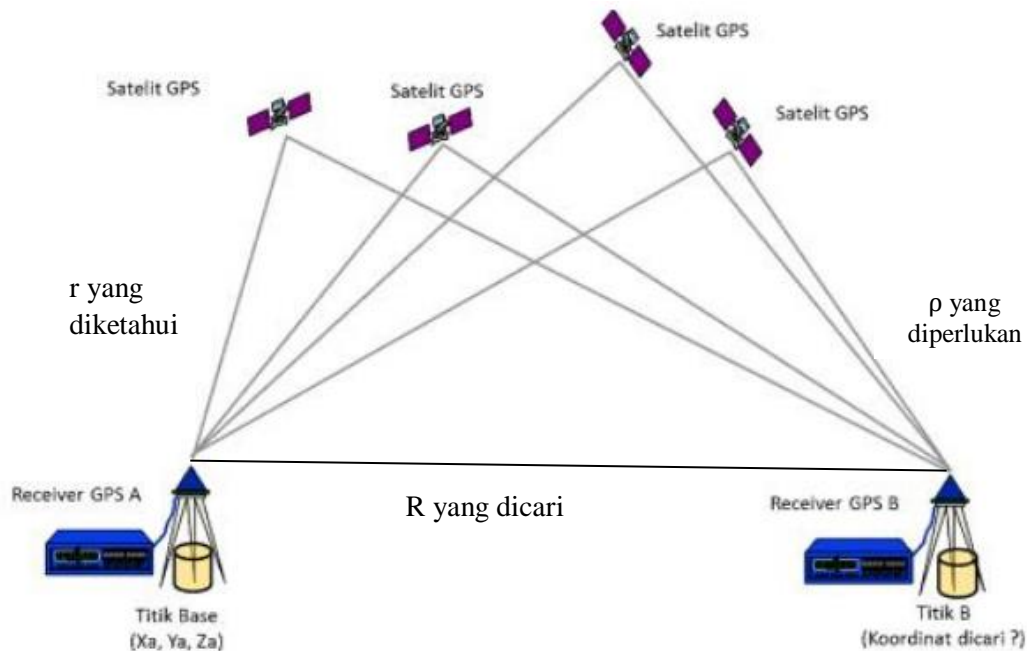


BAB II

LANDASAN TEORI

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

Global Navigation Satellite System (GNSS) adalah sistem penentuan posisi berbasis antariksa yang terdiri dari satu atau lebih konstelasi satelit dan infrastruktur augmentasi yang diperlukan untuk mendukung tujuan kegiatan berupa posisi, navigasi dan waktu dan tersedia selama 24 jam dimanapun pengguna berada di seluruh permukaan bumi (Hofmann-Wellenhof, B, 2018). Prinsip dasar menggunakan GNSS untuk penentuan posisi seperti pemotongan ke muka (*Resection*) dalam survei konvensional (Fajriyanto, 2009). Data yang diukur untuk penentuan posisi dengan GNSS adalah jarak dari penerima ke setidaknya tiga satelit, sehingga posisi penerima GNSS dapat ditentukan (Fajriyanto, 2009). Secara visual prinsip dasar penentuan posisi menggunakan GNSS dapat dilihat pada Gambar II.1 berikut.



Gambar II. 1 Prinsip dasar penentuan posisi (Fajriyanto, 2009)

Berdasarkan Gambar II.1 Parameter yang akan ditentukan adalah vektor posisi geosentrik pengamat (R) (Fajriyanto, 2009). Untuk itu, karena vektor posisi geosentrik satellite GPS (r) telah diketahui, maka yang perlu ditentukan adalah

vektor posisi toposentris satellite terhadap pengamat (ρ) (Fajriyanto, 2009). Sistem navigasi satelit GNSS yang tersedia saat ini antara lain NAVSTAR GPS (*NAVigation Satellite Timing and Ranging Global Positioning System*)(USA), GLONASS (*Global'naya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema*)(Rusia), Galileo (Eropa), Compass/ Beidou (China), *Quasi-Zenith Sistem Satelit (QZSS)* dan *India Regional Navigation Satellite System (IRNSS)* (Tauho .dkk, 2007).

Satelit GNSS memancarkan sinyal – sinyal ke permukaan bumi (Abidin, 2007). Sinyal yang dipancarkan oleh satelit GNSS memuat informasi posisi satelit yang bersangkutan, jarak satelit tersebut terhadap si pengamat dan informasi waktunya, informasi kesehatan satelit dan informasi pendukung lainnya (Abidin, 2007). Informasi pendukung lainnya seperti parameter untuk perhitungan, koreksi jam satelit, parameter model ionosfer satu frekuensi, transformasi waktu GPS ke UTC dan konstelasi satelit (Wahyono, 2019). Pada dasarnya, sinyal GPS dibagi menjadi 3 (tiga) komponen (Chapman, 2018), yaitu:

1. komponen penginformasi jarak (kode), didalamnya terdapat dua kode *Pseudo-Random Derau (PRN)* yaitu kode-P (*Precise Code* atau *Private Code*) dan kode-C/A (*Clear Access Code* atau *Coarse Acquisition Code*) yang akan dikirim oleh satelit dan digunakan sebagai penginformasi jarak;
2. komponen penginformasi posisi satelit (*Navigation message*), memberikan informasi tentang posisi dan kesehatan satelit serta informasi-informasi lainnya seperti koefisien koreksi jam satelit, parameter orbit, almanak satelit, dan parameter koreksi ionosfer. Pesan navigasi tersebut ditentukan oleh segmen sistem kontrol dan dikirimkan ke pengguna menggunakan satelit GPS; dan
3. gelombang pembawa (*carrier wave*), terdiri dari tiga buah gelombang pembawa yaitu L1 dan L2 yang bertugas membawa kode dan pesan navigasi dari satelit ke pengamat. Gelombang L1 membawa kode-P(Y) dan C/A beserta pesan navigasi sedangkan gelombang L2 membawa kode-P(Y) dan pesan navigasi. Pada tahun 2005 sinyal GPS mulai dikembangkan yang ditandai dengan peluncuran pertama satelit IIR-M (J.A Avila Rodriguz, 2011). Sejak saat itu, dua sinyal baru ditransmisikan yaitu sinyal L2C untuk pekerja sipil dan sinyal militer baru membawa kode-P (M) di L1 dan L2

diketahui dapat memberikan ketahanan gangguan yang lebih baik dibandingkan kode P (Y) (J.A Avila Rodriguz, 2011). Sedangkan, pada peluncuran kedua satelit IIF tanggal 28 mei 2010 satu sinyal baru dihubungkan yaitu, frekuensi radio L5 untuk pekerja sipil dimasukkan dalam pita radio yang disediakan khusus untuk layanan keselamatan penerbangan (J.A Avila Rodriguz, 2011).

Jenis frekuensi gelombang yang digunakan oleh GNSS tergantung dari satelitnya (Wahyono, 2019). Setiap satelit memiliki penamaan gelombang frekuensi yang berbeda, hal tersebut disesuaikan dengan jenis dan tipe alat penerima sinyal GPS (*GPS receiver*) yang digunakan. Tabel II.1 berikut ini dapat dilihat jenis frekuensi yang digunakan oleh satelit–satelit penentuan posisi.

Tabel II. 1 Jenis dan nilai frekuensi GNSS (Mucoadhesive dan Mucosa, 2020)

<i>Global Navigation SATELLITE System (GNSS)</i>	<i>Frequency</i>	<i>Center Frequency (Mhz)</i>
GPS	L1 C/A	1575,42
	L1 C	1575,42
	L2 C	1227,6
	L2 P	1227,6
	L5 C	1176,45
GLONASS	L1 C/A	1598,06-1604,31
	L2 C	1242,94-1251,69
	L2 P	1242,94-1251,69
	L3 OC	1202,025/1207,14
BEIDOU	B11	1561,098
GALILEO	E1	1575,42
	E5a	1176,45
	E5b	1207,14
	E5 AltBOC	1191,795
	E6	1278,75
IRNSS	L5	1176,45

Lanjutan Tabel II.1 Jenis dan nilai Frekuensi Satelit GNSS (Mucoadhesive dan Mucosa, 2020)

<i>Global Navigation SATELLITE System (GNSS)</i>	<i>Frequency</i>	<i>Center Frequency (Mhz)</i>
QZSS	L1 C/A	1575,42
	L1 C	1575,42
	L1 S	1575,42
	L2 C	1227,6
	L5	1176,45
	L6	1278,75

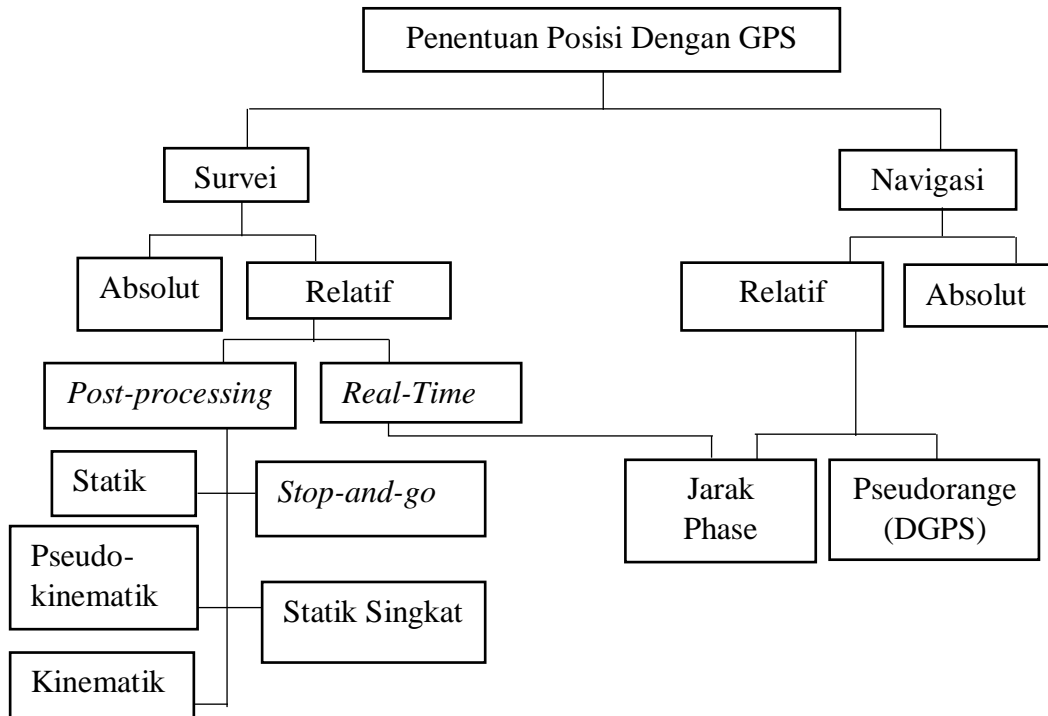
Berdasarkan Tabel II.1 dapat dilihat dari enam sistem navigasi satelit yang tersedia saat ini memiliki jenis frekuensi dan nilai frekuensi yang berbeda dengan penamaan sinyal frekuensi yang berbeda.

II.2 Metode Penentuan Posisi GPS (*Global Positioning System*)

Metode penentuan posisi dengan GPS dapat dipecah ke dalam beberapa metode sesuai dengan banyaknya *receiver* yang digunakan, keadaan titik pengamatan dan kondisi *receiver* penerima yang ditunjukkan secara skematik pada Tabel II.2. Berdasarkan aplikasinya metode penentuan posisi dibagi dalam dua kategori yaitu survei dan navigasi dan diilustrasikan pada Gambar II. 2.

Tabel II. 2 Metode-metode penentuan posisi dengan GPS (Abidin, 2007)

Metode	Absolut (1 receiver)	Relatif (2 receiver)	Titik	Kondisi (Receiver)
<i>STATIC</i>	√	√	Diam	Diam
<i>KINEMATIC</i>	√	√	Bergerak	Bergerak
<i>RAPID STATIC</i>		√	Diam	Diam (singkat)
<i>PSEUDO-KINEMATIC</i>		√	Diam	Diam dan Bergerak
<i>STOP-AND-GO</i>		√	Diam	Diam dan Bergerak



Gambar II. 2 Metode-metode penentuan posisi dengan GPS (Abidin, 2007)

Prinsipnya, survei GPS bertumpu pada metode-metode penentuan posisi statik secara relatif menggunakan data *phase* (Abidin, 2007). Pengamatan satelit GPS umumnya dilakukan *baseline per baseline* selama selang waktu tertentu (tergantung tingkat ketelitian yang diinginkan) dalam suatu jaringan (kerangka) dari titik-titik yang akan ditentukan posisinya (Abidin, 2007). Persamaan yang digunakan dalam penentuan posisi titik yaitu, persamaan (1) untuk data *pseudorange* dan persamaan (2) untuk data *phase* (Abidin, 2007). Persamaan tersebut diformulasikan secara umum berikut ini:

$$P_i = \rho + dp + dtrop + dion_i + (dt - dT) + MP_i + vP_i \quad (1)$$

$$L_i = L + dp + dtrop + dion_i + (dt - dT) + MC_i + \lambda_i N_i + vC_i \quad (2)$$

Keterangan:

P_i = Data *pseudorange*

L_i = Data *phase*

ρ, L = Jarak geometris antara pengamat dengan satelit

dp = Efek dari kesalahan orbit satelit

$dtrop$ = Efek dari bias troposfer

- dion = Efek bias ionosfer
- i = Menunjukkan sinyal tertentu
- dt = Efek dari bias waktu *receiver*
- dT = Efek dari bias waktu satelit
- MP = Efek dari *multipath pseudorange*
- MC = Efek dari *multipath phase*
- N = Ambiguitas *phase*
- vP = Derau dari *pseudorange*
- vC = Derau dari *phase*

Ketelitian posisi yang diperoleh dipengaruhi oleh beberapa faktor salah satunya geometri dan distribusi dari satelit yang diamatai, yang dapat diketahui dengan nilai *Dilution of Precision* (DOP) (Abidin, 2001). DOP adalah bilangan yang digunakan untuk merefleksikan kekuatan geometri dari konstelasi satelit (Abidin, 2001). Nilai DOP yang kecil menunjukkan geometri satelit yang kuat (baik) dan nilai DOP yang besar menunjukkan geometri satelit yang lemah (buruk) (Abidin, 2001).

Berdasarkan pada parameter yang diestimasi, dikenal beberapa jenis DOP yang dipakai yaitu GDOP (*Geometric Dilution of Precision*), VDOP (*Vertical Dilution of Precision*), HDOP (*Horizontal Dilution of Precision*), PDOP (*Positional Dilution of Precision*) (Kurniawan, 2019). GDOP untuk ketelitian posisi 3 dimensi dan waktu, VDOP menjelaskan ketelitian posisi vertikal, HDOP menjelaskan ketelitian posisi horizontal, dan PDOP (menjelaskan ketelitian posisi tiga dimensi (Kurniawan, 2019). Nilai DOP dapat dihitung dengan matriks ko-faktor dari parameter yang diestimasi dan dapat dilihat pada persamaan (3), (4), (5), (6), dibawah (Leick, 1990).

$$GDOP = \sqrt{q_n + q_e + q_u + q_t} \quad (3)$$

$$VDOP = \sqrt{q_u} \quad (4)$$

$$HDOP = \sqrt{q_n + q_e} \quad (5)$$

$$PDOP = \sqrt{q_n + q_e + q_u} = \sqrt{q_x + q_y + q_z} \quad (6)$$

Keterangan:

qn = Koordinat Northing

qe = Koordinat Easting

qu = Elevasi

qt = Waktu

qx = Koordinat X

qy = Koordinat Y

qz = Koordinat Z

II.2.1 Metode Penentuan Posisi Relatif

Metode penentuan posisi yang digunakan pada penelitian ini adalah metode Relatif Statik. Metode pengamatan relatif dilakukan dengan mengurangi data yang diamati oleh dua *receiver* GPS pada waktu yang bersamaan, maka beberapa jenis kesalahan dan bias dari data dapat dieliminasi atau direduksi (Abidin, 2007). Pada penentuan posisi relatif, posisi suatu titik ditentukan secara relatif terhadap titik lainnya yang telah diketahui koordinatnya (*station referensi*) (Abidin, 2007).

Metode penentuan posisi relatif dapat dilakukan secara statik (diam) maupun kinematik (bergerak) dan data yang digunakan yaitu *pseudorange*, *phase* atau *phase-smoothed pseudorange* (Abidin, 2007). Efektifitas dari proses relatif ini sangat tergantung kepada jarak antara titik referensi dan titik yang akan ditentukan posisinya (panjang *baseline*), semakin dekat jaraknya maka akan lebih efektif (Abidin, 2007). Metode ini digunakan untuk kegiatan survei dan pemetaan, survei geodetik, dan navigasi presisi (Abidin, 2007).

Penentuan posisi secara statik (*Static Positioning*) adalah penentuan posisi dari titik-titik yang statik (diam) (Abidin, 2007). Penentuan posisi tersebut dapat dilakukan secara absolut maupun relatif dengan menggunakan data *pseudorange* dan/atau *phase* yang selanjutnya dilakukan pengolahan data setelah pengamatan (*post process*), keandalan dan ketelitian yang diperoleh cukup tinggi yaitu di orde milimeter sampai sentimeter (Abidin, 2007). Implementasi penentuan posisi ini adalah penentuan titik-titik kontrol survei pemetaan maupun survei geodetik (Abidin, 2007).

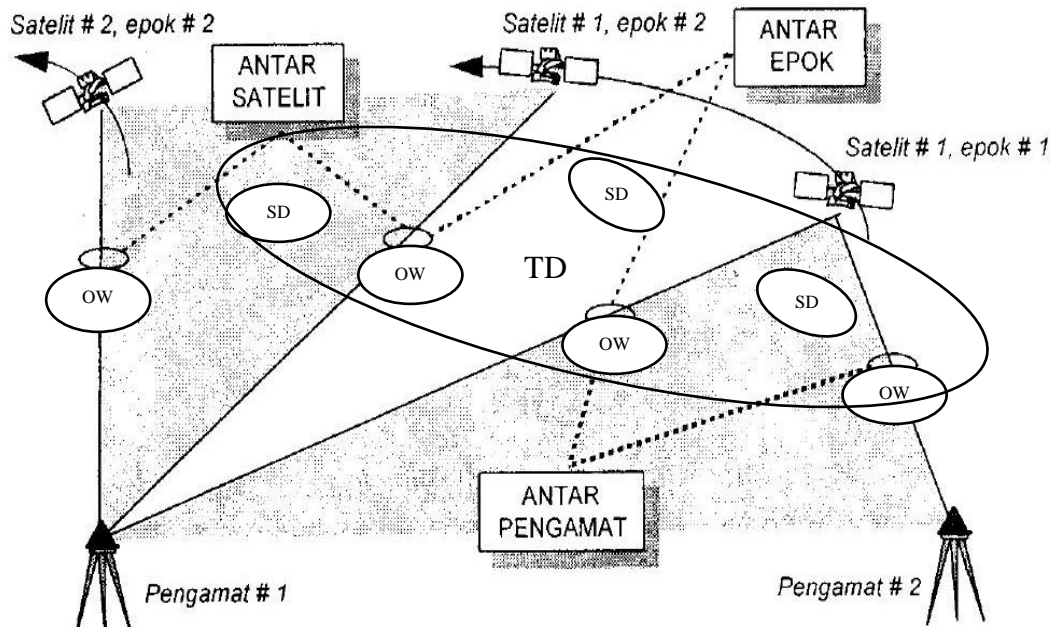
Dalam penentuan posisi secara relatif, terdapat beberapa aplikasi yang menuntut informasi posisi relatif secara instan (*real time*) (Abidin, 2007). Salah satu aplikasi penentuan posisi relatif secara instan (*real time*) adalah sistem DGPS (Abidin, 2007). Sistem DGPS (*Differential Global Positioning System*) adalah sistem penentuan posisi *real time* secara diferensial menggunakan data pseudorange (Abidin, 2007). Pada sistem DGPS diperlukan suatu sistem komunikasi data tertentu untuk mengirimkan koreksi diferensial (Abidin, 2007).

Koreksi diferensial bisa berupa koreksi *pseudorange* (seperti *Radio Technical Commission for Maritime Services (RTCM SC) -104*) maupun koreksi koordinat (Abidin, 2007). Ketelitian yang diperoleh berkisar sekitar satu sampai tiga meter (Abidin, 2007). Sistem DGPS ini umum digunakan penentuan objek yang bergerak atau untuk survei kelautan (Abidin, 2007). Sistem DGPS dibedakan menjadi dua berdasarkan luas wilayah cakupan koreksinya (Abidin, 2007), yaitu:

1. LADGPS (*Local Area DGPS*). Jumlah stasiun referensi satu, koreksi *pseudorange*, validitas koreksi untuk jarak <100 Km (Lokal)
2. WADGPS (*Wide Area DGPS*). Jumlah stasiun referensi beberapa, koreksi vektor (jam satelit, 3 komponen kesalahan orbit, parameter bias model ionosfer dan troposfer), validitas koreksi sifatnya regional (wilayah). Sistem ini menggunakan satelit komunikasi untuk mengirimkan koreksinya. Pelayanan WADGPS dilaksanakan secara komersial meliputi beberapa kawasan regional di seluruh dunia.

Pada hasil pengamatan jarak *phase* lebih teliti dibandingkan dengan hasil pengamatan *pseudorange* (Abidin, 2007). Pengamatan *pseudorange* digunakan untuk aplikasi – aplikasi yang tidak memerlukan ketelitian yang tinggi (Abidin, 2007). Kesalahan dan bias yang terjadi saat pengamatan beberapa dapat di eliminasi menggunakan metode saling dikurangkan (*differencing*) dan juga bisa dikombinasikan menjadi beberapa jenis data pengamatan GPS lainnya (Abidin, 2007).

Pengurangan (*differencing*) antar-data pengamatan GPS dalam berbagai macam moda yang digunakan yaitu *one-way* (OW), *single difference* (SD), *double difference* (DD) dan *triple difference* (TD) (Abidin, 2007). Penentuan posisi relatif dapat dilihat pada Gambar II.2 berikut.



Gambar II. 3 Penentuan posisi relatif (Abidin, 2007)

Pada Gambar II.2 proses pengurangan data yang digunakan dibagi atas 4 proses pengurangan (Abidin, 2007), yaitu :

1. Data Pengamatan *One-Way* (OW)

Data OW adalah data pengamatan dasar dari satu pengamat ke satu satelit pada satu frekuensi (*pseudorange* atau jarak phase) (Abidin, 2007). Data OW dirumuskan oleh persamaan (1) dan persamaan (2) (Abidin, 2007).

Konsekuensi dari pengurangan OW (Abidin, 2007):

- Mengeliminasi atau mereduksi sebagian kesalahan dan bias.
- Mengurangi kuantitas data pengamatan.
- Membuat hasil pengamatan berkorelasi secara matematis.
- Meningkatkan level derau pada data pengamatan.

2. Data pengamatan *Single Difference* (SD)

Data pengamatan SD adalah selisih antara dua data pengamatan OW (Abidin, 2007). Dua data pengamatan *one-way* dikurangkan menjadi satu

hasil pengamatan SD (Abidin, 2007). Ada 3 jenis data SD (Abidin, 2007), yaitu :

a) Antar-Satelit (Δ)

Karakteristik dari proses pengurangan data untuk membentuk data SD antar Satelit adalah (Abidin, 2007):

- mengeliminasi kesalahan jam *receiver*;
- mereduksi efek bias ionosfer pada data pengamatan untuk satelit yang relatif dekat;
- jika kondisi meteorologis ke kedua satelit relatif sama, maka efek bias troposfer juga akan tereduksi, dan
- level *derau* meningkat $\sqrt{2}$ kali.

Persamaan (3) dan (4) yang digunakan pada data antar satelit SD (*pseudorange* (P) dan *phase* (L)) dengan satu pengamat (a), dua satelit (i dan j) untuk suatu frekuensi pada epok tertentu (Abidin, 2007), yaitu :

$$\Delta P_a^{ij} = P_a^i - P_a^j$$

$$D = \Delta \rho_a^{ij} + \Delta d\rho_a^{ij} + \Delta dtrop_a^{ij} + \Delta dion_a^{ij} + \Delta dT_a^{ij} + \Delta MP_a^{ij} + \Delta \nu P_a^{ij} \quad (7)$$

$$\Delta L_a^{ij} = L_a^i - L_a^j$$

$$P = \Delta \rho_a^{ij} + \Delta d\rho_a^{ij} + \Delta dtrop_a^{ij} + \Delta dion_a^{ij} + \Delta dT_a^{ij} + \Delta MC_a^{ij} + \lambda \cdot \Delta N_a^{ij} + \Delta \nu C_a^{ij} \quad (8)$$

dilihat pada persamaan (7) dan (8) di atas, komponen kesalahan jam *receiver* (dt) sudah tidak ada, karena sudah tereliminasi dengan proses pengurangan data (Abidin, 2007).

b) Antar-Pengamat (∇)

Karakteristik dari proses pengurangan untuk membentuk data SD antar Pengamat adalah (Abidin, 2007):

- kedua jam *receiver* harus di sinkronisasi;
- mengeliminasi kesalahan jam satelit;
- mereduksi efek kesalahan orbit dan bias ionosfer pada data pengamatan (untuk *baseline* yang tidak terlalu panjang);
- jika kondisi meteorologis kedua titik relatif sama, maka efek bias troposfer akan tereduksi, dan

➤ level derau meningkat $\sqrt{2}$ kali.

Persamaan (9) dan (10) yang digunakan pada data *pseudorange* (P) dan phase (L) antar pengamat SD dengan dua pengamat (a dan b), satu satelit (k) untuk suatu frekuensi pada epok tertentu (Abidin, 2007), yaitu:

$$\begin{aligned}\nabla P_{ab}^k &= P_a^k - P_b^k \\ &= \nabla \rho_{ab}^k + \nabla d\rho_{ab}^k + \nabla dtrop_{ab}^k + \nabla dion_{ab}^k + \nabla dt_{ab}^k + \nabla MP_{ab}^k \quad (9) \\ &\quad + \nabla \nu P_{ab}^k\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\nabla L_{ab}^k &= L_a^k - L_b^k \\ &= \nabla \rho_{ab}^k + \nabla d\rho_{ab}^k + \nabla dtrop_{ab}^k + \nabla dion_{ab}^k + \nabla dt_{ab}^k + \nabla MC_{ab}^k \quad (10) \\ &\quad + \lambda \cdot \nabla N_{ab}^k + \nabla \nu C_{ab}^k\end{aligned}$$

Dari kedua persamaan (9) dan (10) dapat dilihat bahwa kesalahan yang sudah tereliminasi dari proses pengurangan tersebut adalah kesalahan jam satelit (dT) (Abidin, 2007).

c) Antar-Epok (δ)

Karakteristik dari proses pengurangan untuk membentuk data SD antar waktu adalah (Abidin, 2007):

- mengeliminasi ambiguitas phase (N) seandainya tidak terjadi *cycle slips*;
- mereduksi efek bias ionosfer dan troposfer yang bergantung pada besarnya selang waktu antara kedua epok pengamatan, tingkat pereduksian akan semakin besar dengan semakin kecilnya interval waktu antara kedua epok, dan
- level derau meningkat $\sqrt{2}$ kali.

Persamaan (11) dan (12) yang digunakan pada data *pseudorange* (P) dan phase (L) antar epok SD yang melibatkan satu pengamat (a), satu satelit (i) dan 2 epok yang berurutan (t_1 dan t_2) untuk suatu frekuensi tertentu (Abidin, 2007):

$$\begin{aligned}\delta P_a^i(t_1, t_2) &= P_a^i(t_2) - P_a^i(t_1) \\ &= \delta \rho_a^i + \delta d\rho_a^i + \delta dtrop_a^i + \delta dion_a^i + \delta dt_a^i + \delta dT_a^i \quad (11) \\ &\quad + \delta MP_a^i + \delta \nu P_a^i\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\delta L_a^i(t_1, t_2) &= L_a^i(t_2) - L_a^i(t_1) \\
&= \delta \rho_a^i + \delta d\rho_a^i + \delta dtrop_a^i + \delta dion_a^i + \delta dt_a^i + \delta dT_a^i \\
&\quad + \delta MC_a^i + \lambda \delta N_a^i + \delta uC_a^i
\end{aligned} \quad (12)$$

Pada persamaan (11) dan (12) dengan asumsi tidak terjadi *cycle slips* antar epok sehingga, komponen ambiguitas phase (N) tereliminasi dari persamaan (Abidin, 2007). Apabila terjadi *cycle slips* antara kedua waktu, maka persamaannya (Abidin, 2007):

$$\begin{aligned}
\delta L_a^i(t_1, t_2) &= \delta \rho_a^i + \delta d\rho_a^i + \delta dtrop_a^i + \delta dion_a^i + \delta dt_a^i + \delta dT_a^i \\
&\quad + \delta MC_a^i + \lambda \delta N_a^i + \delta uC_a^i
\end{aligned} \quad (13)$$

3. Data pengamatan *Double Difference* (DD)

Data pengamatan DD adalah selisih antara dua data SD atau empat data OW dikurangkan menjadi satu data pengamatan DD (Abidin, 2007). Terdapat 3 jenis data DD (Abidin, 2007):

a) Data DD Pengamat terhadap Satelit ($\Delta\Delta$)

Karakteristik dari pengurangan untuk membentuk data Pengamat terhadap Satelit DD:

- mengeliminasi kesalahan jam *receiver* dan satelit;
- mereduksi kesalahan orbit dan bias ionosfer (untuk *baseline* relatif pendek);
- jika kondisi meteorologis ke kedua satelit relatif sama, maka efek bias troposfer juga akan tereduksi;
- ambiguitas phase masih harus diestimasi;
- Level derau meningkat 2 kali, dan
- data yang umum digunakan dalam survei GPS.

Secara umum persamaan data pengamat terhadap satelit DD dengan dua pengamat (a, b), dua satelit (i, j) untuk suatu frekuensi pada suatu epok tertentu ditentukan dengan persamaan (14) untuk data *pseudorange* dan persamaan (15) untuk data *phase* (Abidin, 2007):

$$\begin{aligned}\Delta\Delta P_{ab}^{ij} &= \Delta P_{ab}^j - \Delta P_{ab}^i \\ &= \Delta\Delta\rho_{ab}^{ij} + \Delta\Delta d\rho_{ab}^{ij} + \Delta\Delta dtrop_{ab}^{ij} + \Delta\Delta dion_{ab}^{ij} \\ &\quad + \Delta\Delta MP_{ab}^{ij} + \Delta\Delta vP_{ab}^{ij}\end{aligned}\quad (14)$$

$$\begin{aligned}\Delta\Delta L_{ab}^{ij} &= \Delta L_{ab}^j - \Delta L_{ab}^i \\ &= \Delta\Delta\rho_{ab}^{ij} + \Delta\Delta d\rho_{ab}^{ij} + \Delta\Delta dtrop_{ab}^{ij} + \Delta\Delta dion_{ab}^{ij} + \Delta MC_{ab}^{ij} \\ &\quad + \lambda\Delta\Delta N_{ab}^{ij} + \Delta vC_{ab}^{ij}\end{aligned}\quad (15)$$

Dari persamaan (14) dan (15) kesalahan jam *receiver* dan jam satelit sudah tereliminasi (dt dan dT), kesalahan orbit dan bias atmosfer sudah tereduksi dan bernilai kecil (Abidin, 2007). Pada *baseline* lebih kecil dari 20 km kesalahan orbit dan bias atmosfer yang tertinggal dapat diabaikan (Abidin, 2007). Apabila pengamatan dilakukan dengan asumsi lokasi titik yang dipilih dengan baik dan *receiver* GPS yang digunakan sudah tepat, sehingga efek *multipath* juga dapat diasumsikan relatif kecil, maka persamaan (14) dan (15) dapat ditulis dalam bentuk sederhana pada persamaan (16) dan (17) (Abidin, 2007), yaitu:

$$\Delta\Delta P_{ab}^{ij} = \Delta\Delta\rho_{ab}^{ij} + \Delta\Delta vP_{ab}^{ij}\quad (16)$$

$$\Delta\Delta L_{ab}^{ij} = \Delta\Delta\rho_{ab}^{ij} + \lambda\Delta\Delta N_{ab}^{ij} + \Delta vC_{ab}^{ij}\quad (17)$$

Persamaan (13) diatas adalah data yang umum digunakan dalam proses estimasi posisi pada suatu survei dengan GPS, sedangkan persamaan (12) adalah persamaan dasar yang digunakan pada sistem DGPS (Abidin, 2007).

b) Data DD Satelit terhadap epok DD ($\Delta\delta$)

Karakteristik pengurangan untuk membentuk data Satelit terhadap waktu DD (Abidin, 2007):

- mengeliminasi kesalahan jam *receiver*;
- mengeliminasi ambiguitas phase, asal tidak ada *cycle slips* antara kedua waktu;
- mereduksi efek bias ionosfer dan bias troposfer yang bergantung pada posisi relatif kedua satelit dan besarnya selang waktu kedua waktu;
- level derau meningkat 2 kali; dan

➤ data DD tidak umum digunakan.

Persamaan yang digunakan pada pengurangan data DD satelit terhadap epok dengan satu pengamat (a), dua satelit (i dan j) dan dua epok berurutan (t_1, t_2) untuk suatu frekuensi (Abidin, 2007).

$$\begin{aligned}\Delta\delta P_a^{ij}(t_1, t_2) &= \Delta P_a^j(t_1, t_2) - \Delta P_a^i(t_1, t_2) \\ &= \Delta\delta\rho_a^{ij} + \Delta\delta d\rho_a^{ij} + \Delta\delta dtrop_a^{ij} + \Delta\delta dion_a^{ij} + \Delta\delta dT_a^{ij} \quad (18) \\ &\quad + \Delta\delta MP_a^{ij} + \Delta\delta vP_a^{ij}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta\delta L_a^{ij}(t_1, t_2) &= \Delta\delta L_a^j(t_1, t_2) - \Delta\delta L_a^i(t_1, t_2) \\ &= \Delta\delta\rho_a^{ij} + \Delta\delta d\rho_a^{ij} + \Delta\delta dtrop_a^{ij} + \Delta\delta dion_a^{ij} + \Delta\delta dT_a^{ij} \quad (19) \\ &\quad + \delta MC_a^{ij} + \lambda\delta N_a^{ij} + \delta vC_a^{ij}\end{aligned}$$

Dari kedua persamaan (18) dan (19) kesalahan jam *receiver* (dt) sudah tereliminasi, namun kesalahan jam satelit tetap ada karena bervariasi dengan waktu (Abidin, 2007). Pada persamaan (18) dan (19) diasumsikan tidak terjadi *cycle slips* antar kedua epok, sehingga apabila terjadi *cycle slips* antar kedua epok maka persamaan di atas dapat ditulis dalam bentuk persamaan (20) berikut (Abidin, 2007):

$$\begin{aligned}\Delta\delta L_a^{ij}(t_1, t_2) &= \Delta\delta\rho_a^{ij} + \Delta\delta d\rho_a^{ij} + \Delta\delta dtrop_a^{ij} + \Delta\delta dion_a^{ij} \\ &\quad + \Delta\delta dT_a^{ij} + \delta MC_a^{ij} + \lambda\delta N_a^{ij} + \delta vC_a^{ij}\end{aligned} \quad (20)$$

c) Data DD Pengamat terhadap Epok

Karakteristik pengurangan untuk membentuk data pengamat waktu, yaitu:

- mengeliminasi kesalahan jam satelit;
- mengeliminasi ambiguitas phase dari data pengamatan phase, asal tidak ada *cycle slips* antara kedua waktu;
- mereduksi efek kesalahan orbit dan bias ionosfer pada data pengamatan (*baseline* yang tidak terlalu panjang);
- jika kondisi meteorologis pada kedua pengamat relatif sama, maka efek bias troposfer juga akan tereduksi;
- level derau meningkat 2 kali, dan
- data DD bisa digunakan untuk mengedit *cycle slips*.

Persamaan yang digunakan pada data pengamat terhadap waktu DD dengan dua pengamat (a dan c), satu satelit (k) dan 2 epok berurutan (t_1 , t_2) untuk suatu frekuensi tertentu dapat ditulis dengan persamaan (21) dan (22) berikut (Abidin, 2007):

$$\begin{aligned}\Delta\delta P_{ac}^k(t_1, t_2) &= \Delta P_a^k(t_1, t_2) - \Delta P_c^k(t_1, t_2) \\ &= \Delta\delta\rho_{ac}^k + \Delta\delta d\rho_{ac}^k + \Delta\delta dtrop_{ac}^k \\ &\quad + \Delta\delta dion_{ac}^k + \Delta\delta dt_{ac}^k \\ &\quad + \Delta\delta MP_{ac}^k + \Delta\delta vP_{ac}^k\end{aligned}\tag{21}$$

$$\begin{aligned}\Delta\delta L_{ac}^k(t_1, t_2) &= \Delta\delta L_a^k(t_1, t_2) - \Delta\delta L_c^k(t_1, t_2) \\ &= \Delta\delta\rho_{ac}^k + \Delta\delta d\rho_{ac}^k + \Delta\delta dtrop_{ac}^k \\ &\quad + \Delta\delta dion_{ac}^k + \Delta\delta dt_{ac}^k \\ &\quad + \delta MC_{ac}^k + \lambda\delta N_{ac}^k + \delta vC_{ac}^k\end{aligned}\tag{22}$$

Dari kedua persamaan diatas kesalahan jam satelit (dT) sudah dieliminasi, namun kesalahan jam *receiver* tetap ada karena bervariasi dengan waktu (Abidin, 2007). Jika terjadi *cycle slips* antara kedua waktu, maka dapat ditulis dengan persamaan (23) berikut (Abidin, 2007):

$$\begin{aligned}\Delta\delta L_{ac}^k(t_1, t_2) &= \Delta\delta\rho_{ac}^k + \Delta\delta d\rho_{ac}^k + \Delta\delta dtrop_{ac}^k \\ &\quad + \Delta\delta dion_{ac}^k + \Delta\delta dt_{ac}^k \\ &\quad + \delta MC_{ac}^k + \lambda\delta N_{ac}^k + \delta vC_{ac}^k\end{aligned}\tag{23}$$

4. Data pengamat *Triple Difference* (TD).

Data pengamatan *Triple Difference* adalah pengurangan untuk membentuk 1 pengamatan TD yang terdiri dari data Satelit – Pengamat – Waktu TD (Abidin, 2007). TD memiliki karakteristik (Abidin, 2007), yaitu:

- a. selisih antara 2 data pengamatan *Double-Difference* (DD);
- b. delapan (8) data pengamatan *one-way* ditransform menjadi 1 hasil pengamatan *triple-difference*;
- c. mengeliminasi kesalahan jam satelit dan jam *receiver*;
- d. mengeliminasi ambiguitas phase, asal tidak ada *cycle slips* antara kedua waktu;
- e. mereduksi efek kesalahan orbit dan bias ionosfer pada baseline yang tidak terlalu panjang;

- f. jika kondisi meteorologis pada kedua pengamat relatif sama, maka efek bias troposfer juga akan tereduksi;
- g. biasa digunakan untuk mengedit *cycle slips* secara otomatis;
- h. biasa digunakan untuk penentuan pendekatan vektor baseline dalam proses pengestimasi posisi, dan
- i. level derau dari data pengamatan TD meningkat $\sqrt{8}$ kali dibandingkan level derau dari pengamatan OW.

Persamaan yang digunakan pada data pengamat terhadap waktu TD dengan dua pengamat (a, b), dua satelit (j dan k) dan dua epok berurutan (t_1, t_2) untuk suatu frekuensi tertentu dapat ditulis dengan persamaan (24) dan (25) berikut (Abidin, 2007).

$$\begin{aligned}\Delta\delta P_{ab}^{jk}(t_1, t_2) &= \Delta P_{ab}^k(t_1, t_2) - \Delta P_{ab}^j(t_1, t_2) \\ &= \Delta\delta\rho_{ab}^{jk} + \Delta\delta d\rho_{ab}^{jk} + \Delta\delta dtrop_{ab}^{jk} + \Delta\delta dion_{ab}^{jk} \\ &\quad + \Delta\delta MP_{ab}^{jk} + \Delta\delta vP_{ab}^{jk}\end{aligned}\quad (24)$$

$$\begin{aligned}\Delta\delta L_{ab}^{jk}(t_1, t_2) &= \Delta\delta L_{ab}^k(t_1, t_2) - \Delta\delta L_{ab}^j(t_1, t_2) \\ &= \Delta\delta\rho_{ab}^{jk} + \Delta\delta d\rho_{ab}^{jk} + \Delta\delta dtrop_{ab}^{jk} + \Delta\delta dion_{ab}^{jk} \\ &\quad + \delta MC_{ab}^{jk} \\ &\quad + \lambda\delta N_{ab}^{jk} + \delta vC_{ab}^{jk}\end{aligned}\quad (25)$$

Dari persamaan (24 dan 25) kesalahan jam *receiver* (dt) dan jam satelit (dT) sudah tereliminasi, dengan asumsi tidak terjadi *cycle slips*. Jika terjadi *cycle slips* maka, persamaanya dapat ditulis kedalam bentuk persamaan (26) (Abidin, 2007), yaitu:

$$\begin{aligned}\Delta\delta L_{ab}^{jk}(t_1, t_2) &= \Delta\delta\rho_{ab}^{jk} + \Delta\delta d\rho_{ab}^{jk} + \Delta\delta dtrop_{ab}^{jk} + \Delta\delta dion_{ab}^{jk} \\ &\quad + \delta MC_{ab}^{jk} + \lambda\delta N_a^{jk} + \delta vC_a^{jk}\end{aligned}\quad (26)$$

Data pengamatan *phase* TD juga banyak digunakan dalam penentuan posisi dengan GPS, disamping data DD yang dijelaskan sebelumnya. Data TD biasanya digunakan untuk menentukan nilai pendekatan dari vektor *baseline* pada proses pengestimasi posisi dengan GPS. Persamaan umum digunakan dalam proses ini adalah persamaan (27) berikut (Abidin, 2007):

$$\Delta\delta L_{ab}^{jk}(t_1, t_2) = \Delta\delta\rho_{ab}^{jk} + \Delta\delta d\rho_{ab}^{jk} \quad (27)$$

Kesalahan dan bias yang dapat serta tidak dapat dieliminasi atau direduksi dengan proses pengurangan data ditunjukkan pada Tabel II.3 berikut.

Tabel II. 3 Efek dari pengurangan data (Abidin 2007)

Kesalahan dan Bias	Dapat dieliminasi	Dapat direduksi	Tidak dapat dieliminasi/direduksi
Jam satelit	√		
Jam <i>receiver</i>	√		
Orbit (<i>Ephemeris</i>)		√	
Ionosfer		√	
Troposfer		√	
<i>Multipath</i>			√
<i>Noise</i> (Derau)			√
<i>Selective Available</i>	√	√	

II.3 Geo++ Rinex Logger

Low Cost GNSS merupakan teknologi penentuan posisi seperti halnya GNSS Geodetik yang menghasilkan data posisi diatas permukaan bumi (Hadi dan Sumbarsari, 2019). Seiring berkembangnya teknologi penentuan posisi, teknologi *Low Cost* GNSS dalam penentuan posisi semakin dikembangkan salah satunya pada perangkat android (Zandbergen, 2009). Perangkat android digunakan untuk berbagai tujuan selain layanan telepon, yaitu digunakan sebagai perangkat navigasi pribadi (Dutta, 2020).

Perangkat android dilengkapi dengan sensor GNSS yang mampu memungkinkannya digunakan untuk pengumpulan data GNSS untuk aplikasi geomatik atau penelitian GNSS dasar (Manas, 2016). Sensor GNSS digunakan untuk menambah kemampuan hp untuk dapat mengetahui lokasi dari hp tersebut beserta suhu, barometer dan lain sebagainya (Manas, 2021). Android menyediakan dua sensor yang memungkinkan untuk menentukan posisi perangkat

yaitu, sensor medan geomagnetik, akselerometer dan sensor kedekatan (Manas, 2021) (Manas, 2021).

Sensor posisi berguna untuk menentukan posisi fisik perangkat dalam bingkai referensi dunia (Manas, 2021). Sensor medan geomagnetik dan akselerometer menampilkan array multi-dimensi dari nilai sensor untuk masing-masing, misalnya sensor medan geomagnetik memberikan nilai kekuatan medan geomagnetik untuk masing-masing dari ketiga sumbu koordinat selama kejadian sensor tunggal (Manas, 2021). Sensor akselerometer mengukur akselerasi yang diterapkan ke perangkat selama kejadian sensor (Manas, 2021).

Sensor kedekatan memberikan nilai tunggal untuk setiap kejadian sensor (Manas, 2021). Sensor yang digunakan pada hp memiliki algoritma untuk menghitung orientasi perangkat untuk memantau posisi perangkat yang relatif dengan bingkai referensi bumi (khususnya, kutub utara magnetik) (Manas, 2021). Algoritma tersebut digunakan untuk menghitung sudut orientasi dengan menggunakan sensor medan geomagnetik perangkat yang dikombinasikan dengan akselerometer perangkat (Manas, 2021).

Sistem perhitungan sudut orientasi menyediakan tiga sudut orientasi (Manas, 2021), *Azimuth* (derajat rotasi sekeliling sumbu z), *Pitch* (derajat rotasi sekeliling sumbu x), dan *Roll* (derajat rotasi sekeliling sumbu y) (Manas, 2021). Perangkat android yang mendukung pengukuran *raw* GNSS sebagian besar perangkat yang diproduksi pada tahun 2016 atau yang lebih baru dan memiliki tipe OS (*Operating System*) Android 7.0 ke atas (Manas, 2016).

Pengukuran *Raw* GNSS dapat menyertakan semua atau sebagian data (Manas, 2016), yaitu:

1. *pseudorange* dan tingkat *pseudorange*;
2. pesan navigasi;
3. akumulasi rentang delta atau operator, dan
4. jam *Hardware* (HW).

Salah satu teknologi *Low Cost* GNSS yang menggunakan layanan API Android saat ini adalah GEO++ RINEX Logger (Famisa, 2017). Geo ++ RINEX Logger adalah aplikasi yang dapat menghasilkan file pengukuran semua konstelasi dalam

format RINEX (*Receiver Independent Exchange*) (Famisa, 2017). Format data RINEX berbeda dengan format data NMEA dan data telemetri RTCM.

RINEX adalah format pertukaran data untuk *raw* data satelit (Kasfari, 2018). Hal ini membuat pengguna dapat melakukan post-processing pada data untuk menghasilkan data dengan ketelitian yang lebih tinggi biasanya dengan data lain yang tidak didapatkan dari *receiver*, seperti model jaring dan kondisi atmosfer pada saat pengukuran (Kasfari, 2018). Sedangkan Format RTCM (*Radio Technical Commission for Maritime Service*) adalah format data standar internasional yang digunakan dalam transmisi real-time data untuk koreksi diferensial GPS dari stasiun–stasiun CORS ke rover yang digunakan oleh user (Langley, 1998).

National Marine Electronics Association (NMEA) adalah standar komunikasi data yang digunakan untuk menghindari ketidaksesuaian seperti kecepatan data dan format pesan antar perangkat elektronik laut (Heo *dkk.*, 2009). Oleh karena itu, NMEA khususnya Digunakan untuk transmisi data antara penerima GPS/GNSS dan perangkat lain (Heo *dkk.*, 2009). Contoh data RINEX hasil pengukuran Geo++ RINEX Logger dapat dilihat pada Gambar II.3 berikut.

```

1 | 3.03 | OBSERVATION DATA | M: Mixed | RINEX VERSION / TYPE
2 | Geo++ RINEX Logger | Geo++ | 20210324 112058 UTC | PGM / RUN BY / DATE
3 | ***** | ***** | ***** | *****
4 | This file was generated by the Geo++ RINEX Logger App | COMMENT
5 | for Android devices (Version 2.1.6). If you encounter | COMMENT
6 | any issues, please send an email to android@geopp.de | COMMENT
7 | Filtering Mode: MORE | COMMENT
8 | ***** | ***** | ***** | *****
9 | Geo++ | MARKER NAME
10 | GEODETIC | MARKER TYPE
11 | Geo++ | OBSERVER / AGENCY
12 | EIMZMJBAAMCESG4P | INFINIX MOBILITY LIMITED | Infinix X656 | REC # / TYPE / VERS
13 | EIMZMJBAAMCESG4P | Infinix X656 | ANT # / TYPE
14 | -1677320.6864 | 6125020.6441 | -591930.6800 | APPROX POSITION XYZ
15 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | ANTENNA: DELTA H/E/N
16 | G 8 C1C L1C D1C S1C C5Q L5Q D5Q S5Q | SYS / # / OBS TYPES
17 | R 4 C1C L1C D1C S1C | SYS / # / OBS TYPES
18 | E 12 C1B L1B D1B S1B C1C L1C D1C S1C C5Q L5Q D5Q S5Q | SYS / # / OBS TYPES
19 | C 4 C2I L2I D2I S2I | SYS / # / OBS TYPES
20 | J 8 C1C L1C D1C S1C C5Q L5Q D5Q S5Q | SYS / # / OBS TYPES
21 | 2021 3 24 11 21 16.9999999 | GPS | TIME OF FIRST OBS
22 | 24 R01 1 R02 -4 R03 5 R04 6 R05 1 R06 -4 R07 5 R08 6 | GLONASS SLOT / FRQ #
23 | R09 -2 R10 -5 R11 0 R12 -1 R13 -2 R14 -7 R15 0 R16 -1 | GLONASS SLOT / FRQ #
24 | R17 4 R18 -3 R19 3 R20 2 R21 4 R22 -3 R23 3 R24 2 | GLONASS SLOT / FRQ #
25 | G L1C | SYS / PHASE SHIFT
26 | G L5Q -0.25000 | SYS / PHASE SHIFT
27 | R L1C | SYS / PHASE SHIFT
28 | E L1B | SYS / PHASE SHIFT
29 | E L1C +0.50000 | SYS / PHASE SHIFT
30 | E L5Q -0.25000 | SYS / PHASE SHIFT
31 | C L2I | SYS / PHASE SHIFT
32 | J L1C | SYS / PHASE SHIFT
33 | J L5Q -0.25000 | SYS / PHASE SHIFT
34 | C1C 0.000 C1P 0.000 C2C 0.000 C2P 0.000 | GLONASS COD/PHS/BIS
35 | | END OF HEADER
36 | > 2021 3 24 11 21 16.9999999 3 1 |
37 | Geo++ | MARKER NAME
38 | > 2021 3 24 11 21 16.9999999 0 7 |
39 | R01 20548640.272 | 283.018 | 41.000
40 | R08 23023211.462 | -2008.434 | 38.000
41 | R12 20348792.024 | -2978.154 | 24.000
42 | R13 19794290.798 | 564.365 | 35.000
43 | R14 23323828.649 | 3445.010 | 34.000
44 | R23 24226370.033 | -807.369 | 29.000
45 | R24 23831162.030 | -1141.630 | 40.000
46 | > 2021 3 24 11 21 17.9999999 0 7 |
47 | R01 20549325.298 | 281.418 | 41.000
48 | R08 23024324.892 | -2008.836 | 40.000

```

Gambar II. 4 Data hasil pengukuran menggunakan Geo++ RINEX Logger

Geo++ RINEX Logger menggunakan layanan API Android terbaru untuk mencatat data mentah pengukuran GNSS ke dalam file RINEX termasuk *pseudorange*, akumulasi rentang delta, frekuensi Doppler dan nilai derau (Famisa, 2017). Versi data RINEX yang dihasilkan aplikasi Geo++ RINEX Logger sesuai dengan Gambar 2.3 adalah versi 3.03. Sejauh ini, ini mendukung GPS / GLONASS / GALILEO / BDS / QZSS untuk L1 / L5 / E1B / E1C / E5A (seperti yang didukung oleh perangkat) dan telah berhasil diuji di banyak perangkat (Famisa, 2017). Sejauh ini, Geo ++ RINEX Logger dapat mencapai perbaikan untuk L1 / L5 dalam pengaturan nol *baseline* (Famisa, 2017). Pada pengukuran menggunakan Geo++ Rinex Logger, tidak seluruh perangkat android dapat menerima pesan navigasi (Famisa, 2017). Saat ini masih dilakukan pengembangan kembali untuk mencapai perbaikan penerima pesan navigasi untuk tipe OS android 10.0 ke atas (Manas, 2016). Untuk pengukuran Geo ++ RINEX Logger dapat dilakukan dengan 2 metode penentuan posisi yaitu, penentuan posisi statik dan kinematik dengan membuat nama file sesuai dengan jam, tanggal dan tahun dilakukannya pengukuran (Famisa, 2017).

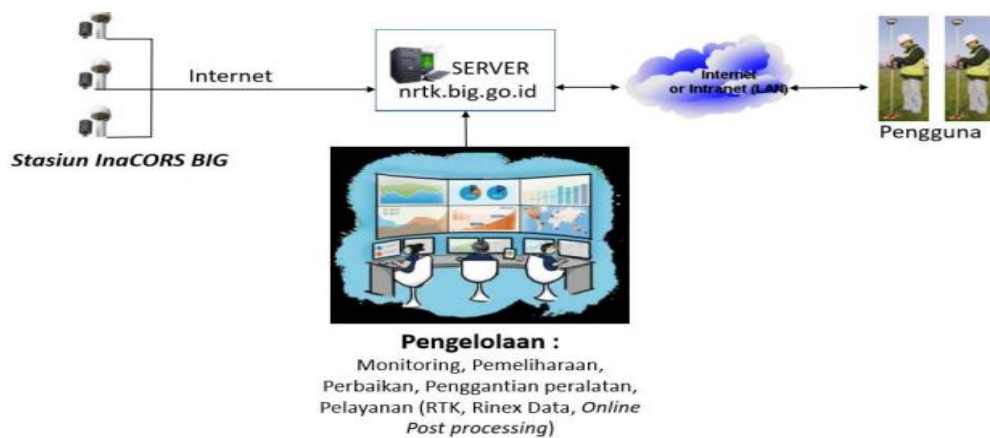
II.3 CORS (*Continuously Operating Reference Station*)

CORS (*Continuously Operating Reference Station*) adalah salah satu teknologi berbasis GNSS (*Global Navigation Satellite System*) yang dimanfaatkan untuk berbagai aplikasi terkait penentuan posisi (Indriyati, 2013). Alat ini merupakan stasiun permanen dari jaring kerangka geodetik aktif yang dilengkapi dengan *receiver* yang dapat menerima sinyal dari satelit GPS dan satelit GNSS lainnya, yang beroperasi secara kontinu selama dua puluh empat jam (Indriyati, 2013). Hasil pengukuran yang diperoleh pun secara *real time* dengan ketelitian dan keakuratan hasil yang tinggi (Indriyati, 2013).

Prinsip kerja CORS adalah stasiun-stasiun referensi merekam data dari satelit GNSS secara kontinu yang kemudian disimpan dan atau dikirim ke *server* atau pusat kontrol JRSP (Jaringan Referensi Satelit Pertanahan) melalui jaringan internet secara serempak (Indriyati, 2013). Tanpa adanya jaringan referensi satelit, maka tidak mungkin dilakukan proses diferensiasi relatif, sehingga hasil koordinat yang dihasilkan oleh *rover* adalah posisi absolut yang berdiri sendiri

dengan ketelitian kasar 5-20 meter (Indriyati, 2013). Akan tetapi, dengan adanya jaringan satelit ini, hasil koordinat dari *receiver* GNSS geodetik yang berperan sebagai *rover* akan dikoreksi dengan hasil hitungan yang didapat melalui sistem algoritma dan perataan tertentu dari data-data JRSP (Indriyati, 2013). JRSP merupakan titik acuan yang telah diketahui koordinatnya (Indriyati, 2013).

Ina-CORS merupakan sebuah sistem yang terdiri atas beberapa komponen yaitu perangkat stasiun di lapangan, *server*, jaringan komunikasi data, dan pengguna (Geospasial, 2019). Dari seluruh Ina-CORS yang tersebar di wilayah Indonesia, semua data mengalir ke *server* BIG melalui komunikasi internet (Geospasial, 2019). Setelah data masuk ke *server* BIG, maka proses pengolahan data dilaksanakan (Geospasial, 2019). Data yang dihasilkan di *server* BIG kemudian digunakan oleh pengguna, baik untuk layanan pengolahan secara *post processing* atau layanan koreksi ketika pengukuran menggunakan metode RTK (Geospasial, 2019). Alur pengelolaan Ina-CORS tersebut digambarkan pada Gambar II.3 berikut ini

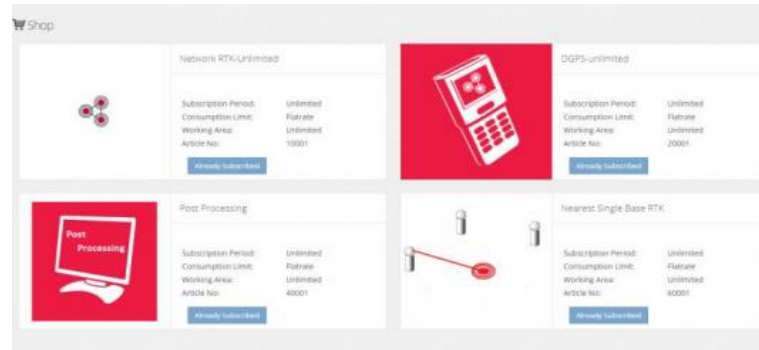


Gambar II. 5 Alur pengelolaan Ina-CORS (Geospasial, 2019)

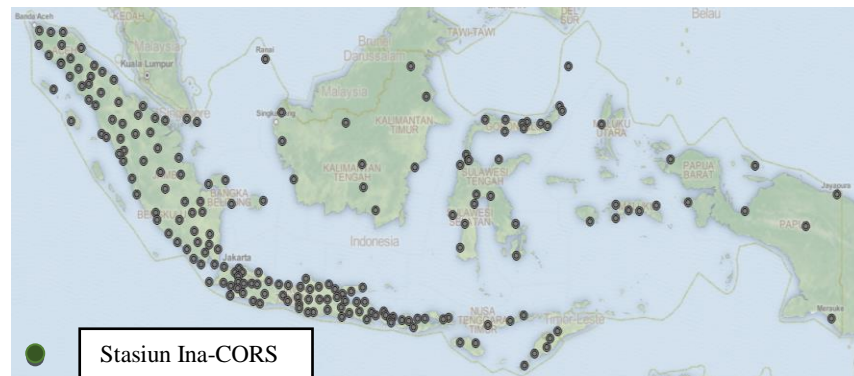
Layanan yang tersedia terkait pemanfaatan Ina-CORS antara lain (Geospasial, 2019):

1. Layanan data RINEX CORS.
2. Layanan Layanan RTK (*Real Time Kinematic*) NTRIP (*Networked Transport of RTCM via Internet Protocol*).
3. Layanan perhitungan koordinat secara *post processing*.

4. Layanan *Mobile* Ina-CORS, layanan pemanfaatan Ina-CORS dan persebaran stasiun Ina-CORS dapat dilihat pada Gambar II.4 dan dan II.5.



Gambar II. 6 Layanan pemanfaatan Ina-CORS (Geospasial, 2019)



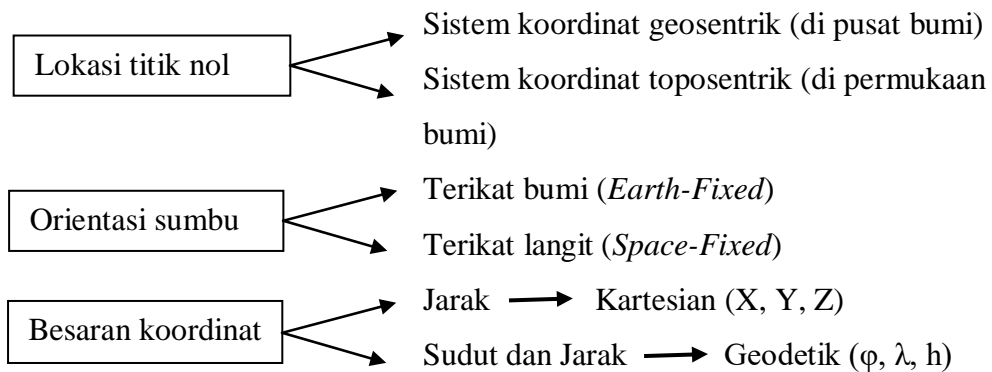
Gambar II. 7 Persebaran titik stasiun Ina-CORS (nrtk.big, 2021)

II.4 Sistem Koordinat

Posisi titik biasanya dinyatakan dalam koordinat (dua dimensi Atau tiga dimensi), dan mengacu pada sistem koordinat tertentu (Abidin, 2001). Sistem koordinatnya sendiri ditentukan dengan menetapkan 3 parameter (Abidin, 2001) yaitu:

1. posisi titik nol dari sistem koordinat;
2. arah sumbu koordinat, dan
3. besaran (*Cartesian*, kurva) yang digunakan dalam penentuan posisi titik dalam sistem koordinat.

Parameter yang digunakan dalam penentuan sistem koordinat dapat dilihat pada Gambar II.8.



Gambar II. 8 Parameter yang digunakan dalam penentuan sistem koordinat (Abidin, 2001).

Gambar II.8 dapat diketahui bahwa saat menentukan posisi suatu titik di permukaan bumi, titik nol dari sistem koordinat yang digunakan dapat ditempatkan di pusat massa bumi (sistem koordinat geosentrik) atau di suatu titik di permukaan bumi (sistem koordinat toposentrik) (Abidin, 2001). Sistem koordinat geosentrik banyak digunakan dalam metode penentuan posisi di luar bumi menggunakan satelit dan benda langit lainnya, sedangkan sistem koordinat toposentrik banyak digunakan dalam metode penentuan posisi terestris (Abidin, 2001). Orientasi sumbunya, terdapat sistem koordinat yang porosnya juga berputar dengan bumi (terikat bumi), sedangkan sebagian sumbu tidak berputar (terikat langit) (Abidin, 2001).

Sistem koordinat yang terikat pada bumi biasanya digunakan untuk merepresentasikan posisi suatu titik di bumi, sistem koordinat terikat langit biasanya digunakan untuk merepresentasikan posisi titik dan benda di angkasa, seperti satelit dan benda langit (Abidin, 2001). Diantara besaran koordinat yang digunakan, posisi titik dalam sistem koordinat diwakili oleh besaran jarak yang sama dari sistem koordinat kartesian dan ada juga besaran sudut dan besaran jarak yang diwakili oleh sistem koordinat geodetik (Abidin, 2001). Saat menentukan posisi dengan mengamati satelit GPS, terdapat dua sistem koordinat referensi penting yang perlu diperhatikan, yaitu CIS (*Conventional Inertial System*) dengan sistem sumbunya terikat langit dan CTS (*Conventional Terrestrial System*) yang terikat bumi (Abidin, 2001). Sistem CIS digunakan untuk menggambarkan posisi

dan pergerakan satelit dan sistem CTS digunakan untuk menggambarkan posisi titik-titik di permukaan bumi (Abidin, 2001).

Penentuan posisi suatu titik di permukaan bumi dengan GPS diberikan dalam koordinat geosentrik (X, Y, Z) pada sistem koordinat WGS 84 (*World Geodetic System* 1984) dan merupakan implementasi dari sistem CTS (Abidin, 2001). Sistem koordinat yang digunakan pada penelitian adalah sistem koordinat toposentrik sehingga dilakukan transformasi koordinat geosentrik ke dalam sistem koordinat toposentrik (N, E, H) dengan pusat sumbunya berada pada permukaan bumi dan sifatnya lokal (Abidin, 2001). Transformasi koordinat geosentrik ke dalam sistem koordinat toposentrik (N, E, H) menggunakan transformasi Molodensky-Badekas persamaan (28), yang dijelaskan pada persamaan (29), (30) dan (31) berikut (Soedomo, 2005).

$$\begin{pmatrix} N(A) \\ E(A) \\ H(A) \end{pmatrix} = R(\varphi_0, \lambda_0) \begin{pmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{pmatrix} \quad (28)$$

dimana

$$\begin{pmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X_A - X_0 \\ Y_A - Y_0 \\ Z_A - Z_0 \end{pmatrix} \quad (29)$$

Dengan matriks rotasi R sebagai berikut:

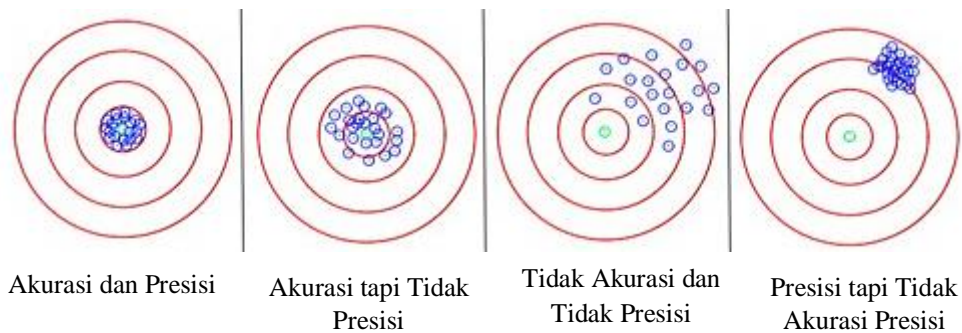
$$R(\varphi_0, \lambda_0) = \begin{pmatrix} -\sin\varphi_0 & -\sin\varphi_0 \sin\lambda_0 & \cos\varphi_0 \\ -\sin\lambda_0 & \cos\lambda_0 & 0 \\ \cos\varphi_0 \cos\lambda_0 & \cos\varphi_0 \sin\lambda_0 & \sin\lambda_0 \end{pmatrix} \quad (30)$$

Keterangan:

E(A), N(A), H(A)	=Koordinat toposentrik (E, N, H) titik A
φ_0, λ_0	=Koordinat geodetik titik O (origin sistem koordinat toposentrik)
X_0, Y_0, Z_0	=Koordinat geosentrik titik O (origin sistem koordinat kartesian)
X_A, Y_A, Z_A	=Koordinat geosentrik titik A
$\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$	=Selisih antara koordinat kartesian geosentrik titik A dan titik O
R	=Matrik rotasi

II.5 Akurasi dan Presisi

Akurasi adalah perbedaan antara nilai yang diukur terhadap nilai sebenarnya (Catania .dkk, 2020), Akurasi dapat dinyatakan sebagai ukuran seberapa dekat nilai hasil ukur rata-rata yang diperoleh dari sejumlah pengukuran berulang terhadap nilai sesungguhnya (Leick, 1990). Presisi adalah tingkat penyebaran data pengukuran (Catania .dkk, 2020), yaitu didefinisikan sebagai derajat kedekatan kesamaan pengukuran antara satu dengan lainnya (Leick, 1990). Jika hasil pengukuran saling berdekatan (mengumpul) maka dikatakan mempunyai presisi tinggi dan sebaliknya jika hasil pengukuran menyebar maka dikatakan mempunyai presisi rendah (Hofmann-Wellenhof, B., 2007). Tingkat akurasi dan presisi dapat dilihat pada Gambar II.7 (Hofmann-Wellenhof, B., 2007).



Gambar II. 9 Ilustrasi tingkat akurasi dan presisi (Hadi, 2019)

Ukuran presisi yang sering digunakan adalah simpangan baku (σ) (Catania .dkk, 2020). Makin rendah nilai simpangan baku (σ), maka data yang diperoleh akan saling berdekatan dan ini berarti presisi hasil pengukuran yang dilakukan adalah lebih baik (Hofmann-Wellenhof, B., 2007). Ketelitian koordinat yang diperoleh pada penelitian ini dengan menghitung kesalahan koordinat dari data pengukuran menggunakan Geo++ RINEX Logger dengan data pengukuran menggunakan GNSS Geodetik dijadikan sebagai data acuan (nilai yang sebenarnya) (Zandbergen, 2009).