordinat sebagai fungsi waktu ditentukan berdasarkan pengamatan geodetik. Dalam hal vektor perubahan nilai koordinat sebagai fungsi waktu tidak dapat ditentukan berdasarkan pengamatan geodetik maka digunakan suatu model deformasi kerak bumi yang diturunkan dari pengamatan geodetik di sekitarnya. Vektor perubahan nilai koordinat sebagai fungsi waktu harus segera diperbarui apabila terjadi pemutakhiran pemodelan ITRS yang menjadi rujukan SRGI 2013 maupun sebab-sebab lainnya. Vektor perubahan nilai koordinat sebagai fungsi waktu yang mutakhir harus dapat diakses oleh seluruh pengguna dengan mudah dan cepat.
- e. Sistem Referensi Geospasial Vertikal yang digunakan adalah geoid. Geoid diturunkan berdasarkan survei gaya berat yang terikat kepada Jaring Kontrol Geodesi (JKG).
- f. Garis pantai nasional yang akurat dan terkini.

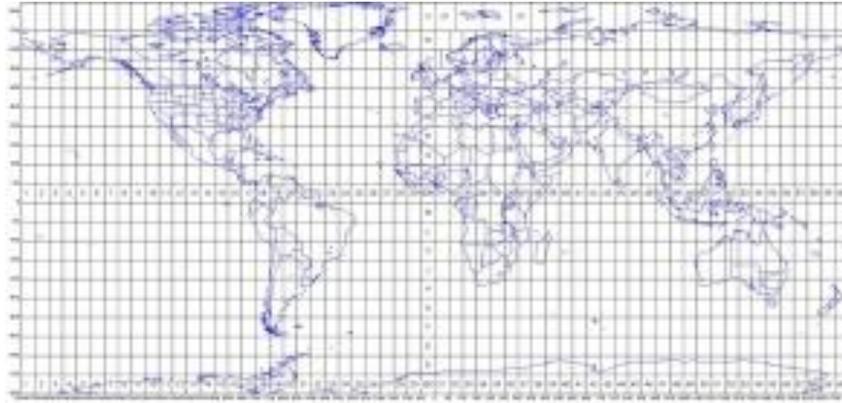
Garis pantai adalah garis pertemuan antara daratan dan lautan yang dipengaruhi oleh pasang surut laut. Garis pantai merupakan informasi dasar yang menjadi pondasi dalam penyediaan informasi geospasial lainnya, antara lain dalam :

- 1). Navigasi/pelayaran.
- 2). Penentuan dan penetapan eksistensi pulau-pulau.
- 3). Perencanaan dan pengawasan pengelolaan lingkungan pantai atau pesisir.
- 4). Kebencanaan yang terjadi di wilayah pantai/pesisir.
- 5). Penentuan dan pengelolaan dalam batas wilayah administratif.
- 6). Perencanaan dan pengambilan keputusan berbasis spasial dalam kaitannya dengan lingkungan hidup di wilayah pantai/pesisir lainnya.

II.11 Sistem Proyeksi

Proyeksi diartikan sebagai metode/cara dalam usaha mendapatkan bentuk ubahan dari dimensi tertentu menjadi bentuk dimensi yang sistematis. Sistem proyeksi adalah sistem perrepresentasian permukaan bumi yang tidak beraturan pada suatu bidang datar dengan metode geometris dan matematis tertentu.

UTM (*Universal Transvers Mercator*) adalah sistem proyeksi silinder melintang yang dikenalkan oleh Mercator dan bersifat Universal. UTM menggunakan silinder yang membungkus elipsoid dengan kedudukan sumbu silindernya tegak lurus sumbu tegak elipsoid (sumbu perputaran bumi) sehingga garis singgung elipsoid dan silinder merupakan garis yang berhimpit dengan garis bujur pada elipsoid. Pada sistem proyeksi UTM didefinisikan posisi horizontal dua dimensi (x,y) menggunakan proyeksi silinder, transversal, dan *conform* yang memotong bumi pada dua meridian standart. Seluruh permukaan bumi dibagi atas 60 bagian yang disebut dengan UTM *zone*. Setiap *zone* dibatasi oleh dua meridian sebesar 6° dan memiliki meridian tengah sendiri. Pembagian zona UTM di dunia dapat dilihat pada **Gambar 2.4**.



Gambar 2.4 Zona UTM Dunia
(www.sadewosamudro.blogspot.com)

Setiap *zone* UTM memiliki sistem koordinat sendiri dengan titik nol pada perpotongan antara meridian sentralnya dengan ekuator. Untuk menghindari koordinat negatif, meridian tengah diberi nilai awal absis (x) 500.000 meter dan bagian selatan ekuator diberi nilai awal ordinat (y) 10.000.000 meter. Sedangkan untuk *zone* yang terletak dibagian utara ekuator, ekuator tetap memiliki nilai ordinat 0 meter.

Untuk wilayah Indonesia terbagi atas sembilan *zone* UTM, dimulai dari meridian 90° BT sampai dengan 144° BT dengan batas paralel (lintang) 11° LS hingga 6° LU. Dengan demikian wilayah Indonesia dimulai dari *zone* 46 (meridian sentral 93° BT) hingga *zone* 54 (meridian sentral 141° BT). Pembagian zona UTM di Indonesia dapat dilihat pada **Gambar 2.5**.

ZONA UTM DI INDONESIA



Gambar 2. 5 Zona UTM di Indonesia
([www. sadewosamudro.blogspot.com](http://www.sadewosamudro.blogspot.com))

II.12 Sistem Koordinat

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 menspesifikasi tiga parameter berikut, yaitu :

- 1). Lokasi titik nol dari sistem koordinat
- 2). Orientasi dari sumbu-sumbu koordinat, dan
- 3). Besaran (*kartesian, curvalinier*) yang digunakan untuk mendefinisikan posisi suatu titik dalam sistem koordinat tersebut.

Setiap parameter dari sistem koordinat tertentu dapat dispesifikasikan lebih lanjut, dan berdasarkan pada spesifikasi parameter yang digunakan maka dikenal beberapa jenis sistem koordinat (*Abidin,2006*), antara lain sebagai berikut.

- 1). Sistem Koordinat Lokal
 - a. Sistem Koordinat Polar
 - b. Sistem Koordinat Kartesian
- 2). Sistem Koordinat Global
 - a. Sistem Koordinat Astronomis (Lintang Astronomis dan Bujur Astronomis) bidang terhadap Geoid
 - b. Sistem Koordinat Geodetik (Lintang geodetik dan Bujur Geodetik) bidang terhadap elipsoid. Sistem koordinat ini mengacu pada permukaan suatu bentuk elipsoida tertentu dan tergantung juga pada

ukuran, bentuk dan orientasi tiga dimensi elipsoida. Dalam sistem koordinat geodetik, model permukaan bumi didekati dengan model elipsoida sebagai model permukaan referensi. Posisi suatu titik pada sistem koordinat geodetik ditentukan oleh lintang geodetik (L), bujur geodetik (B) dan tinggi di atas permukaan elipsoida (h), seperti dijelaskan sebagai berikut :

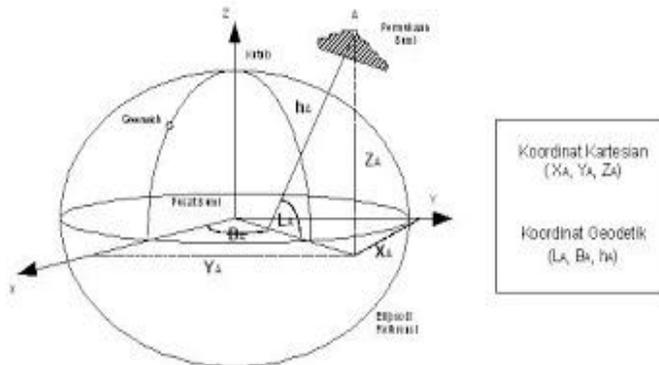
- 1). Lintang geodetik (L) dari suatu titik adalah sudut lancip yang dibentuk oleh normal elipsoida yang melalui titik tersebut dengan bidang ekuator.
- 2). Bujur geodetik (B) adalah sudut yang dibentuk antara meredian lokal dengan meredian referensi, yaitu meredian Greenwich.
- 3). Tinggi suatu titik di atas elipsoida (h) dihitung sepanjang normal elipsoida yang melalui titik tersebut.

c. Sistem Koordinat Kartesian Tiga Dimensi

Sistem koordinat kartesian tiga dimensi terdiri dari tiga sumbu pada arah X, Y, dan Z yang mempunyai ketentuan sebagai berikut.

- 1). Titik pusat sistem koordinat kartesian tiga dimensi terletak pada pusat bumi.
- 2). Sumbu Z adalah garis dalam arah *Conventional Terrestrial Pole* (CTP).
- 3). Sumbu X adalah arah perpotongan meredian Greenwich atau meredian nol CZM (*Conventional Zero Meridian*) yang ditetapkan oleh BIH (*Bureau International de l'Heure*) dan bidang ekuator.
- 4). Sumbu Y adalah garis pada bidang ekuator yang tegak lurus pada sumbu X dan Z dengan mengikuti kaidah tangan kanan.

Untuk geometrik koordinat kartesian dan geodetik dapat dilihat pada **Gambar 2.6**.



Gambar 2. 6 Geometrik Koordinat Kartesian dan Geodetik (Abidin,2006)

II.13 Perangkat Lunak GAMIT/GLOBK

GAMIT/GLOBK adalah sebuah paket *software* komprehensif untuk analisis data GPS yang dikembangkan oleh MIT, *Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics* (CfA) dan *Scripps Institution of Oceanography* (SIO) untuk mengestimasi koordinat dan kecepatan stasiun, representasi fungsional dan *stokastik* dari pasca kejadian deformasi, *delay* atmosfer, orbit satelit dan parameter orientasi bumi. GAMIT adalah singkatan dari *GPS Analysis Software of Massachusetts Institute of Technology and Scripps Institution of Oceanography*, sedangkan GLOBK adalah singkatan dari *Global Kalman Filter. Software* ini didesain untuk *running* di Sistem Operasi berbasis UNIX, dan telah diimplementasikan jauh pada versi LINUX, Mac-OS-X, HP-UX, Solaris, IBM/RISC dan DEC. Untuk mengontrol proses dari *Software* memakai C-Shell *scripts* (disimpan di */com* dan sebagian besar *scriptnya* dimulai dengan *sh_*) yang mana melibatkan bahasa Fortran atau C untuk proses *compile* di direktori */libraries*, */GAMIT* dan */kf*. Jumlah stasiun maksimal dan pemberian parameter atmosfer ditentukan oleh kumpulan dimensi saat waktu *compile* dan dapat menyesuaikan persyaratan serta kemampuan perhitungan analisis.

Menurut Bahlefi (2013), GAMIT (*GPS Analysis Software of Massachusetts Institute of Technology and Scripps Institution of Oceanography*) adalah sebuah paket perangkat lunak ilmiah yang digunakan untuk pengolahan data pengamatan GPS yang dikembangkan oleh MIT (*Massachusetts Institute of Technology*) dan SIO

(*Scripps Institution of Oceanography*). Perangkat lunak ini dapat menghasilkan posisi relatif tiga dimensi dari pengamat dengan ketelitian tinggi. GAMIT merupakan program yang memasukkan algoritma hitung kuadrat terkecil dengan parameter berbobot untuk mengestimasi posisi relatif dari sekumpulan stasiun, parameter orbit dan rotasi bumi, *zenith delay* dan ambiguitas fase melalui pengamatan *double difference*. GAMIT ini bisa *running* dengan masukan data *RINEX*, *BRDC*, *IGS*, dan *Tables*. Kelebihan dari *software* ini adalah bisa memasukkan data koreksi atmosfer, pasang surut laut, dan pemodelan cuaca. Pembobotan stasiun pengamatan, informasi stasiun, koordinat pendekatan, edit sesi pengamatan bisa dimasukkan dalam pengolahan data dengan *software* ilmiah ini. Hasil keluaran dari *Software* GAMIT berupa estimasi dan matrik kovarian dari posisi stasiun dan parameter orbit dan rotasi bumi yang kemudian dimasukkan pada GLOBK.

GLOBK adalah satu paket program yang dapat mengkombinasikan data survei terestris ataupun data survei ekstra terestris. Kunci dari data input pada GLOBK adalah matriks kovarian dari koordinat stasiun, parameter rotasi bumi, parameter orbit dan koordinat hasil pengamatan lapangan. GLOBK sendiri merupakan kalman filter yang tujuan utamanya untuk mengkombinasikan solusi dari data yang telah diproses di GAMIT dengan pengamatan *space geodesy*, sehingga didapat estimasi posisi dan kecepatannya.