

BAB II

LANDASAN TEORI

A. *Receiver Independent Exchange (RINEX)*

Rinex atau *Receiver Independent Exchange* merupakan sebuah format data yang belum diolah (.rnx) yang dihasilkan dari sebuah pengukuran menggunakan *receiver* GPS. Untuk mengerti informasi tentang kondisi satelit, *orbit* satelit maupun yang lainnya yang disampaikan ke *receiver* GPS, data tersebut tidak dapat dilakukan pembacaan secara langsung tanpa mempelajari format rinex terlebih dahulu. Sampai saat ini, dua versi format rinex telah dikembangkan dan dipublikasikan. Untuk rinex versi pertama, dipublikasikan dan diterima oleh *International Geodetic Symposium on Satellite Positioning in Las Cruces* tahun 1989. Sedangkan, untuk format rinex versi kedua dipublikasikan dan diterima oleh *Second International Symposium of Precise Positioning with the Global Positioning System in Ottawa* tahun 1990, dapat digunakan untuk sistem satelit yang lainnya, misalnya sistem satelit milik Rusia (GLONAS).

Untuk format rinex versi 2 ini memiliki beberapa turunannya yang secara umum sudah dipergunakan. Adapun macam-macam versinya, yaitu format rinex versi 2.10, versi 2.11 dan versi 2.20. Pada tugas akhir ini digunakan format versi 2.10 maupun versi 2.11. Secara umum, saat ini format rinex yang terbaru sudah mencapai versi 3.00, tentu informasi yang diberikan semakin lengkap.

B. Lapisan Atmosfer Bumi dan Karakteristiknya

Lapisan atmosfer merupakan lapisan udara yang melingkupi bumi. Atmosfer bumi secara umum terdiri dari gas oksigen (21%), nitrogen (78%), helium dan argon (1%). Semakin besar ketinggian maka semakin mengecil densitas udara.

1. Pembagian atmosfer berdasarkan temperatur

a. Lapisan Troposfer

Lapisan troposfer merupakan lapisan yang paling bawah yang mempunyai ketinggian sekitar 8 sampai 15 km di atas permukaan bumi. Pada lapisan ini, temperatur akan turun dengan semakin besarnya ketinggian. Temperatur pada lapisan ini 15°C sampai -70°C .

b. Lapisan Stratosfer

Lapisan stratosfer mempunyai ketinggian sekitar 15 sampai 50 km. Dalam lapisan ini, kenaikan temperatur sebanding dengan ketinggian. Suhu pada lapisan stratosfer yang paling bawah relatif stabil yaitu sekitar -70°C sampai 0°C .

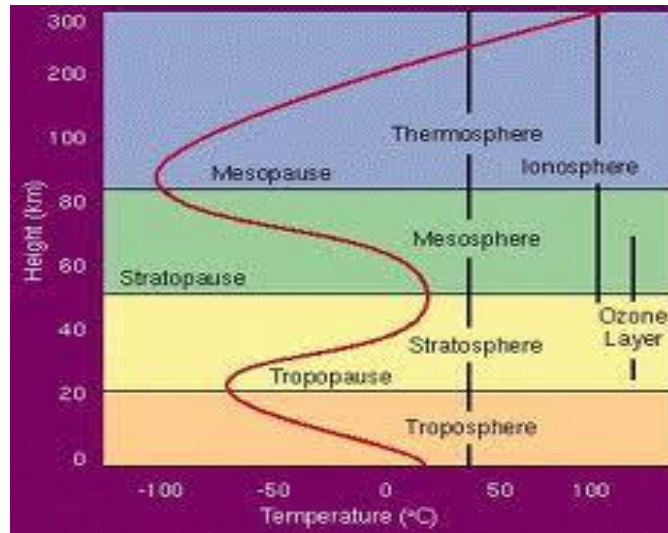
c. Lapisan Mesosfer

Lapisan mesosfer mempunyai ketinggian 50 sampai 80 km. Pada lapisan ini, suhu akan kembali turun ketika ketinggian bertambah. Suhu pada lapisan ini sekitar 0°C sampai -90°C .

d. Lapisan Termosfer

Lapisan termosfer mempunyai ketinggian di atas 80 km sampai sekitar 500 km. pada lapisan ini, temperatur kembali naik dengan bertambahnya ketinggian dan dapat mencapai 1500°C .

Pembagian lapisan atmosfer berdasarkan temperatur ini, dapat digambarkan seperti pada gambar 2.1.



Gambar 2.1 Pembagian lapisan atmosfer berdasarkan temperature^[2]

2. Pembagian atmosfer berdasarkan propagasi sinyal

Pada pembagian lapisan atmosfer berdasarkan propagasi sinyal dari satelit ke bumi, lapisan atmosfer secara umum dapat dibagi menjadi dua lapisan, yaitu:

a. Lapisan Troposfer

Sinyal yang dipancarkan dari satelit *Global Positioning System* (GPS) untuk sampai ke antena penerima di bumi harus melalui lapisan troposfer, yaitu lapisan atmosfer netral yang berbatasan dengan permukaan bumi yang dimana temperaturnya menurun dengan membesarnya ketinggian. Lapisan troposfer ini memiliki ketebalan sekitar 9 sampai 16 km, bergantung pada tempat dan waktu.^[2] Ketika melalui troposfer ini, sinyal GPS akan mengalami refraksi, yang menyebabkan perubahan pada kecepatan dan arah

sinyal GPS. Adapun efek utama yang ditimbulkan dari lapisan troposfer ini adalah berpengaruh terhadap kecepatan, atau dengan kata lain terhadap hasil ukuran jarak.

b. Lapisan Ionosfer

Lapisan ionosfer merupakan bagian dari lapisan atmosfer dimana terdapat sejumlah elektron dan ion bebas yang mempengaruhi perambatan gelombang radio. Lapisan ini terletak sekitar 60 sampai 1000 km di atas permukaan bumi. Jumlah elektron dan ion bebas pada lapisan ionosfer ini bergantung pada besarnya intensitas radiasi matahari serta densitas gas pada lapisan tersebut. Sinyal dari satelit GPS, yang terletak sekitar 20.000 km di atas permukaan bumi, harus melalui lapisan ionosfer untuk sampai ke antena penerima dipermukaan bumi. Ion-ion elektron bebas yang ada pada lapisan ionosfer akan mempengaruhi propagasi sinyal GPS. Dalam hal ini ionosfer akan mempengaruhi kecepatan, arah, polarisasi, dan kekuatan dari sinyal GPS yang melaluinya.

Efek ionosfer yang terbesar adalah terjadi pada kecepatan sinyal, dimana ini akan langsung mempengaruhi nilai ukuran jarak dari pengamat ke satelit. Perlu diketahui bahwa lapisan ionosfer akan memperlambat *pseudorange* (ukuran jarak menjadi lebih panjang) dan mempercepat fase (ukuran jarak menjadi lebih pendek). Besar bias jarak karena efek ionosfer ini akan bergantung pada konsentrasi elektron sepanjang lintasan sinyal serta frekuensi dari sinyal yang bersangkutan. Sedangkan konsentrasi elektron sendiri akan bergantung pada beberapa faktor, terutama aktivitas

matahari dan magnetik bumi. Dimana keduanya juga akan bergantung pada lokasi geografis, musim, dan waktu.

C. Lapisan Ionosfer dan Karakteristiknya

Lapisan ionosfer berada pada ketinggian sekitar 50 sampai 1000 km di atas permukaan bumi. Ketika gelombang elektromagnetik mencapai lapisan ionosfer sebagian energinya akan diserap oleh lapisan ionosfer tersebut, sebagian lagi akan dipantulkan sehingga kembali ke bumi dan sebagian lainnya akan menembus lapisan ionosfer ke angkasa luar. Berdasarkan membesarnya ketinggian dan densitas elektron, lapisan ionosfer dapat diklasifikasikan menjadi empat lapisan yaitu D, E, F₁ dan F₂. Ketinggian lapisan ionosfer yang berbeda-beda dari permukaan yaitu:^[9]

1. Lapisan D

Lapisan D merupakan lapisan ionosfer yang paling bawah atau paling dekat dengan permukaan bumi dengan ketinggian sekitar 50 sampai 90 km di atas permukaan bumi. Oleh karena jarak lapisan ini yang relatif jauh dengan matahari, maka pada malam hari lapisan ini akan menghilang. Menghilangnya lapisan D dikarenakan pada malam hari jumlah elektron di lapisan D sangat sedikit. Lapisan D bersifat memantulkan gelombang *Very Low Frequency* (VLF) dan *Low Frequency* (LF), serta menyerap gelombang *Medium Frequency* (MF) dan *High Frequency* (HF).

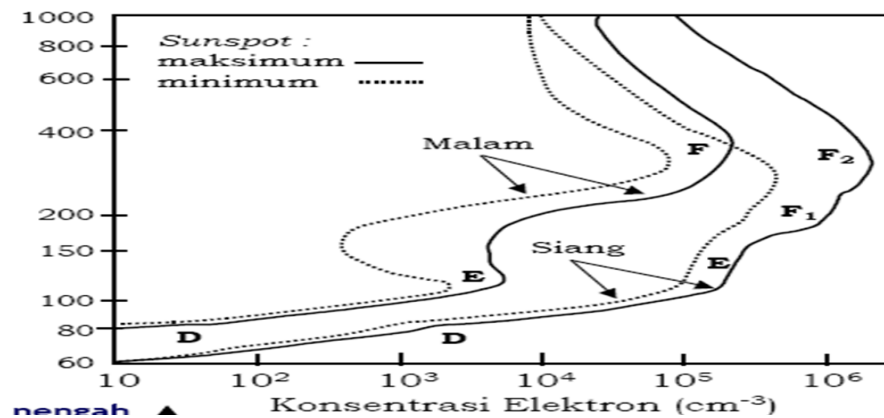
2. Lapisan E

Lapisan E berada pada ketinggian sekitar 90 sampai 140 km. Pada lapisan ini dapat digunakan untuk komunikasi HF dengan jarak komunikasi <1500 km pada siang hari dan >1500 km pada malam hari. Selain itu, dengan lapisan ini dapat membantu propagasi gelombang permukaan MF dan pada siang hari memantulkan gelombang HF. Seperti lapisan D, lapisan E juga akan menghilang pada malam hari.

3. Lapisan F

Lapisan F berada pada ketinggian sekitar ≥ 140 km. Lapisan ini terbagi menjadi dua lapisan F_1 dan F_2 . Lapisan F_1 berada pada ketinggian sekitar 140 sampai 210 km di atas permukaan bumi, bersifat menyerap dan memperlemah sebagian gelombang HF sedangkan, lapisan F_2 berada pada ketinggian sekitar 210 sampai 1000 km. Pada malam hari lapisan F_1 dan F_2 akan bergabung, sehingga hanya ada satu lapisan yaitu F.

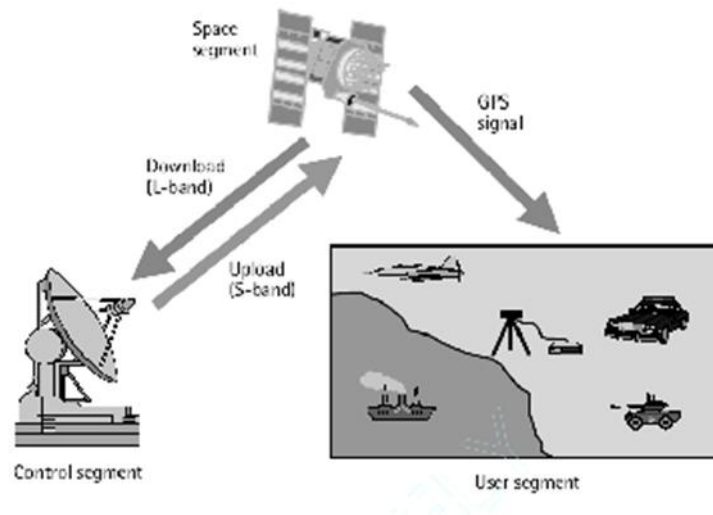
Kondisi lapisan ionosfer pada malam hari sedikit berbeda dengan siang hari. Malam hari lapisan yang muncul hanya lapisan F dan terkadang muncul lapisan E sporadis (Es). Lapisan Es ini memiliki tingkat kerapatan elektron yang tinggi, sehingga dapat memantulkan gelombang *Very High Frequency* (VHF). Untuk gambaran lebih jelasnya mengenai tipikal densitas elektron pada siang dan malam hari dapat dilihat pada gambar 2.2.



Gambar 2.2. Profil tipikal densitas elektron pada siang dan malam hari^[2]

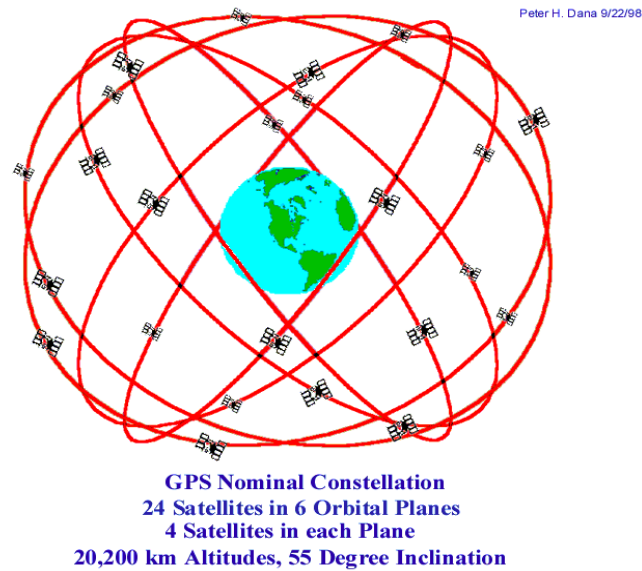
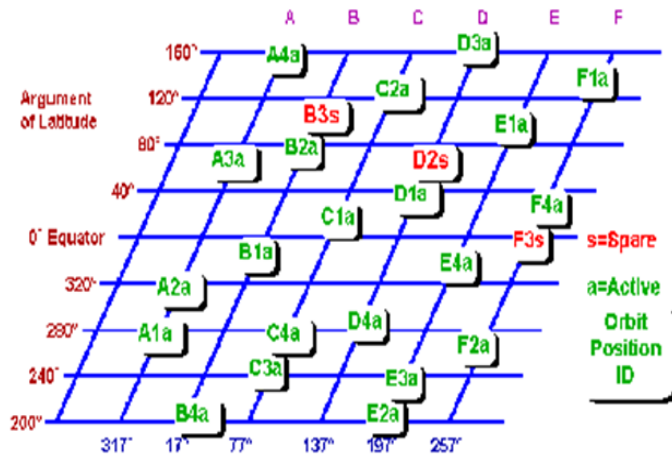
D. *Global Positioning System (GPS)*

GPS (*Global Positioning System*) merupakan suatu sistem radio navigasi dan penentuan posisi menggunakan satelit yang dimiliki dan dikelola oleh pihak Amerika Serikat. Nama formalnya adalah NAVTAR GPS, yang merupakan kependekan dari "*NAVigation Satellite Timing-and Ranging Global Positioning System*".^[1] Sistem GPS ini didesain untuk memberikan posisi dan kecepatan tiga dimensi yang teliti dan informasi mengenai waktu secara kontinyu diseluruh dunia. Pada dasarnya GPS terdiri dari tiga segmen utama, yaitu segmen angkasa (*space segment*) yang terdiri dari satelit-satelit GPS, segmen sistem kontrol (*control system segment*) yang terdiri dari stasiun-stasiun pemonitor dan pengontrol satelit, dan segmen pemakai (*user segment*) yang terdiri dari pemakai GPS termasuk alat-alat penerima, pengolah sinyal, dan data GPS. Untuk lebih jelasnya, dapat dilihat pada gambar 2.3.

Gambar 2.3 Segmen utama pada GPS^[2]

1. Segmen angkasa

Segmen angkasa yang terdiri dari satelit-satelit GPS. Secara operasional terdapat 24 satelit, sebenarnya ada lebih dari 24 satelit beberapa satelit baru diluncurkan untuk mengganti satelit yang rusak atau sebagai cadangan. GPS ini dapat digunakan setiap saat dan disembarang tempat dipermukaan bumi. Namun, perlu dilakukan penyusunan suatu konstelasi satelit tertentu dan karena alasan ekonomis, konstelasi satelit itu mengharuskan penempatan satelit di luar lapisan ionosfer. Agar dapat menembus lapisan ionosfer, maka sinyal-sinyal GPS dimodulasikan ke sinyal *carrier* dengan frekuensi lebih dari 30 MHz, yaitu pada *Band L* (1-2 GHz). Konstelasi satelit GPS di angkasa dapat digambarkan pada gambar 2.4.

Gambar 2.4 Konstelasi satelit GPS^[10]Gambar 2.5 Distribusi orbit satelit GPS^[10]

Periode orbit satelit GPS dengan periode 11 jam 58 menit pada ketinggian sekitar 20.200 km di atas permukaan bumi. Konstelasi satelit ini ditempatkan dalam 6 orbit dengan tiap-tiap orbitnya memiliki 4 satelit. Adapun jarak untuk tiap-tiap orbitnya adalah 60° dan semua bidang orbit miring 55° terhadap

bidang ekuator yang dapat ditunjukkan pada gambar 2.5. Satelit GPS ini dapat dianalogikan sebagai sebuah stasiun radio di angkasa, yang dilengkapi dengan antena-antena yang berfungsi untuk mengirim dan menerima sinyal-sinyal gelombang. Sinyal-sinyal dari satelit GPS selanjutnya akan diterima oleh *receiver* GPS dipermukaan bumi.

2. Segmen sistem kontrol

Pada bagian segmen sistem kontrol berfungsi mengontrol dan memantau operasional satelit dan memastikan bahwa satelit berfungsi sebagaimana mestinya. Satelit-satelit GPS ini di monitor dan di kontrol oleh segmen sistem kontrol yang terdiri dari beberapa stasiun pemonitor dan pengontrol yang tersebar diseluruh dunia, yaitu di pulau Ascension (Samudera Atlantik bagian selatan), Diego Garcia (Samudera Hindia), Kwajalein (Samudera Pasifik bagian utara), Hawaii dan Colorado Springs. Segmen sistem kontrol selain berfungsi memonitor dan mengontrol kesehatan seluruh satelit GPS, tetapi juga berfungsi menentukan *orbit* dari seluruh satelit GPS yang merupakan informasi vital dalam penentuan posisi dengan satelit.

Pada tiap-tiap stasiun pengontrol memiliki peralatan penerima sinyal satelit yang kemudian diolah untuk menghasilkan data koreksi *orbit* atau yang biasa disebut data *ephemeris* dan data koreksi jam. Untuk proses selanjutnya, data dari seluruh stasiun pengontrol ini disatukan di stasiun utama untuk kemudian ditransmisikan ke semua satelit GPS. Satelit GPS kemudian menyiarkan data koreksi ini ke seluruh pengguna GPS.

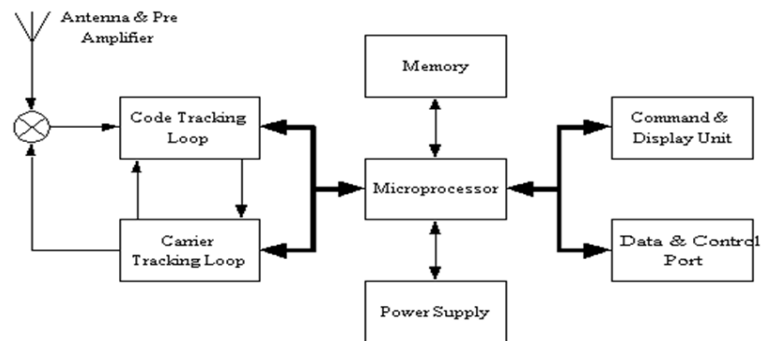
3. Segmen pengguna

Pada segmen pengguna terdiri dari para pengguna satelit GPS, baik yang berada di darat, laut, udara maupun di angkasa. Sinyal-sinyal yang dipancarkan oleh satelit-satelit GPS yang kemudian diterima oleh GPS *receiver* atau penerima GPS untuk diproses, sehingga dapat digunakan dalam penentuan posisi, kecepatan, maupun penentuan waktu.

Komponen-komponen utama dari suatu penerima GPS secara umum adalah sebagai berikut:^[2]

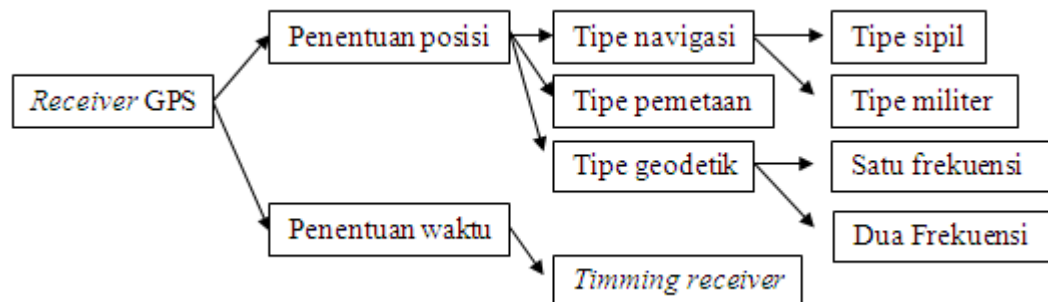
- Antena dengan *pre-amplifier*.
- Bagian *Radio Frequency* (RF) dengan pengidentifikasi sinyal dan pemroses sinyal.
- Pemroses mikro untuk pengontrol *receiver*, data sampling, dan pemroses data (solusi navigasi).
- Osilator presisi.
- Catu daya.
- Unit perintah dan tampilan.
- Memori dan perekam data.

Dari komponen-komponen tersebut di atas dapat digambarkan secara skematik pada gambar 2.6 yaitu:



Gambar 2.6 Komponen-komponen utama *receiver* GPS

Berdasarkan fungsinya, *receiver* GPS atau penerima GPS dapat diklasifikasikan secara skematik sebagai berikut:



Gambar 2.7 Klasifikasi *receiver* GPS berdasarkan fungsinya

Receiver GPS terbagi atas dua fungsi yaitu untuk penentuan posisi dan penentuan navigasi, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.7. Dalam fungsinya sebagai penentuan waktu (*timing receiver*), *receiver* GPS di desain hanya untuk memberikan informasi tentang waktu ataupun frekuensi yang teliti. Berbeda dengan *receiver* untuk penentuan waktu, *receiver* GPS untuk

penentuan posisi didesain lebih lengkap dengan berbagai tipe sesuai dengan kebutuhan atau penggunaan.

Penerima GPS untuk penentuan posisi, seperti pada gambar skematik di atas, terbagi atas tiga tipe, yaitu tipe navigasi, tipe pemetaan dan tipe geodetik. Untuk tipe navigasi (*navigation type*) atau yang biasa disebut dengan tipe genggam (*handheld receiver*) secara umum digunakan untuk penentuan posisi secara instan yang tidak menuntut ketelitian terlalu tinggi. *Receiver* GPS tipe navigasi ini terbagi atas dua tipe lagi, yaitu tipe sipil dan tipe militer. Untuk tipe sipil memberikan ketelitian posisi sekitar 50-100 m, sedangkan untuk tipe militer memberikan ketelitian posisi sekitar 10-20 m.

Seperti halnya *receiver* tipe navigasi, pada *receiver* tipe pemetaan juga memberikan data *pseudorange* (kode-C/A). Namun berbeda data *pseudorange* (kode-C/A) yang diberikan pada tipe pemetaan, data tersebut dapat di rekam dan dapat dipindahkan ke komputer untuk diproses lebih lanjut. Kemudian untuk tipe yang ketiga, yaitu *receiver* GPS tipe geodetik. Dari ketiga tipe *receiver* GPS untuk penentuan posisi yang ada, tipe geodetik merupakan tipe *receiver* yang relatif paling canggih, paling mahal dan juga memberikan data yang paling presisi. Oleh karena itu, *receiver* GPS tipe geodetik umumnya digunakan untuk aplikasi-aplikasi yang menuntut ketelitian yang relatif tinggi. Untuk tipe geodetik mempunyai dua jenis, yaitu tipe geodetik *dual frequency* dan tipe geodetik *single frequency*. Pada tugas akhir ini, penulis menganalisis *error* posisi untuk tipe geodetik *dual frequency*. Frekuensi kerja GPS ini yaitu L1 (1575.42 MHz) dan L2 (1227.60 MHz).

4. Antena GPS

Antena merupakan suatu komponen yang cukup penting sebagai alat penerima sinyal dari satelit GPS. Antena GPS mempunyai fungsi sebagai pendeteksi dan menerima gelombang elektromagnetik yang berasal dari satelit-satelit GPS, serta mengubahnya menjadi arus listrik dan diperkuat untuk selanjutnya dikirim ke komponen elektronika untuk di proses lebih lanjut. Antena GPS untuk keperluan survai maupun pemetaan sebaiknya memiliki daya tolak terhadap adanya sinyal satelit yang diterima *receiver* melalui 2 atau lebih lintasan yang berbeda (*multipath*). Hal ini dapat menimbulkan terjadinya kesalahan atau *error* posisi.

Ada beberapa jenis antena GPS yang dikenal, yaitu *monopole* atau *dipole*, *quadrifilar helix* (juga dinamakan *volute*), *spiral helix*, *microstrip* (juga dinamakan *patch*), dan *choke ring*.^[2] Saat ini pihak LAPAN menggunakan antena GPS tipe *choke ring* untuk menangkap sinyal yang terhubung dengan peralatan GPS *receiver* Leica SR520. Antena *choke ring* dapat dilihat pada gambar 2.8.



Gambar 2.8 Antena tipe *choke ring*

E. Orbit Satelit

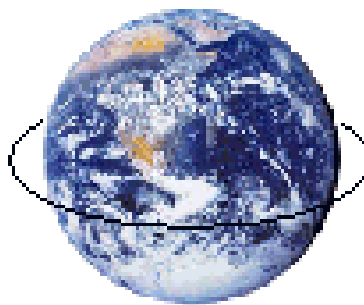
Orbit satelit merupakan tempat beredarnya satelit mengelilingi permukaan bumi. *Orbit* satelit ini dapat dibedakan menjadi 3 macam jenis berdasarkan ketinggiannya dari permukaan bumi yaitu:

1. *Orbit Stasioner*

Orbit stasioner merupakan sebuah *orbit* yang menempatkan satelit untuk dapat terus tetap berada pada posisinya dengan mengacu pada sebuah titik atau lokasi. Satelit-satelit yang ditempatkan pada *orbit* stasioner umumnya adalah satelit yang arah pergerakannya dari timur ke barat mengikuti pergerakan rotasi bumi. Berdasarkan ketinggiannya, *orbit* stasioner dapat dibedakan menjadi 3 jenis yaitu:

a. *Low Earth Orbit (LEO)*

Jenis satelit yang tergolong dalam *orbit* LEO ditempatkan pada ketinggian 320-800 km di atas permukaan bumi. Karena sifat *orbitnya* sangat dekat dengan dengan bumi, hal ini menjadikan satelit LEO harus mempunyai kecepatan yang sangat tinggi supaya tidak terlempar ke atmosfer dan keluar dari *orbitnya*. *Orbit* satelit LEO dapat ditunjukkan pada gambar 2.9.



Gambar 2.9 *Orbit* satelit LEO^[11]

Kecepatan edar satelit LEO mencapai 27.359 Km/h untuk mengitari bumi dalam waktu 90 menit. Aplikasi dari satelit jenis LEO ini biasanya dipakai pada sistem *remote sensing* dan peramalan cuaca karena jaraknya dengan permukaan bumi yang tidak terlalu jauh. Pada masa sekarang ini satelit LEO banyak digunakan karena biaya yang murah untuk berbagai aplikasi, contohnya digunakan untuk aplikasi komunikasi seluler.

b. *Medium Earth Orbit (MEO)*

Satelit yang berada pada *orbit* ini merupakan satelit yang mempunyai ketinggian di atas 10000 km dengan aplikasi dan jenis yang sama seperti pada *orbit* LEO. Namun karena jarak yang sudah cukup jauh, jumlah satelit pada *orbit* MEO tidaklah sebanyak satelit pada *orbit* LEO. Dengan adanya jarak yang cukup jauh ini satelit MEO mempunyai *delay* sebesar 60-80 ms.

c. *Geostationery Earth Orbit (GEO)*

Satelit GEO merupakan sebuah satelit yang ditempatkan dalam *orbit* yang posisinya tetap dengan posisi suatu titik di bumi. Karena mempunyai posisi yang tetap maka waktu edar satelit GEO sama dengan waktu rotasi bumi. Posisi *orbit* satelit GEO sejajar dengan garis khatulistiwa atau mempunyai titik lintang nol derajat. *Orbit* satelit GEO dapat ditunjukkan pada gambar 2.10.



Gambar 2.10 *Orbit* satelit GEO^[11]

Satelit GEO mempunyai jarak sebesar 35786 km dari permukaan bumi. Keuntungan satelit *orbit* GEO ini salah satunya adalah dalam men-*tracking* antena pengendalian dari suatu stasiun bumi tidak perlu mengikuti pergerakan satelit karena satelit tersebut sama periodenya dengan rotasi bumi. Kerugian dari satelit *orbit* GEO adalah karena jarak yang sangat jauh dari permukaan bumi maka daya pancar sinyal haruslah tinggi dan sering terjadi *delay*. Cakupan satelit GEO tidak mencakup semua posisi dipermukaan bumi, seperti lokasi yang berada di kutub tidak terjangkau oleh satelit jenis ini.

2. *Orbit Elliptical*

Satelit dengan *orbit* elips merupakan satelit yang mengorbit dengan bentuk *orbit* yang elips terhadap bumi. Dengan bentuk *orbit* yang elips ini, maka menghasilkan suatu jarak yang tidak sama (sinkron) pada setiap posisinya dengan permukaan bumi. Bentuk *orbit elliptical* dapat ditunjukkan pada gambar 2.11.



Gambar 2.11 *Orbit elliptical*^[11]

Pada satelit dengan *orbit elliptical*, maka akan terjadi satu posisi terjauh dari permukaan bumi dan satu sisi terdekat dari permukaan bumi. Untuk posisi satelit terjauh dari permukaan bumi dinamakan dengan posisi *apogee*, sedangkan untuk posisi satelit terdekat dengan permukaan bumi dinamakan dengan posisi *perigee*.

3. *Orbit Polar*

Pada satelit yang mempunyai inklinasi (penyimpangan) sebesar 90^0 dari *orbit* geostasioner akan meng-*orbit* pada *orbit* polar. Dengan kata lain, satelit ini mengitari bumi dari arah selatan ke utara. Karena arah perputarannya yang tidak sinkron dengan arah rotasi bumi maka satelit jenis polar ini jarang digunakan.

F. **Sistem Waktu Satelit GPS**

Satelit GPS beroperasi dengan menggunakan sistem waktunya sendiri, yaitu sistem waktu satelit. Sistem waktu ini didefinisikan oleh jam-jam atom (cesium (cs) dan rubidium (Rb)) yang berada disetiap satelit GPS. Sistem waktu GPS adalah sistem waktu berskala kontinu yang didefinisikan oleh jam (atom) utama

yang berada di *Master Control Station* (MCS) GPS di Colorado Springs. Sistem waktu GPS ini berefrensi ke sistem waktu *Universal Time Coordinated* (UTC), yang dikelola oleh *United States Naval Observatory* (USNO), dan keduanya mempunyai hubungan yang teliti sampai tingkat 1 *msec*.^[2]

Waktu pada GPS dinyatakan dengan Minggu. Minggu GPS selalu dimulai pada tengah malam UTC antara hari Sabtu dan Minggu, oleh sebab itu waktu (detik) GPS berubah dari 0 diawal Minggu, sampai 604800 diakhir Minggu. Bilangan Minggu GPS dimulai pada tanggal 5 Januari 1980 jam 0:00 UTC, sejak itu bilangan Minggu GPS bertambah satu setiap Minggu, dan dipancarkan sebagai bagian pesan Navigasi GPS. Bilangan Minggu GPS adalah dari 1024. Ini berarti bahwa pada akhir Minggu ke 1023, bilangan Minggu GPS akan kembali (*rollover*) ke bilangan 0. Ini akan terjadi pada tanggal 21 Agustus 1999 jam 0:00 UTC. Perbedaan waktu UTC ke waktu lokal (*local time*) adalah ditambah 7 jam. Pada kalender GPS untuk hari minggu adalah hari ke 0, senin adalah hari ke 1, selasa adalah hari ke 2 dan seterusnya hingga hari ke 6 yaitu hari sabtu.

G. Sinyal GPS

Satelit GPS memancarkan sinyal-sinyal, pada prinsipnya untuk memberi tahu pengamat sinyal tersebut tentang posisi satelit yang bersangkutan, jarak dari si pengamat beserta informasi waktunya. Sinyal GPS juga digunakan untuk menginformasikan kesehatan satelit kepada pengamat, serta informasi pendukung lainnya seperti parameter untuk menghitung koreksi jam satelit, parameter model

ionosfer satu frekuensi (*model Klobuchar*), transformasi waktu GPS ke UTC, dan status konstelasi satelit.

Pada dasarnya sinyal GPS dapat dibagi atas 3 komponen yaitu :^[1]

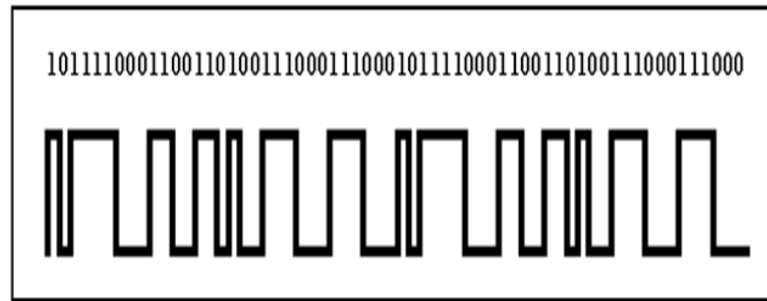
- Penginformasi jarak (kode) yang berupa kode-P dan kode-C/A.
- Penginformasi posisi satelit (*navigation message*).
- Gelombang pembawa (*carrier wave*) L1 dan L2.

Sinyal L1 dan L2 digunakan sebagai *carrier*. Selain itu dibangkitkan juga 2 buah sinyal lainnya yaitu kode *Pseudo Random Noise* (PRN) yaitu *Coarse Acquisition* (C/A) dan kode *Precision* (P). Kemudian, selain itu satelit juga memancarkan data navigasi. Data navigasi memiliki kecepatan 50 bps dan berisi informasi yang menjelaskan mengenai *orbit* satelit GPS, koreksi jam satelit, dan parameter-parameter lain.

Sinyal L1 dimodulasikan oleh kode C/A, kode P, dan data navigasi. Sinyal inilah yang biasa digunakan keperluan sipil. Sinyal L2 dimodulasi oleh kode P dan data navigasi. Sinyal ini biasa digunakan untuk mengukur *delay* sinyal akibat ionosfer. Sinyal L2 tidak dimodulasi dengan kode C/A agar pemilik sistem dapat mengendalikan jenis informasi yang bisa didapat oleh pengguna yang tidak resmi.

1. Penginformasi Jarak (Kode)

Ada dua kode *pseudo random noise* (PRN) yang dikirimkan oleh satelit GPS dan digunakan sebagai penginformasi jarak, yaitu kode P (P = *Precise* atau *Private*) dan kode-C/A (C/A=*Coarse Acquisition* atau *Clear Access*). Kode-kode ini merupakan suatu rangkaian kombinasi bilangan-bilangan 0 dan 1 (bilangan biner) seperti yang digambarkan pada Gambar 2.12.

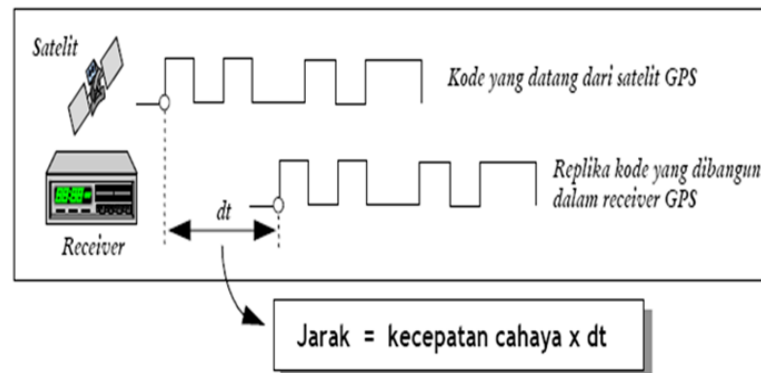
Gambar 2.12 Struktur kode sinyal GPS ^[1]

Kode C/A merupakan rangkaian dari 1023 bilangan biner (*chips*) yang berulang setiap satu mili detik (*msec*). Ini berarti bahwa setiap chip dari kode C/A dibangkitkan dengan kecepatan 1,023 juta chip per detik, dan setiap *chip* mempunyai durasi waktu sekitar satumikrodetik, atau sekitar 300 meter dalam unit jarak. Setiap satelit GPS dicirikan dengan satu kode C/A tertentu yang sifatnya unik (tunggal), dan serta total ada 32 kode yang tersedia untuk satelit-satelit GPS. Kode C/A hanya dimodulasikan pada gelombang pembawa L1.^[1]

Kode P dibandingkan dengan kode C/A merupakan rangkaian bilangan biner yang sangat panjang, yaitu 2.3547×10^{14} *chips*, dan polanya tidak berulang sampai setelah 266 hari atau sekitar 38. Kode P ini dibangkitkan dengan kecepatan yang 10 kali lebih cepat dibandingkan dengan kode C/A, yaitu 10,23 juta *chip* per detik. Ini berarti *chip* kode P mempunyai panjang gelombang sekitar 30 meter. Kode P ini dimodulasikan pada kedua gelombang pembawa yaitu L1 dan L2.

Dengan mengamati kode P ataupun kode C/A, jarak dari pengamat ke satelit dapat ditentukan. Prinsip pengukuran jarak yang digunakan dalam hal

ini adalah dengan membandingkan kode yang diterima dari satelit dengan kode replika yang diformulasikan di dalam *receiver*, seperti yang diperlihatkan pada gambar 2.13.



Gambar 2.13 Prinsip penentuan jarak (*pseudorange*) dengan kode^[1]

2. Penginformasi posisi satelit

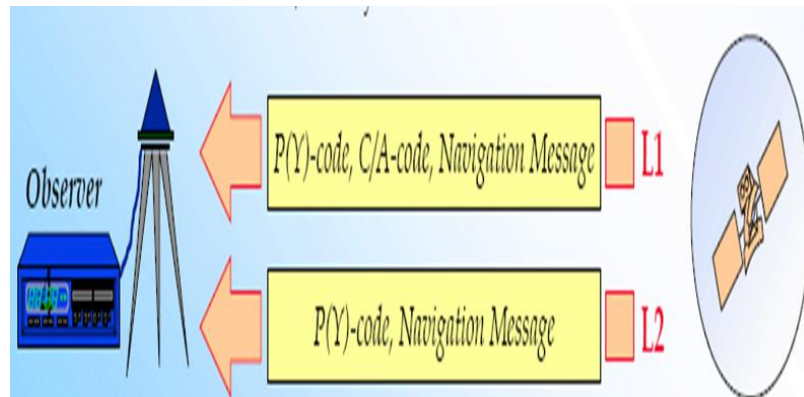
Selain berisi kode-kode, sinyal GPS juga berisi pesan navigasi (*navigation message*) yang memberikan informasi tentang koefisien koreksi jam satelit, parameter *orbit*, almanak satelit, UTC, parameter kondisi ionosfer, serta informasi spesial lainnya seperti status konstelasi dan keadaan satelit. Pesan navigasi ditentukan oleh segmen sistem kontrol dan dikirimkan (*broadcast*) ke pengguna menggunakan satelit GPS. Salah satu pesan yang terdapat dalam pesan navigasi GPS adalah *ephemeris (orbit)* satelit biasa disebut *broadcast ephemeris*.

Dalam *broadcast ephemeris*, informasi tentang posisi satelit tidak diberikan langsung dalam bentuk koordinat, tetapi dalam bentuk elemen-elemen keplerian dari *orbit* GPS yang dapat digunakan untuk menghitung

posisi satelit dari waktu ke waktu. Pada dasarnya *broadcast ephemeris* ini berisi parameter waktu, parameter *orbit* satelit, dan parameter perturbasi dari *orbit* satelit.

3. Gelombang Pembawa

Ada dua gelombang pembawa yang digunakan yaitu L1 dan L2. Dalam hal ini gelombang L1 pembawa kode-kode P dan C/A beserta pesan navigasi, sedangkan gelombang L2 pembawa kode P dan pesan navigasi. Seperti yang diperlihatkan pada gambar 2.14.



Gambar 2.14 Data dan informasi yang dibawa oleh gelombang pembawa L1 dan L2^[1]

Agar gelombang pembawa dapat membawa data kode dan pesan navigasi, maka data tersebut harus ditumpangkan ke gelombang pembawa. Hal ini berarti, gelombang pembawa dimodulasi oleh kode dan pesan navigasi.

H. Metode-Metode Penentuan Posisi

Berdasarkan pengaplikasiannya, metode penentuan posisi menggunakan GPS dapat dikelompokkan menjadi beberapa metode, yaitu:

1. Metode Penentuan Posisi Absolut

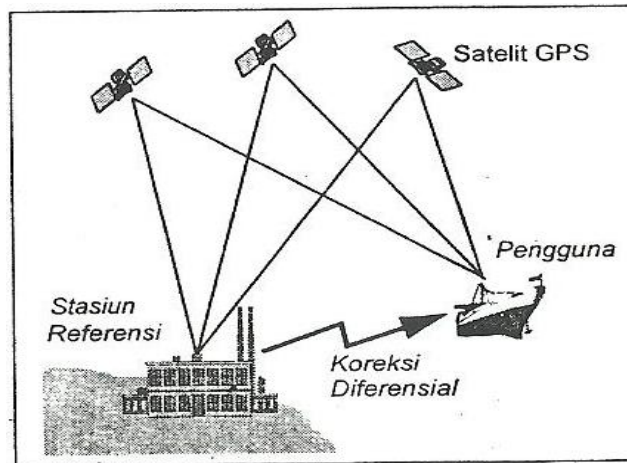
Metode penentuan posisi secara absolut merupakan metode penentuan posisi yang paling mendasar pada GPS. Metode ini pada awalnya direncanakan oleh pihak militer Amerika untuk memberikan pelayanan navigasi terutama bagi personil dan wahana militer. Dalam fungsinya untuk penentuan posisi hanya memerlukan satu *receiver* GPS dan tipe *receiver* yang umum digunakan adalah tipe navigasi atau kadang dinamakan tipe genggam (*hand held*). Titik yang ditentukan posisinya dapat dalam keadaan diam (moda statik) maupun dalam keadaan bergerak (moda kinematik).

2. Metode Penentuan Posisi Diferensial

Pada penentuan posisi secara diferensial, posisi suatu titik ditentukan relatif terhadap titik lainnya yang telah diketahui koordinatnya (*monitor station*). Metode ini biasanya disebut metode penentuan posisi relatif, yaitu dengan mengurangi data yang diamati oleh dua *receiver* GPS pada waktu yang bersamaan, maka beberapa jenis kesalahan dan bias dari data dapat direduksi. Dengan adanya pereduksian ini, akan meningkatkan akurasi posisi dari data yang diperoleh.

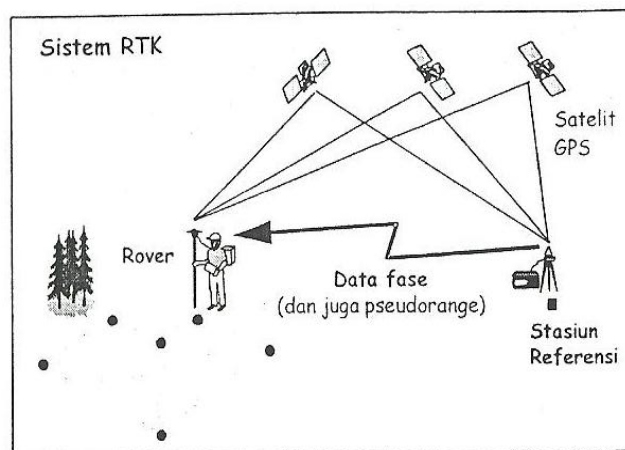
Dalam penentuan posisi secara diferensial, ada beberapa aplikasi yang menuntut informasi posisi relatif secara instan (*real-time*). Untuk melayani aplikasi-aplikasi tersebut, saat ini telah tersedia dua sistem yang umumnya dikenal dengan nama *Differential Global Positioning System* (DGPS) dan *Real Time Kinematic* (RTK).^[1] Sistem DGPS merupakan suatu sistem yang sudah umum digunakan untuk penentuan posisi *real-time* secara diferensial

yang menggunakan data *pseudorange*. Sistem ini secara umum digunakan untuk penentuan posisi untuk obyek-obyek yang bergerak. Pada sistem DGPS ini memberikan ketelitian posisi berkisar sekitar 1 sampai 5 m. Gambar 2.15 merupakan ilustrasi dari sistem DGPS.



Gambar 2.15 Ilustrasi sistem DGPS

Pada sistem *Real Time Kinematic* (RTK) merupakan suatu sistem yang secara umum sudah digunakan untuk penentuan posisi *real-time* secara diferensial menggunakan data fase dan *pseudorange*. Gambar 2.16 berikut merupakan ilustrasi dari sistem RTK.



Gambar 2.16 Ilustrasi sistem RTK

Pada stasiun referensi dan pengguna harus dilengkapi dengan perangkat pemancar dan penerima data. Pada sistem RTK, stasiun referensi mengirimkan data ke pengguna dengan menggunakan sistem komunikasi data yang beroperasi pada pita frekuensi *Very High Frequency* (VHF). Sistem RTK ini dapat digunakan untuk penentuan posisi obyek-obyek yang diam maupun bergerak, sehingga sistem RTK tidak hanya dapat digunakan pada survei GPS *real-time*, tetapi juga navigasi berketelitian tinggi.

3. Metode Penentuan Posisi Statik

Penentuan posisi secara statik adalah penentuan posisi dari titik-titik yang statik (diam). Pada prinsipnya penentuan posisi secara statik ini sama dengan penentuan posisi secara absolut. Kelebihan metode penentuan posisi ini dibanding dengan kinematik yaitu tingkat ketelitian posisi yang lebih tinggi.

I. Kesalahan GPS

Dalam perjalanannya dari satelit hingga akan mencapai antena *receiver* di permukaan bumi, sinyal GPS akan mengalami beberapa kesalahan, seperti berikut:^[1]

1. Bias Ionosfer

Lapisan Ionosfer terletak sekitar 60 - 1000 km di atas permukaan bumi, sedangkan sinyal satelit GPS terletak sekitar 2000 km di atas permukaan bumi. Sinyal satelit GPS harus melalui lapisan ionosfer untuk sampai ke antena *receiver* dipermukaan bumi. Adanya lapisan ionosfer yang dilalui

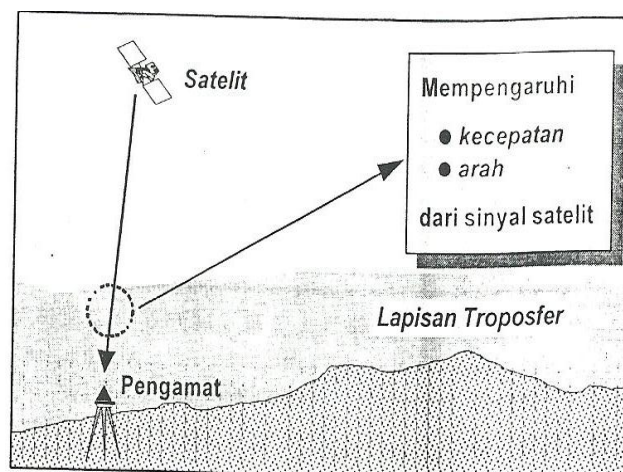
akan memperlambat kecepatan sinyal. Hal ini dikarenakan pada lapisan ionosfer ini banyak terdapat ion-ion bebas (elektron) yang dapat mempengaruhi propagasi sinyal GPS. Dalam jenis kesalahan ini, efek ionosfer yang terbesar adalah pada kecepatan sinyal, dimana ini akan langsung mempengaruhi nilai ukuran jarak dari pengamat ke satelit. Ionosfer ini akan memperlambat *pseudorange* (ukuran jarak akan menjadi lebih panjang) dan mempercepat fase (ukuran jarak akan menjadi lebih pendek) dalam bias jarak yang sama besarnya.

Besarnya bias jarak karena efek ionosfer ini, bergantung dari konsentrasi elektron disepanjang lintasan sinyal dan frekuensi dari sinyal yang bersangkutan. Dalam penentuan posisi menggunakan satelit GPS, ada beberapa cara yang dapat dilakukan untuk mereduksi efek dari bias ionosfer, yaitu:

- a. Melakukan pengurangan (*differencing*) dari data pengamatan yang diamati dari dua stasiun yang berbeda.
- b. Memperpendek jarak-jarak antara titik-titik pengamatan.
- c. Melakukan pengamatan pada pagi atau malam hari.
- d. Menggunakan model prediksi global ionosfer (untuk data pengamatan satu frekuensi) yaitu model *Klobuchar*. Hingga saat ini, model *Klobuchar* merupakan model yang paling sering digunakan oleh pengguna GPS frekuensi tunggal, seperti pada penelitian ini.

2. Bias Troposfer

Sinyal dari satelit GPS dalam perjalanannya menuju antena *receiver* selain harus melewati lapisan ionosfer, juga harus melewati lapisan troposfer. Lapisan troposfer merupakan lapisan yang berbatasan dengan permukaan bumi dimana temperatur akan menurun seiring dengan makin membesarnya ketinggian lapisan tersebut. Lapisan ini mempunyai ketebalan sekitar 9 sampai 16 km, tergantung dari tempat dan waktu. Ketika melalui troposfer, sinyal GPS akan mengalami refraksi, yang menyebabkan perubahan pada kecepatan dan arah sinyal GPS. Keadaan ini dapat diilustrasikan pada gambar 2.17.



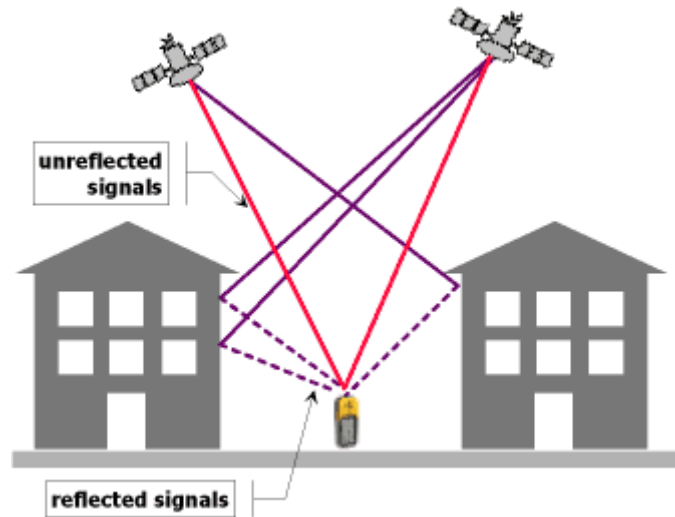
Gambar 2.17 Efek troposfer terhadap sinyal satelit

Bias troposfer biasanya dipisahkan menjadi komponen kering dan komponen basah. Kandungan komponen kering sekitar 90% dari bias total. Sedangkan, untuk komponen basah bergantung pada kandungan uap air sepanjang lintasan sinyal. Dalam konteks penentuan posisi menggunakan

satelit GPS, ada beberapa cara yang dapat dilakukan untuk mereduksi efek dari bias troposfer, yaitu:

- a. Melakukan pengurangan (*differencing*) dari data pengamatan yang diamati dari dua stasiun yang berbeda.
 - b. Memperpendek jarak-jarak antara titik-titik pengamatan.
 - c. Mengusahakan kedua stasiun pengamat berada pada ketinggian serta kondisi meteorologis yang relatif sama.
 - d. Menggunakan model koreksi standar troposfer yaitu model *Saastamoinen*.
3. *Multipath*

Multipath merupakan suatu fenomena dimana sinyal dari satelit tiba di antena GPS melalui 2 atau lebih lintasan yang berbeda. Dalam hal ini, satu sinyal merupakan sinyal langsung dari satelit ke antena *receiver*, sedangkan yang lainnya merupakan sinyal-sinyal tidak langsung yang dipantulkan oleh benda-benda disekitar antena sebelum sinyal tersebut sampai ke antena. Beberapa contoh benda-benda yang dapat memantulkan sinyal GPS antara lain, jalan raya, gedung, danau dan kendaraan. Perbedaan panjang lintasan menyebabkan sinyal-sinyal tersebut berinterferensi ketika sampai pada antena yang pada akhirnya menyebabkan kesalahan pada hasil pengamatan. Kesalahan yang ditimbulkan dari efek *multipath* ini akan mempengaruhi keakuratan hasil pengukuran. Gambar 2.18 berikut merupakan contoh dari peristiwa *multipath*.

Gambar 2.18 Kesalahan *multipath*

Gangguan berupa *multipath* ini dapat dicegah melalui upaya pendekatan yang relatif mudah untuk dilakukan, meliputi:

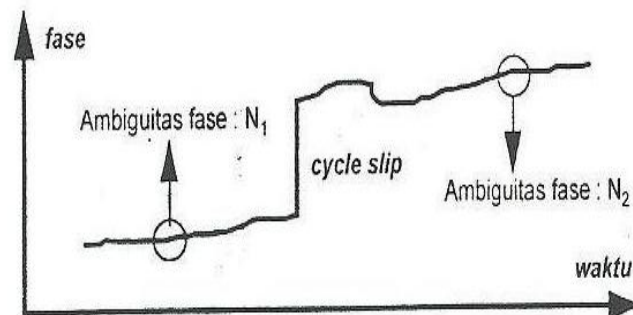
- a. Lingkungan pengamatan reflektif (antena berada jauh dari benda-benda yang dapat memantulkan sinyal, seperti: gedung, danau, gunung, dan lain-lain).
- b. Menggunakan antena GPS yang baik dan tepat yaitu antena yang tahan terhadap efek *multipath*.
- c. Pengamatan satelit yang berelevasi rendah, karena hal ini dapat menyebabkan sinyal satelit tersebut lebih mudah mengalami pemantulan.

4. *Cycle Slips*

Cycle Slips adalah ketidak-kontinyuan dalam jumlah gelombang penuh dari fase gelombang pembawa yang diamati. Hal ini dapat disebabkan karena beberapa faktor diantaranya:

- a. Mematikan dan menghidupkan *receiver* secara sengaja.
- b. Terhalangnya sinyal GPS untuk dapat masuk ke antena disebabkan oleh bangunan, pohon, jembatan dan lain-lain.
- c. Rendahnya nilai *signal-to-noise ratio* (SNR) yang disebabkan oleh beberapa faktor, seperti aktivitas ionosfer yang tinggi dan *multipath*.
- d. Adanya kerusakan komponen dalam *receiver*.

Gambar 2.19 berikut merupakan ilustrasi dari peristiwa terjadinya *cycle slips*, ketidak-kontinyuan dalam jumlah gelombang penuh dari fase gelombang pembawa terhadap waktu.



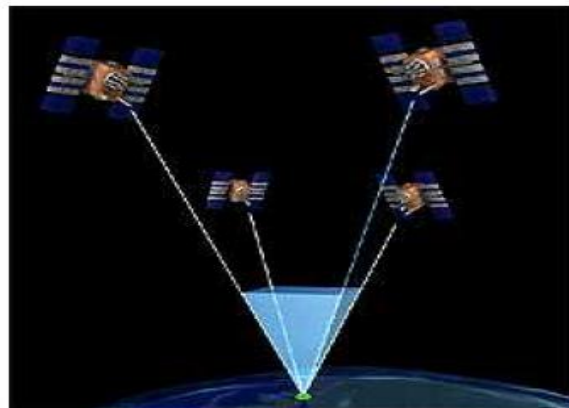
Gambar 2.19 Ilustrasi *Cycle slips*^[1]

J. Geometri Satelit

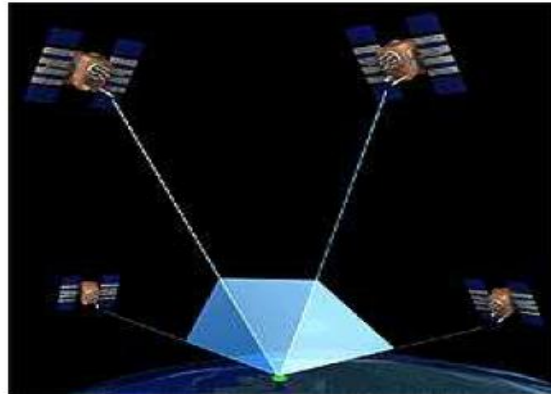
Pada umumnya parameter yang menentukan ketelitian atau akurasi dalam penentuan posisi menggunakan GPS adalah *Geometric Dilution Of Precision* (GDOP) dan kesalahan seperti *multipath*, *cycle slips* dan lain-lain. Untuk faktor kesalahan seperti *multipath* dan *cycle clips* sudah dijelaskan sebelumnya di atas. Geometri satelit merupakan gambaran dari konfigurasi satelit di angkasa yang

dapat mempengaruhi akurasi posisi dalam penentuan posisi menggunakan GPS. Tingkat keakurasian ini dapat dijelaskan melalui parameter *Dilution Of Precision* (DOP). Ada beberapa macam DOP yang merupakan fungsi dari geometri satelit yaitu *Geometric Dilution Of Precision* (GDOP), *Position Dilution Of Precision* (PDOP), *Horizontal Dilution Of Precision* (HDOP), *Vertical Dilution Of Precision* (VDOP) dan *Time Dilution Of Precision* (TDOP). Posisi satelit sangat menentukan besar kecilnya nilai DOP.

Akurasi posisi dalam penentuan penentuan posisi menggunakan GPS salah satunya dipengaruhi oleh nilai GDOP yang telah diamati. Jika nilai GDOP rendah di bawah 3 maka konfigurasi satelit (geometri satelit) kuat dan itu berarti nilai DOP cukup bagus. Gambar 2.20 merupakan ilustrasi untuk posisi satelit dengan GDOP yang buruk dan Gambar 2.21 merupakan ilustrasi untuk posisi satelit dengan GDOP yang baik.



Gambar 2.20 GDOP besar (volume tetrahedron kecil)



Gambar 2.21 GDOP kecil (volume tetrahedron besar)

Untuk posisi antara satelit satu dengan yang lainnya saling berdekatan, maka akan menghasilkan volume tetrahedron kecil. Hal ini berarti nilai GDOP tinggi dibandingkan dengan saat kondisi jarak antar satelit saling berjauhan. Saat kondisi satelit-satelit berjauhan maka akan menghasilkan volume tetrahedron yang lebih besar. Dengan semakin kecilnya nilai GDOP atau akan semakin kecilnya nilai DOP, sehingga dengan rendahnya nilai DOP maka keakuratan posisi GPS akan lebih baik karena adanya separasi sudut yang luas dari satelit-satelit tersebut. Minimal jarak atau separasi sudut antar satelit yaitu 2^0 untuk mendapatkan posisi satelit yang baik.