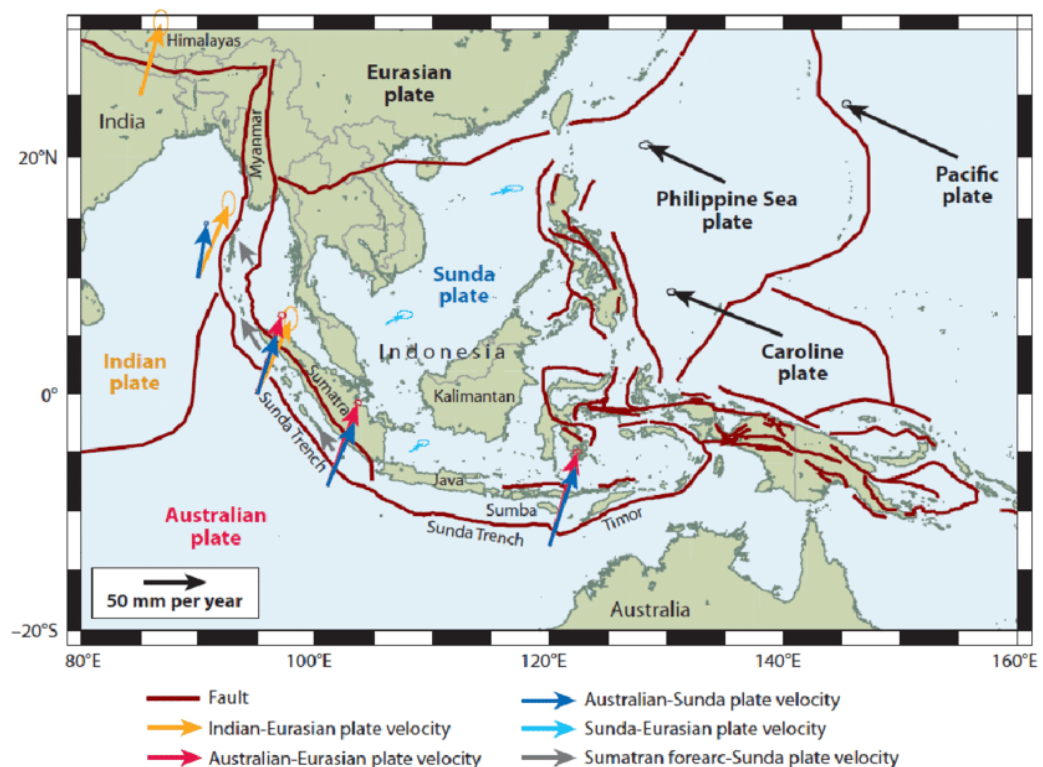


BAB 2

DASAR TEORI

2.1. Tektonik Lempeng

Indonesia merupakan negara yang memiliki aktifitas vulkanik dan tektonik yang tinggi. Aktivitas vulkanik dan tektonik ini disebabkan oleh posisi dari gugusan kepulauan Indonesia yang berada di daerah pertemuan antar lempeng tektonik. Ada tiga lempeng tektonik yang bertemu di bawah wilayah Indonesia yaitu lempeng Australia, lempeng samudera Pasifik, dan lempeng Sunda. Lempeng Tektonik adalah teori yang didukung oleh berbagai bukti yang menganggap kerak bumi dan mantel atas terdiri dari beberapa lempeng besar, tipis, dan relatif kaku yang bergerak relatif satu sama lain (USGS, 2019). Ilustrasi lempeng di Indonesia dapat dilihat pada Gambar 2.1.

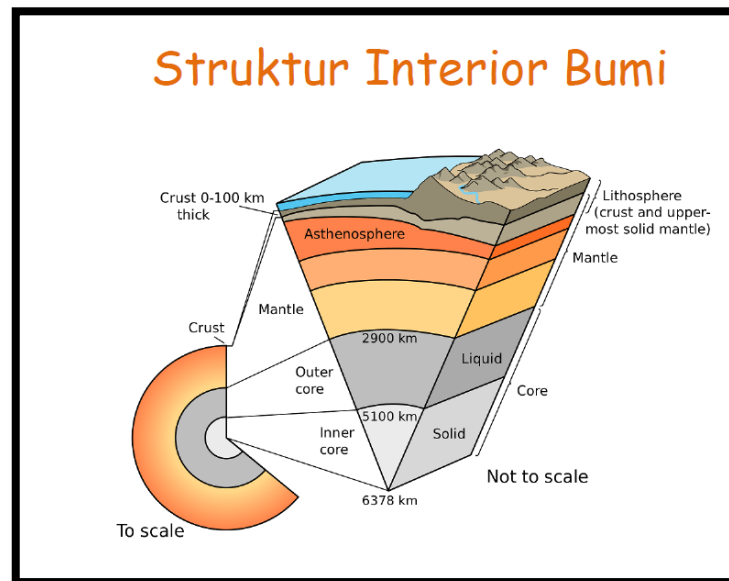


Gambar 2.1 Peta Lempeng Tektonik

(Sumber: McCaffrey, 2009)

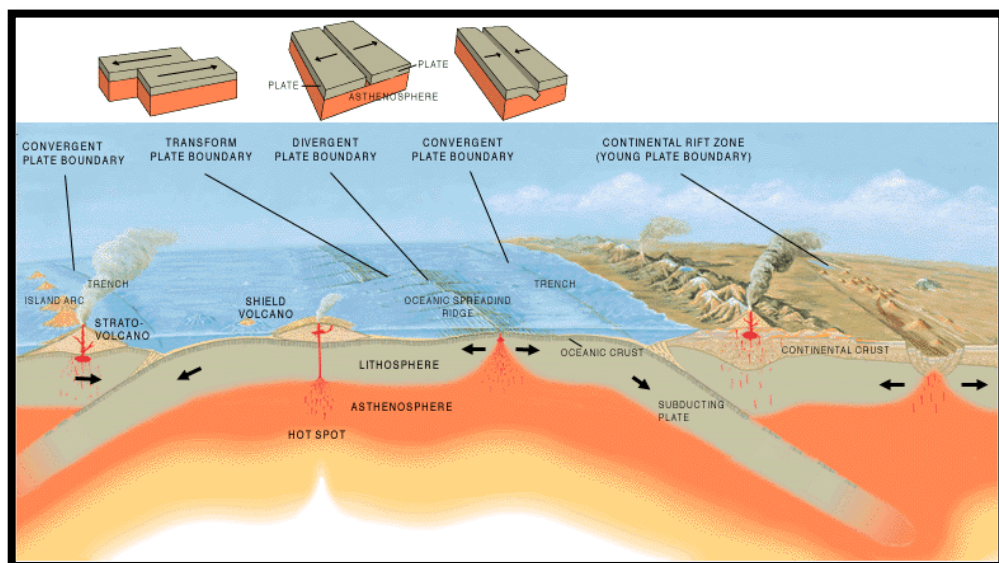
Tepat di bawah litosfer (*lithosphere*) terdapat lapisan batuan cair yang dinamakan astenosfer (*asthenosphere*). Lapisan astenosfer memiliki suhu yang

sangat tinggi, sehingga lapisan litosfer mengambang dan bergerak relatif seperti cairan (*fluid*). Ilustrasi tersebut dapat dijelaskan melalui Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Struktur Internal Bumi

(Sumber: USGS, 2019)



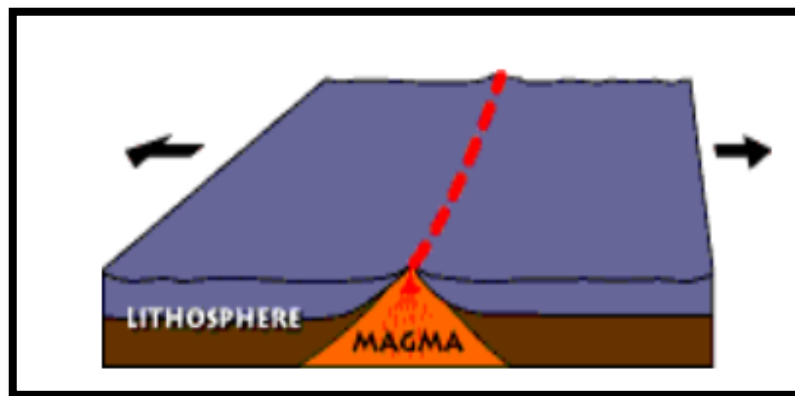
Gambar 2.3 Zona Batas Lempeng Tektonik.

(Sumber: Vigil, 1997)

Lempeng benua dan lempeng samudera yang terbentuk di lapisan atas bumi terus mengalami pergerakan hingga membentuk suatu zona batas antar lempeng dan sistem sesar. Zona batas antar lempeng dibagi menjadi tiga macam, yaitu zona batas *divergent*, zona batas *convergent*, dan zona batas *transform*. Zona batas *divergent* merupakan zona batas pertemuan antara dua lempeng tektonik

dengan pergerakan saling menjauhi. Zona batas *convergent* merupakan zona batas pertemuan antara dua lempeng tektonik dengan pergerakan saling bertumbukan. Tumbukan antar lempeng ini bisa terjadi antara lempeng benua dengan lempeng benua, lempeng benua dengan lempeng samudera, dan lempeng samudera dengan lempeng samudera. Sedangkan zona batas *transform* merupakan zona batas pertemuan lempeng tektonik yang bergerak saling berpapasan. Ilustrasi dijelaskan melalui Gambar 2.3.

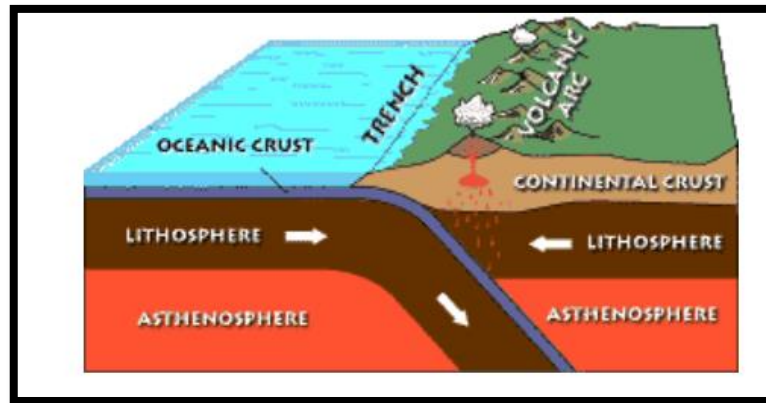
Gambar 2.4. merupakan zona batas pertemuan antara kedua lempeng yang termasuk kedalam zona batas *divergent*. Hal ini ditunjukkan dengan adanya arah pergeseran kedua lempeng tektonik yang saling menjauhi. Gerakan lempeng ini terjadi pada dua lempeng tektonik yang bergerak saling berpisah (*break apart*). Ketika sebuah lempeng tektonik pecah, lapisan litosfer menipis dan terbelah, membentuk batas *divergent*.



Gambar 2.4 Zona batas *divergent*

(Sumber: USGS, 2017)

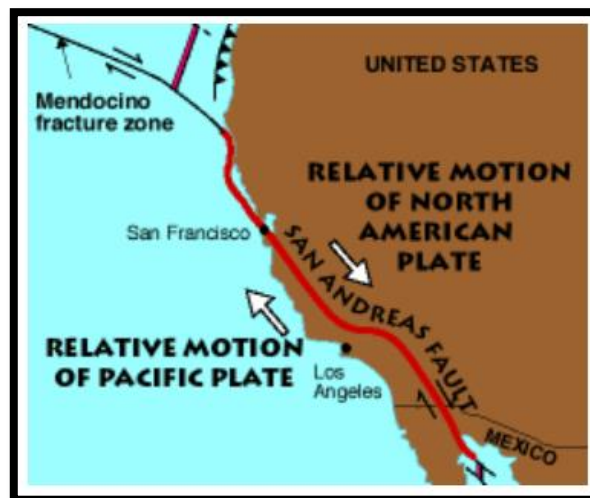
Gambar 2.5. memberikan gambaran zona *convergent* yang dibentuk oleh lempeng samudera dan lempeng benua. Karena lempeng samudera memiliki rapat massa yang lebih besar dari pada lempeng benua, maka lempeng samudera menyusup ke bawah. Pergerakan tersebut mengindikasikan adanya akumulasi energi hingga pada suatu saat dapat dilepaskan secara tiba-tiba. Pelepasan energi secara tiba-tiba ini menimbulkan gempa tektonik. Oleh karena itu, zona batas *convergent* berpotensi dapat menimbulkan gempa tektonik. Selain itu, zona batas *convergent* biasanya juga diikuti dengan terbentuknya gunung api di sekitar zona tersebut.



Gambar 2.5 Zona batas *convergent*.

(Sumber: USGS, 2017)

Gerakan lempeng ini terjadi bila dua lempeng tektonik yang saling bergerak satu sama lain (*slide each other*), atau bergerak sejajar namun berlawanan arah. Keduanya tidak saling memberai maupun saling menumpu. Batas transform ini juga dikenal sebagai sesar perubahan bentuk (*transform fault*). Ilustrasi dijelaskan melalui Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Zona batas *transform*.

(Sumber: USGS, 2017)

2.2. Zona Subduksi Lempeng Tektonik Pulau Jawa

Sistem subduksi Jawa dibentuk oleh subduksi lempeng samudra di bawah lempeng benua. Zona subduksi Jawa memiliki frekuensi dan magnitudo kegempaan yang secara signifikan lebih rendah dibandingkan dengan Sumatera. Meskipun demikian, terdapat gempa besar juga yang pernah terjadi di lepas pantai selatan Jawa, terutama di sepanjang jalur *Java megathrust* (Newcomb dan

McCann, 1987). Dari sekian banyak gempa yang terjadi di subduksi Jawa, tidak ada yang mencapai magnitudo 8. Gempa besar yang terjadi di pulau Jawa itu terjadi pada tahun 1994 di Banyuwangi, Jawa Timur dan pada tahun 2006 di Ciamis, Jawa barat.

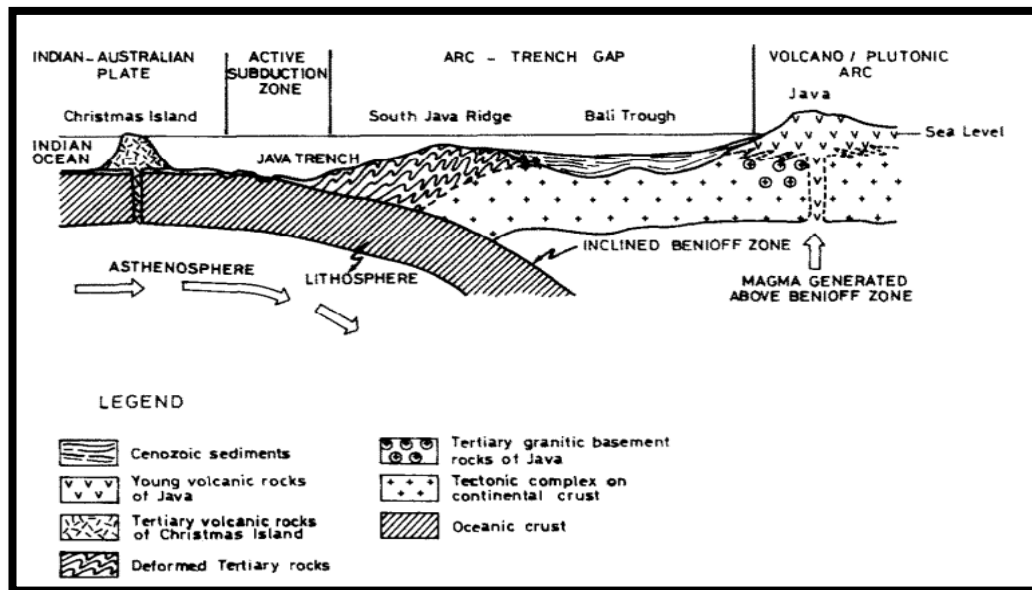
Diperkirakan pergerakan relatif lempeng di zona subduksi Jawa diakomodasi terutama oleh pergerakan *aseismic*, tanpa adanya penumpukan energi. Hipotesis ini didukung oleh fakta, bahwa umur lempeng yang menunjam di bawah Jawa relatif lebih tua (120-130 Ma) sehingga menjadi lebih dingin dan berat. Sebagai akibatnya, sudut penunjaman menjadi lebih besar sehingga lempeng samudera yang menunjam tidak bersinggungan secara kuat dengan lempeng Eurasia di atasnya (Abercrombie dkk., 2001). Meskipun demikian, kejadian gempa besar pada tahun 1994 dan 2006 menunjukkan bahwa zona subduksi Jawa tidak sepenuhnya *aseismic* dan masih menyimpan potensi kegempaan. Adanya periode seismisitas yang lama bisa jadi mengindikasikan adanya *locked patches* yang terisolasi di daerah batas lempeng. *Locked patches* yang terisolasi ini ketika akhirnya lepas akan menghasilkan gempa bermagnitudo besar. Keberadaan *locked patches* ini bisa jadi disebabkan adanya subduksi *seamount* (Abercrombie dkk., 2001).

Menurut Kanamori (2008) secara umum pada zona subduksi tempat lempeng yang menunjam memiliki permukaan yang kasar dan tua, daerah *locked zone* bisa berada dalam zona yang sempit di daerah dekat *trench* di batas deformasi paling depan dari sistem subduksi. Gempa subduksi tahun 1994 dan 2006 terjadi di daerah yang sempit (beberapa puluh kilometer dari palung) sehingga besar kemungkinan bahwa gempa ini terjadi karena adanya *isolated locked-zone* di batas subduksi Jawa. Besar kemungkinan bahaya potensi kegempaan zona subduksi di Jawa mengikuti pola ini, yaitu gempa yang akan datang kemungkinan terjadi di daerah yang terdapat adanya *seismic-gap* (zona dengan seismisitas rendah) di sepanjang zona *seismic* sempit. Untuk segmen-segmen zona *megathrust* Jawa di sajikan dalam Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Zona *Megathrust* Jawa

Index	Structure Name	Segment	Dip	L (km)
M8	<i>Java Megathrust</i>	Jawa Barat (JB)	USGS Slab 1.0 Model	280
M9	<i>Java Megathrust</i>	Jawa Tengah (JT)		280
M10	<i>Java Megathrust</i>	Jawa Timur (JTM)		280
M6-7	<i>Java Megathrust</i>	Enggano-SS		540
M6-7-8	<i>Java Megathrust</i>	Enggano-SS-JB		820
M8-9-10	<i>Java Megathrust</i>	JT-JTM		560
M6-7-8-9-10	<i>Java Megathrust</i>	SS-JB-JT-JTM		1130
M11	<i>Java Megathrust</i>	Bali		460
M12	<i>Java Megathrust</i>	NTB		430
M13	<i>Java Megathrust</i>	NTT		540

(Sumber: Tim Pusat Studi Gempa Nasional, 2017)



Gambar 2.7 Bagian skematis subduksi di Jawa

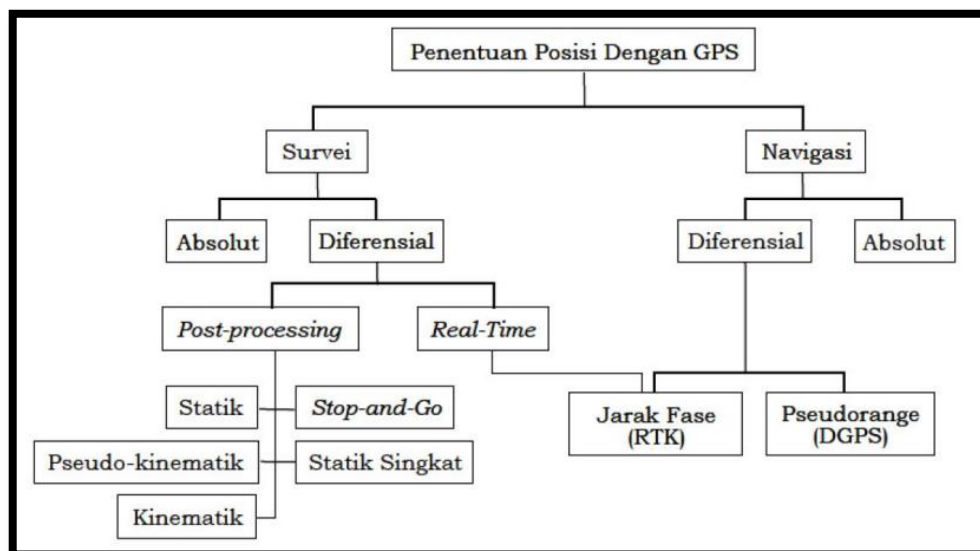
(Sumber: Katili, 1975)

2.3 Penentuan Posisi Menggunakan GPS

Global Positioning System (GPS) 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 waktu, secara kontinyu di seluruh dunia tanpa bergantung waktu dan cuaca, kepada banyak orang secara simultan. Pada saat ini, sistem GPS sudah banyak diaplikasikan, terutama yang terkait dengan aplikasi-aplikasi yang menuntut informasi tentang posisi. Dibandingkan dengan sistem dan metode penentuan posisi lainnya, GPS mempunyai banyak kelebihan dan menawarkan lebih banyak keuntungan, baik dalam segi operasionalisasinya maupun kualitas posisi yang diberikan (Abidin, 2007).

Metode Pengamatan *Global Positioning System* (GPS) adalah hal yang penting dalam tercapainya kesuksesan pengamatan GPS. Pemilihan metode pengamatan GPS yang tepat dapat menentukan kelancaran pelaksanaan pengolahan data GPS. Metode yang umum digunakan dalam survei GPS adalah metode survei statik. Selain metode survei statik, metode lain yang dapat digunakan adalah metode statik singkat, *stop and go*, dan *pseudo* kinematik. Penggunaan metode pengamatan GPS ini tergantung dengan peruntukan dari survei dan tingkat ketelitian koordinat yang diinginkan (Kurniawan, 2013).

Selain itu penentuan posisi berbasis satelit ini dapat dilakukan dengan berbagai metode tergantung pada mekanisme pengaplikasiannya. Secara umum metode penentuan posisi menggunakan GPS diklasifikasikan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8 Penentuan Posisi Dengan GPS

(Sumber: Langley, 1998)

2.3.1. Pengamatan GPS Secara Diferensial Statik

Metode penentuan posisi dibedakan menjadi metode absolut dan metode diferensial. Metode absolut menggunakan satu *receiver* pada suatu pengamatan, hal ini dikarenakan metode ini dapat dilakukan per titik tanpa tergantung pada metode lainnya. Sehingga metode ini pun disebut sebagai metode *point positioning*. Sedangkan metode diferensial sering dinamakan sebagai metode penentuan posisi relatif dengan mengurangi data yang diamati oleh dua *receiver* pada waktu yang bersamaan, maka beberapa jenis kesalahan dan bias dari data dapat dieliminasi atau direduksi. Hal ini digunakan untuk meningkatkan akurasi dan presisi data, dan selanjutnya akan meningkatkan tingkat akurasi dan presisi posisi yang diperoleh (Abidin, 2007).

Penentuan posisi secara statik adalah penentuan posisi dari titik-titik yang diam. Penentuan posisi tersebut dapat dilakukan secara absolut maupun diferensial, dengan menggunakan *pseudorange* atau fase. Ketelitian posisi yang diperoleh dapat mencapai centimeter hingga milimeter. Salah satu implementasi penggunaan metode ini untuk pemantauan fenomena deformasi dan geodinamika.

Penentuan posisi relatif adalah penentuan posisi suatu titik yang ditentukan relatif terhadap titik lainnya yang telah diketahui koordinatnya. Pengukuran dengan metode ini minimal membutuhkan dua *receiver* GPS atau lebih, karena pada metode ini dilakukan proses *differencing* data GPS pada waktu bersamaan. Pengukuran antar dua titik pengamatan menghasilkan suatu jarak yang dikenal sebagai jarak basis (*baseline*).

2.3.2. Pengolahan Data GPS Secara Diferensial

Data pengamatan GPS tidak lepas dari adanya kesalahan. Kesalahan dan bias yang sering terjadi pada pengukuran adalah kesalahan karena efek *ionosphere*, *troposphere*, kesalahan jam satelit, kesalahan jam receiver, kesalahan ambiguitas fase, kesalahan *cycle slip*, dan kesalahan efek *multipath*. Kesalahan ini dapat dihilangkan atau direduksi dengan teknik pengolahan diferensial. Dalam pengolahan data GPS dikenal tiga teknik *differencing*, yaitu *single differencing*, *double differencing*, dan *triple differencing* (Abidin, 2007).

Differencing data ini menggunakan data pengamatan *double-difference* (DD). Teknik diferensial ini dilakukan dengan menggunakan empat data pengamatan *one-way* atau dua data pengamatan *single difference* menjadi satu hasil pengamatan *double difference*. Teknik ini dapat dilakukan pada pengukuran antara pengamat-satelit, pengamat-kala, dan satelit-kala, formula secara umum berikut ini (Abidin, 2007):

$$P_i = \rho + d\rho + dtrop + dion_i + (dt - dT) + MP + \theta P_i \quad \dots(2.1)$$

$$L_i = \rho + d\rho + dtrop - dion_i + (dt - dT) + MC_i - \lambda_i \cdot N_i + \theta C_i \quad \dots(2.2)$$

Di mana :

$$\begin{aligned} P_i &= c \cdot \Delta t_i \\ &= \text{pseudorange pada frekuensi } f_i(\text{m}), (i=1,2), \\ L_i &= \lambda_i \cdot \phi_i \\ &= \text{jarak fase (carrier range) pada frekuensi } f_i(\text{m}), (i=1,2), \\ c &= \text{kecepatan cahaya dalam vakum (m/s),} \\ \rho &= \text{jarak geometris antara stasiun pengamat dengan satelit (m),} \\ \lambda &= \text{panjang gelombang dari sinyal (m)} \\ &= c / f \text{ (f adalah frekuensi),} \end{aligned}$$

$d\rho$ = kesalahan jarak yang disebabkan oleh kesalahan ephemeris (orbit),
 $d\text{trop}$ = bias yang disebabkan oleh refraksi troposfer (m),
 $d\text{ion}_i$ = bias yang disebabkan oleh refraksi ionosfer (m), pada frekuensi f_i ,
 $d\text{t}, d\text{T}$ = kesalahan dan *offset* dari jam *receiver* dan jam satelit (m),
 $N1, N2$ = ambiguitas fase dari fase sinyal-sinyal L1 dan L2 (dalam jumlah gelombang), dan
 $\delta\rho_{ij}^{kl}, \delta c_{ij}^{kl} = \text{noise}$ pada hasil pengamatan P_i dan L_i (m).

Tujuan dari penentuan posisi relatif adalah untuk menentukan koordinat sebuah titik yang belum diketahui dari beberapa titik yang sudah diketahui koordinatnya. Pengaplikasian metode diferensial statik kebanyakan pada pembuatan jaringan atau kerangka pemetaan (Abidin, 2007).

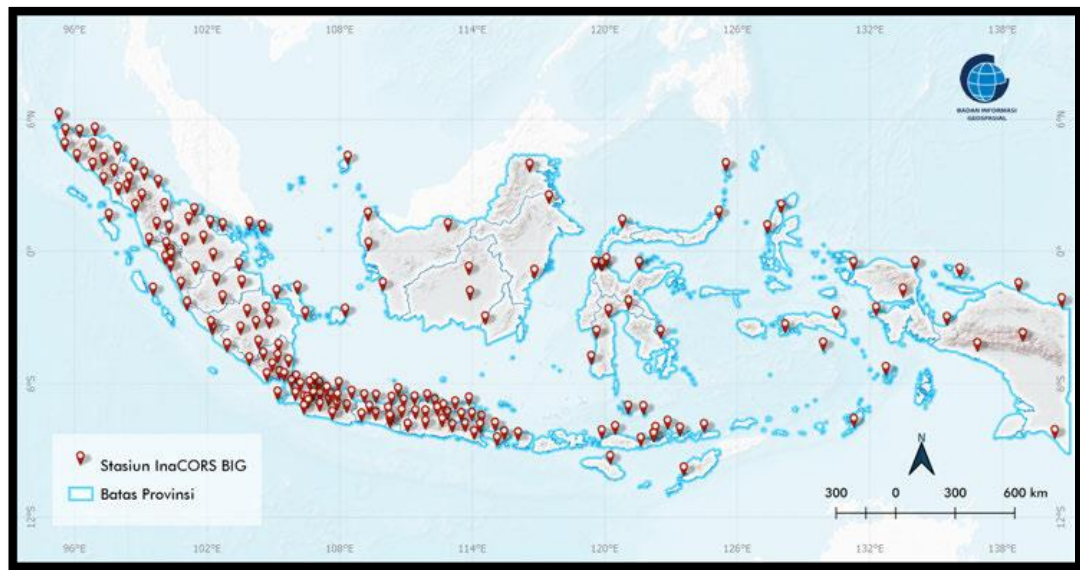
2.4 InaCORS

InaCORS adalah *Indonesian Continuously Operating Reference Station* (CORS) yang dikelola oleh Badan Informasi Geospasial sebagai stasiun pengamatan geodetik tetap/kontinu. Berkembangnya CORS di Indonesia tidak lepas dari usaha Badan Informasi Geospasial (dahulu bernama Badan Koordinasi Survei dan Pemetaan Nasional atau BAKOSURTANAL) untuk mendefinisikan dan memelihara referensi geospasial yang menjadi acuan dalam kegiatan survei, pemetaan, serta penyelenggaraan informasi geospasial lainnya. Penentuan datum geodetik atau referensi geospasial pertama kali dilakukan dengan metode jaring utama triangulasi menggunakan alat optik pada tahun 1862 yang menghasilkan beberapa sistem datum yang tidak dapat disatukan dan memiliki ketelitian yang berbeda-beda. Pada tahun 1970-an, pendefinisian datum geodetik berkembang dengan memanfaatkan teknologi TRANSIT *Navy Navigation Satellite System* atau lebih dikenal dengan satelit Doppler untuk mengukur sejumlah Jaring Kontrol Geodesi (JKG). Pemanfaatan satelit Doppler menghasilkan koordinat JKG dalam satu sistem datum Indonesian Datum 1974 (ID74) yang mampu memenuhi kebutuhan pemetaan rupabumi skala 1:50.000 meskipun belum homogen dalam hal ketelitian. Untuk menjaga tingkat akurasi dan presisi dari kerangka dasar geodetik di seluruh wilayah Indonesia, maka digunakan teknologi *Global Positioning System* (GPS) dalam pengukuran Jaring Kontrol Geodesi (JKG) untuk mendefinisikan datum baru bernama Datum Geodetik Nasional 1995 (DGN95)

yang menggantikan ID74. Pengamatan JKG secara periodik kemudian berkembang menjadi pengamatan secara terus menerus di beberapa titik sehingga terdapat stasiun pengamatan geodetik tetap/kontinu atau dikenal sebagai stasiun InaCORS.

Stasiun InaCORS dimulai pada tahun 1996 dengan dibangunnya tiga CORS di Cibinong (BAKO), Sampali (SAMP), dan Parepare (PARE). Selain membantu pemeliharaan referensi pemetaan di Indonesia, CORS juga membantu berbagai kegiatan ilmiah maupun praktis di lapangan seperti survei geodinamika dan deformasi, studi ionosfer dan meteorologi, dan juga survei dan pemetaan berbasis *real time*. Kejadian tsunami Aceh pada tahun 2004 ikut mendorong CORS di Indonesia berkembang pesat melalui pembangunan *Indonesian Tsunami Early Warning System* (InaTEWS). Jaringan CORS diperluas sehingga pada tahun 2007 terdapat 16 stasiun CORS yang dikelola BIG. Pada tahun 2010 jaringan CORS yang dikelola BIG menjadi 106 stasiun yang terdiri atas 94 stasiun dibangun BIG secara mandiri dan 12 stasiun dibangun melalui kerjasama dengan pihak lain.

Dengan semakin bertambahnya CORS di Indonesia, maka penentuan referensi geospasial menjadi semakin presisi, terintegrasi dengan sistem referensi global, serta mampu memberikan ketelitian yang memadai untuk memantau pergerakan lempeng tektonik dan deformasi kerak bumi yang berpengaruh terhadap nilai-nilai koordinat. Untuk mengakomodasi adanya perubahan nilai koordinat terhadap waktu karena adanya pergerakan lempeng tektonik dan deformasi kerak bumi, maka pada tahun 2013 BIG meresmikan datum baru yaitu Sistem Referensi Geospasial Indonesia 2013 (SRGI2013) yang bersifat semi dinamik yang menggantikan DGN95. Sampai dengan pertengahan tahun 2018, datum SRGI2013 didukung oleh 7.153 titik JKG yang diukur secara periodik serta 137 stasiun CORS yang tersebar di seluruh Indonesia, yang kemudian bertambah menjadi 187 stasiun pada akhir tahun 2018 (BIG, 2018)



Gambar 2.9 Peta Sebaran InaCORS BIG Tahun 2017

(Sumber: BIG, 2018)

2.5 *International GNSS Service (IGS)*

IGS didirikan oleh *International Association of Geodesy* (IAG) pada tahun 1993 dan beroperasi secara resmi dimulai tahun 1994. IGS beranggotakan organisasi dan badan multinasional yang menyediakan data GNSS, informasi orbit GNSS, serta data dan informasi pendukung penelitian geodetik dan geofisika lainnya. Disamping itu, IGS juga turut membangun spesifikasi dan standar nasional yang berkaitan dengan data dan informasi GNSS (IGS, 2004).

IGS mengumpulkan, mengarsipkan, dan mendistribusikan perangkat data observasi GPS dengan akurasi yang cukup untuk memenuhi tujuan dari berbagai aplikasi dan eksperimen. Secara khusus, keakuratan produk IGS cukup untuk peningkatan dan perluasan *International Terrestrial Reference Frame* (ITRF), pemantauan deformasi Bumi, pemantauan rotasi Bumi dan variasi cairan di Bumi (permukaan laut, lapisan es, dll.), untuk penentuan orbit satelit ilmiah, pemantauan ionosfer, dan pemulihan pengukuran uap air yang tak terukur (IGS, 2004).

Untuk mencapai misinya, saat ini terdapat lebih dari 350 stasiun GNSS dual frekuensi yang beroperasi secara terus-menerus. Saat ini sebaran IGS yang rapat berada di wilayah Eropa. Sedangkan di Indonesia sendiri hanya terdapat beberapa buah stasiun IGS yang beroperasi. Stasiun tersebut yang pertama adalah dengan

kode BAKO milik BAKOSURTANAL yang berada di Cibinong, Jawa Barat. Lalu stasiun dengan kode BNOA di Benoa, Bali. Lalu stasiun dengan BTNG di Bitung, Sulawesi Utara. Juga stasiun dengan dengan kode JOG2 yang terletak di Yogyakarta. Sebaran titik IGS di dunia dapat diilustrasikan pada Gambar 2.10.



Gambar 2.10 Sebaran Titik IGS

(Sumber : <http://www.igs.org/network>)

Data IGS merupakan salah satu komponen kunci penghubung ke ITRF sebagai kerangka realisasi sistem koordinat referensi global. Kerangka ITRF terdiri dari sekitar 300 titik di permukaan bumi yang memiliki koordinat dengan ketelitian sekitar 1-3 cm serta kecepatan dengan ketelitian sekitar 2-8 mm per tahun (Abidin, 2001).

2.6 GAMIT/GLOBK 10.7

Perangkat lunak GAMIT/GLOBK terdiri atas dua perangkat yaitu perangkat lunak GAMIT dan perangkat lunak GLOBK. GAMIT merupakan perangkat lunak ilmiah *fully automatic processing* untuk menganalisis data GPS yang komprehensif dan dikembangkan oleh *Massachusetts Institute of Technology*. Perangkat lunak ini dapat digunakan untuk melakukan perhitungan posisi tiga dimensi dan orbit satelit. Perkembangan IGS memungkinkan adanya perkembangan pengolahan data GPS secara otomatis. Dalam proses perhitungan posisi tiga dimensi, GAMIT melibatkan data pengamatan stasiun-stasiun kontinyu di seluruh dunia termasuk IGS. Perataan jaring menggunakan perangkat lunak

GAMIT menggunakan teknik *double difference*. Perhitungan dilakukan dengan menggunakan prinsip hitung kuadrat terkecil parameter (Herring, 2006).

2.6.1. GAMIT

GAMIT merupakan paket analisis data GNSS yang dikembangkan oleh MIT, *Harvard-Smithsonian Centre for Astrophysics, Scripps Institution of Oceanography and Australian National University*. GAMIT salah satunya berfungsi untuk melakukan estimasi koordinat stasiun serta kecepatannya serta melakukan representasi dari deformasi setelah aktifitas seismik. GAMIT dioperasikan menggunakan sistem operasi Linux dimana versi terakhir yang diluncurkan adalah versi 10.7 (Herring, 2017). Berikut adalah penjelasan dari beberapa istilah dalam perangkat lunak GAMIT :

1. Folder *Brdc*

Pada folder *brdc* dimasukkan *file* navigasi sesuai dengan *doy* stasiun pengamatan. *File* ini memiliki format `<doy>0.<yy>n`. Perintah yang digunakan adalah sebagai berikut :

```
sh_get_nav -archive <archive> -yr <yyyy> -doy <doy> -ndays <num> -allnav
```

Dimana :

Archive : alamat situs yang dituju misal *sopac* atau *cddis*

yyyy : tahun data diambil

doy : adalah *day of year* data diambil

num : jumlah hari

2. Folder IGS

Folder *igs* berisi data *precise ephemeris* yang berformat `<www><x>.sp3`.

Perintah yang digunakan adalah :

```
sh_get_orbits -orbit <orbit> -yr <yyyy> -doy <doy> -ndays <num> -makeg no
```

Dimana :

www : *week*

x : *day of week*

3. Folder Rinex

Folder Rinex ini berisi data observasi stasiun pengamatan, *file* ini memiliki format <sss><ddd>0.<yy>o. Proses pengisian data RINEX pada masing-masing folder dilakukan berdasarkan pembagian data pada struktur organisasi data yang telah ditentukan. Proses pengunduhan data pengamatan dilakukan dengan perintah :

```
sh_get_rinex -archive <archive> -yr <yyyy> -doy <doy> -ndays <num>
-sites <sites>
```

Dimana :

sss : nama stasiun

ddd : *day of year*

4. Folder *Tables*

Folder *tables* ini berisi *file* sebagai pengaturan pada saat proses pengolahan. Sehingga perlu dibuat *file* ini yang dapat diperoleh secara otomatis dengan mengetikkan perintah berikut:

```
sh_setup -yr <yyyy>
```

Pengolahan data pengamatan stasiun dilakukan dengan menggunakan GAMIT. Sebelum melakukan pengolahan data dilakukan *editing* data terlebih dahulu pada beberapa *file* yang berada pada *folder /tables* yaitu *lfile.*, *station.info*, *process.default*, *sites.default*, *sittbl.*, dan *sestbl*. Dengan penjelasan sebagai berikut :

1. *L-file*

Berkas ini berisi koordinat apriori dari titik pengamatan dan stasiun IGS yang diperoleh dari *file* RINEX masing-masing titik. Koordinat apriori digunakan sebagai koordinat pendekatan pada saat dilakukan perataan pada saat pengolahan.

2. *Process.default*

Pada proses *editing process.default* yang perlu diperhatikan adalah *sampling rate* dan ITRF yang digunakan.

3. *Sestbl.*

Proses *editing file sestbl.* dilakukan dengan mengedit DMap = GMF, menjadi VMF1 , QMap = GMF menjadi VMF1, use map.grid = Y use atml.grid = Y, dan use atl.grid = Y.

4. *Sittbl.*

Proses *editing file sittbl.* bertujuan untuk memberikan konstrain pada stasiun pengamatan dan stasiun IGS. Stasiun pengamatan diberikan nilai konstrain yang besar dan stasiun IGS diberikan konstrain yang kecil. Pemberian nilai konstrain yang besar pada stasiun pengamatan mengakibatkan bobot menjadi kecil sehingga perubahan nilai koordinat besar. Sedangkan pemberian nilai konstrain yang kecil pada stasiun IGS mengakibatkan bobot stasiun IGS menjadi besar sehingga perubahan koordinatnya menjadi kecil (Panuntun, 2012).

5. *Site.default*

Editing file sites.default digunakan untuk memilih stasiun pengamat yang digunakan dalam proses pengolahan GAMIT. Pada *editing file* ini menggunakan opsi *localrx* yang artinya mencari data RINEX berdasarkan nama stasiun yang digunakan, dan opsi *xstinfo* artinya pengolahan yang dilakukan tidak memperbarui *file station.info*.

6. *Station.info*

Berkas ini berisi tentang informasi mengenai pengukuran yang dilakukan meliputi : awal pengamatan, akhir pengamatan, tinggi alat, jenis *receiver*, jenis antenna. Informasi-informasi tersebut diperoleh dari *file* RINEX titik pengamatan dan stasiun titik ikat. Berkas *default* akan berisi mengenai kondisi stasiun pengamatan pada saat pengukuran sesuai dengan *file* RINEX *.YYo. dan titik ikat yang akan dilakukan pengolahan. Berkas ini dapat diisi secara manual dengan mengikuti format penulisan yang ada atau diisi secara mengisi *script* pada terminal.

Penjelasan pengolahan GAMIT ini dijalankan di bawah direktori kerja pada terminal dengan mengisi *script* perintah kerja berikut ini:

sh_gamit -s <yyyy> <d1> <d2> -orbit <orbt> -expt <expt> -nogifs -noftp

Dimana:

yyyy : Tahun pengamatan

d1 : doy awal pengamatan

d2 : doy akhir pengamatan

orbit : nama orbit 4 karakter untuk nama file g-,j-,t-.

expt : nama direktori kerja tempat pengolahan dilaksanakan

Hasil pengolahan GAMIT yang diperlukan dalam penelitian ini adalah *h-file* dan *q-file*. Dimana, kedua *file* tersebut merupakan hasil dari proses pengolahan GAMIT. *H-file* yang berisi hasil pengolahan dengan *Lossy Constraint Solutions* yang berupa parameter-parameter yang digunakan, serta matriks variansi kovariansi untuk pengolahan lanjutan dengan GLOBK (*Global Kalman Filter VLBI and GPS Analysis Program*) dan *q-file* yang berisi semua solusi dari hasil pengolahan GAMIT.

Untuk mengevaluasi hasil pengolahan GAMIT dapat dilakukan dengan menganalisis nilai *fract* dan *postfit nrms* sebagai *output* dari pengolahan GAMIT. Nilai *postfit nrms* dihitung dengan persamaan 2.3 dan 2.4 (Herring, dkk., 2006).

$$\text{Postfit nrms} = \sqrt{\frac{\sum x^2}{(n-u)}} \quad \dots(2.3)$$

$$x^2 = \frac{\partial^2}{\sigma^2} \quad \dots(2.4)$$

dalam hal ini,

∂^2 : varian aposteriori untuk unit bobot

σ^2 : varian apriori untuk unit bobot

n : jumlah ukuran

u : ukuran minimum

Postfit nrms merupakan perbandingan nilai variansi aposteriori dan variansi apriori untuk unit bobot. Standar kualitas *postfit nrms* adalah $\pm 0,25$. Apabila nilai *postfit nrms* lebih besar dari 0,25 maka mengindikasikan masih terdapat efek *cycle slip* yang belum dihilangkan berkaitan dengan parameter bias ekstra atau terdapat kesalahan dalam pemodelan (Herring, dkk., 2006).

Nilai *fract* merupakan perbandingan antara nilai *adjust* dan nilai formal. Nilai *fract* digunakan untuk menganalisis apakah terdapat nilai *adjust* yang janggal dan perlu tidaknya iterasi untuk mendapatkan nilai *adjust* yang bebas dari efek nonlinear. Nilai *adjust* menunjukkan besarnya perataan yang diberikan pada parameter hitungan. Sedangkan nilai formal menunjukkan ketidakpastian pada pemberian bobot untuk perhitungan kuadrat terkecil. Kontrol kualitas nilai *fract* adalah nilai *fract* tidak boleh lebih dari 10 (Herring, dkk., 2006).

2.6.2. GLOBK

GLOBK merupakan paket program untuk melakukan analisis dan pengolahan lanjutan dari data pengukuran GNSS setelah diolah menggunakan GAMIT. GLOBK memerlukan *file* input berupa *h-file* yang dihasilkan dari pengolahan menggunakan *software* GAMIT. Kunci dari *h-file* yang digunakan dalam GLOBK adalah matriks variansi kovariansi dari data koordinat stasiun, parameter rotasi bumi, parameter orbit, dan koordinat hasil pengamatan lapangan (Herring, 2006). GLOBK dapat menjalankan tiga mode aplikasi yaitu:

1. Mengkombinasikan hasil pengolahan individual untuk menghasilkan koordinat stasiun rata-rata dari pengamatan yang dilakukan lebih dari satu hari.
2. Mengkombinasikan hasil pengamatan bertahun-tahun untuk menghasilkan koordinat stasiun.
3. Melakukan estimasi koordinat stasiun dari pengamatan individu. Data ini akan digunakan untuk menggeneralisasikan data *timeseries* dari pengamatan harian atau tahunan.

Pengolahan menggunakan GLOBK membutuhkan beberapa folder yang diantaranya terdapat folder yang sudah terbentuk secara otomatis setelah dilakukan pengolahan GAMIT ataupun terbentuk ketika proses pengolahan dilakukan. Secara umum, berikut ini adalah penjelasan dalam pengolahan GLOBK :

1. *glbf*
Folder ini digunakan untuk menyimpan hasil konversi *h-file* menjadi data biner. Folder ini sudah terbentuk secara otomatis setelah pengolahan menggunakan GAMIT selesai dilakukan.
2. *gsoln*
Folder ini digunakan sebagai direktori pengolahan menggunakan GLRED dan GLOBK. Setiap proses pengolahan akan dijalankan di bawah direktori *gsoln*. Folder ini pun sudah terbentuk secara otomatis setelah pengolahan menggunakan GAMIT selesai dilakukan.

Kemudian penjelasan dari isi folder *gsoln* sebagai berikut :

- a. *globk_comb.cmd*

Pada berkas ini, *eq_file* menggunakan *itrfl4_comb.eq*. Selanjutnya *apr_file* menggunakan *itrfl4_comb.apr*.

b. *glorg_comb.cmd*

Pada berkas ini, kerangka referensi yang digunakan adalah ITRF 2014. Kemudian hasil perataan dari titik-titik pengamatan ditinjau terhadap titik IGS.

H-file yang digunakan pada proses ini adalah *h-files* dengan seri “a”. Format *file* ini adalah *h<projek>.<doy>*. Proses ini konversi *h-file* ini dilakukan dengan mengetikkan perintah pada terminal linux sebagai berikut :

htoglb <directory output> <ephemeris file> <input file>

Proses konversi *file* ini dilakukan dengan mengetikkan perintah pada terminal linux seperti berikut ini :

ls ../glbf/*.glx > <nama projek>.gdl

Pengolahan dengan GLOBK dapat dijalankan dengan perintah *glorg_comb.cmd* dan *globk_com.cmd*. Penelitian ini menggunakan perintah GLRED. Perintah yang digunakan sebagai berikut :

glred <std out> <print file> <log file> <expt list> globk_comb.cmd

Keterangan :

<std out> : nilai numerik (6 = hasil ditampilkan pada jendela terminal)

<Print file> : nama *file* keluaran yang berisi solusi didalamnya

<log file> : nama *log file*

Pada proses *plotting time series* koordinat stasiun pengamatan dilakukan dengan menuliskan perintah sebagai berikut :

sh_plotcrd -f <nama_file> -expt <nama_eksperimen>

Untuk mengevaluasi hasil pengolahan GLOBK dapat dilihat pada *log file* dan *plot time series*. *Log file* menunjukkan konsistensi data harian secara internal dan *plot time series* digunakan untuk melihat data *outliers*. *Log file* berisi nilai statistik termasuk standar deviasi yang digunakan untuk analisis terhadap nilai koordinat hasil olahan. Sedangkan *plot time series* menampilkan nilai *weighted root mean square* (wrms) dan *normal root mean square* (nrms). Nilai wrms yang baik dan tidak menunjukkan adanya data *outliers* adalah di bawah 10 mm (Herring, dkk., 2006).

Nilai *nrms* dan *wrms* dapat digunakan dalam evaluasi model hitungan secara statistik. Perbedaan *nrms* dan *wrms* adalah pemberian nilai bobot pada hitungan *wrms*. Perhitungan *nrms* dan *wrms* dengan persamaan 2.5 dan 2.6 (Chai dan Draxler, 2014 dalam Ulinnuha 2014)

$$rms = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(x_i - \bar{x})^2}{n}} \quad \dots(2.5)$$

$$nrms = \frac{rms}{x_{max} - x_{min}} \quad \dots(2.6)$$

$$wrms = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{\omega_i (x_i - \bar{x})^2}{(\sigma_{x_i})^2}} \quad \dots(2.7)$$

Dalam hal ini,

x_i : data ke- i

ω_i : bobot pada data ke- i

n : jumlah data

σ_{x_i} : standar deviasi data ke- i

Berdasarkan persamaan 2.6, *nrms* merupakan nilai *rms* (*root mean square*) dibagi dengan selisih antara nilai maksimal dan minimal. Nilai *nrms* dan *wrms* dapat memberikan tingkat kesensitifan yang berbeda untuk mendeteksi *error* pada proses evaluasi model hitungan.

2.7 Perhitungan Velocity Rate

Kecepatan linier dihitung dengan *time series* menggunakan persamaan 2.7. Persamaan ini memperhitungkan variasi musiman pada posisi stasiun pengamatan, sehingga mengandung beberapa fungsi sinusoidal (Nikolaidis, 2002). $y(t_i) = a + bt_i + c \sin(2\pi t_i) + d \cos(2\pi t_i) + e \sin(4\pi t_i) +$

$$f \cos(4\pi t_i) + v_i \quad \dots(2.8)$$

Dimana (t_i) adalah $i = 1 \dots n$ solusi harian dalam satuan tahun, dan H adalah fungsi langkah *heaviside*, (a) adalah *offset* dari *time series*, (b) adalah kecepatan linier, (c) dan (d) adalah amplitudo dari variasi tahunan *sinus* dan *cosinus*, (e) dan (f) adalah amplitudo dari variasi semi-tahunan *sinus* dan *cosinus*, (t) adalah waktu dalam tahun desimal, dan ($y(t_i)$) adalah estimasi posisi harian.

Hasil *daily solution* pada pengolahan GAMIT yang memperkirakan *time series* digunakan untuk parameter pada persamaan 2.7 dengan penyesuaian

kuadrat terkecil (*least square*). Dimana vektor X menunjukkan parameter yang akan diperkirakan. Matriks A adalah matriks desain. Penggunaan pembobotan dalam kuadrat terkecil adalah invers dari estimasi varians *daily solution* GAMIT. perataan kuadrat terkecil estimasi nilai parameter ditunjukkan pada persamaan 2.11. Nilai *uncertainty* ditunjukkan oleh matriks varians kovarians (Σ_{xx}). (n) di sini mewakili jumlah pengamatan sedangkan (u) adalah jumlah parameter.

$$X = [a \ b \ c \ d \ e \ f]^T \quad \dots(2.9)$$

$$F = [y(t_1) \ y(t_2) \ y(t_n)]^T \quad \dots(2.10)$$

$$A = \begin{bmatrix} 1 & t_1 & \sin(2\pi t_1) & \cos(2\pi t_1) & \sin(4\pi t_1) & \cos(4\pi t_1) \\ 1 & t_n & \sin(2\pi t_n) & \cos(2\pi t_n) & \sin(4\pi t_n) & \cos(4\pi t_n) \end{bmatrix} \quad \dots(2.11)$$

$$AX = F + V \quad \dots(2.12)$$

$$P = \begin{bmatrix} 1/\sigma_1^2 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 1/\sigma_2^2 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & 1/\sigma_n^2 \end{bmatrix} \quad \dots(2.13)$$

$$X = (A^T P A)^{-1} (A^T P F) \quad \dots(2.14)$$

$$\sigma_0^2 = \frac{v^T v}{n-u} \quad \dots(2.15)$$

$$\Sigma_{xx} = (A^T P A)^{-1} \sigma_0^2 \quad \dots(2.16)$$

Proses menghilangkan *Outliers* dan perhitungan vektor kecepatan pergeseran koordinat menggunakan MatLab dilakukan dengan beberapa tahap, yaitu :

1. Konversi *file .org* menjadi *file .pos* dengan menggunakan perintah dibawah ini :

tssum <dir> <prod_id> <-R/-A> <list of .org files>

2. Perhitungan Kecepatan Menggunakan Matlab

Perhitungan vektor kecepatan menggunakan perintah *Annual*, *Semiannual* dan *Real Sigma*. *Annual* yaitu memperkirakan sinyal tahunan (cos dan sin berdasarkan 1 Januari), *Semiannual* memperkirakan sinyal setengah tahunan (cos dan sin berdasarkan 1 Januari), dan *Realistic Sigma* yaitu untuk mengasumsikan bahwa proses *noise* dirata-ratakan dan menjadi linier.