

# PENGGUNAAN KINEMATIK GNSS PRECISE POINT POSITIONING (PPP) PADA SURVEI GAYABERAT AIRBORNE SULAWESI

*(The Application of Kinematic GNSS Precise Point Positioning (PPP) for Sulawesi Airborne Gravity Survey)*

**Prayudha Hartanto**

Pusat Penelitian, Promosi dan Kerjasama Badan Informasi Geospasial  
Jl. Raya Jakarta-Bogor Km. 46, Cibinong, 16914  
E-mail : [prayudha.hartanto@big.go.id](mailto:prayudha.hartanto@big.go.id)

*Diterima (received): 15 Maret 2016; Direvisi (revised): 25 April 2016; Disetujui untuk Dipublikasikan (accepted): 30 Mei 2016*

## ABSTRAK

Metode *Precise Point Positioning* (PPP) adalah metode penentuan posisi teliti yang hanya menggunakan sebuah *receiver* GNSS (*Global Navigation Satellite System*) frekuensi ganda. Metode ini dapat digunakan untuk menentukan posisi teliti objek-objek yang diam (*static*) maupun bergerak (*kinematic*). Pada penelitian ini, akan dipaparkan mengenai penggunaan kinematik PPP dalam penentuan posisi pesawat terbang pada survei gayaberat *airborne* di Sulawesi tahun 2008. Data yang digunakan adalah jalur terbang pesawat pada *Day of Year* (DOY) 291 dan 274. Perangkat lunak yang digunakan adalah Waypoint Grafnav. Hasil pengolahan menggunakan metode PPP tersebut kemudian dibandingkan dengan hasil pengolahan data Diferensial GPS (DGPS) dengan 1 titik ikat untuk DOY 291 dan 2 titik ikat untuk DOY 274. Hasil perbandingan pada DOY 291 menunjukkan nilai RMS untuk arah timur, utara, dan tinggi masing-masing sebesar 0,024 m, 0,020 m, dan 0,039 m. Pada DOY 274, RMS yang diperoleh adalah 0,032 m, 0,011 m, dan 0,058 m masing-masing untuk arah timur, utara, dan tinggi. Hasil-hasil tersebut mengindikasikan bahwa metode PPP dapat digunakan untuk menentukan posisi pesawat terbang dengan fraksi ketelitian sentimeter. Tingkat ketelitian posisi ini sudah memenuhi syarat untuk digunakan pada survei gayaberat *airborne*.

**Kata kunci:** GNSS, kinematik PPP, gayaberat airborne, DGPS

## ABSTRACT

*The Precise Point Positioning (PPP) is a positioning method which only use a dual frequency GNSS receiver. This method can be used to determine the precise position of either static (static) or moving objects (kinematic). In this paper, we will discuss the application of kinematic PPP for the 2008 Sulawesi airborne gravity survey. By using a commercial GNSS processing software called Waypoint Grafnav, we determine the PPP solutions for the aircraft trajectory of the day of year (DOY) 291 and 274. Each solution then be compared to the Differential GPS (DGPS) results, which use one base station for DOY 291 and two reference stations for DOY 274. The PPP solution of DOY 291 gives RMS error of 0.024 m eastward, 0.020 m northward, and 0.039 m upward. Moreover, the comparison of DOY 274 gives RMS error of 0.032 m eastward, 0.011 m northward, and 0.058 m upward. These centimeter level RMS errors show that PPP is a compatible positioning method for airborne gravity survey.*

**Keywords:** GNSS, kinematic PPP, airborne gravity, DGPS

## PENDAHULUAN

Metode *Precise Point Positioning* (PPP) adalah teknik penentuan posisi teliti yang hanya menggunakan sebuah *receiver* GNSS (*Global Navigation Satellite System*) (Lachapelle et al., 2006). Metode ini dapat digunakan untuk penentuan posisi baik statik maupun kinematik, namun untuk memperoleh ketelitian pada level sentimeter, seluruh kesalahan pada pengamatan GNSS harus dimodelkan secara seksama dan dihilangkan dari data pengamatan (Chen et al., 2009). Pada aplikasi penentuan posisi statik, penambahan data satelit Glonass terhadap satelit

GPS (*Global Positioning System*) mampu menghasilkan ketelitian level sentimeter hanya dalam tempo 2 jam pengamatan (Pandey et al., 2016). Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Dawidowicz dan Krzan (2014), penggunaan data satelit GPS saja (tanpa tambahan Glonass) pada metode PPP statik mampu menghasilkan ketelitian horizontal sebesar 5 cm dan vertikal sebesar 10 cm dalam tempo setengah jam waktu pengamatan.

Metode PPP juga telah banyak digunakan dalam penentuan posisi kinematik, salah satunya adalah penelitian yang dilakukan oleh Martin et al. (2012), menurut penelitian tersebut, penggunaan

metode PPP untuk penentuan posisi kinematik mampu mencapai tingkat ketelitian planimetris di bawah 10 cm dan 20 cm untuk komponen tinggi. Penelitian tersebut juga menunjukkan bahwa pemilihan algoritma pengolahan PPP sangat menentukan kualitas solusi yang diperoleh. Tahun 2012, Marreiros juga menggunakan metode kinematik PPP untuk penentuan posisi wahana perairan dengan tingkat ketelitian di level desimeter (Marreiros, 2012).

Faktor lain yang juga berpengaruh dalam ketelitian solusi kinematik PPP adalah durasi pengamatan. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Witchayangkoon, rerata ketelitian 3D yang dihasilkan oleh metode PPP frekuensi ganda adalah sebesar  $9,3 \pm 3$  cm (Witchayangkoon, 2000). Ketelitian tersebut diperoleh untuk pengamatan selama 6 jam. Untuk data pengamatan yang lebih dari 4 jam, dapat diperoleh konvergensi beberapa sentimeter tanpa disertai bias yang signifikan (Kalita et al., 2014).

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kualitas penggunaan metode PPP kinematik (selanjutnya disebut metode PPP) pada penentuan posisi pesawat dalam survei gayabarat *airborne* di Sulawesi. Perangkat lunak yang digunakan adalah Waypoint Grafnav yang merupakan *software* komersial yang memiliki fitur *multi-pass PPP processing* (Waypoint, 2007).

Solusi posisi pesawat yang dihasilkan dari metode PPP kemudian diuji akurasi menggunakan solusi Diferensial GPS (DGPS). Solusi DGPS yang dijadikan pembandingan menggunakan satu dan dua titik ikat. Tujuan penggunaan jumlah titik ikat yang berbeda adalah untuk mengetahui kedekatan solusi PPP dengan DGPS *single-base* atau DGPS *multi-base*. Pada penelitian serupa yang dilakukan oleh Abdallah dan Schwieger, dua buah trayektori posisi kinematik diolah menggunakan metode PPP dengan perangkat lunak GIPSY-OASIS dan CSRS-PPP. Simpangan baku yang diperoleh pada trayektori pertama adalah 6 cm *east*, 2,1 cm *north*, dan 6,8 cm *height*, sedangkan untuk trayektori kedua (*quasi-static*) nilainya adalah 1,7 cm *east*, 2,6 cm *north*, dan 4,9 cm *height* untuk trayektori kedua (Abdallah dan Schwieger, 2015).

Ketelitian posisi yang diperlukan dalam survei gayabarat *airborne* bergantung pada ketelitian nilai gayabarat yang diharapkan. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Hwang et al., kesalahan posisi vertikal sebesar 0,293 m menghasilkan kesalahan kecepatan vertikal sebesar 0,0013 m/s dan kesalahan akselerasi vertikal sebesar 104,85 m/s<sup>2</sup> (Hwang et al., 2007).

## METODE

Penelitian ini menggunakan data jalur terbang pesawat pada survei gayabarat *airborne* di Sulawesi. Jalur terbang yang dipilih adalah jalur pada *Day of Year* (DOY) 291 dan 274. Akuisisi data dilakukan pada tahun 2008. Kedua data dipilih untuk mewakili kualitas PPP dibanding DGPS *single base* (DOY 291) dan DGPS *dual base* (DOY 274). Kedua data tersebut juga memiliki epok pengamatan lebih dari 4 jam.

Data yang dibutuhkan dalam penelitian ini adalah data kode dan data fase frekuensi ganda dari satelit GPS dan GLONASS. Penggunaan kedua jenis satelit tersebut disebabkan oleh keterbatasan perangkat lunak Waypoint Grafnav versi 8.50 yang hanya mampu mengolah data dari dua satelit tersebut. Pada Waypoint Grafnav versi terbaru (8.70), seluruh data satelit GNSS seperti GPS, Glonass, Galileo, dan Bei Dou dapat diolah dan dikombinasikan satu sama lain untuk memperoleh solusi terbaik (Waypoint, 2016).

Pengolahan PPP dilakukan menggunakan perangkat lunak Waypoint Grafnav. *Software* ini menyediakan fitur untuk mengunduh data orbit teliti dan koreksi jam satelit dari situs IGS. Strategi pengolahan PPP yang digunakan adalah *multi-pass processing*. Metode pengolahan PPP ini dirancang untuk memaksimalkan konvergensi solusi *float*.

Fitur *multi-pass processing* pada perangkat lunak Waypoint Grafnav mengolah data GNSS sebanyak tiga kali secara berurutan. Urutan pengolahannya adalah maju-mundur-maju. Pada akhir tiap-tiap tahap pengolahan, estimasi kesalahan *Kalman filter* yang dihasilkan kemudian diaplikasikan pada tahap selanjutnya. Tahap akhir pengolahan, seluruh solusi dikombinasikan untuk mendapatkan solusi akhir. Keunggulan dari teknik ini adalah kemampuannya untuk memaksimalkan konvergensi ambiguitas fase (solusi *float*), sehingga pada beberapa kasus, dapat diperoleh solusi yang kualitasnya setara dengan solusi *fixed* (Waypoint, 2016).

Pada penelitian ini, koreksi troposfer yang diterapkan menggunakan model densitas spektral. Terdapat empat mode perubahan status troposfer dalam *software* ini. Mode-mode ini mengendalikan seberapa cepat asumsi perubahan kondisi troposfer yang digunakan sebagai koreksi. Mode medium dipilih karena pada survei gayabarat *airborne* ini diasumsikan tidak terjadi perubahan elevasi secara cepat dan berulang. Mode-mode lain yang tersedia adalah *high*, *low* dan manual. Mode manual memungkinkan peneliti untuk menentukan nilai *error tropospher* sesuai dengan yang dikehendakinya.

Parameter pra-pengolahan sinyal GNSS yang digunakan adalah 10° untuk *elevation mask* dan 4 detik untuk *L1 locktime cutoff*. *L1 locktime cutoff*

adalah banyaknya waktu (dalam detik) yang dibutuhkan bagi pengamatan fase kontinu untuk dapat digunakan sebagai data ukuran (Waypoint, 2016).

Hasil pengolahan metode PPP kemudian dievaluasi ketelitiannya menggunakan solusi DGPS sebagai nilai acuan. Pengolahan DGPS menggunakan *software* yang sama dengan parameter yang sama, baik untuk jenis satelit, maupun pra pengolahan sinyal. Untuk menentukan koordinat tetap titik ikat, digunakan pengolah data GNSS *online*, yaitu Auspos.

Data pengamatan di titik ikat setidaknya harus berdurasi sama atau lebih panjang dari data pengamatan di pesawat. Jika terdapat kesalahan besar dalam solusi DGPS, maka kesalahan besar tersebut harus dibuang terlebih dulu, dan tidak disertakan sebagai data pembanding untuk solusi PPP. Selanjutnya akan dilakukan penghitungan statistik hasil perbandingan tersebut. Nilai statistik yang digunakan adalah *Root Mean Square* (RMS) yang menjadi indikasi akurasi solusi PPP terhadap solusi DGPS (Abdallah dan Schwieger, 2015).

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**DOY 291**

Pada DOY 291, survei gayaberat *airborne* dilakukan di atas daerah Luwuk, di mana jalur terbang pesawat memanjang dari timur ke barat, seperti tampak pada **Gambar 1**. Pengukuran tersebut dilakukan pada detik ke 421.355-439.948. Titik ikat yang digunakan pada pengamatan DGPS adalah LUW2, dengan koordinat tetap yakni 1° 2' 20,85415" LS, 122° 46' 21,20839" BT dan 79,505 m. Koordinat tetap tersebut diperoleh dari situs pengolahan data GPS Auspos, dengan ketidakpastian posisi pada tingkat kepercayaan 95% sebesar 0,009 m, 0,006 m, dan 0,018 m masing-masing untuk komponen *easting*, *northing* dan tinggi.

Hasil pengolahan DGPS dengan titik ikat LUW2 menunjukkan terdapatnya *blunder* pada detik ke 421.355-421.368 yang disajikan pada

**Gambar 2**. *Blunder* ini disebabkan oleh inisiasi pengamatan satelit di titik ikat dan di pesawat pada awal pengukuran membutuhkan waktu sekitar 10 detik. Agar dapat digunakan lebih lanjut, kesalahan-kesalahan besar tersebut tidak disertakan sebagai data pembanding pada hasil pengolahan PPP.

Pengolahan PPP jalur terbang pesawat pada DOY 291 memberikan hasil yang teliti. Seluruh koordinat 3D titik-titik pengamatan memiliki standar deviasi 0 – 0,1 m disajikan pada **Tabel 1**. Sedangkan untuk data mentah pengamatan, nilai RMS untuk data fase L1 adalah 0,011 m, data kode sebesar 0,9 m, dan untuk data L1 Doppler sebesar 0,028 m/s disajikan pada **Tabel 2**. Nilai RMS pengamatan Doppler merupakan indikator ketelitian pengamatan kecepatan sesaat pada fase L1. Untuk kecepatan terbang pesawat sekitar 70-80 m/s, ketelitian pengamatan kecepatan tersebut telah memenuhi syarat ketelitian pengukuran gayaberat *airborne*.

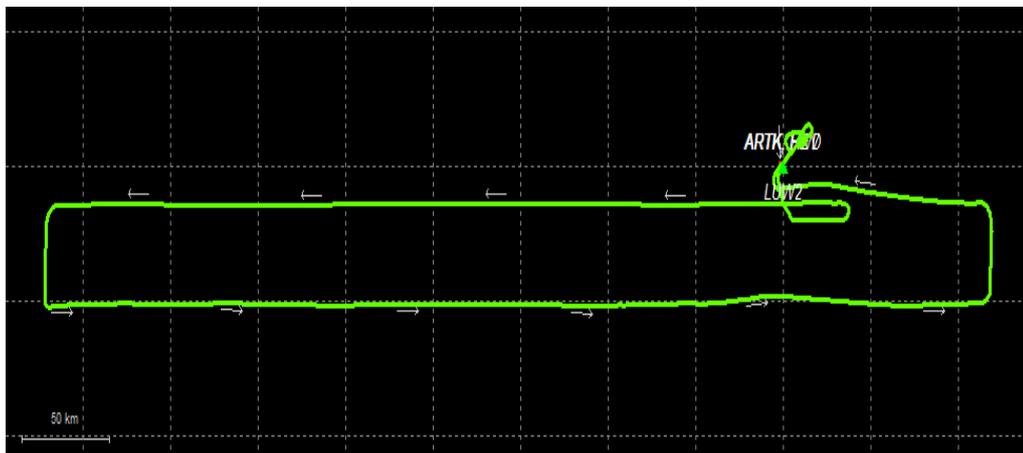
**Tabel 1.** Distribusi standar deviasi posisi 3D.

Standar Deviasi	Distribusi (%)
0.00 – 0,10 m	100,0
0.10 – 0,30 m	0,0
0.30 – 1,00 m	0,0
1.00 – 5,00 m	0,0
>5,00 m	0,0

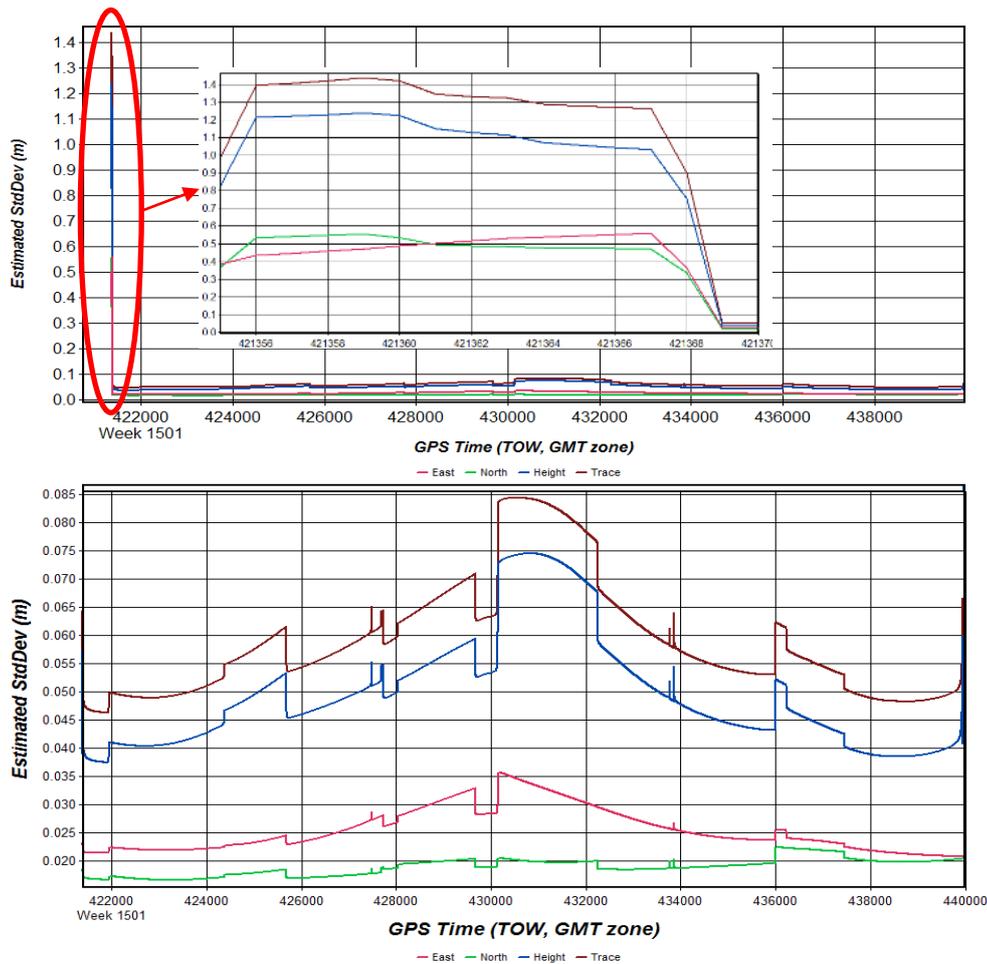
**Tabel 2.** RMS data pengamatan.

Variabel	RMS
L1 Phase	0,011 (m)
C/A Code	0,900 (m)
L1 Doppler	0,028 (m/s)

Penelitian ini menggunakan metode *multi-pass* PPP. Untuk mengetahui ketelitian solusi yang dihasilkan, solusi posisi pada arah maju diselisihkan dengan solusi arah mundur. Hasil perbandingan kedua solusi tersebut disajikan pada **Tabel 3**.



**Gambar 1.** Jalur Terbang Pesawat pada DOY 291, dengan titik ikat DGPS adalah LUW2.



**Gambar 2.** Estimasi ketelitian posisi hasil pengolahan DGPS untuk detik ke 421.355-439.948, di dalamnya terdapat plot hasil-hasil pengukuran yang buruk pada detik ke 421.355-421.368 (atas); estimasi ketelitian posisi setelah menghilangkan data-data *blunder* (bawah).

Kedua solusi tersebut lalu dikombinasikan untuk memperoleh solusi PPP terbaik. Pada **Gambar 3**, tampak bahwa pola ketelitian posisi arah *easting* berbeda dengan arah *northing*, kecuali di beberapa detik terakhir pengamatan di mana kedua komponen tersebut hampir berhimpit. Selain itu, ketelitian posisi komponen *easting* lebih rendah daripada komponen *northing*. Hal ini disebabkan oleh bentuk jalur terbang pesawat yang memanjang pada arah timur-barat, kecuali di bagian akhir pengamatan, dimana dilakukan pendaratan dengan arah utara-selatan.

Statistik estimasi ketelitian posisi dapat dilihat pada **Tabel 4**. Nilai ketelitian posisi 3D terburuk adalah 0,097 m, atau masih berada dalam fraksi sentimeter sehingga dapat digunakan untuk penentuan posisi pesawat dalam survei gayaberat *airborne* ini.

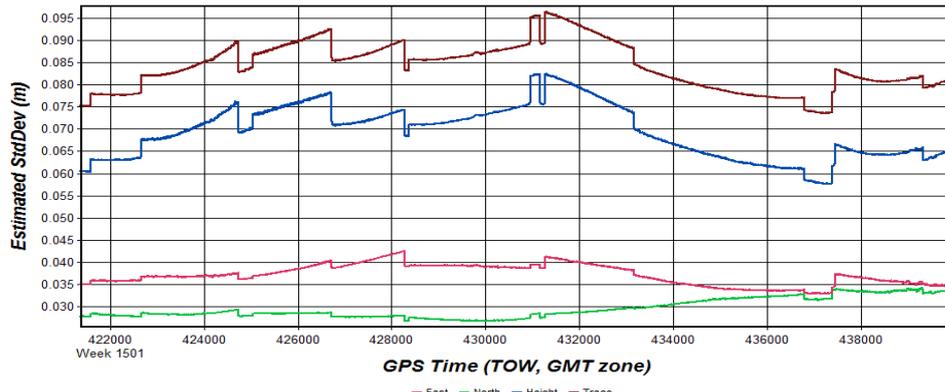
**Tabel 3.** RMS selisih *forward* dan *reverse solution*.

Komponen	RMS (m)
East	0,005
North	0,004
Tinggi	0,030

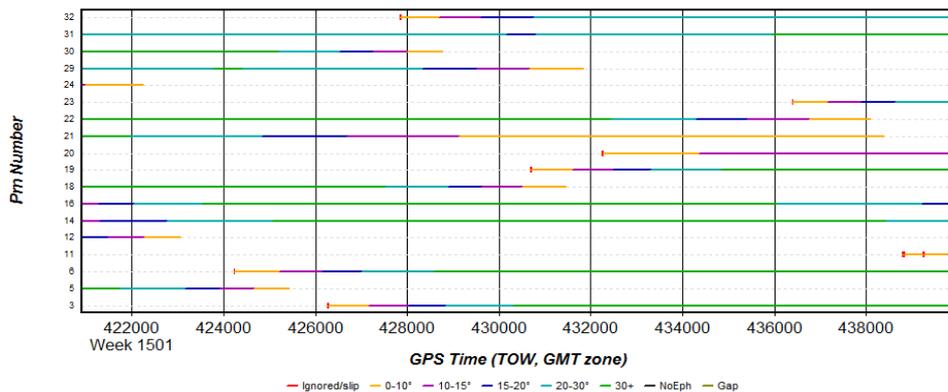
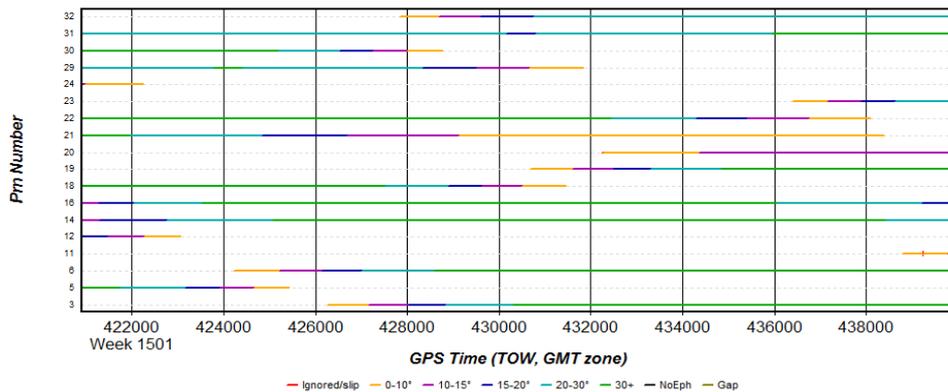
**Tabel 4.** Statistik estimasi ketelitian posisi hasil pengolahan PPP DOY 291.

Stat	East (m)	North (m)	Tinggi (m)	3D (m)
STD	0,0023	0,0022	0,0059	0,0053
RMS	0,0372	0,0296	0,0697	0,0843
Rerata	0,0371	0,0296	0,0694	0,0842
Maks	0,0425	0,0343	0,0826	0,0966
Min	0,0328	0,0267	0,0576	0,0736

Satelit yang diamati oleh *receiver* di pesawat pada DOY 291 berjumlah total 18 buah seperti tampak pada **Gambar 4**. Namun dari 18 buah satelit tersebut, jumlah satelit yang diamati pada rentang waktu yang sama hanya berkisar 10-11 buah. Pada **Gambar 4** juga terlihat masih terdapatnya *cycle slip* yang tidak terkoreksi, baik pada fase L1 maupun L2. *Cycle slip* paling menonjol terlihat pada satelit nomor 11, yang teramati pada akhir pengamatan. Hal ini disebabkan oleh manuver pesawat yang akan mendarat, dimana terjadi perubahan posisi dan ketinggian pesawat secara signifikan.



Gambar 3. Estimasi ketelitian posisi hasil pengolahan PPP.



Gambar 4. Plot satelit teramati dan cycle slip untuk data L1 (atas) dan L2 (bawah).

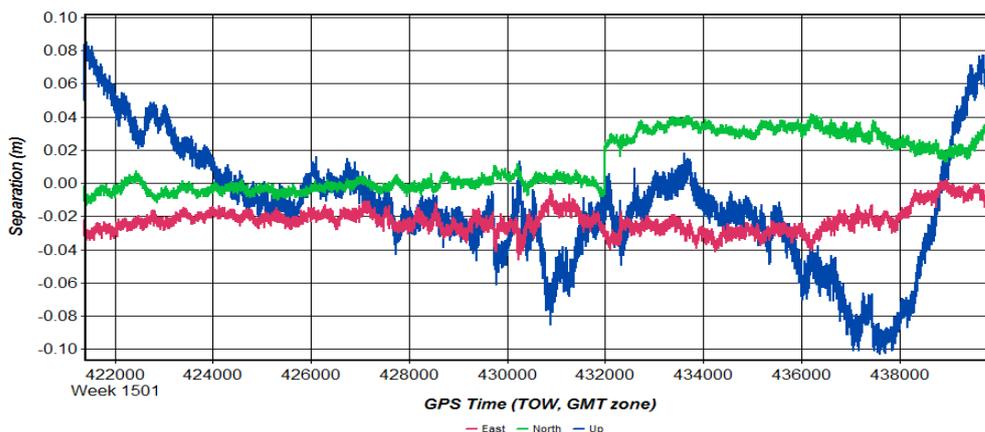
Pada tahap selanjutnya, dilakukan perbandingan antara hasil pengolahan PPP dengan DGPS. Berdasarkan perbandingan hasil tersebut diketahui bahwa perbedaan antara kedua metode tersebut memiliki RMS sebesar: 0,024 m, 0,020 m, dan 0,040 m, masing-masing untuk komponen *east*, *north*, dan tinggi. Hasil perbandingan selengkapnya dapat dilihat dalam **Tabel 5**.

Selisih antara solusi PPP dengan DGPS cenderung stabil dan bernilai rendah pada komponen *easting*, seperti tampak pada **Gambar 5**. Hal ini disebabkan oleh jalur terbang pesawat yang melintang timur-barat, sehingga ketelitian DGPS tidak terlalu baik dan mendekati ketelitian

solusi PPP. Selain itu, pada komponen vertikal terlihat adanya lonjakan nilai selisih kedua solusi pada rentang 437000 sampai dengan selesai. Penyebabnya adalah manuver pesawat yang akan mendarat, sehingga ketelitian solusi PPP memburuk.

**Tabel 5.** Statistik uji akurasi solusi PPP DOY 291.

	East (m)	North (m)	Up (m)
<b>Max</b>	0,002	0,042	0,098
<b>Min</b>	-0,046	-0,014	-0,103
<b>Ave</b>	-0,022	0,012	-0,014
<b>STD</b>	0,007	0,016	0,037
<b>RMS</b>	0,024	0,020	0,040



Gambar 5. Selisih antara solusi PPP dengan DGPS.

**DOY 274**

Pada DOY 274, jalur terbang pesawat melintasi wilayah perairan Sulawesi Selatan dan sebagian Sulawesi Tenggara. Titik ikat yang digunakan pada pengamatan DGPS adalah MAK1 dan KEN2. Koordinat kedua titik ikat tersebut adalah 5° 3' 43,4967" LS, 119° 32' 48,2715" BT, dan 68,003 m untuk MAK1, 3° 58' 12,3951" LS, 122° 31' 29,0098" BT, dan 79,775 m untuk KEN2. Koordinat tetap tersebut diperoleh dari situs Auspos dengan ketidakpastian posisi (tingkat kepercayaan 95%) untuk MAK1 adalah 0,008 m east, 0,006 m north, dan 0,016 m up. Nilai ketidakpastian untuk KEN2 adalah 0,01m east, 0,006 m north, dan 0,018 m up. Plot jalur terbang pada DOY 274 dapat dilihat pada Gambar 6.

Solusi DGPS yang diperoleh menunjukkan adanya kesalahan besar pada detik ke 162.848-162.858. Total epok yang berhasil diolah adalah 16147 detik. Untuk mendapatkan hasil perbandingan yang lebih dapat dipertanggungjawabkan, data-data kesalahan besar tersebut tidak disertakan pada perbandingan dengan solusi PPP. Grafik estimasi ketelitian posisi hasil pengolahan DGPS disajikan pada Gambar 7 dan Gambar 8.

Sementara itu, hasil pengolahan PPP menunjukkan ketelitian yang baik dengan 95,8% solusi memiliki simpangan baku posisi 3D di bawah 0,1 m. Distribusi simpangan baku selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 6. Untuk data pengukuran fase L1, nilai RMS adalah

0,009 m disajikan pada Tabel 7. Hasil ini lebih baik jika dibandingkan dengan pengukuran fase L1 pada DOY 291.

Tabel 6. Distribusi standar deviasi posisi 3D solusi PPP.

Simpangan Baku (m)	%
0,00 – 0,10	95,8
0,10 – 0,30	4,2
0,30 – 1,00	0,0
1,00 – 5,00	0,0
>5,00	0,0

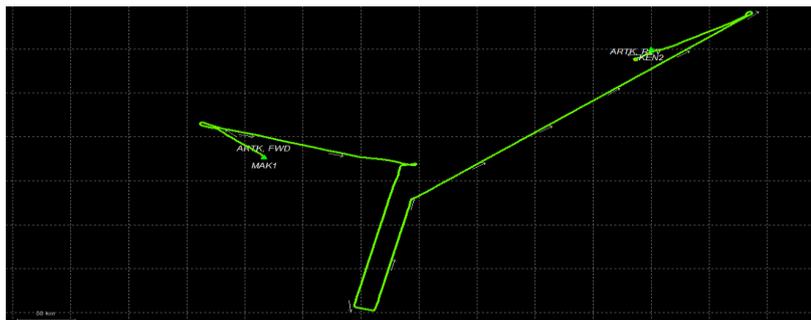
Pada Tabel 8 tampak bahwa selisih solusi arah maju dan mundur untuk DOY 274 sedikit lebih besar daripada DOY 291. Hal ini mengindikasikan bahwa pada DOY 274 kesalahan akibat loss of lock satelit lebih besar daripada DOY 291.

Tabel 7. RMS data pengukuran.

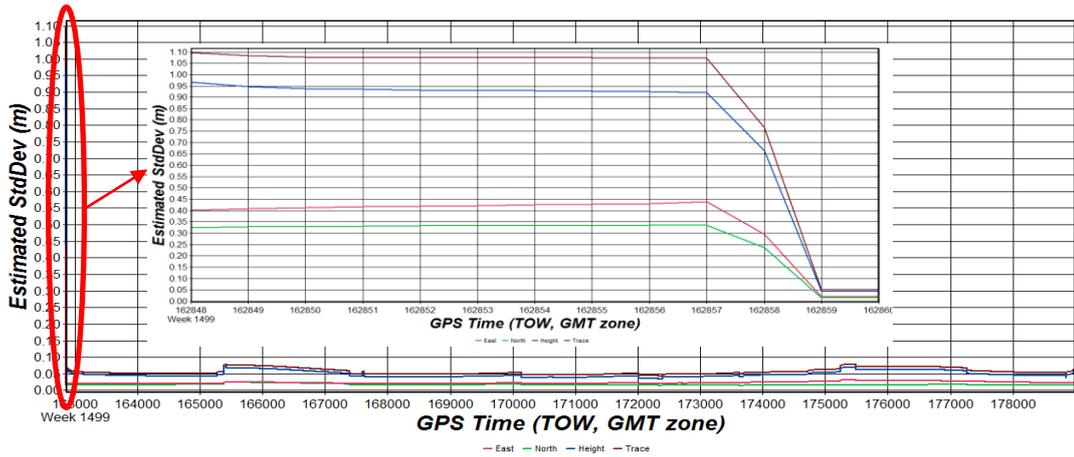
Variabel	RMS
L1 Phase	0,009 (m)
C/A Code	0,860 (m)
L1 Doppler	0,027 (m/s)

Tabel 8. RMS selisih forward dan reverse solution.

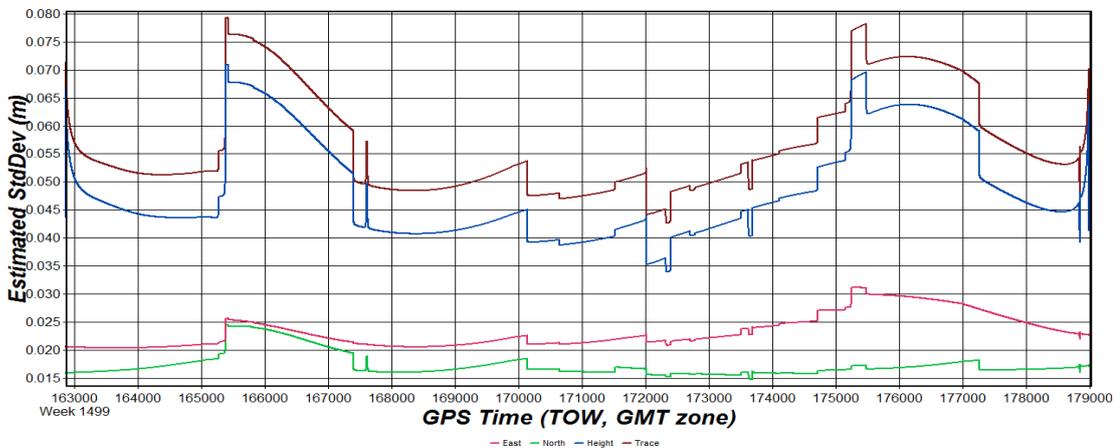
Komponen	RMS (m)
East	0,007
North	0,004
Tinggi	0,031



Gambar 6. Jalur terbang pesawat pada DOY 274, dengan titik ikat MAK1 dan KEN2.



**Gambar 7.** Estimasi ketelitian posisi hasil pengolahan DGPS untuk detik ke 162.848-178.995 (doy 274). Dalam inset tampak juga *blunder* pada detik ke 162.848-162.858.



**Gambar 8.** Estimasi ketelitian posisi hasil pengolahan DGPS setelah menghilangkan *blunder*.

Hasil pengolahan PPP pada DOY 274 menunjukkan pola ketelitian yang serupa untuk arah *northing* dan *easting* seperti yang disajikan pada **Gambar 9**. Hal ini disebabkan oleh bentuk jalur terbang pesawat yang tidak sejajar garis lintang maupun bujur. Ketelitian posisi pesawat hasil pengolahan PPP memiliki RMS 3D sebesar 0,090 m dengan standar deviasi 0,005 m disajikan pada **Tabel 9**. Hasil ini masih masuk toleransi dan dapat digunakan untuk pengolahan data gayaberat *airborne*.

**Tabel 9.** Statistik estimasi ketelitian posisi solusi PPP DOY 274.

Stat	East (m)	North (m)	Tinggi (m)	3D (m)
STD	0,0018	0,0014	0,0057	0,0055
RMS	0,0387	0,0298	0,0752	0,0897
Rerata	0,0387	0,0298	0,0750	0,0895
Maks	0,0512	0,0357	0,1079	0,1208
Min	0,0360	0,0270	0,0650	0,0803

Pada DOY 274 ini, satelit yang berhasil diamati sejumlah 15 buah. Jumlah tersebut lebih sedikit daripada DOY 291. Pada **Gambar 10**, terlihat bahwa jumlah *cycle slip* pada fase L1 adalah 8, sedangkan pada L2 sebanyak 13.

Mayoritas *cycle slip* terjadi pada awal dan akhir penerbangan. Hal ini disebabkan oleh rendahnya ikatan satelit (*satellite's loss of lock*). Ikatan satelit yang rendah terjadi karena pesawat melakukan manuver lepas landas, belok, maupun pendaratan. Terjadi perubahan posisi, *altitude* dan kecepatan yang signifikan dalam waktu relatif singkat.

Munculnya *cycle slip* pada satelit nomor 29, 21, dan 18 berdampak langsung pada estimasi ketelitian posisi pesawat pada sekitar detik ke 177.000 disajikan pada **Gambar 9**. Terlihat jelas adanya *spike* pada periode tersebut, terutama pada arah *easting* dan vertikal. Hal ini terjadi karena bentuk lintasan pesawat pada rentang waktu tersebut yang melintang di arah timur laut ke barat daya dengan *altitude* yang menurun.

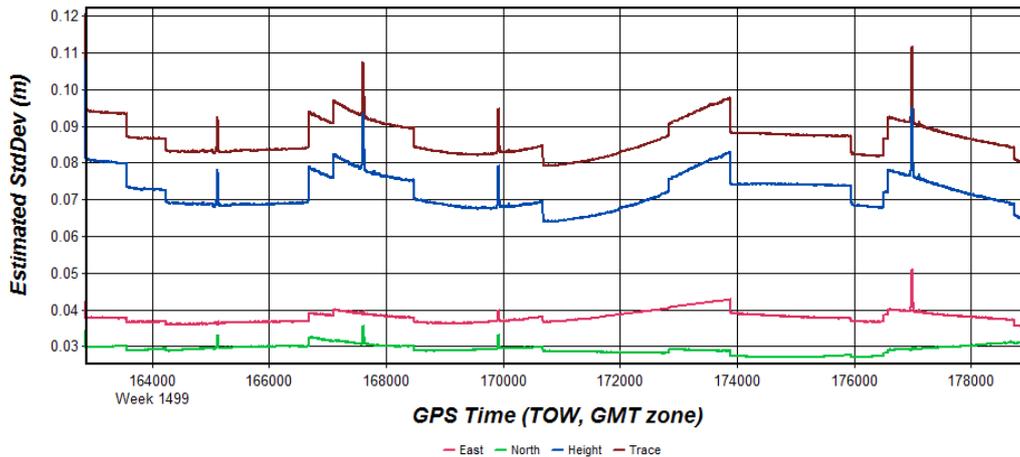
Selanjutnya, solusi PPP yang diperoleh dibandingkan dengan solusi DGPS untuk periode bebas *blunder* (162.859-179.040). Hasil perbandingan memiliki RMS sebesar 0,032 m, 0,011 m, dan 0,058 m, masing-masing untuk arah *easting*, *northing* dan vertikal. Sedangkan standar deviasinya adalah 0,019 m, 0,006 m, dan 0,057 m. Hasil selengkapnya disajikan dalam **Tabel 10**.

Selisih solusi PPP dan DGPS disajikan dalam **Gambar 11**. Pada gambar tersebut tampak bahwa pada sekitar detik 172800 terjadi *shifting* akurasi solusi PPP hingga 4 cm, khususnya di arah *easting* dan vertikal. Hal ini disebabkan oleh faktor eksternal, mengingat ketelitian pengamatan PPP (**Gambar 9** dan **Gambar 10**) pada waktu tersebut relatif tinggi dan stabil, begitu pula ketelitian solusi DGPS. Faktor eksternal yang dimaksud adalah perubahan kondisi atmosfer setempat pada epok tersebut. Perubahan kondisi atmosfer (troposfer) yang mendadak dapat mempengaruhi ketelitian koreksi troposferik pada

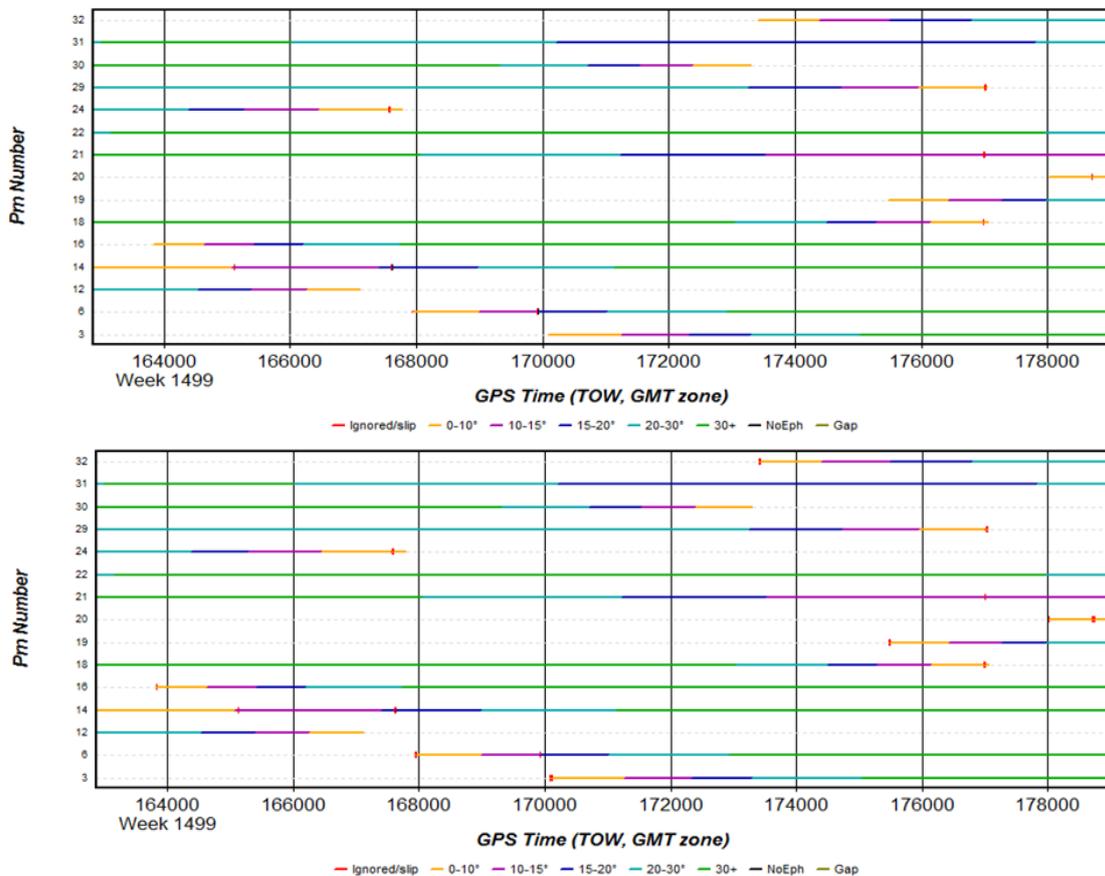
metode PPP. Selain itu, perubahan kondisi meteorologi seperti munculnya awan tebal juga dapat mempengaruhi besarnya *multipath* yang diterima oleh *receiver*.

**Tabel 10.** Statistik uji akurasi solusi PPP DOY 274.

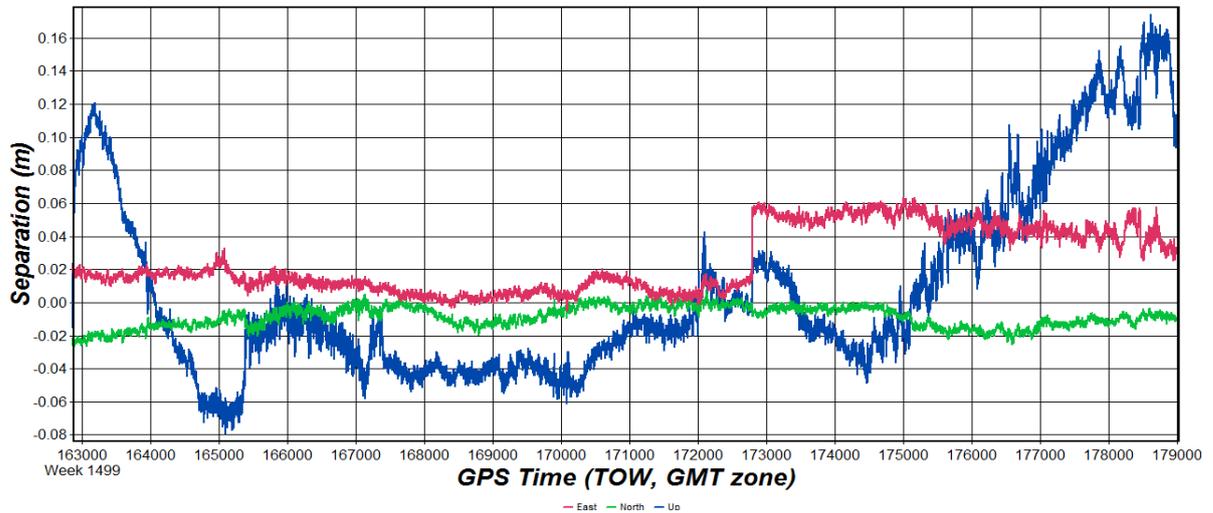
	<i>East (m)</i>	<i>North (m)</i>	<i>Up (m)</i>
Max	0,0637	0,0075	0,1742
Min	-0,0051	-0,0273	-0,0791
Ave	0,0250	-0,0086	0,0081
Std	0,0191	0,0063	0,0570
RMS	0,0315	0,0107	0,0576



**Gambar 9.** Estimasi ketelitian posisi hasil pengolahan PPP.



**Gambar 10.** Plot satelit teramati beserta *cycle slip* untuk data L1 (atas) dan L2 (bawah).



**Gambar 11.** Selisih antara solusi PPP dengan DGPS.

Berdasarkan pemaparan di atas, penggunaan metode PPP untuk penentuan posisi pesawat telah memiliki ketelitian dalam fraksi sentimeter. Tingkat ketelitian ini telah memenuhi kebutuhan survei gayaberat *airborne*. Hasil tersebut juga sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Xincun et al. (2014), dimana ketelitian posisi untuk arah *northing*, *easting*, dan tinggi masing-masing adalah 0,064 m, 0,020 m, dan 0,094 m.

Selain itu dapat diketahui pula bahwa solusi PPP yang dihasilkan dalam penelitian ini memiliki ketelitian yang setara dengan *software* ilmiah. Hal ini sesuai dengan laporan yang diterbitkan oleh Grup Waypoint (Waypoint, 2007). Pada pengujian yang dilakukan oleh Martin et al. (2012) terhadap beberapa *software* ilmiah, *software* Magic GNSS memberikan ketelitian terbaik untuk pengolahan posisi pesawat dengan RMS 0,019 m, 0,012 m, dan 0,035 m masing-masing untuk arah *northing*, *easting*, dan tinggi (Martin et al., 2012). *Software* Magic GNSS merupakan *software* ilmiah yang dibuat oleh GMV Aerospace and Defence, Spanyol (Piriz et al., 2008).

**KESIMPULAN**

Pada DOY 291, uji akurasi solusi PPP terhadap solusi DGPS memberikan RMS 2D sebesar 0,031 m dan RMS vertikal 0,04 m. Sementara itu, pada DOY 274 memberikan RMS 2D sebesar 0,033 m dan RMS vertikal 0,058 m. Hasil tersebut menunjukkan bahwa solusi PPP lebih mendekati nilai solusi DGPS dengan satu titik ikat (DOY 291) daripada DGPS dengan dua titik ikat (DOY 274).

Faktor-faktor yang mempengaruhi kualitas pengolahan PPP adalah obstruksi langit, konfigurasi satelit, atmosfer, dan kehilangan ikatan satelit. Pada pemetaan gayaberat *airborne*, tinggi terbang pesawat yang berkisar 3 km memungkinkan munculnya gangguan terhadap sinyal GNSS, terutama dari awan tebal. Selain itu kondisi atmosfer yang berubah sewaktu-waktu

mengurangi kualitas koreksi troposfer yang diturunkan dari model matematis. Kehilangan ikatan satelit (*satellite's loss of lock*) timbul karena manuver satelit yang terlalu menukik saat akan melakukan pendaratan. Manuver pesawat yang berbelok tajam atau menukik untuk mempersiapkan pendaratan akan mengurangi ketelitian komponen tinggi.

Selain faktor-faktor yang terkait metode pengamatan, hal lain yang juga mempengaruhi kualitas solusi PPP adalah strategi pengolahan yang diterapkan. Pada penelitian ini, solusi PPP diperoleh menggunakan teknik pengolahan *multi-pass*. Teknik ini mengolah data GNSS dalam arah maju-mundur-maju, dan kemudian menggabungkannya menjadi solusi kombinasi. Penggunaan teknik kombinasi ini bertujuan mengurangi dampak *complete loss of lock* atau hilangnya ikatan *receiver*-satelit secara total selama beberapa waktu.

Bentuk jalur terbang serta manuver pesawat saat akan lepas landas/mendarat turut berpengaruh dalam ketelitian penentuan posisi dengan metode PPP. Jalur terbang yang sejajar atau hampir sejajar dengan garis lintang akan mengurangi ketelitian posisi komponen *easting*. Begitu juga sebaliknya, jalur terbang yang membujur utara-selatan akan mengurangi kualitas solusi PPP komponen *northing*.

Berdasarkan penelitian ini, dapat diketahui juga bahwa pengamatan DGPS kinematik membutuhkan waktu inisiasi setidaknya 10 detik, untuk mendapatkan kualitas posisi yang baik. Pada metode PPP, kualitas pengamatan yang baik dapat diperoleh sejak awal hingga akhir pengukuran. Penggunaan metode PPP untuk penentuan posisi pesawat telah memenuhi kebutuhan survei gayaberat *airborne*.

**UCAPAN TERIMA KASIH**

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Kepala Pusat Jaring Kontrol Geodesi dan

Geodinamika yang telah menyediakan perangkat lunak Waypoint Grafnav. Ucapan terimakasih juga disampaikan kepada Kelompok Keahlian Gayaberat yang telah membantu menginventarisasi data penelitian.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Abdallah, A., & Schwieger, V. (2015). Accuracy Assessment Study of GNSS Precise Point Positioning for Kinematic Positioning. *FIG Working Week* (pp. 167-178). Sofia: FIG.
- Chen, W., Hu, C., Gao, S., Chen, Y., & Ding, X. (2009). Error Correction Models and Their Effects on GPS Precise Point Positioning. *Survey Review*, 41(313), 238-252.
- Dawidowicz, K., & Krzan, G. (2014). Coordinate estimation accuracy of static precise point positioning using on-line PPP service, a case study. *Acta Geodaetica et Geophysica*, 37-55.
- Hwang, C., Hsiao, Y.-S., Shih, H.-C., Yang, M., Chen, K.-H., Forsberg, R., et al. (2007). Geodetic and geophysical results from a Taiwan airborne gravity survey : Data reduction and accuracy assessment. *Journal of Geophysical Research*, 112, B04407.
- Kalita, J., Rzepecka, Z., & Szuman-Kalita, I. (2014). The application of Precise Point Positioning in Geosciences. *The 9th International Conference "Environmental Engineering" Selected Papers*. Vilnius, Lithuania.
- Lachapelle, G., Petovello, M., Gao, Y., & Garin, L. J. (2006). GNSS Solutions: Precise Point Positioning and Its Challenges, Aided-GNSS and Signal Tracking. *Inside GNSS*, 16-21.
- Marreiros, J. P. (2012). *Kinematic GNSS Precise Point Positioning Application to Marine Platforms*. Porto: University of Porto.
- Martin, A., Anquela, A. B., Berne, J. L., & Sanmartin, M. (2012). Kinematic GNSS-PPP results from various software packages and raw data configurations. *Scientific Research and essays*, 7(3), 419-431.
- Pandey, D., Dwivedi, R., Dikshit, O., & Singh, A. K. (2016). GPS and Glonass Combined Static Precise Point Positioning (PPP). *The International Archives of The Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* (pp. 483-488). Prague: ISPRS.
- Piriz, R., Mozo, A., Navarro, P., & Rodriguez, D. (2008). MagicGNSS: Precise GNSS products out of the box. *Proceedings of ION GNSS 21th International Technical Meeting of The Satellite Division*, (pp. 1242-1251). Savannah, Georgia.
- Waypoint Products Group. (2007). *Airborne Multi-Pass Precise Point Positioning in GrafNav 8.10*. Novatel Inc.
- Waypoint Products Group. (2016). *Grafnav/Grafnet Gravnv Static User Manual*. Novatel.
- Witchayangkoon, B. (2000). *Elements of GPS Precise Point Positioning*. Maine: The University of Maine.
- Xincun, Y., Yongzhong, O., Yi, S., & Kailiang, D. (2014). Application of precise point positioning technology in airborne gravity measurement. *Geodesy and Geodynamics*, 5(4), 68-72.