

BAB II

DASAR TEORI

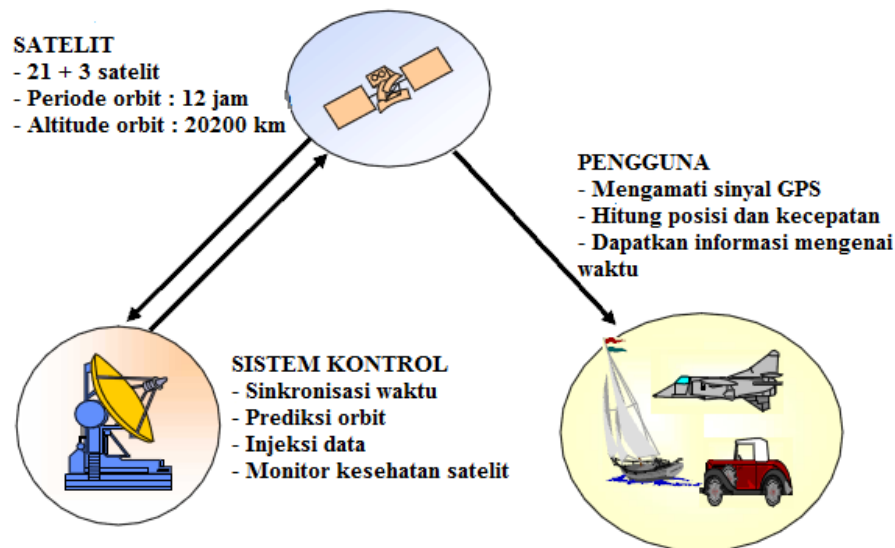
II.1. GNSS (*Global Navigation Satellite System*)

GNSS (*Global Navigation Satellite System*) adalah suatu sistem satelit yang terdiri dari konstelasi satelit yang menyediakan informasi waktu dan lokasi, memancarkan macam-macam sinar dalam berbagai frekuensi secara terus-menerus, yang tersedia di semua lokasi diatas permukaan bumi. GNSS memiliki peranan penting dalam navigasi. GNSS yang ada saat ini adalah GPS (*Global Positioning System*) yang dimiliki dan dikelola oleh Amerika Serikat, GLONASS (*Global Navigation Satellite System*) milik Rusia, Galileo milik Uni Eropa, dan *Compass* atau *Beidou* milik Cina. India dan Jepang telah mengembangkan kemampuan GNSS regional dengan meluncurkan sejumlah satelit ke antariksa untuk menambah kemampuan yang sudah disediakan oleh sistem global dalam menyediakan tambahan cakupan regional [UNOOSA, 2011].

GNSS yang paling dikenal saat ini adalah GPS (*Global Positioning System*). Sistem ini didesain untuk memberikan posisi dan kecepatan tiga dimensi serta informasi mengenai waktu, secara kontinyu di seluruh dunia tanpa bergantung waktu dan cuaca, kepada banyak orang secara simultan. Pada saat ini, sistem GPS sudah sangat banyak digunakan orang di seluruh dunia dalam berbagai bidang aplikasi. Di Indonesia pun, GPS sudah banyak diaplikasikan, terutama yang terkait dengan aplikasi-aplikasi yang menuntut informasi tentang posisi ataupun perubahan 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. Pada dasarnya GPS terdiri dari tiga segmen utama, yaitu segmen angkasa (*space segment*) yang terutama 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 dan pengolah sinyal dan data GPS. Ketiga segmen tersebut digambarkan secara skematik pada Gambar 2.1. [Abidin, 2007]



Gambar 2.1. Sistem Penentuan Posisi Global, GPS [Abidin, 2007]

a. Segmen Sistem Kontrol

Segmen sistem kontrol GPS adalah otak dari GPS. Tugas dari segmen sistem kontrol adalah mengatur semua satelit GPS yang ada agar berfungsi sebagaimana mestinya. Pihak Amerika Serikat mengoperasikan sistem ini dari Sistem Kontrol Utama di Falcon Air Force Base di Colorado Springs, Amerika Serikat. Segmen sistem kontrol ini juga termasuk 4 stasiun monitor yang berlokasi menyebar di seluruh dunia.

b. Segmen Satelit

Segmen satelit adalah satelit-satelit GPS yang mengorbit di angkasa sebagai stasiun radio. Satelit GPS tersebut dilengkapi antena-antena untuk mengirim dan menerima sinyal-sinyal gelombang. Gelombang tersebut selanjutnya dipancarkan ke bumi dan diterima oleh *receiver-receiver* GPS yang ada di bumi dan dapat digunakan untuk menentukan informasi posisi, kecepatan dan waktu. Konstelasi standar dari satelit GPS terdiri dari 24 satelit yang menempati 6 bidang orbit dengan eksentrisitas orbit umumnya lebih kecil dari 0,02. Satelit GPS mengelilingi bumi/mengorbit 2 kali dalam sehari pada ketinggian \pm

20.000 km di atas permukaan bumi. Pada setiap waktu paling sedikit 4 satelit dapat kita amati di setiap lokasi di permukaan bumi. Hal ini memungkinkan bagi pengguna GPS untuk dapat menghitung posisi mereka di permukaan bumi.

c. Segmen Pengguna

Segmen pengguna adalah para pengguna satelit GPS dalam hal ini *receiver* GPS yang dapat menerima dan memproses sinyal yang dipancarkan oleh satelit GPS.

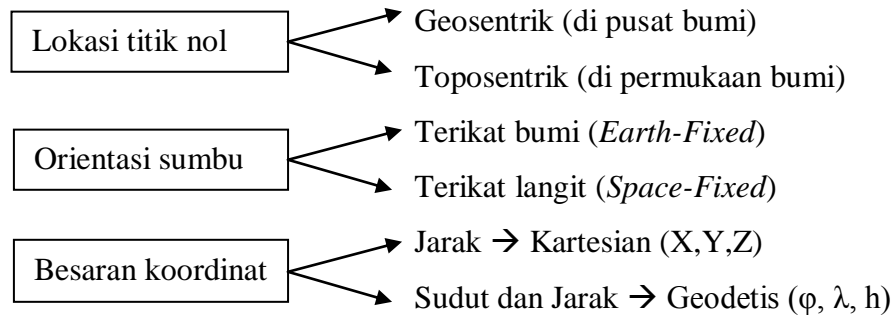
II.2. Posisi dan Sistem Koordinat

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 [Abidin, 2007] :

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

Setiap parameter dari sistem koordinat tertentu dapat dispesifikasikan lebih lanjut, dan berdasarkan pada spesifikasi parameter yang digunakan maka dikenal beberapa jenis sistem koordinat. Contoh dari suatu penspesifikasian parameter sistem koordinat ditunjukkan pada Gambar 2.2.

Dalam penentuan posisi suatu titik di permukaan bumi, titik nol dari sistem koordinat yang digunakan dapat berlokasi di titik pusat massa bumi (sistem koordinat geosentrik), maupun di salah satu titik di permukaan bumi (sistem koordinat toposentrik). Sistem koordinat geosentrik banyak digunakan dalam metode-metode penentuan posisi ekstra-terestris yang menggunakan satelit dan benda-benda langit lainnya, dan sistem koordinat toposentrik banyak digunakan oleh metode-metode penentuan posisi terestris.



Gambar 2.2. Contoh Klasifikasi Sistem Koordinat Berdasarkan Parameternya [Abidin, 2007]

Dilihat dari orientasi sumbunya, ada sistem koordinat yang sumbu-sumbunya ikut berotasi dengan bumi (terikat bumi) dan ada yang tidak (terikat langit). Sistem koordinat yang terikat bumi umumnya digunakan untuk menyatakan posisi titik-titik yang berada di bumi, dan sistem yang terikat langit umumnya digunakan untuk menyatakan posisi titik dan obyek di angkasa, seperti satelit dan benda-benda langit.

Dilihat dari besaran koordinat yang digunakan, posisi suatu titik dalam sistem koordinat ada yang dinyatakan dengan besaran-besaran jarak seperti dalam sistem koordinat kartesian, dan ada yang dengan besaran-besaran sudut dan jarak seperti sistem koordinat geodetik.

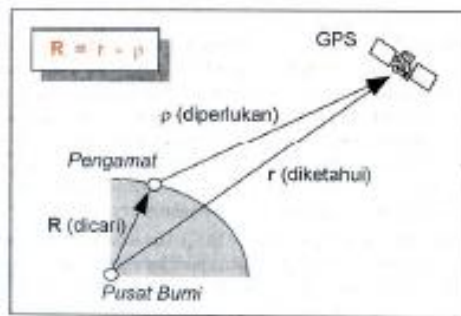
Dalam penentuan posisi dengan pengamatan ke satelit-satelit GPS, ada dua sistem koordinat referensi yang penting untuk dicatat, yaitu CIS (*Conventional Inertial System*) dan CTS (*Conventional Terrestrial System*). Sistem CIS digunakan untuk pendeskripsian posisi dan pergerakan satelit, dan sistem CTS digunakan untuk menyatakan posisi titik di permukaan bumi.

Pada penentuan posisi dengan GPS, posisi titik di permukaan bumi diberikan dalam koordinat kartesian (X, Y, Z) dalam sistem koordinat WGS 84 (*World Geodetic System 1984*), yang merupakan suatu realisasi dari sistem CTS. Koordinat kartesian (X, Y, Z) tersebut selanjutnya ditransformasikan menjadi koordinat geodetik (j, l, h) seandainya diperlukan.

II.3. Penentuan Posisi dengan GPS

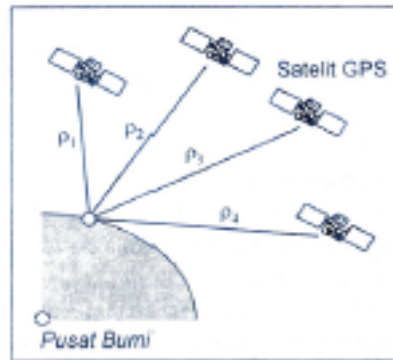
Konsep dasar penentuan posisi dengan GPS adalah reseksi (pengikatan ke belakang) dengan jarak, yaitu dengan pengukuran jarak secara simultan ke

beberapa satelit GPS yang koordinatnya telah diketahui. Secara vektor, prinsip dasar penentuan posisi dengan GPS diperlihatkan pada gambar dibawah ini. Dalam hal ini, parameter yang akan ditentukan adalah vektor posisi geosentrik pengamat (R). Untuk itu, karena vektor posisi geosentrik satelit GPS (r) telah diketahui, maka yang perlu ditentukan adalah vektor posisi toposentris satelit terhadap pengamat (ρ).



Gambar 2.3. Prinsip Dasar Penentuan Posisi dengan GPS (Pendekatan Vektor) [Abidin, 2007]

Posisi yang diberikan oleh GPS adalah posisi tiga dimensi (X, Y, Z ataupun ϕ, λ, h) yang dinyatakan dalam WGS-84. Dengan GPS, titik yang ditentukan posisinya dapat diam (*static positioning*) ataupun bergerak (*kinematic positioning*). Posisi titik dapat ditentukan dengan menggunakan satu *receiver* GPS terhadap pusat bumi dengan menggunakan metode penentuan posisi absolut, ataupun terhadap titik lainnya yang telah diketahui koordinatnya (stasiun referensi) dengan menggunakan metode diferensial (relatif) yang menggunakan minimal dua *receiver* GPS. GPS dapat pula memberikan posisi secara instan (real time) ataupun sesudah pengamatan setelah data pengamatannya diproses secara lebih ekstensif (*post processing*) yang biasanya dilakukan untuk mendapatkan ketelitian yang lebih baik. Secara umum dikenal beberapa metode dan sistem penentuan posisi dengan GPS.



Gambar 2.4. Prinsip Dasar Penentuan Posisi dengan GPS [Abidin, 2007]

Disamping itu, GPS dapat memberikan posisi secara instan (*real-time*) ataupun sesudah pengamatan setelah data pengamatannya diproses secara lebih ekstensif (*post-processing*) yang biasanya dilakukan untuk mendapatkan ketelitian lebih baik. [Abidin, 2007]

II.4. Kesalahan dan Bias Pengamatan

Pengamatan satelit GPS tidak terlepas dari kesalahan dan bias yang disebabkan oleh beberapa faktor alam, alat dan manusia. Ada beberapa macam cara yang dapat dilakukan untuk menghilangkan atau mengurangi efek kesalahan dan bias pengamatan yaitu mengestimasi parameter dari kesalahan dan bias dalam proses hitung perataan, pengurangan data pengamatan, menghitung besar kesalahan dan bias secara langsung atau dari model, menggunakan strategi pengamatan dan pengolahan data yang tepat, dan mengabaikan kesalahan dan bias itu sendiri [Rangga, 2011].

a. Kesalahan Orbit

Kesalahan orbit adalah kesalahan orbit satelit yang dilaporkan oleh *ephemeris* satelit tidak sama dengan orbit satelit yang sebenarnya. Kesalahan orbit ini kemudian akan mempengaruhi ketelitian posisi titik-titik yang ditentukan.

b. Bias Ionosfer

Ionosfer akan mempengaruhi kecepatan, arah dan polarisasi sinyal GPS yang melaluinya. Efek ionosfer yang terbesar adalah pada kecepatan

sinyal sehingga akan mempengaruhi jarak ukuran. Ionosfer akan mempercepat fase dan memperlambat *pseudorange* dari sinyal.

c. Bias Troposfer

Sinyal GPS ketika melewati troposfer akan mengalami refraksi yang menyebabkan perubahan kecepatan dan arah dari sinyal GPS tersebut. Efek utama dari bias ini adalah terhadap kecepatan atau dengan kata lain terhadap hasil ukuran jarak.

d. Multipath

Multipath adalah fenomena yang terjadi karena sinyal dari satelit tiba di antena GPS melalui dua atau lebih lintasan yang berbeda. Perbedaan jarak tempuh menyebabkan sinyal-sinyal tersebut berinterferensi. Bidang *reflektor* yang menyebabkan *multipath* bisa berupa bidang horizontal, vertikal maupun miring, seperti jalan, gedung, permukaan air, dan kendaraan.

e. Cycle Slip

Cycle slip adalah terputusnya jumlah gelombang penuh dari fase gelombang pembawa yang diamati karena *receiver* terputus dalam pengamatan sinyal.

f. Selective Availability

Selective availability adalah metode yang diaplikasikan oleh pihak militer Amerika Serikat agar supaya ketelitian posisi yang relatif tinggi dari GPS hanya dapat diperoleh mereka dan pihak-pihak yang diijinkan. *Selective availability* diimplementasikan dengan menerapkan secara sengaja kesalahan *ephemeris* satelit dan jam satelit. Koreksi kesalahan tersebut hanya diketahui oleh pihak militer Amerika Serikat dan pihak yang diijinkan. Kebijakan *Selective availability* ini sejak tahun 2000 dihapuskan oleh pihak militer Amerika Serikat.

g. Anti Spoofing

Anti spoofing adalah suatu kebijaksanaan dari pihak militer Amerika Serikat untuk mencegah penggunaan kode P dari sinyal GPS yang telah diubah menjadi kode Y yang bersifat rahasia oleh pihak-pihak yang tidak

dikehendaki. Struktur kode Y hanya diketahui oleh pihak militer Amerika Serikat dan pihak-pihak yang diijinkan. Adanya *Anti spoofing* menyebabkan pihak pengguna biasa hanya dapat menerima kode C/A.

h. Ambiguitas Fase

Ambiguitas fase atau *cycle ambiguity* adalah jumlah gelombang (N) yang tidak teramati oleh *receiver* GPS. Ambiguitas fase hanya terjadi pada pengamatan satelit GPS dengan menggunakan data fase.

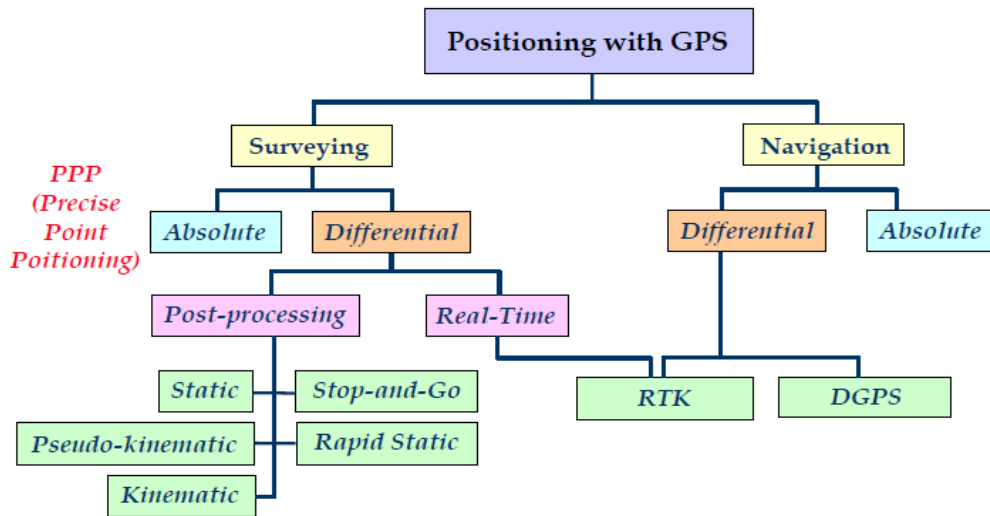
II.5. Metode Penentuan Posisi

Pada dasarnya, tergantung pada mekanisme pengaplikasiannya, metode penentuan posisi dengan GPS dapat dikelompokkan atas beberapa metode yaitu : absolute, differential, static, rapid static, pseudo-kinematic, dan stop and go seperti yang ditunjukkan secara skematik pada Tabel 2.1. berikut :

Tabel 2.1. Metode Penentuan Posisi dengan GPS [Abidin, 2007]

Metode	Absolut (1 receiver)	Diferensial (2 receiver)	Titik	Receiver
STATIC	√	√	Diam	Diam
KINEMATIC	√	√	Bergerak	Bergerak
RAPID STATIC		√	Diam	Diam (singkat)
PSEUDO-KINEMATIC		√	Diam	Diam dan bergerak
STOP-AND-GO		√	Diam	Diam dan bergerak

Berdasarkan aplikasinya, metode-metode penentuan posisi dengan GPS juga dapat dibagi atas dua katagori utama, yaitu survei dan navigasi, seperti yang diilustrasikan pada Gambar 2.5. berikut [Abidin, 2007] :



Gambar 2.5. Penentuan Posisi Dengan GPS [Langley, 1998]

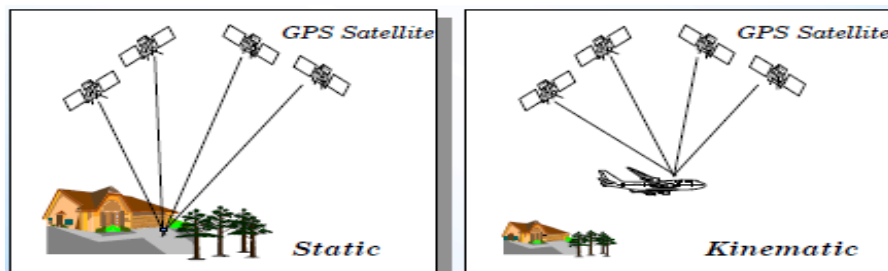
Secara garis besar penentuan posisi dengan GPS dapat dibagi 2, yaitu *absolute positioning* dan *relatif positioning*. Metode-metode ini yang menentukan ketelitian posisi yang diinginkan. Ketelitian GPS bervariasi mulai dari fraksi meter sampai dengan millimeter, tergantung pada metode apa yang digunakan.

Metode-metode tersebut adalah [Abidin, 2007] :

1. Metode Absolute Positioning

Hanya memerlukan satu *receiver* saja bila menggunakan metode ini. Ketelitian yang didapat untuk menentukan posisi hanya rentang 3-6 meter sehingga untuk keperluan yang membutuhkan ketelitian yang lebih presisi dari 3 meter metode ini tidak dapat dipakai. Bahkan untuk data CODE + SA on, ketelitian yang didapat 30 – 100 meter. Ketelitian yang didapat dengan metode ini adalah

- a) Metode Absolut + data CODE + SA on = 30 – 100 meter
- b) Metode Absolut + data CODE + SA off = 3 – 6 meter.



Gambar 2.6. Absolute Positioning [Abidin, 2007]

2. Metode Relatif (*Diferensial*) Positioning

Minimal membutuhkan 2 receiver bila menggunakan metode ini. Ketelitian yang diperoleh bisa sampai ke fraksi millimeter. Hal ini disebabkan antara lain karena *differencing process* dapat mereduksi efek-efek dari berbagai kesalahan dan bias. Selain itu, posisi titik juga ditentukan relatif terhadap *reference station*. Efektifitas *differencing process* sangat tergantung pada dekat-jauhnya dari *reference station*, semakin dekat semakin efektif. Titik yang ditentukan posisinya bisa diam (*static*) atau bergerak (*kinematic*) dan dapat menggunakan data *pseudorange* atau data fase. Aplikasi utama yang biasa digunakan pada metode ini adalah survey geodesi, geodinamika atau survey lain yang memerlukan ketelitian tinggi.

Ketelitian yang didapat dengan metode ini adalah :

- a) Metode DGPS – data *code* = 1 – 2 meter
- b) Metode differensial (*baseline*) + data fase dan *code* = mm.

Dalam penentuan posisi secara differensial, ada beberapa aplikasi yang menuntut informasi posisi relatif secara instan (*real-time*). Untuk melayani aplikasi-aplikasi tersebut, saat ini tersedia dua sistem yang umumnya dikenal dengan nama DGPS (*Differential GPS*) dan RTK (*Real Time Kinematic*).

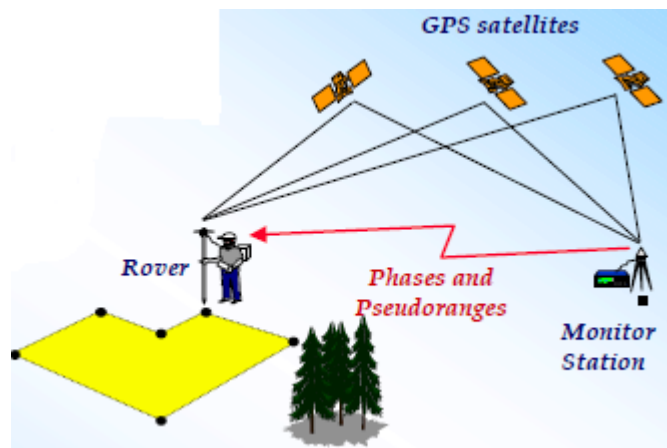
1) DGPS (*Differential GPS*)

DGPS adalah akronim yang sudah umum digunakan untuk sistem penentuan posisi *real-time* secara differensial menggunakan data *pseudorange*. Sistem ini umumnya digunakan untuk penentuan posisi objek-objek yang bergerak. Untuk merealisasikan tuntutan *real-time* nya maka *monitor station* harus mengirimkan koneksi differensial ini kepada pengguna secara *real-time* menggunakan komunikasi data tertentu. Koreksi differensial ini dapat berupa koreksi *pseudorange* (seperti RTCM SC-104) maupun koreksi koordinat. Dalam hal ini, yang umum digunakan adalah koreksi *pseudorange*. Koreksi koordinat jarang digunakan, karena koreksi ini menuntut bahwa

stasiun referensi pengirim koneksi serta pengamat mengamati set satelit yang sama, dimana hal ini umumnya tidak selalu dapat direalisasikan dalam operasional lapangannya. Ketelitian tipikal posisi yang diberikan oleh sistem DGPS ini adalah berkisar sekitar 1 sampai 3m atau lebih baik.

2) RTK (*Real Time Kinematic*)

Sistem RTK (*Real-Time Kinematic*) adalah suatu akronim yang sudah umum digunakan untuk sistem penentuan posisi *real-time* secara diferensial menggunakan data fase. Untuk merealisasikan tuntutan *real-time* nya, stasiun referensi harus mengirimkan data fase dan *pseudorange* nya ke pengguna secara *real-time* menggunakan sistem komunikasi data tertentu.



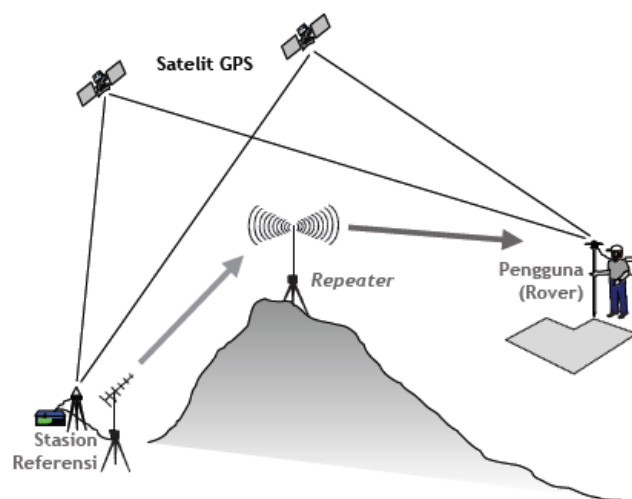
Gambar 2.7. Sistem RTK [Abidin, 2007]

Pada sistem RTK, stasiun referensi mengirimkan data ke pengguna dengan menggunakan sistem komunikasi data yang beroperasi pada pita frekuensi VHF/UHF. Untuk itu umumnya dituntut adanya visibilitas langsung (*line of sight*) antara stasiun referensi dan pengguna, dimana jarak maksimum (*d*) antara keduanya dapat secara teoritis diaproksimasi dengan rumus berikut [Langley, 1998] :

$$d = 3.57 \sqrt{k} (\sqrt{h_t} + \sqrt{h_r}) \dots\dots\dots(2.1)$$

pada rumus diatas h_t dan h_r adalah ketinggian (dalam meter) dari antena-antena pemancar dan penerima di atas horizon umum

keduanya. Secara umum, ketinggian tersebut bisa didekati dengan ketinggian terhadap tinggi rata-rata dari muka tanah. Variabel k adalah faktor efektif jari-jari bumi yang mewakili kenyataan bahwa karena adanya refraksi atmosfer, jarak berdasarkan horizon radio umumnya lebih panjang dibandingkan jarak berdasarkan horizon geometrik. Nilai k tergantung pada gradien vertikal dari refraktivitas di dekat permukaan bumi dan berkisar antara 1,2 sampai 1,6 tergantung kondisi cuaca. Nilai tipikal k dalam kondisi iklim rata-rata adalah 1,33. Berdasarkan rumus diatas, maka seandainya tinggi antena pemancar dan penerima di atas permukaan tanah adalah masing-masing 5 m dan 2 m, maka jarak maksimum propagasi adalah sekitar 15 km. Secara praktis umumnya akan mempengaruhi jarak tempuh dari sinyal tersebut. Untuk mengatasi obstruksi karena adanya topografi antara stasiun referensi dan pengguna (*rover*) dan juga untuk meningkatkan cakupan sinyal, maka stasiun pengulang (*repeater*) dapat digunakan.



Gambar 2.8. Penggunaan Repeater untuk Memperluas Cakupan Sinyal [Abidin, 2007]

Ketelitian posisi yang diberikan oleh sistem RTK ini adalah sekitar 1-5cm, dengan asumsi bahwa ambiguitas fase dapat ditentukan secara benar. Sistem RTK dapat pula digunakan untuk penentuan posisi obyek-obyek yang diam maupun bergerak, sehingga sistem RTK ini

tidak hanya dapat merealisasikan survei GPS *real-time*, tapi juga navigasi berketelitian tinggi. Sistem RTK juga dapat diimplementasikan dengan menggunakan beberapa stasiun referensi. Penggunaan beberapa stasiun RTK ini bertujuan untuk memperluas cakupan dari sistem RTK. Dengan menggunakan satu stasiun referensi, sistem RTK umumnya hanya bisa digunakan untuk jarak *baseline* sampai sekitar 10-15 km. Untuk *baseline* yang lebih panjang umumnya nilai ambiguitas fase akan semakin sukar ditentukan secara benar, karena residu dari kesalahan dan bias yang tersisa setelah proses pengurangan data akan relatif semakin signifikan. Agar resolusi ambiguitas fase tetap dapat dilaksanakan dengan baik untuk jarak *baseline* yang relatif panjang, maka pengguna harus dibantu dengan data dan informasi yang dapat digunakan untuk mereduksi efek dari residu kesalahan dan bias tersebut.

II.6. Network RTK

Tingkat akurasi cm penentuan posisi secara *real-time* berdasarkan pengukuran GPS (atau lebih umum pada pengukuran GNSS) dikembangkan pada pertengahan 1990-an dan saat ini disebut sebagai RTK (*real-time kinematik*). Penentuan posisi ini melibatkan stasiun referensi yang mengtransmisikan koreksi pengamatan ke pengguna (*rover*) melalui semacam *link* komunikasi data (misalnya, VHF atau UHF radio, selular telepon). Pengolahan data di pengguna/*rover* yaitu resolusi ambiguitas dari perbedaan data fase dan memperkirakan posisi pengguna/*rover*. Salah satu kelemahan utama dari pengukuran RTK tunggal/menggunakan satu stasiun referensi adalah jarak maksimum antara stasiun referensi dengan pengguna/*rover* tidak boleh melebihi 30 km untuk dapat dengan cepat dan handal mengatasi ambiguitas fase. Keterbatasan ini disebabkan oleh bias yang tergantung pada jarak seperti kesalahan orbit, sinyal dan refraksi ionosfer, dan troposfer. Kesalahan ini bagaimanapun juga dapat secara akurat dimodelkan menggunakan pengukuran dengan susunan stasiun referensi yang membentuk jaringan di sekitar lokasi

pengguna/*rover*. Dengan demikian, penentuan posisi RTK diperpanjang dari satu stasiun referensi menjadi teknik menggunakan banyak stasiun referensi.

Keberhasilan penentuan posisi RTK dalam beberapa tahun terakhir menghasilkan pendirian stasiun referensi yang melayani RTK yang mensuplai data acuan untuk siapa saja yang bersedia membayar untuk mereka. Dalam rangka memberikan layanan tersebut ke daerah yang lebih besar atau negara seluruh stasiun referensi harus diatur dan dipelihara. Pengembangan jaringan RTK menghasilkan pengurangan yang luar biasa dari investasi biaya yang diperlukan untuk memulai layanan penentuan posisi RTK, karena jumlah stasiun referensi bisa berkurang dari sekitar 30 referensi stasiun per 10.000 kilometer persegi untuk RTK tunggal untuk 5 sampai 10 stasiun referensi per 10.000 kilometer persegi untuk jaringan RTK. Dalam hal ini ada 2 pendekatan yang dapat digunakan untuk mengoreksi kesalahan dan bias dari data pengamatan GPS di stasiun pengguna (*rover*), yaitu :

- a. *Area Correction Parameters* (ACP), dan
- b. *Virtual Reference Station* (VRS)

Pada metode ACP, stasiun-stasiun referensi yang mengamati GPS secara kontinyu memerlukan vektor koreksi yang valid untuk suatu kawasan tertentu (seperti kawasan segitiga antar garis penghubung tiga stasiun referensi) dengan waktu peremajaan (*update*) tertentu sesuai keperluan, seperti setiap 10 detik. Vektor koreksi umumnya terdiri dari komponen ionosfer dan troposfer serta komponen geometrik (jam satelit dan orbit). Komponen-komponen ini umumnya diformulasikan sebagai fungsi dari (lintang, bujur) serta waktu dan dikirimkan ke pengguna oleh stasiun referensi tertentu.

Pada metode VRS, stasiun-stasiun referensi mempunyai fungsi utama untuk mensimulasikan data pengamatan GPS di suatu stasiun referensi maya (*virtual*) yang relatif dekat dengan pengguna. Untuk itu pengguna harus mengirimkan lokasinya ke stasiun referensi utama dari sistem VRS. Selanjutnya sistem VRS tersebut menentukan lokasi referensi maya yang paling baik, menghitung vektor koreksi pada stasiun maya tersebut dan selanjutnya mensimulasikan data pengamatan GPS (*pseudorange* dan fase) pada stasiun

tersebut. Setelah itu stasiun referensi utama dari sistem VRS akan mengirimkan data pengamatan GPS hasil simulasi tersebut ke pengguna. Pengguna menerima data GPS yang seolah-olah diamati oleh stasiun referensi (*virtual*) yang dekat dengannya, dan bisa langsung menerapkan algoritma RTK yang standar. [Rangga, 2011]

II.7. Networked Transport of RTCM Via Internet Protokol (NTRIP)

Teknik baru menggunakan internet untuk *streaming* dan *sharing* koneksi diferensial GPS (DGPS) memberikan akurasi penentuan posisi dan navigasi yang diumumkan dengan nama “*Networked Transport of RTCM Via Internet Protokol (NTRIP)*”. Pengembangan teknik baru ini dikeluarkan oleh agen federal untuk penggambaran peta dan geodesi (BKG) bersama dengan Universitas Dortmund dan Trimble Terrasat GmbH. Intensitas utama menggunakan “Internet” antara lain adalah alternatif dari pelayanan-pelayanan koneksi *real-time* saat ini melalui radio transmisi (LF, MF, HF, UHF) atau jaringan komunikasi *mobile* seperti GSM, GPRS, EDGE, atau UMTS. NTRIP bersifat umum, protokol tidak beralamat pasti berdasarkan *Hypertext Transfer Protokol HTTP/1.1* dan peningkatan ke GNSS data *stream*.

Tidak ada kerugian secara eksplisit dengan menggunakan NTRIP sebagai suatu alternatif dari banyak cara metode tradisional yang dapat digunakan dalam memperoleh koreksi *real-time* DGPS. NTRIP memancarkan data dari stasiun referensi atau basis data untuk aplikasi GIS dalam mengakses dengan berbagai *clients/users* melalui satu teknik komunikasi yang tetap. *Rover*/pengguna yang bergerak seperti keperluan RTK atau pemetaan/GIS tim lapangan, segera dapat menggunakan peralatan GNSS *receiver*-nya dengan dilengkapi modem GPRS untuk akses internet pada saat itu juga untuk keperluan penentuan posisi yang dikelilingi stasiun referensi yang melayani RTK. [Rangga, 2011]

II.8. Penentuan Titik-Titik Dasar Teknik

Dalam bidang pendaftaran tanah, titik dasar teknik didefinisikan sebagai titik tetap yang mempunyai koordinat yang diperoleh dari suatu pengukuran dan perhitungan dalam suatu sistem tertentu yang berfungsi sebagai titik kontrol

ataupun titik ikat untuk keperluan pengukuran dan rekonstruksi batas bidang tanah [BPN, 1996]. Titik-titik dasar teknik tersebut direalisasikan di lapangan oleh Badan Pertanahan Nasional (BPN) dalam bentuk suatu jaringan titik-titik tetap yang dinamakan Kerangka Dasar Kadastral Nasional (KDKN). Sesuai dengan tingkat kerapatannya, tingkat ketelitian koordinat relatifnya, dan juga orderisasi secara nasional, titik-titik dasar teknik pendaftaran tanah tersebut diklasifikasikan atas titik dasar teknik orde-2, orde-3, dan orde-4.

Pemanfaatan teknologi GPS dalam pembangunan orde-2 dan orde-3 adalah suatu langkah yang tepat dan berdampak strategis. Dalam hal ini ada beberapa keuntungan yang dapat diperoleh dari penggunaan GPS, yaitu antara lain seperti yang dijelaskan berikut [Abidin, 2007] :

1. Dengan menggunakan GPS, pembangunan suatu kerangka titik-titik dasar teknik pendaftaran tanah yang mengacu ke suatu datum yang sama untuk seluruh wilayah Indonesia, yang begitu luas dan berpulau-pulau, akan dapat direalisasikan.
2. Dengan GPS, pembangunan Kerangka Dasar Kadastral Nasional (KDKN) tersebut akan dapat diselesaikan lebih cepat dan relatif lebih murah dibandingkan dengan metode terestris.
3. Ketelitian titik-titik KDKN yang diperoleh dengan menggunakan metode survei statik GPS relatif cukup tinggi, dan dalam suatu orde yang sama akan mempunyai tingkat homogenitas dan konsistensi ketelitian yang relatif baik.
4. Pengikatan dan pengintegrasian KDKN dengan Kerangka Dasar Geodesi Nasional (KDGN) yang juga dibangun dengan teknologi GPS akan dapat dilakukan dengan baik, sehingga pengintegrasian antara informasi geodetik dengan informasi kadastral dapat dilakukan dengan baik pula.

II.8.1. Kelas Jaringan

Atribut yang mengkarakteristikan ketelitian internal (tingkat presisi) dari jaringan, yang pada prinsipnya bergantung pada tiga faktor utama, yaitu kualitas data, geometri jaringan, serta metode pengolahan data. [JKHN]

II.8.2. Orde Jaringan

Atribut yang mengkarakterisasi tingkat ketelitian (akurasi) jaring, yaitu tingkat kedekatan jaring tersebut terhadap jaring titik kontrol yang sudah ada yang digunakan sebagai referensi; dan orde jaringan ini akan bergantung pada kelasnya, tingkat presisi dari titik-titiknya terhadap titik-titik ikat yang digunakan serta tingkat presisi dari proses transformasi yang diperlukan untuk mentransformasikan koordinat dari suatu ke datum lainnya. [JKHN]

II.8.3. Penetapan Orde Jaringan

Orde suatu jaring titik kontrol horizontal ditentukan berdasarkan panjang sumbu-panjang (*semi-major axis*) dari setiap titik elips kesalahan relatif (antar titik) dengan tingkat kepercayaan (*confidence level*) 95% yang dihitung berdasarkan statistik yang diberikan oleh hasil hitung perataan jaringan kuadrat terkecil. Dalam penentuan Orde, hitung perataan jaringannya adalah hitung perataan berkendala penuh (*full constrained*).

Tabel 2.2. Orde Jaring Titik Kontrol Horizontal [JKHN]

Orde	c	Jaring Kontrol	Jarak*	Kelas
00	0.01	Jaring fidusial nasional (Jaring tetap GPS)	1000	3A
0	0.1	Jaring titik kontrol geodetik nasional	500	2A
1	1	Jaring titik kontrol geodetik regional	100	A
2	10	Jaring titik kontrol geodetik lokal	10	B
3	30	Jaring titik kontrol geodetik perapatan	2	C
4	50	Jaring titik kontrol pemetaan	0.1	D

*jarak tipikal antar titik yang berdampingan dalam jaringan (dalam km)

Tabel 2.3. Kerangka Referensi Koordinat [JKHN]

Jaring	Kerangka Referensi
Orde-00	ITRF 2000
Orde-0	Minimal Orde-00
Orde-1	Minimal Orde-0
Orde-2	Minimal Orde-1
Orde-3	Minimal Orde-2
Orde-4	Minimal Orde-3

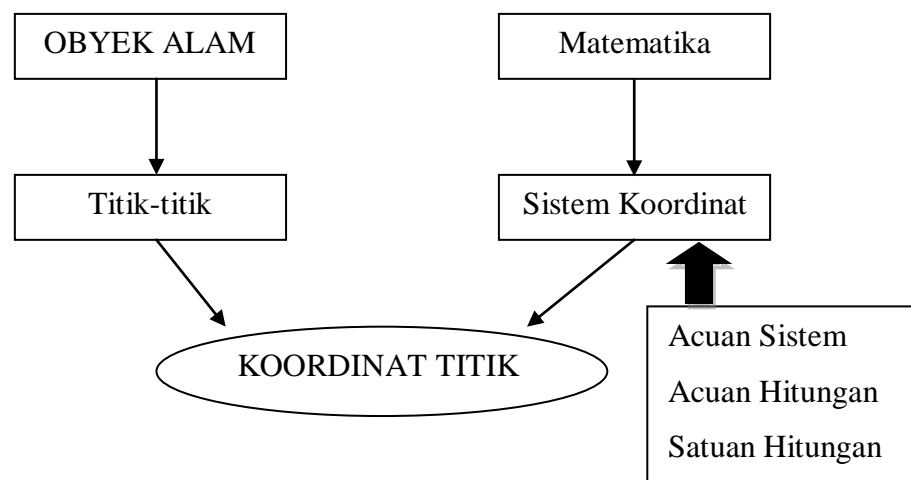
II.9. Sistem Koordinat dan Transformasi Koordinat

II.9.1. Pengertian Umum Transformasi

Cukup banyak kemungkinan dalam mengartikan “transformasi”, sehingga untuk mencegah salah pengertian sebaiknya ditegaskan terlebih dahulu pengertian istilah transformasi tersebut [Sudomo, Agus S. dan Sudarman, 2004] :

Transformasi secara umum adalah perubahan suatu bentuk dan ukuran ke bentuk dan ukuran lain, baik secara fisik maupun secara non-fisik. Yang akan dibahas dengan lebih lanjut adalah transformasi berupa perubahan non-fisik, mengingat yang tengah dipelajari adalah gambaran teknik dari obyek muka bumi yang dititik-beratkan pada masalah posisi. Dengan demikian, transformasi ditekankan pada koordinat titik.

Sebagai penerapan pengertian diatas, maka transformasi yang dimaksudkan disini adalah perubahan koordinat obyek dari suatu sistem koordinat ke sistem koordinat lain. Berdasarkan itu dapatlah dibayangkan bahwa mungkin tidak terjadi perubahan bentuk dan ukuran fisik obyek, melainkan pernyataan posisi obyek yang menjadi berbeda. Mengingat titik merupakan unsur terkecil pembentuk obyek, maka mungkin saja terjadi perubahan bentuk dan ukuran obyek sebagai hasil transformasi, tergantung dari metode transformasi yang digunakan. Setiap metode transformasi memiliki perbedaan hasil tersendiri (spesifik) mengingat dasar pemikiran dan kasus yang berbeda.



Gambar 2.9. Terjadinya Koordinat Titik [Sudomo, Agus S. dan Sudarman, 2004]

Berdasarkan Gambar 2.9 bahwa dalam mengartikan sistem koordinat terdapat beberapa aspek yang penting artinya, yaitu :

- a. Acuan sistem koordinat
- b. Satuan (unit) untuk pernyataan koordinat
- c. Acuan hitungan koordinat, yang erat kaitannya dengan:
 - 1) Besaran ukuran/parameter, dan
 - 2) Bentuk dasar hitungan

Untuk itu perlu ditinjau kembali dasar pengertian “sistem koordinat”. Untuk singkatnya, dapat dikatakan bahwa [Sudomo, Agus S. dan Sudarman, 2004] :

“Sistem koordinat adalah suatu kesatuan yang dibentuk sedemikian rupa dalam menyatakan letak atau posisi obyek yang tidak tergantung pada obyek lainnya”. Akibatnya, dapat dikatakan bahwa sistem koordinat terdiri dari beberapa komponen pembentuk yang bersatu dengan aturan atau tata cara tertentu. Pada dasarnya, hal pertama yang perlu diperhatikan pada sistem koordinat adalah :

- a. Bidang acuan hitungan yang digunakan, dapat berupa bidang datar dan bidang lengkung (baik permukaan bola atau ellipsoid)
- b. Peletakan (penempatan) garis atau bidang referensi koordinat, yaitu :
 - 1) Pernyataan/pendefinisian garis atau bidang referensi koordinat (berikutnya disebut sebagai sumbu)
 - 2) Letak pusat koordinat
 - 3) Orientasi/arah sumbu koordinat
- c. Tata cara menyatakan posisi obyek, dijabarkan dalam :
 - 1) Besaran yang digunakan, yaitu besaran untuk jarak dan/atau sudut
 - 2) Satuan skala yang digunakan (mengingat “panjang” skala sumbu koordinat dapat berbeda)
 - 3) Banyaknya (jumlah) sumbu yang digunakan yang menyatakan pula dimensi posisi obyek

Berdasarkan uraian diatas, maka terdapat beberapa jenis koordinat yaitu sistem koordinat 2D (bidang) dan 3D (ruang). Adapun nama dari jenis sistem koordinat dapat berbeda, karena perbedaan aspek-aspek yang telah diulas diatas.

Berikut merupakan jenis-jenis sistem koordinat ditinjau dari satuan yang digunakan dalam menyatakan koordinat obyek [Sudomo, Agus S. dan Sudarman, 2004] :

a. Sistem Koordinat Polar

- 1) Bidang acuannya adalah bidang datar
- 2) Menerapkan aturan garis lurus antar obyek
- 3) Besaran yang digunakan adalah besaran sudut dan panjang (jarak)
- 4) Menetapkan satu garis lurus (arah tetap) sebagai acuan sudut ke obyek lain
- 5) Koordinat obyek dinyatakan relatif terhadap (dari) suatu obyek tertentu

b. Sistem Koordinat Cartesian (2D ataupun 3D)

- 1) Bidang acuan hitungan adalah bidang datar, baik 2D ataupun 3D
- 2) Menerapkan aturan garis lurus sebagai sumbu (garis acuan)
- 3) Setiap sumbu diletakkan saling tegak lurus
- 4) Besaran yang digunakan hanya besaran panjang (jarak)
- 5) Koordinat obyek sangat tergantung pada :
 - Letak pusat salib sumbu
 - Orientasi (arah) sumbu, dan
 - Selang skala

c. Sistem Koordinat Cassini (Kurva Linier)

- 1) Bidang acuan hitungan adalah bidang lengkung (bola atau ellipsoid)
- 2) Menerapkan aturan garis lengkung sebagai sumbu pada permukaan bidang hitungan
- 3) Setiap sumbu diletakkan saling tegak lurus
- 4) Besaran yang digunakan hanya besaran jarak sferis (pada bola) atau jarak irisan normal utama (pada ellipsoid)

Pada prinsipnya nama sistem koordinat ini dikaitkan dengan jenis yang berbeda. Nama-nama sistem koordinat dibawah ini telah umum digunakan dalam masalah Geodesi. Dalam hal ini terdapat 2 model koordinat yang dapat dibedakan secara tegas, yaitu :

- a. Sistem Koordinat Relatif, yaitu suatu obyek dinyatakan relatif terhadap obyek lain yang berbeda-beda/berganti-ganti
- b. Sistem Koordinat Absolut, yaitu semua obyek dinyatakan relatif terhadap obyek yang tetap (dalam hal ini adalah titik pusat koordinat)

Walaupun demikian, terdapat model “kembangan” yang menjadi suatu sistem koordinat pula, seperti :

1. Sistem Koordinat Polar

- a) Banyak digunakan pada pemetaan (*surveying*/Ilmu Ukur Tanah), yang merupakan pernyataan koordinat relatif
- b) Metode-metode pengukuran (sudut dan jarak) pada *surveying*, menggunakan sistem koordinat ini
- c) Pernyataan koordinat obyek bidikan, dinyatakan relatif terhadap titik tempat pengamatan

2. Sistem Koordinat 2D

- a) Banyak digunakan pada pemetaan pada proyeksi tertentu
- b) Arah sumbu Y menjadi arah Utara Peta (Utara Grid), dapat diorientasikan ke arah Utara Geodetik

3. Sistem Koordinat Geosentrik, merupakan sistem koordinat Kartesian 3D dengan rincian sebagai berikut :

- a) Pusat salib sumbu (pusat ellipsoida) diletakkan pada pusat massa bumi
- b) Sumbu ke 3 (sb Z) tepat/berimpit dengan sumbu putar bumi
- c) Sumbu ke 1 (sb X) merupakan garis potong bidang meridian melalui *Greenwich* dengan ekuator
- d) Sumbu ke 2 (sb Y) merupakan garis potong bidang meridian 90° Timur *Greenwich* dengan ekuator

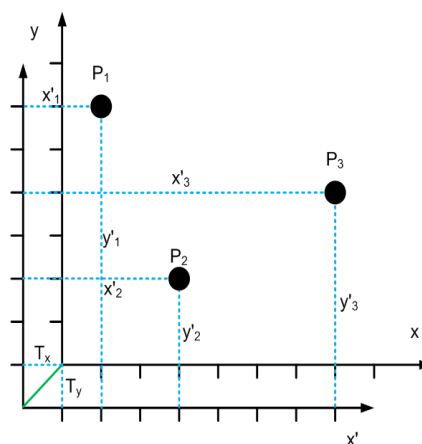
4. Sistem Koordinat Toposentrik, merupakan sistem koordinat Kartesian 3D dengan rincian sebagai berikut :
 - a) Pusat salib sumbu diletakkan pada tempat pengamatan
 - b) Sumbu ke 3 (sb Z) tepat/berimpit dengan garis normal menuju titik Zenith
 - c) Sumbu ke 2 (sb Y) merupakan garis singgung meridian tempat pengamat menuju utara geodetik
 - d) Sumbu 1 (sb X) merupakan garis singgung irisan normal utama tempat pengamat
5. Sistem Koordinat Geodetik, merupakan sistem koordinat Kurva Linier pada permukaan ellipsoid dengan rincian sebagai berikut :
 - a) Bidang acuan “mendatar” adalah ekuator
 - b) Bidang acuan “tegak” adalah bidang meridian melalui *Greenwich*
 - c) Besaran koordinat dinyatakan sebagai :
 - Bujur : sudut yang dibentuk antara bidang meridian melalui *Greenwich* sampai dengan bidang melalui titik yang dimaksud, positif ke timur s/d 180°
 - Lintang : sudut yang dibentuk antara bidang/garis normal melalui titik yang dimaksud sampai dengan ekuator, positif ke utara s/d 90°
6. Sistem Koordinat Astronomik, merupakan sistem koordinat Kurva Linier pada permukaan bola dengan rincian sebagai berikut :
 - a) Bidang acuan “mendatar” adalah ekuator
 - b) Bidang acuan “tegak” adalah bidang meridian melalui *Greenwich*
 - c) Besaran koordinat dinyatakan sebagai :
 - Bujur : sudut yang dibentuk antara bidang meridian melalui *Greenwich* sampai dengan bidang melalui titik yang dimaksud, positif ke timur s/d 180°
 - Lintang : sudut yang dibentuk antara bidang/garis normal melalui titik yang dimaksud sampai dengan ekuator, positif ke utara s/d 90° .

II.9.2. Parameter Transformasi

Seperti yang telah diketahui, bahwa perubahan dalam suatu transformasi adalah terjadinya pergeseran dan perputaran. Pada transformasi yang umum, terdapat parameter lainnya yang tidak terlihat, yaitu perbesaran skala sistem koordinat. Dengan demikian parameter transformasi yang harus diperhatikan adalah [Sudomo, Agus S. dan Sudarman, 2004] :

II.9.2.1. Parameter Translasi (pergeseran)

Translasi sistem koordinat, merupakan besarnya pergeseran yang terjadi pada semua titik yang dinyatakan dalam sistem koordinat tersebut. Translasi ini dapat diartikan pula sebagai besarnya pergeseran titik pusat koordinat sistem lama ke sistem baru. Akibat dari bergesernya pusat koordinat, maka koordinat tersebut akan ikut bergeser, dengan besar pergeseran yang sama.



Gambar 2.10. Translasi (Suproyogi, 2010)

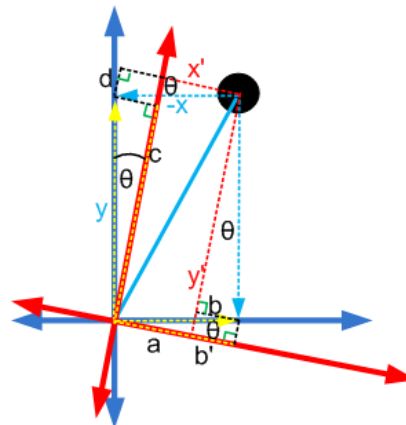
Gambar 2.10 memperlihatkan perubahan pusat koordinat sistem lama ke dalam sistem baru. Pergeseran/translasi transformasi dinyatakan sebesar T_x dan T_y . Besaran translasi ini merupakan besar koordinat titik pusat koordinat lama pada sistem koordinat baru. Hal ini akan berakibat pada koordinat titik yang dinyatakan di dalam sistem koordinat lama. Secara matematis dinyatakan sebagai berikut :

$\begin{aligned} x'_1 &= x_1 + T_x \\ y'_1 &= y_1 + T_y \end{aligned}$(2.2)
--	------------

Dalam prakteknya, T_x dan T_y dihitung dari beberapa titik yang ada. Titik-titik tersebut dinamakan titik sekutu (*common point*).

II.9.2.2. Parameter Rotasi (perputaran)

Parameter transformasi berikutnya adalah parameter berupa “putaran” salib sumbu lama terhadap salib sumbu baru. Yang perlu diperhatikan disini adalah pusat putaran.



Gambar 2.11. Rotasi (Suprayogi, 2010)

Rotasi pada Gambar 2.11 merupakan rotasi absolut, yaitu rotasi yang dinyatakan pada pusat koordinat. Akibat rotasi absolut ini, maka seluruh obyek yang dinyatakan terhadap sistem koordinat tersebut akan ikut terputar. Secara matematis, dinyatakan sebagai berikut :

$$\begin{cases} x' = x \cos \theta + y \sin \theta \\ y' = y \cos \theta - x \sin \theta \end{cases} \dots\dots\dots(2.3)$$

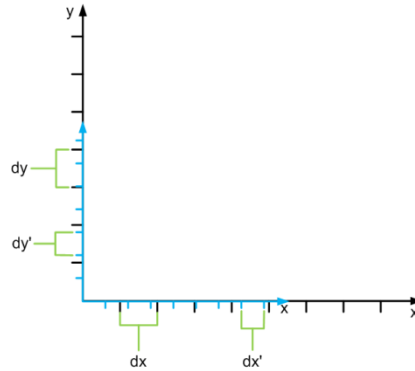
dimana :

θ = besarnya sudut rotasi dari sistem lama ke sistem baru, positif untuk perputaran berlawanan jarum jam

II.9.2.3. Parameter Perbesaran (*scaling factor*)

Suatu sistem koordinat, tidak mungkin terlepas dari besarnya selang/rentang skala yang digunakan, mengingat sistem koordinat harus mengandung skala. Selang skala yang berbeda akan berakibat pada perbedaan

pernyataan koordinat titik, sehingga apabila terdapat 2 sistem koordinat yang menggunakan selang koordinat berbeda, maka dalam menyatakan koordinat suatu titik akan berbeda pula.



Gambar 2.12. Perbesaran *scalling factor* (Suprayogi, 2010)

Pada Gambar 2.12 memperlihatkan 2 salib sumbu yang berimpit, namun menggunakan selang skala yang berbeda. Pernyataan matematisnya adalah sebagai berikut :

$S_x = dx'/dx$ $S_y = dy'/dy$ $x' = S_x(x)$ $y' = S_y(y)$(2.4)
---	------------

dimana :

S = parameter perbesaran

II.9.3. Transformasi 2D

Terdapat beberapa metode transformasi bidang datar 2D yang dapat diterapkan (diaplikasikan). Setiap metode mempunyai keistimewaan dan kegunaan yang berbeda, sesuai dengan asumsi dasarnya. Rumusan tansformasi dengan metode yang berbeda, dapat mengakibatkan hasil akhir yang berbeda, baik dalam bentuk koordinat titik hasil transformasi, maupun dalam bentuk geometrik obyek (selain titik). Yang termasuk metode transformasi bidang datar adalah [Sudomo, Agus S. dan Sudarman, 2004] :

II.9.3.1. Metode *Helmert*

Metode ini ditujukan untuk transformasi koordinat titik dengan anggapan (asumsi) :

- a. Parameter transformasi adalah translasi dan rotasi
- b. Parameter perbesaran tidak ada (tetapi dapat pula dikatakan sebagai $S = 1$ atau faktor perbesaran tetap antara sistem koordinat lama dan sistem koordinat baru)
- c. Transformasi dilakukan pada bidang datar dengan garis antara titik-titik berupa garis lurus

Sebagai akibat dari anggapan diatas, maka metode ini hanya berlaku untuk transformasi :

1. Bentuk konform
2. Berlaku untuk daerah relatif sempit (keliling daerah < 50 km, atau jarak terjauh antar titik < 15 km)

Untuk penurunan rumus *Helmert*, dapat ditempuh dengan 2 cara yaitu melakukan translasi kemudian rotasi atau sebaliknya. Berikut merupakan rumusnya :

$\begin{aligned} X &= ax - by + C_1 \\ Y &= bx + ay + C_2 \end{aligned}$(2.5)
--	------------

Apabila terdapat perbedaan faktor skala dari sistem koordinat lama ke baru yang konstan (misal : sebesar S), maka rumus *Helmert* tersebut dapat dinyatakan sebagai :

$\begin{aligned} a &= S \cos \theta \\ b &= -S \sin \theta \\ X_0 &= C_1 \\ Y_0 &= C_2 \end{aligned}$(2.6)
---	------------

Untuk menghitung nilai S dan θ digunakan rumus sebagai berikut :

$\begin{aligned} S &= \sqrt{a^2 + b^2} \\ \theta &= \text{Arc tan}\left(-\frac{b}{a}\right) \end{aligned}$(2.7)
--	------------

Rumus (2.5) berlaku untuk semua titik baik titik obyek maupun titik sekutu. Untuk dapat menghitung besaran a, b, C₁ dan C₂ (sebanyak 4 variabel pada 2 persamaan), maka dalam aplikasi metode *Helmert* diperlukan minimal 2 titik sekutu.

II.9.3.2. Metode *Affine*

Metode *Affine* merupakan metode transformasi dengan memasukkan ketiga unsur transformasi, yaitu translasi, rotasi dan faktor perbesaran. Faktor perbesaran yang diterapkan pada metode *Affine* bersifat umum, yaitu bahwa “faktor perbesaran sepanjang sumbu X ≠ faktor perbesaran sepanjang sumbu Y”. Mengingat hal diatas, maka bentuk titik-titik yang ditransformasikan dengan *Affine* sebelum dan sesudahnya dapat/mungkin memberikan bentuk yang berbeda. Ini berarti bahwa transformasi *Affine* tidak dapat digunakan untuk transformasi dengan syarat konform. Persamaan dasar transformasi *Affine* berderajat satu adalah sebagai berikut :

$$\begin{cases} X = ax + by + C_1 \\ Y = cx + dy + C_2 \end{cases} \dots\dots\dots(2.9)$$

Seperti juga metode transformasi lainnya, maka persamaan diatas berlaku untuk setiap titik. Dapat dilihat bahwa :

- a. Parameter transformasi adalah a, b, c, d, C₁ dan C₂
- b. Parameter tersebut sebagai 6 variabel dari 2 persamaan sehingga diperlukan minimal 3 titik sekutu.

Bila rumus (2.9) dinyatakan dalam bentuk matriks, untuk jumlah titik banyak (n buah), maka :

$$A = \begin{pmatrix} X_A & Y_A & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & X_A & Y_A & 0 & 1 \\ X_B & Y_B & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & X_B & Y_B & 0 & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \end{pmatrix} ; [X] = \begin{pmatrix} a \\ b \\ c \\ d \\ C_1 \\ C_2 \end{pmatrix} ; F = \begin{pmatrix} X_A \\ Y_A \\ X_B \\ Y_B \\ \vdots \\ \vdots \end{pmatrix} \dots\dots(2.10)$$

Dimana :

- A, B, C, = titik-titik sekutu atau titik obyek
a, b, c, d, C₁, C₂ = parameter transformasi

Bila dilakukan secara bertahap seperti contoh sebelumnya, maka untuk mendapatkan parameter transformasi matriks titik sekutu adalah A1 dan matriks residu F1, maka :

$$\boxed{[X] = [A1^T \cdot A1]^{-1} \cdot A1^T \cdot F1} \dots\dots\dots(2.11)$$

Selanjutnya koordinat titik obyek dihitung dengan model yang sama setelah nilai parameter dihitung, dengan rumus :

$$\boxed{F2 = A1 \cdot [X]} \dots\dots\dots(2.12)$$

Dimana :

- A1 = matriks koefisien untuk titik obyek (koordinat titik RTK)
- F1 = matriks koordinat untuk titik obyek (koordinat titik BPN)
- F2 = matriks koordinat titik obyek hasil transformasi
- [X] = matriks parameter

II.10. Uji Statistik

II.10.1. Distribusi Fisher

Uji Fisher adalah suatu analisis varians yang memungkinkan kita untuk mengetahui apakah dua atau lebih mean populasi akan bernilai sama dengan menggunakan data dari sampel masing-masing populasi. Biasanya analisis varians lebih efektif digunakan untuk menguji tiga atau lebih populasi. Berikut ini merupakan prosedur Uji analisis varians yaitu [Harinaldi, 2005] :

1. Pernyataan Hipotesis nol dan Hipotesis alternatif :

Hipotesis nolnya adalah sampel-sampel yang diambil dari populasi saling independen yang memiliki variansi sama. Dengan kata lain, hipotesis nol dan hipotesis alternatifnya adalah :

$$H_0 = \sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \sigma_3^2 = \dots = \sigma_k^2$$

H₁ = tidak seluruh variansi populasi sama

Perlu diperhatikan bahwa jika hipotesis alternatif diterima maka dapat disimpulkan bahwa sekurangnya terdapat satu variansi populasi yang berbeda dari populasi yang lainnya. namun analisis varians tidak dapat mengungkapkan dengan pasti berapa banyak populasi yang variansinya

berbeda, dan analisis varians juga tidak bisa menjelaskan variansi dari populasi yang mana yang berbeda.

2. Pemilihan tingkat kepentingan (*level of significance*) = α , biasanya digunakan tingkat kepentingan 0.01 atau 0.05
3. Penentuan distribusi pengujian yang digunakan. Dalam uji ini yang digunakan adalah distribusi F. Nilai-nilai dari distribusi F telah disajikan dalam bentuk tabel, yang dapat ditentukan dengan mengetahui tiga hal sebagai berikut :
 - a. Tingkat kepentingan
 - b. Derajat kebebasan/*degree of freedom* yang digunakan sebagai pembilang dalam rasio uji adalah $k - 1$.
dimana k = jumlah populasi/ sampel
 - c. Derajat kebebasan/*degree of freedom* yang digunakan sebagai penyebut dalam rasio uji adalah $T - k$.
dimana T = jumlah total anggota sampel di seluruh populasi yang diuji dan k = jumlah populasi/ sampel
4. Pendefinisian daerah-daerah penolakan atau kritis yang dibatasi oleh nilai kritis F.
5. Pernyataan aturan keputusan (*decision rule*). Tolak H_0 dan terima H_1 jika $F_{hitung} > F_{Tabel}$. Jika tidak demikian maka terima H_0 .
6. Perhitungan nilai F, rumus yang digunakan adalah :

$$F = \frac{\sigma_1^2}{\sigma_2^2} \dots\dots\dots(2.14)$$

Dimana : σ_1^2 = variansi populasi 1
 σ_2^2 = variansi populasi 2

II.11. CORS (*Continuously Operating Reference Stations*)

Perkembangan teknologi penentuan posisi dengan satelit *Global Navigation Satellite System* (GNSS) memunculkan sistem pengadaan titik kontrol dasar modern baik yang bersifat lokal, regional, maupun global sebagai referensi penentuan posisi untuk pengukuran dan pemetaan yang bersifat aktif, terus menerus dan dapat diakses secara *real time*. Jaring kerangka kontrol GNSS

bermanfaat untuk berbagai studi kebumihan, antara lain studi deformasi, studi *Land Subsidence*, dan studi geodinamika. Sistem titik kontrol modern tersebut adalah *Continuously Operating Reference Stations (CORS)*.

CORS yang merupakan jalinan beberapa stasiun referensi GNSS permanen (*base station*), dapat merekam data *ephemeris* GNSS secara kontinu, lalu disimpan dalam *server* dan dihitung secara teliti menghasilkan koreksi-koreksi yang dapat diberikan secara *real time* kepada *receiver* GNSS.

CORS (*Continuously Operating Reference Station*) adalah salah satu teknologi berbasis GNSS yang dimanfaatkan untuk berbagai aplikasi terkait penentuan posisi. CORS merupakan jaring kerangka geodetik aktif berupa stasiun permanen yang dilengkapi dengan receiver yang dapat menerima sinyal dari satelit GPS dan satelit GNSS lainnya, yang beroperasi secara kontinyu selama dua puluh empat jam. Dalam pemanfaatannya CORS dapat menyediakan data penentuan posisi secara *real time* ataupun *post-processing* dan menyediakan jaringan terbuka agar data-data posisi yang dihasilkan dapat diakses secara aktif oleh pengguna.

CORS di Indonesia sendiri pertama kali dioperasikan oleh Badan Informasi Geospasial (sebelumnya bernama Bakosurtanal) pada tahun 1996 dan disebut juga IPGSN (Indonesia Permanent GNSS Station Network). Pada bulan April 2012, jaringan CORS IPGSN telah memiliki 117 stasiun yang tersebar diseluruh wilayah Indonesia. Selain jaringan IPGSN, jaringan CORS di Indonesia juga dikembangkan oleh BPN (Badan Pertanahan Nasional) yang pada bulan April 2012 telah memiliki 93 stasiun dan 70 diantaranya berada di Pulau Jawa.

Seiring dengan perkembangan teknologi penentuan posisi dan kebutuhan dalam penelitian bidang pemetaan, maka di Kampus Teknik Geodesi Universitas Diponegoro pada bulan desember 2012 dibangun instalasi CORS Ashtech bekerjasama dengan perusahaan PT. Adhi Mulia. CORS ini diberi nama Stasiun DIP0 dimana CORS ini dapat menerima sinyal dari satelit GPS dan satelit GNSS yang beroperasi secara kontinyu selama dua puluh empat jam dengan koordinat yang beragam.

Keuntungan jaringan CORS GNSS antara lain [Rangga, 2011] :

a. Pengoperasian

- 1) Meningkatkan produktivitas (beroperasi secara terus menerus)
- 2) Mendapatkan data pengamatan yang lebih dari banyak stasiun referensi
- 3) Meningkatkan produktivitas (tidak membutuhkan stasiun sementara)
- 4) Waktu inisialisasi yang lebih cepat untuk *rover*
- 5) Memperluas jarak survei

b. Kualitas Penentuan Posisi

Melalui pengukuran dengan GNSS akan meningkatkan presisi dan ketahanan

c. Komersial

Biaya operasional yang lebih rendah dan banyak pengguna yang tertarik

d. Banyak Aplikasi

- 1) RINEX untuk *post processing*/penelitian ilmiah
- 2) RTK untuk *surveying* dan *engineering*
- 3) DGPS untuk kelautan dan aplikasi SIG
- 4) Informasi waktu untuk tujuan IT

e. Pemusatan Konsep Kontrol

Mengelola jaringan antara lain perijinan, pembatasan atau penolakan siapa yang menerima produk dari jaringan stasiun referensi mereka antara lain RINEX untuk pengguna/lokasi khusus, koreksi RTK dan DGPS untuk pengguna data untuk beberapa aplikasi di luar membutuhkan posisi.

II.12. ITRF (*International Terrestrial Reference Frame*)

ITRF merupakan kerangka referensi koordinat global yang merupakan realisasi dari ITRS.

Keterangan

1. ITRF direpresentasikan dengan koordinat dan kecepatan dari sejumlah titik yang tersebar seluruh permukaan bumi, dengan menggunakan metode-metode pengamatan VLBI, LLR, GPS, SLR, dan DORIS ;
2. jaring kerangka ITRF dipublikasikan setiap tahunnya oleh IERS, dan diberi nama ITRF-yy, dalam hal ini yy menunjukkan tahun terakhir dari data yang digunakan untuk menentukan kerangka tersebut, misalnya ITRF94 adalah kerangka koordinat dan kecepatan yang dihitung pada tahun 1995 dengan menggunakan semua data IERS sampai akhir 1994.

II.12.1. ITRF 2000

ITRF 2000 merupakan kerangka referensi koordinat global yang merupakan realisasi dari ITRS yang kerangka koordinat dan kecepatan yang dihitung pada tahun 2001 dengan menggunakan semua data IERS sampai akhir 2000.

II.12.2. ITRF 2008

ITRF 2008 merupakan kerangka referensi koordinat global yang merupakan realisasi dari ITRS yang kerangka koordinat dan kecepatan yang dihitung pada tahun 2009 dengan menggunakan semua data IERS sampai akhir 2008. ITRF 2008 ini merupakan realisasi terbaru dari ITRS. ITRF 2008 mengikuti prosedur yang digunakan pada ITRF 2005, ITRF 2008 digunakan dengan input data *time series* dari posisi stasiun dan *Earth Orientation Parameters* (EOPs) dengan menggunakan metode-metode pengamatan VLBI, GPS, SLR, dan DORIS.