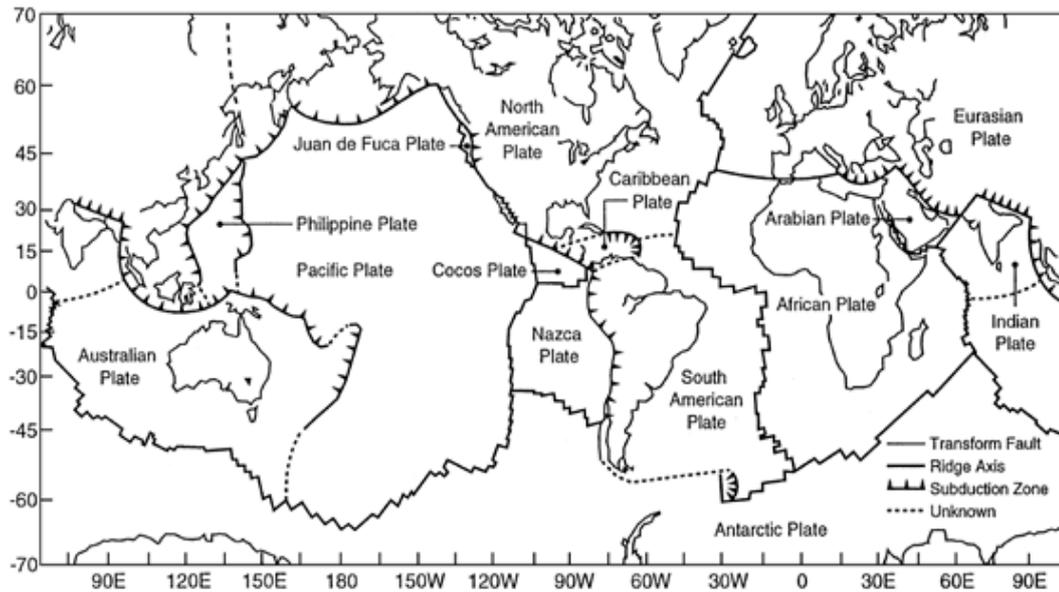


## BAB 2

### Teori dasar deformasi dengan Geodetik

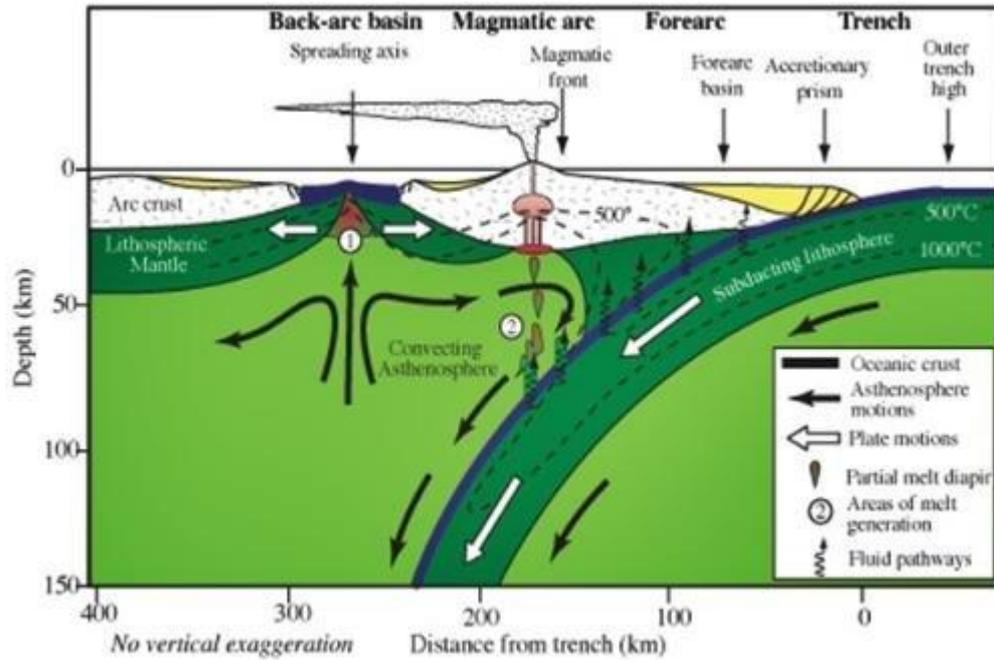
#### 2.1. Tektonik Lempeng

Lempeng tektonik adalah model dimana kulit terluar Bumi terbagi menjadi sejumlah pelat tipis dan kaku yang bergerak relatif terhadap satu lain. Kecepatan relatif pelat adalah urutan beberapa puluh milimeter per tahun. Sebagian besar dari semua gempa bumi, letusan gunung berapi, dan bangunan gunung terjadi di batas lempeng. (Turcotte & Schubert 2002).



Gambar 2.4 Distribusi lempeng global (Turcotte & Schubert, 2002)

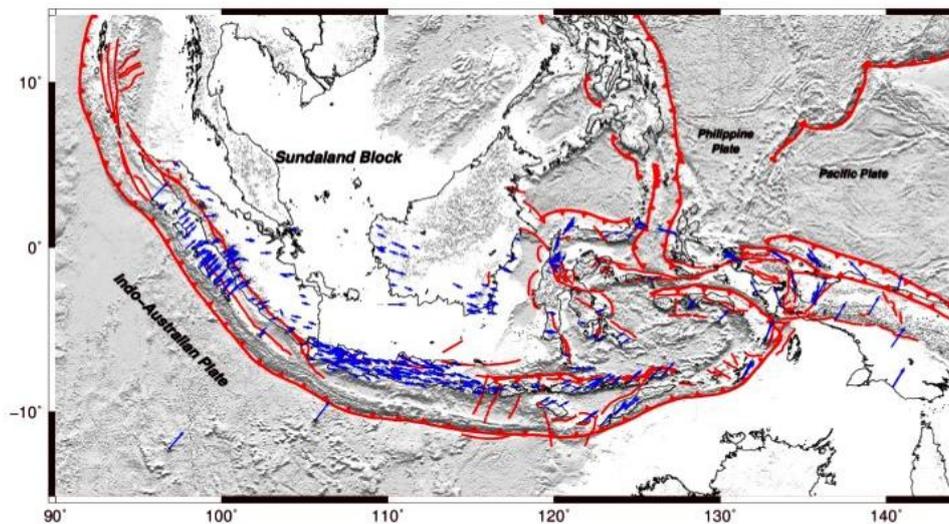
Zona subduksi adalah tempat sedimen, kerak samudera, dan litosfer mantel kembali dan menyeimbangkan kembali dengan mantel Bumi. Zona subduksi adalah ekspresi interior dari 55.000 km margin lempeng konvergen Bumi dan merupakan sistem geodinamik yang membangun busur pulau. Kelebihan kepadatan litosfer mantel di zona subduksi memberikan sebagian besar daya yang diperlukan untuk memindahkan lempeng sambil mendorong konveksi pada mantel yang menaung. Mantel asthenospheric yang terhisap ke arah parit oleh pelat yang tenggelam berinteraksi dengan air dan unsur-unsur yang tidak kompatibel muncul dari pelat yang tenggelam, dan interaksi ini menyebabkan mantel mencair. Lelehan ini naik secara vertikal melalui mantel downwelling untuk meletus di gunung berapi busur. (Stern, 2002).



Gambar 2.5 Subduksi lempeng (Stern, 2002)

## 2.2.Mekanisme Patahan

Mekanisme dari patahan Tektonik rapuh dapat dipertimbangkan dalam dua skala waktu, dimana gempa bumi adalah skala waktu pendek, dan patahan adalah skala waktu yang panjang. Sementara Sesar sendiri akan terus tumbuh dan berkembang akibat komulatif gempa bumi, maka dari itu sesar tak bisa lepas dari sejarah gempa yang pernah terjadi dimasa lalu (Scholz, 2002). Tektonik aktif utama Indonesia seperti dijelaskan gambar 2.3.



Gambar 2.6 Tektonik aktif Indonesia (Pusat Gempa Nasional, 2017)

Teori sesar yang dikemukakan oleh Andreson dalam makalah yang dipublikasikan pada tahun 1905 dan dalam memoarnya tahun 1951, disana E.M Andreson

mengembangkan konsep meknis moderen tentang asal-usul sesar dan menekankan peran penting dari sesar dalam tektonik. Menurutnya Sesar terjadi karena adanya patahan getas dan menerapkan hukum Coulumb.

### **2.3.Deformasi**

Pergerakan lempeng tektonik menyebabkan proses dimana batuan secara fisik cacat sebagai tekanan pada lempeng tektonik. Deformasi adalah perubahan bentuk, dimensi dan posisi suatu material dalam skala ruang dan waktu akibat gaya. Batuan memiliki respons yang berbeda terhadap tekanan / stres sehingga ada beberapa jenis deformasi batuan dalam menanggapi stress (Grotzinger, Jordan, Press, & Siever, 2007). Secara umum jenis dari deformasi dapat dikategorikan sebagai berikut:

1. Deformasi elastik  
Pelat tektonik akan mengalami perubahan bentuk dan ukuran (cacat) ketika lempeng tektonik di bawah tekanan / stres. Lempeng tektonik yang cacat dapat kembali ke keadaan semula begitu tekanan dilepas.
2. Deformasi Plastik  
Proses dimana lempeng tektonik di bawah tekanan / tekanan di luar tingkat elastisitas lempeng tektonik, lempeng tektonik mengalami perubahan bentuk dan ukuran (berubah bentuk) secara teratur. Perubahan tidak dapat dibalikkan meskipun tekanan dihilangkan. Dalam deformasi plastis, lempeng tektonik melengkung atau tertekuk sebagai respons terhadap stres.
3. Deformasi Rapuh  
Proses deformasi adalah membelah atau memecah menjadi blok-blok kecil. Ini terjadi pada lempeng tektonik yang memiliki elastisitas rendah dan rapuh ketika berada di bawah tekanan / stres di luar tingkat elastisitas lempeng tektonik. Deformasi getas lebih mudah dikenali, dengan adanya patahan pada lempeng tektonik.

### **2.4.Global Navogation Satelite System (GNSS)**

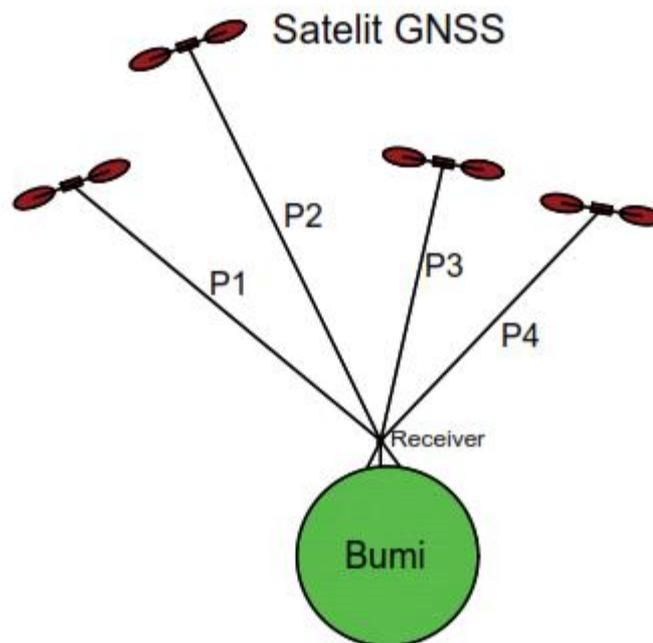
*Global Navigation Satelite System* adalah system radio navigasi dan penentuan posisi menggunakan satelit yang dikembangkan oleh Amerika serikat. Sistem dengan 24 satelit ini dapat digunakan oleh banyak orang sekaligus dalam segala cuaca, serta didesain untuk memberikan posisi dengan kecepatan tiga dimensi yang teliti dan juga informasi mengenai waktu secara kontinyu di seluruh dunia (Abidin, Dkk 2016).

Dewasa ini hampir semua aktifitas memanfaatkan GNSS sebagai alat navigasi bahkan sebagai alat komunikasi. Perkembangan sistem satelit yang kebal terhadap cuaca ini dimanfaatkan dan dikembangkan terus menerus untuk membantu dan menjawab kebutuhan manusia terkhusus pada ruang lingkup infomasi spasial.

Penggunaan informasi spasial yang awalnya ditujukan untuk kebutuhan militer dan pertahanan kini telah dapat dinikmati bahkan oleh masyarakat sipil.

#### 2.4.1 Konsep Penentuan Posisi Dengan GNSS

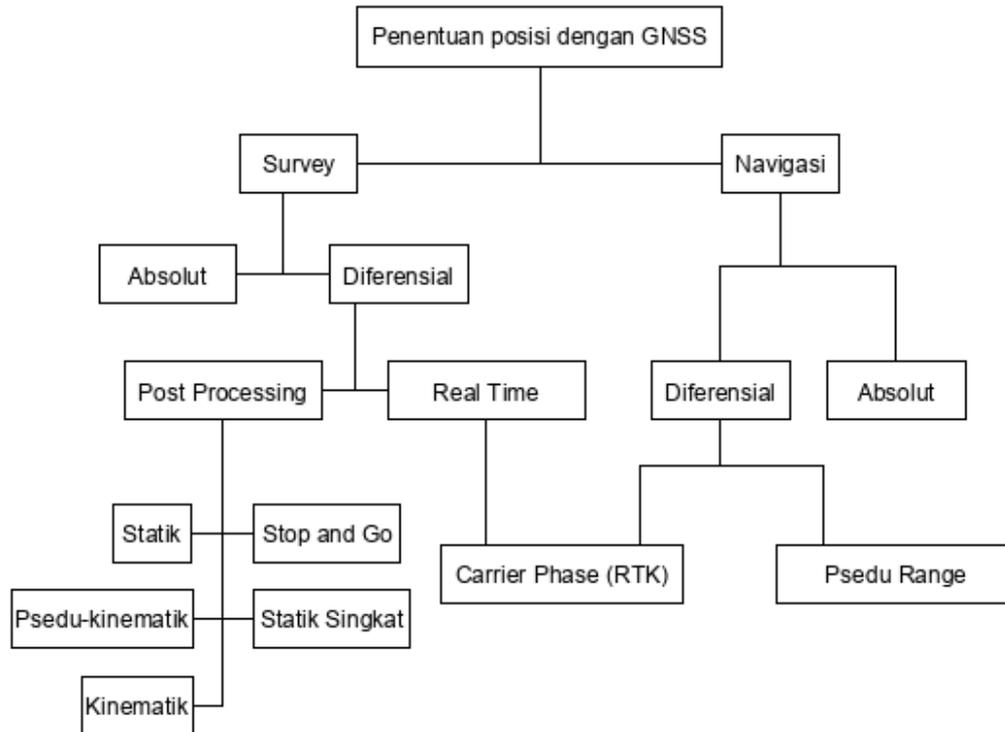
Konsep dari penentuan posisi dengan menggunakan GNSS adalah pengikatan reseksi (pengikatan kebelakang) dengan jarak terhadap beberapa satelit yang telah diketahui koordinatnya. Pada pengamatan GNSS yang diukur hanyalah jarak antara pengamat dengan satelit dan bukan vektornya (Abidin, Jones, & Kahar, 2016). Pengukuran jarak antara pengamat dan satelit dilakukan secara simultan terhadap lebih dari satu satelit (minimal 3 satelit), seperti ditunjukkan Gambar 2.4. posisi yang didapatkan dari hasil pengamatan dengan GNSS adalah tiga dimensi (X,Y,Z atau  $\phi,\gamma,h$ ) dengan datum referensi yang digunakan adalah WGS (*World Geodetic System*) 1984. Penentuan dengan GNSS bisa dilakukan dengan posisi diam (Statik) atau dengan bergerak (Kinematik). Kedua cara tersebut bisa menggunakan metode absolut (dengan satu *receiver*) ataupun diferensial (*relative*) terhadap titik referensi yang telah diketahui koordinatnya.



Gambar 2.7 Perinsip dasar penentuan posisi dengan GNSS metode absolut.

Dalam memberikan sebuah posisi GNSS dapat secara instan (*real time*) atau setelah mengolah data pengamatan (*post processing*) untuk mendapatkan hasil dengan ketelitian yang lebih baik. Secara umum, penentuan posisi dengan GNSS terbagi dalam beberapa metode dan *system* seperti pada Gambar 2.5. Pada

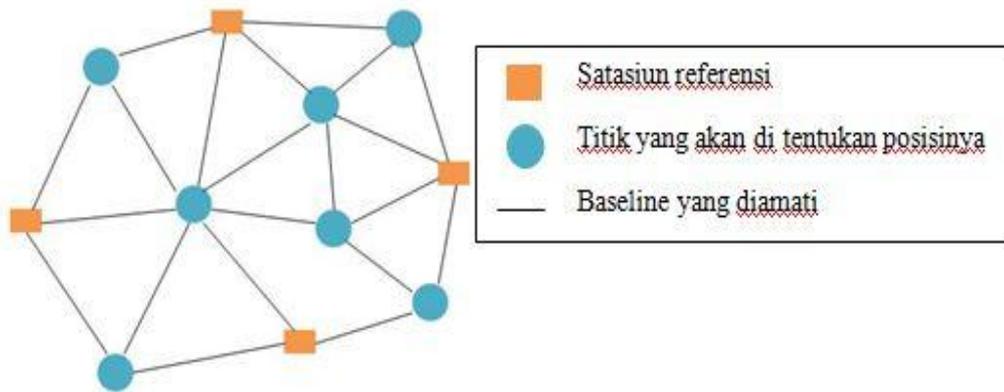
penentuan posisi dengan GNSS secara umum dilakukan dengan metode diferensial serta pengamatan fase sinyal GNSS terhadap beberapa titik yang telah diketahui koordinatnya. Dengan begitu untuk pengolahan datanya dilakukan secara *post processing* yaitu pengolahan data setelah pengamatan selesai dilakukan. Namun kini telah dikembangkan metode RTK (*Real Time Kinematic*) yang dapat memberikan hasil berupa koordinat secara langsung (Abidin dkk. 2016).



Gambar2.8 Metode dan system penentuan posisi dengan GNSS(Abidin dkk. 2016).

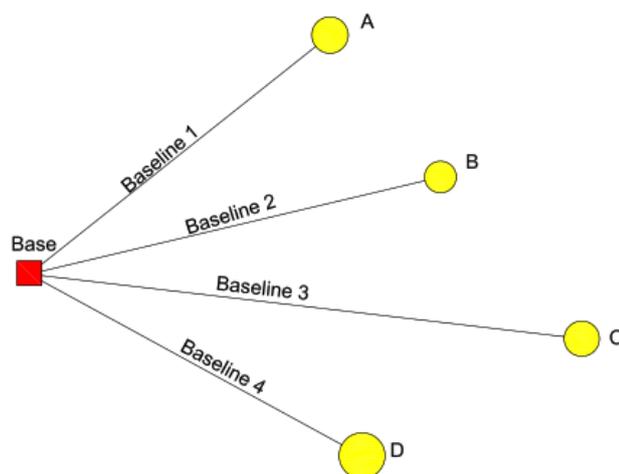
#### 2.4.2 Karakteristik Survei GNSS

Karakteristik dari survei dengan GNSS bertumpu pada pada penentuan statik secara diferensial menggunakan data fase. Dalam hal ini umumnya pengamatan GNSS dilakukan baseline per baseline dengan selang waktu tertentu (beberapa menit sampai beberapa hari) tergantung ketelitian yang diinginkan, dalam suatu jaringan (kerangka) dari titik-titik yang akan ditentukan posisinya (Abidin dkk. 2016). Penentuan dengan moda jaring ditunjukkan dalam Gambar 2.6. penentuan posisi dengan moda jaring menghasilkan nilai koordinat relatif terhadap titik yang telah diketahui koordinatnya. Dalam penentuan dengan moda ini biasanya akan terjadi penurunan orde atau dengan kata lain orde yang digunakan untuk menentukan (titik referensi) memiliki orde yang lebih tinggi daripada titik yang akan ditentukan.



Gambar 2.9 Penentuan posisi dengan survei GNSS (moda jaringan).

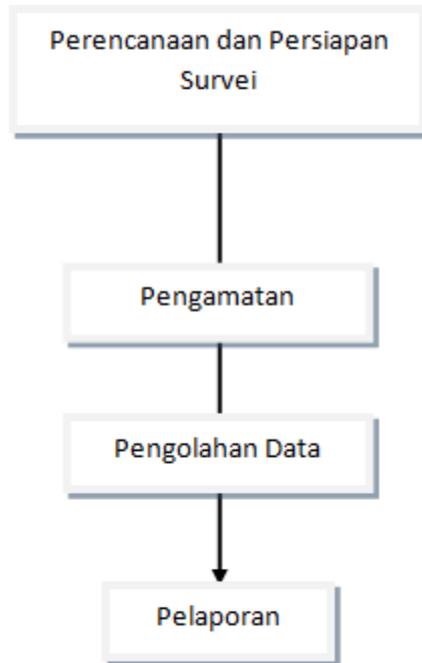
Selain dengan moda jaringan survei GNSS juga dapat dilakukan dengan moda radial seperti pada Gambar 2.7. Penentuan posisi dengan moda jaringan umumnya akan menghasilkan ketelitian yang lebih baik daripada moda radial bila semua parameter pengamatan yang digunakan sama. Selain itu moda jaringan juga memiliki kontrol kualitas internal yang lebih baik dibandingkan dengan moda radial (Abidin dkk. 2016). Untuk itu dalam penentuan posisi yang membutuhkan ketelitian yang baik (tinggi) dan homogen untuk seluruh titiknya, maka pengamatan dapat memanfaatkan moda jaringan.



Gambar 2.10 Penentuan posisi survei GNSS (moda radial).

### 2.4.3 Pelaksanaan Survei GNSS

Tahapan dalam pelaksanaan survei dengan GNSS untuk diawali dengan Perencanaan dan persiapan, pengamatan (pengumpulan data), pengolahan data, dan pelaporan (Abidin dkk. 2016)



Gambar 2.11 Urutan pelaksanaan survei dengan GNSS

Dalam hal ini perencanaan dan persiapan meliputi semua aspek yang berkaitan dengan kegiatan pengamatan seperti peralatan apa saja yang akan digunakan, moda pengamatan yang disesuaikan dengan kebutuhan, berkas untuk dokumentasi lapangan, perizinan, hingga berkaitan dengan akomodasi dan perjalanan. Tahapan perencanaan akan sangat mempengaruhi proses dan hasil pengamatan. Semakin matang dalam mengelola perencanaan maka hasil yang didapatkan akan mendekati dengan yang diinginkan. Gambar 2.8 menunjukkan urutan dari pelaksanaan survei dengan GNSS. Perencanaan yang baik, sistematis, dan menyeluruh akan sangat menentukan kualitas dari tahapan-tahapan selanjutnya (Abidin dkk. 2016).

### 2.2.4 Pemanfaat GNSS untuk pengamatan Deformasi

Pengamatan GNSS untuk studi deformasi merupakan bagian dari survei geodinamik yang mempertimbangkan beberapa aspek untuk mendapatkan akurasi yang tinggi. Untuk mendapatkan posisi dengan akurasi hingga millimeter, perlu direncanakan teknik dari pengamatan dan pengolahan dengan beberapa parameter. Pada umumnya akurasi GNSS dipengaruhi oleh empat factor : akurasi data, geometri satelit, metode pengukuran, dan metode pengolahan data (Abidin

dkk. 2016). Adapun kesalahan dan bias yang harus dipertimbangkan dalam pengamatan dan pengolahan data GNSS adalah sebagai berikut:

1. Kesalahan Ephemeris satelit.  
Dalam realitanya orbit dari satelit tidak sesuai dengan orbit sebenarnya karena beberapa faktor. Akibatnya satelit akan mengalami kesalahan orbit hingga 1-5 meter.
2. Kesalahan jam satelit.  
Dalam perhitungan jarak antara satelit dengan antena GNSS dapat menyebabkan kesalahan penyimpangan waktu offset, frekuensi offset, dan frekuensi waktu. Kesalahan diatas dapat menimbulkan pergeseran hingga 1.5 meter.
3. Kesalahan jam penerima.  
Tingkat stabilitas jam penerima lebih rendah daripada satelit. Karena akan menimbulkan kesalahan yang diakibatkan dari penyimpangan waktu offset, frekuensi offset, dan frekuensi waktu. Akibatnya akan terjadi kesalahan saat perhitungan jarak antara satelit dan antena GNSS.
4. Bias ionosfer.  
Ketika sinyal GNSS menembus dan melewati lapisan Ionosfer akan mengalami beberapa kesalahan yang diakibatkan adanya interaksi antara electron. Hal ini akan mengakibatkan beberapa kesalahan seperti arah, kecepatan dan polarisasi dari sinyal GNSS.
5. Bias troposfer.  
Ketika sinyal GNSS menembus lapisan troposfer akan mengalami pembiasan yang mengakibatkan pelemahan sinyal dan pembelokan arah.
6. Fase ambiguitas.  
Kesalahan yang diakibatkan adanya jumlah gelombang penuh yang tak terukur oleh *receiver* GNSS.
7. Cycle slips  
Kesalahan yang diakibatkan adanya ketidak-kontinyuan jumlah gelombang penuh dalam fase gelombang yang diamati karena terputus saat pengamatan sinyal GNSS.
8. Multipath  
Merupakan kesalahan akibat penerimaan sinyal satelit dari dua atau lebih arah yang berbeda. Biasanya terjadi karena adanya pantulan sinyal satelit akibat pepohonan, gedung, atau benda-benda yang tinggi disekitar lokasi pengamatan.

### **2.2.5 Kesalahan GNSS dalam survei geodinamika**

Dalam kegiatan survei dengan GNSS tentu akan terjadi banyak kesalahan seperti yang dijelaskan pada sub-bab sebelumnya. Adapun faktor penyebab dari kesalahan dijelaskan dibawah ini (Abidin dkk. 2016).

1. Akurasi data

Untuk mendapatkan posisi dengan akurasi tinggi, hal yang harus diperhatikan adalah jenis data yang digunakan, kualitas penerima dan kemudian tingkat kesalahan dan bias. Dalam penentuan posisi GNSS untuk survei geodinamik, data yang digunakan adalah data fase. Akurasi posisi GNSS yang dapat dicapai dengan data fase adalah  $1\% \times$  panjang gelombang untuk panjang gelombang L1 akurasi adalah 1.9 mm dan L2 adalah 2.4 mm. Penerima dan antena GNSS yang digunakan adalah jenis penerima geodetik frekuensi ganda (dapat menerima L1 dan L2).

2. Geometri satelit

Geometri satelit yang baik (jumlah dan distribusi satelit) akan menghasilkan penentuan posisi yang menyeluruh. Untuk mendapatkan geometri yang baik, hal-hal yang harus diperhatikan adalah lokasi, hal-hal yang dapat menghambat perambatan sinyal dari satelit ke penerima, dan lamanya pengamatan.

3. Metode penentuan posisi

Untuk mendapatkan akurasi tinggi melalui metode penentuan posisi, hal-hal yang harus diperhatikan adalah durasi pengamatan dan jarak dasar. Metode penentuan posisi yang digunakan adalah diferensial statis atau penentuan posisi relatif dengan durasi pengamatan yang panjang dan jarak antara titik atau garis dasar relatif pendek.

4. Strategi pemrosesan data

Untuk mendapatkan akurasi tinggi melalui metode penentuan posisi, hal yang harus diperhatikan adalah perangkat lunak yang digunakan untuk memproses data. Perangkat lunak yang digunakan dalam penentuan posisi GNSS untuk survei geodinamik adalah perangkat lunak ilmiah dengan metode pasca proses.

## **2.5 International GNSS Service (IGS)**

IGS mengumpulkan, mengarsipkan, dan mendistribusikan secara bebas set data observasi *Global Navigation Satellite Service (GNSS)* dari jaringan global stasiun penentuan posisi yang dioperasikan secara kooperatif. Stasiun IGS menyediakan data pengamatan berkelanjutan menggunakan penerima dengan akurasi tinggi dan memiliki fasilitas transmisi data yang memungkinkan transmisi data yang cepat (minimal: setiap hari) ke pusat data. Stasiun harus memenuhi persyaratan fisik dan operasional seperti yang disediakan oleh "Pedoman Lokasi IGS." Data stasiun disimpan dan didistribusikan oleh Pusat Data IGS. Data IGS diunduh dari *Scripps Orbit and Permanent Array Centre (SOPAC)* (<http://garner.ucsd.edu/>) dan CDDIS (<http://cddis.gsfc.nasa.gov>) seperti tabel 2.1.

Tabel 2.1 Ketersediaan data IGS hingga tahun 2019

NO	NAMA	LOKASI	TAHUN										
			2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2019	
1	ALIC	Alic Spring											
2	DARW	Darwin											
3	DGAR	Diego Garcia											
4	ISSC	Bangalore											
5	KARR	Karratha											
6	PIMO	Manila											
7	TWTF	Taoyuan											
8	YAR2	Yarragadee											