

## PERFORMA METODE *PRECISE POINT POSITIONING* (PPP) DENGAN KOREKSI IONOSFER ORDE 1 PADA DATA PENGAMATAN STASIUN CORS BIG

Dadang Handoko<sup>1</sup>, Nurrohmat Widjajanti<sup>2</sup>, Buldan Muslim<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Departemen Teknik Geodesi Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada  
Jl. Grafika No.2, Mlati, Sleman, Yogyakarta Telp./Faks (0274) 513665, e-mail:  
[dadang.handoko.s@mail.ugm.ac.id](mailto:dadang.handoko.s@mail.ugm.ac.id)

<sup>2</sup>Departemen Teknik Geodesi Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada  
Jl. Grafika No.2, Mlati, Sleman, Yogyakarta Telp./Faks (0274) 513665, e-mail: [nwidjajanti@ugm.ac.id](mailto:nwidjajanti@ugm.ac.id)

<sup>3</sup>Pusat Sains dan Teknologi Atmosfer LAPAN  
Jl. Dr. Junjuran No. 133 Bandung Telp./Faks Fax. (022)6014998, e-mail: [mbuldan@gmail.com](mailto:mbuldan@gmail.com)

(Diterima 17 Mei 2019, Disetujui 17 Juli 2019)

### ABSTRAK

*Precise Point Positioning* (PPP) adalah salah satu metode penentuan posisi secara absolut dengan GNSS yang saat ini berkembang dengan cepat seiring meningkatnya akurasi posisi yang dihasilkan. Metode PPP menggunakan data fase *one-way* dan *pseudorange* dari satu buah *receiver* GPS tipe geodetik yang dikombinasikan dengan orbit dan jam satelit teliti sehingga menghasilkan ketelitian dengan level sentimeter pada pengukuran statik. Pada penelitian ini menggunakan data RINEX pengamatan dual frekuensi dari stasiun CORS CBAL, CPAL, CAMP, CMLI dan CRAU. Data diolah dengan *software* GoGPS metode PPP dengan koreksi ionosfer orde 1. Hasil dari penelitian ini yaitu pada stasiun CORS CAMP, CBAL, CPAL, CRAU, dan CMLI mempunyai standar deviasi dalam level centimeter hingga milimeter. Waktu konvergensi yang diperlukan mencapai 3,3 jam untuk mendapatkan solusi dengan level milimeter. Nilai standar deviasi yang paling kecil setelah konvergensi terdapat pada hasil penentuan posisi stasiun CORS CBAL dan CAMP yaitu 0,00053 m dan 0,00057 m untuk komponen *North*, 0,00179 m dan 0,00170 m untuk komponen *East*, serta 0,00326 m dan 0,00328 m untuk komponen *Up*.

**Kata kunci :** GPS, GoGPS, PPP, Koreksi ionosfer orde 1

### ABSTRACT

*Precise Point Positioning* (PPP) is one of the absolute positioning methods with GNSS which is currently developing rapidly as the position accuracy is generated. The PPP method uses *one-way* and *pseudorange* phase data from a geodetic type GPS receiver that is combined with a very precise orbit and satellite clock to produce accuracy with the centimeter level in static measurements. In this study using RINEX data dual frequency observations from CORS CBAL, CPAL, CAMP, CMLI and CRAU stations. The data is processed with GoGPS software PPP method with Ionosphere-free linear combinations. The results of this study are at the CORS CAMP, CBAL, CPAL, CRAU, and CMLI stations having standard deviations in the centimeter to millimeter level. The required convergence time is 3.3 hours to get a solution with a millimeter level. The smallest standard deviation value after convergence is found in the results of determining the position of CORS CBAL and CAMP stations which are 0.00053 m and 0.00057 m for North components, 0.00179 m and 0.00170 m for East components, and 0.00326 m and 0.00328 m for component *Up*.

**Keywords :** GPS, GoGPS, PPP, 1st Order ionosphere correction

## 1. PENDAHULUAN

*Precise Point positioning* (PPP) merupakan metode penentuan posisi secara absolut dengan satu *receiver* yang saat ini berkembang sangat pesat. Penentuan posisi dengan metode PPP ini menggunakan data fase dan *pseudorange* dari data pengamatan GPS dengan tipe geodetik. Proses penentuan posisi tersebut

membutuhkan kombinasi koreksi dari data orbit dan jam satelit yang sangat teliti sehingga ketelitian yang dihasilkan dapat mencapai level sentimeter pada pengukuran statik (Andrei, dkk, 2009).

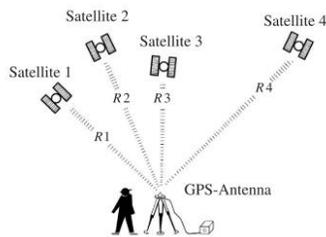
Penerapan koreksi ionosfer pada persamaan penentuan posisi menggunakan PPP yang berupa persamaan kombinsai linier bebas ionosfer merupakan salah satu dari beberapa metode untuk meningkatkan

akurasi dari hasil penentuan posisi menggunakan GPS. penerapan kombinasi linier bebas ionosfer dilakukan untuk mereduksi pengaruh dari ionosfer untuk meningkatkan ketelitian posisi yang dihasilkan pada metode PPP. Efek ionosfer berpengaruh terhadap kecepatan sinyal yaitu memperlambat *pseudorange* (ukuran jarak menjadi lebih panjang) dan mempercepat fase (ukuran jarak menjadi lebih pendek) (Abidin, 2007). Keterlambatan yang diakibatkan oleh pengaruh ionosfer orde 1 dapat dieliminasi atau direduksi dengan menggunakan kombinasi linier bebas ionosfer. Penggunaan kombinasi bebas linier tidak sepenuhnya menghilangkan pengaruh dari ionosfer sehingga diperlukan kombinasi bebas ionosfer dengan dengan orde yang lebih tinggi.

Tujuan utama metode PPP yaitu untuk menentukan posisi yang sangat teliti dengan menggunakan dual frekuensi dari *receiver* GPS tanpa terikat dengan sistem referensi lokal (Malinowski & Kwiecień, 2016). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai standar deviasi pada data pengamatan stasiun CORS yang diteliti menggunakan metode PPP dengan kombinasi linier bebas ionosfer serta waktu konvergensi yang dibutuhkan untuk mencapai solusi yang lebih teliti.

**2. Precise Point Positioning (PPP)**

*Absolut positioning* merupakan metode dasar dalam menentukan posisi yang dapat ditentukan dengan menggunakan satu *receiver* GPS untuk mendapatkan data dari satelit sehingga dapat menentukan posisi *receiver* (X,Y,Z) dan *offset receiver clock* (dt) (Abou-Galala, 2010; Bramanto et al., 2015)



**Gambar 1.** Prinsip dasar penentuan posisi dengan GPS (Seeber, 2003)

Persamaan matematika untuk penentuan posisi secara absolut sebagai persamaan (1) (Seeber, 2003):

$$\sqrt{(X_p - X_l)^2 + (Y_p - Y_l)^2 + (Z_p - Z_l)^2} + c \cdot dt = R_l \quad (1)$$

Dalam hal ini  $X_l, Y_l$  dan  $Z_l$  merupakan koordinat dari satelit sedangkan  $X_p, Y_p$  dan  $Z_p$  merupakan koordinat dari *receiver* GPS dimana  $c$  merupakan kecepatan cahaya.

Parameter yang ditentukan dalam pengolahan PPP pada umumnya yaitu tiga komponen koordinat, offset jam *receiver*, bias troposfer basah diarah zenith, dua parameter gradien troposfer serta nilai real dari sejumlah ambiguitas fase dari data bebas ionosfer yang terlibat (Chen & Gao, 2005). Data pengamatan GPS merupakan waktu tempuh ( $\Delta T$ ) dari data fase dan pseudorange dari frekuensi L1 dan L2. Persamaan matematika dari data observasi GPS yaitu sebagai berikut ((El-Rabbany, 2002):

$$P_i = \rho + d\rho + d_{trop} + d_{ion} + c(dT - dt) + MP_i + \vartheta P_i \quad (2)$$

$$L_i = \rho + d\rho + d_{trop} + d_{ion} + c(dT - dt) + MC_{IF} + \lambda_i N_i + \vartheta C_i \quad (3)$$

Dimana,  $P_i, L_i$  adalah kombinasi bebas ionosfer pada pengukuran *pseudorange* dan fase pembawa pada frekuensi ( $i=1,2$ ),  $c$  adalah kecepatan cahaya (m/s),  $\rho$  adalah jarak geometrik antara pengamat dan satelit,  $d\rho$  adalah *error* orbit satelit  $dt$ ,  $dT$  adalah kesalahan pada jam *receiver* pada satelit dan *receiver*,  $d_{trop}$  dan  $d_{ion}$  adalah bias jarak yang disebabkan oleh troposfer dan ionosfer,  $MP_i$  dan  $MC_i$  adalah efek dari *multipath*,  $\vartheta P_i$  dan  $\vartheta C_i$  adalah gangguan (*noise*) pada hasil pengamatan.  $\lambda_i$  dan  $N_i$  adalah panjang gelombang dan ambiguitas fase.

**2.1 Kombinasi linier bebas ionosfer**

Efek dari ionosfer merupakan sumber kesalahan yang patut diperhitungkan dalam pengukuran GPS. Efek dari ionosfer mengakibatkan penundaan maupun kemajuan pada penerimaan sinyal GPS oleh *receiver* GPS mempunyai efek yang bervariasi dari beberapa meter hingga 20 m (Xu, 2007) dan menjadi sangat ekstrim apabila terjadi aktifitas matahari yang ekstrim, tengah hari, dan dekat cakrawala. Penundaan ionosfer dapat dihilangkan dengan kombinasi linier dari pengamatan GPS pada frekuensi L1 dan L2 (Hofmann-Wellenhof, dkk, 2008).

Persamaan kombinasi bebas ionosfer dari data pengamatan *pseudorange* (P) dan fase yang dapat digunakan untuk memodelkan persamaan matematika dari metode PPP. Model umum PPP dengan kombinasi linier dari bebas ionosfer untuk orde 1 yaitu sebagai berikut (Gao & Chen, 2004).

$$P_{IF} = \frac{f_1^2 P_1 - f_2^2 P_2}{f_1^2 - f_2^2}$$

$$P_{IF} = \rho + d\rho + d_{trop} + c(dT - dt) + MP_{IF} + \vartheta P_{IF} \quad (4)$$

$$L_{IF} = \frac{f_1^2 L_1 - f_2^2 L_2}{f_1^2 - f_2^2}$$

$$L_{IF} = \rho + d\rho + d_{trop} + c(dT - dt) + MC_{IF} + \frac{\lambda_1 N_1 - \lambda_2 N_2}{f_1^2 - f_2^2} + \vartheta C_{IF} \quad (5)$$

Dimana,  $P_{IF}, L_{IF}$  adalah kombinasi bebas ionosfer pada pengukuran psudorange dan fase pembawa pada pada frekuensi ( $i=1,2$ ),  $c$  adalah kecepatan cahaya (m/s)  $d_{orb}$  adalah *error* orbit satelit  $dt, dT$  adalah kesalahan pada jam receiver pada satelit dan *receiver*,  $d_{trop}$  adalah penundaan jalur sinyal karena troposfer,  $MP_{IF}$  dan  $MC_{IF}$  adalah kesalahan *multipath* pada kombinasi linier,  $\vartheta P_{IF}$  dan  $\vartheta C_{IF}$  adalah kesalahan pengukuran. Kesalahan satelit ( $d\rho$ ) dan kesalahan jam satelit  $dT$  dapat dieliminasi dengan menggunakan koreksi data orbit satelit dan jam satelit.

**2.2 Kesalahan dan Bias**

Perjalanan sinyal GPS dari satelit ke pengamat di permukaan Bumi harus melalui medium-medium ionosfer dan troposfer. Pada kedua lapisan tersebut sinyal GPS mengalami refraksi dan sintilasi serta pelemahan. Kesalahan dan bias GPS pada dasarnya dapat dikelompokkan.

Pengelompokan kesalahan dan bias yang terkait dengan satelit yaitu kesalahan ephemeris, jam satelit dan *selective availability* (SA). Kesalahan dan bias pada medium propagasi yaitu bias ionosfer dan troposfer, sedangkan untuk kesalahan dan bias *receiver* GPS yaitu kesalahan jam *receiver*, kesalahan terkait dengan antena dan *noise* (derau), data pengamatan, (ambiguitas fase dan *cycle slips*), lingkungan sekitar GPS *receiver* (*multipath* dan *earth tide*) (Abidin, 2007).

Kesalahan dan bias tersebut dapat direduksi dengan menggunakan data sekunder yang dimasukkan kedalam persamaan kombinasi bebas linier dengan tujuan mengkoreksi kesalahan dan bias. Data sekunder tersebut antara lain yaitu data *precise ephemeris* yang diperoleh di <http://sopac.ucsd.edu>. model pasang surut laut dalam format BLQ yang diperoleh di <http://holt.oso.chalmers.se/loading/>, data antena PCO/PCV dapat diperoleh di <https://www.ngs.noaa.gov/ANTCAL/>, model ionosfer Klobuchar sedangkan untuk model atmosfer yaitu Saastamoinen.

**3. METODE PENELITIAN**

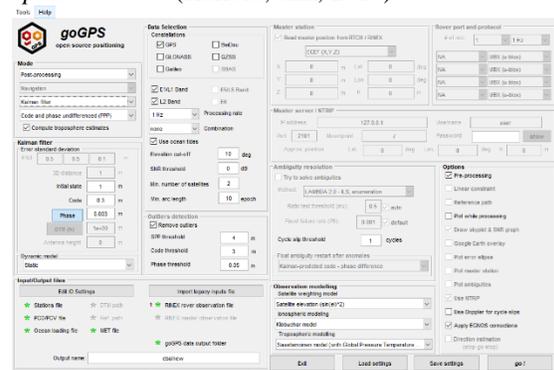
Penelitian ini dilakukan pada stasiun CORS dari Badan Informasi Geospasial (BIG). 5 stasiun CORS tersebut yaitu CBAL, CPAL, CAMP, CMLI, dan CRAU yang terletak di Pulau Kalimantan dan Sulawesi. Data pengamatan GPS yang digunakan adalah data Rinex pada tanggal 28 September tahun 2018 (doy 271) dengan durasi observasi selama 24 jam. Data Rinex tersebut disimpan dengan *sampling rate* 30 detik.

**Tabel 1.** Lokasi pengamatan stasiun CORS BIG

No	Stasiun	Lokasi
1	CAMP	Ampana
2	CBAL	Balikpapan
3	CPAL	Palopo
4	CRAU	Berau
5	CMLI	Malili

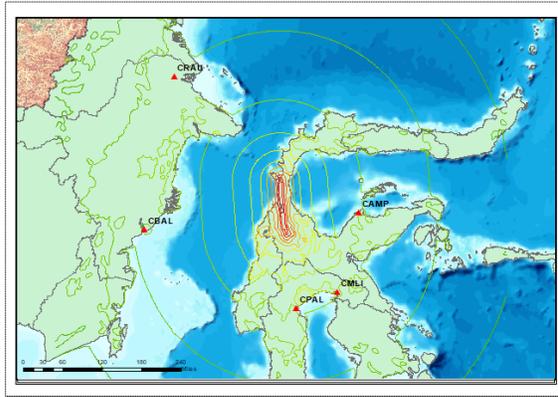
Pemilihan stasiun dilakukan berdasarkan pola sebaran getaran yang disebabkan oleh gempa bumi yang terjadi di Palu yaitu seperti ditunjukkan pada gambar 2.

Pengolahan PPP menggunakan *software* GoGPS versi 0.5.1 beta 3 yang dijalankan dengan matlab16b yang dioperasikan dengan OS Windows. *Software* ini menyediakan fitur untuk mengunduh data orbit teliti dan koreksi jam teliti dari situs IGS. Penggunaan *software* GoGPS untuk penentuan posisi dengan metode PPP dilakukan dengan metode statik dan penentuan posisi dihitung menggunakan metode *Kalman Filter* dengan *multi-epoch solution* (Herrera, dkk, 2016).



**Gambar 3.** Interface software GOGPS.

Kalman filter merupakan algoritma rekursif yang dapat mengoptimalkan estimasi dari parameter. Penentuan posisi menggunakan kalman filter memungkinkan untuk mengestimasi pengukuran posisi pada *epoch* sekarang dan menggabungkan dengan posisi yang diperoleh dari *epoch* sebelumnya sehingga dapat memperbarui solusi pada *epoch* yang akan datang (Carcanague, 2013).

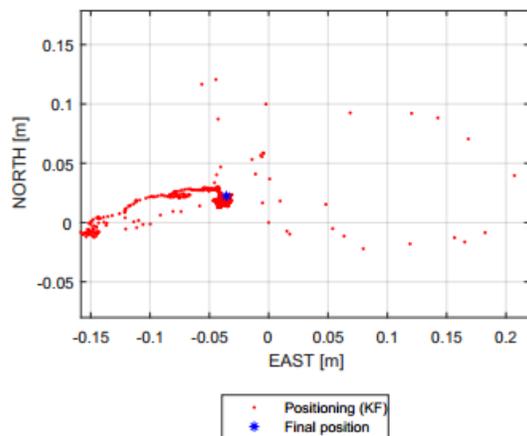


Gambar 2. Lokasi pengamatan CORS berdasarkan shakemap dari USGS pada gempa bumi di Palu Sulawesi Selatan

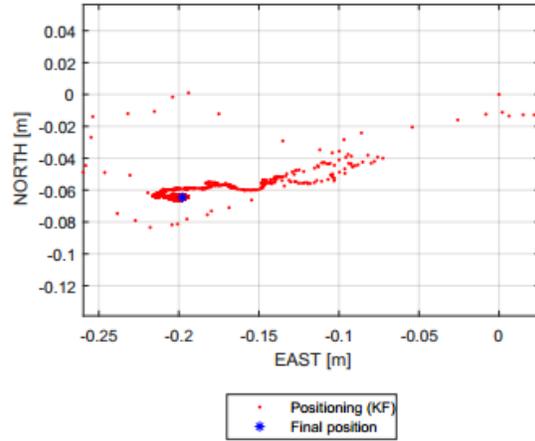
Pada penelitian ini data stasiun CORS pada doy 271 berupa data pengamatan, meteorologi dan navigasi. Performa metode PPP yaitu kombinasi linier bebas ionosfer orde 1.

#### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

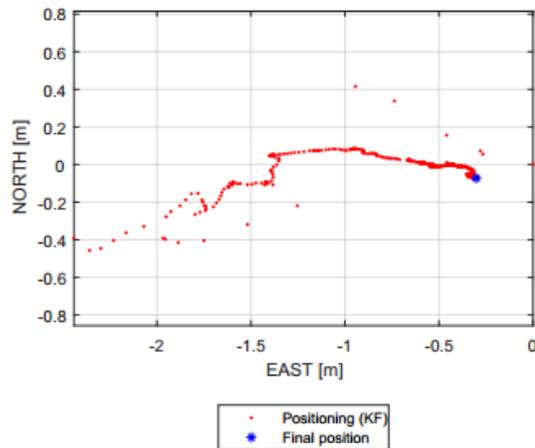
Proses penentuan posisi metode PPP menggunakan kombinasi linier bebas ionosfer orde 1. Pengolahan menggunakan *software* GoGPS terhadap data stasiun CORS CAMP, CBAL, CPAL, CMLI dan CRAU dengan *sample rate* 30 detik sehingga terdapat 2880 *epoch* yang masing-masing mempunyai posisi.



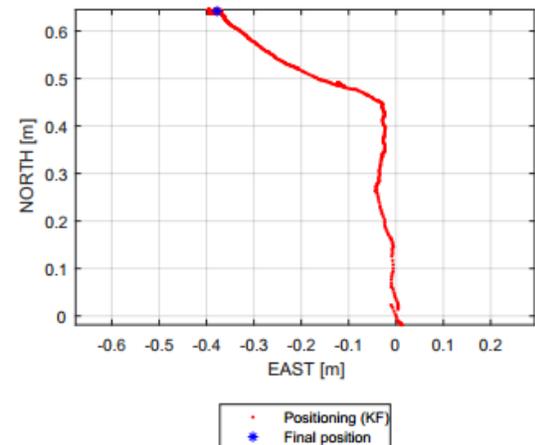
Gambar 4. Hasil metode PPP pada stasiun CAMP doy 271



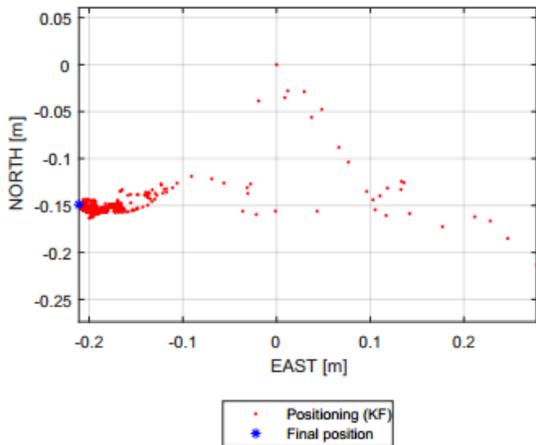
Gambar 5. Hasil metode PPP pada stasiun CBAL doy 271



Gambar 6. Hasil metode PPP pada stasiun CPAL doy 271



Gambar 7. Hasil metode PPP pada stasiun CRAU doy 271



Gambar 8. Hasil metode PPP pada stasiun CMLI doy 271

Berdasarkan hasil posisi pada Gambar 4 s.d 8 dapat diketahui bahwa koordinat final yang dihasilkan pada masing-masing stasiun CORS dapat ditampilkan pada Tabel 2 berikut.

**Tabel 2.** Hasil koordinat final stasiun CORS

No	Stasiun	ZONA	UTM North (m)	UTM East (m)	Up (U) (m)
1	CAMP	51 N	9903665,462	341943,251	76,396
2	CBAL	50 S	9861157,170	482168,670	74,967
3	CPAL	51 S	9667228,093	187884,562	75,009
4	CRAU	50 N	237579,6150	555264,363	84,147
5	CMLI	51 S	9708753,306	288728,984	84,147

#### 4.1 Perbedaan Posisi

Koordinat final tersebut dibandingkan dengan koordinat BIG dari stasiun CORS yang diamati sehingga didapatkan pergeseran seperti pada Tabel 3.

**Tabel 3.** Perbedaan posisi antara koordinat final dengan koordinat stasiun CORS BIG

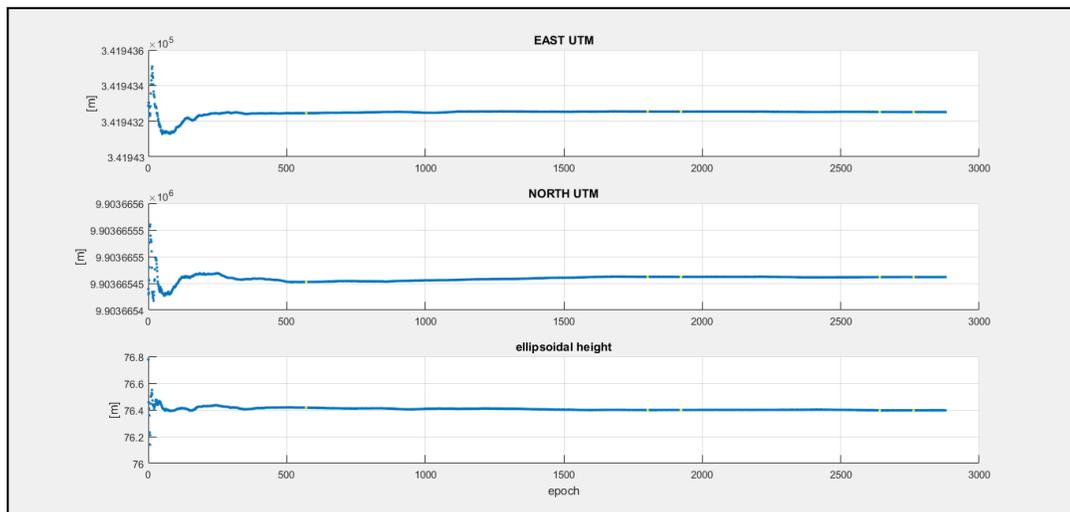
No	Stasiun	dN (m)	dE (m)	dU(m)
1	CAMP	0,0418	-0,00516	-0,072
2	CBAL	-0,0356	0,03593	-0,047
3	CPAL	-0,0356	0,03593	-0,047
4	CRAU	-0,0353	0,07431	-0,054
5	CMLI	-0,0145	0,03554	-0,822

Berdasarkan Tabel 3 diketahui bahwa masing-masing koordinat bergeser pada fraksi sentimeter dari koordinat BIG.

**Tabel 4.** Standar deviasi metode PPP pada stasiun CORS

No	Stasiun	North (m)	East (m)	Up(m)
1	CAMP	0,002	0,006	0,009
2	CBAL	0,002	0,005	0,008
3	CPAL	0,004	0,015	0,020
4	CRAU	0,002	0,006	0,010
5	CMLI	0,003	0,008	0,013

Standar deviasi hasil penentuan posisi menggunakan *software* GoGPS dengan metode PPP mendapatkan hasil ketelitian pada level milimeter untuk komponen *North* sedangkan untuk komponen *East* dan *Up* standar deviasi mempunyai ketelitian berkisar antara level centimeter hingga milimeter.



Gambar 9. Hasil plot *software* GoGPS dengan metode PPP pada stasiun CAMP doy 271

Hal tersebut disebabkan oleh pengamatan memerlukan waktu konvergensi bagi *receiver* GPS untuk stabil memperoleh parameter-parameter seperti jumlah satelit dan *multipath* yang sangat berpengaruh dalam penentuan posisi. Berdasarkan pada Gambar 9 dapat diketahui bahwa hasil *plotting* dari solusi posisi dengan menggunakan *software* GoGPS. Nilai koordinat dari *epoch* 1 sampai 2880 merupakan hasil dari data pengamatan dengan *sampling rate* 30 detik.

Berdasarkan pada gambar 9 dapat diketahui bahwa terdapat fluktuasi posisi pada *epoch* 1 sampai 400. Fluktuasi tersebut akan menjadi stabil setelah *epoch* ke 400 sehingga dapat diketahui bahwa waktu konvergensi yang dibutuhkan untuk mencapai ketelitian yang baik yaitu 3,3 jam. Setelah data dieliminasi dari *epoch* 1 sampai 400 maka hasil standar deviasi meningkat hingga level milimeter seperti pada Tabel 5.

**Tabel 5.** Standar deviasi metode PPP pada stasiun CORS setelah eliminasi *epoch* 1 sampai 400

No	Stasiun	North (m)	East (m)	Up(m)
1	CAMP	0,00057	0,00170	0,00328
2	CBAL	0,00053	0,00179	0,00326
3	CPAL	0,00132	0,00606	0,00797
4	CRAU	0,00099	0,00393	0,00639
5	CMLI	0,00056	0,00282	0,00429

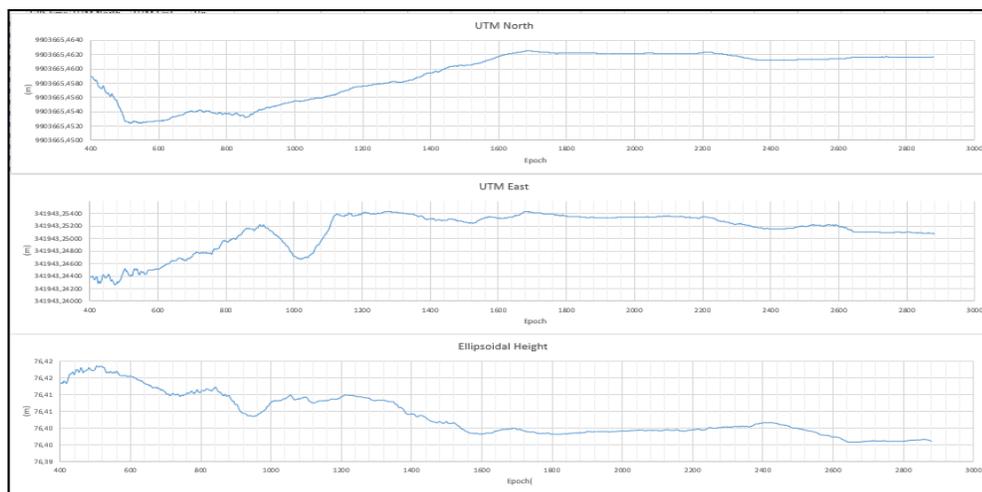
Nilai standar deviasi pada Tabel 5 terdapat variasi komponen *North* berkisar antara 0,00053 m s.d 0,00132 m sedangkan standar deviasi komponen *East* berkisar antara 0,00170 m s.d 0,00606 m. Variasi standar deviasi paling besar terjadi pada komponen *Up* dimana nilainya berkisar antara 0,00326 m s.d 0,00797 m.

Nilai standar deviasi secara keseluruhan yang paling baik pada stasiun CBAL yaitu 0,00053 m, 0,00179 m, dan 0,00326 m untuk komponen *North*, *East* dan *Up*. Perbedaan standar deviasi yang sangat signifikan antara stasiun memang sangat dipengaruhi oleh keadaan lingkungan dimana stasiun tersebut berada. Parameter yang sangat mempengaruhi yaitu jumlah satelit, *multipath*, *IOD Slips*, dan *IOD* or *MP Slips* dari data pengamatan stasiun CORS.

**5. KESIMPULAN DAN SARAN**

Metode PPP menggunakan kombinasi bebas ionosfer merupakan suatu metode yang efektif untuk menghilangkan efek ionosfer orde 1 yang berpengaruh terhadap hasil dari penentuan posisi secara absolut. Metode ini diterapkan di *software* GoGPS dengan beberapa parameter untuk mengkoreksi sehingga dapat meningkatkan ketelitian dari penentuan posisi secara absolut. Parameter tersebut yaitu data *ocean tide loading*, data meteorologi, data *precise ephemeris*, jam teliti, model troposfer, model ionosfer serta data *Differential Code Biase* (DCB) dan masalah satelit dalam format CRX.

Berdasarkan hasil yang diperoleh pada penentuan posisi menggunakan metode PPP dengan kombinasi linier bebas ionosfer pada stasiun CORS CAMP, CBAL, CPAL, CRAU dan CMLI nilai standar deviasi dapat mencapai level milimeter. Nilai standar deviasi secara keseluruhan dari stasiun CORS yang terkecil pada hasil koordinat stasiun CBAL yaitu 0,002 m untuk komponen *North*, 0,005 m untuk komponen *East*, dan 0,008 m untuk komponen *Up*. Nilai standar deviasi serupa terdapat pada stasiun CORS CAMP.



Gambar 10. *Plotting* hasil posisi metode PPP pada stasiun CAMP doy 271 dengan mengeliminasi *epoch* 1 sampai 400

Waktu konvergensi yang diperlukan pada penelitian ini selama 3,3 jam atau berlangsung hingga epoch 400. Apabila data dilakukan eliminasi waktu konvergensinya maka nilai standar deviasi dari masing-masing stasiun CORS menjadi kecil hingga mencapai fraksi mm. Nilai standar deviasi yang paling kecil setelah waktu konvergensi terdapat pada stasiun CORS CAMP dan CBAL.

### UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih ditujukan kepada Pushidrosal dan BIG yang memfasilitasi dan memberikan kesempatan untuk melakukan penelitian ini. Peneliti memberikan ucapan terima kasih juga kepada Dr. Eugenio Realini atas penggunaan *software* GoGPS versi 0.5.1 beta 3 serta semua pihak yang ikut membantu dan memberikan dukungan dalam proses penelitian ini.

### DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, H. Z. (2007). *Penentuan Posisi dengan GPS dan Aplikasinya*. Jakarta: PT Pradanya Paramita.
- Abou-Galala, M. (2010). *Enhancing Convergence Time for Precise Point Positioning Through Multipath Observable*. Mansoura University.
- Andrei, C., Chen, R., Kuusniemi, H., Hernandez-pajares, M., Juan, J. M., & Salazar, D. (2009). Ionosphere Effect Mitigation for Single-Frequency Precise Point Positioning, 2508–2517.
- Bramanto, B., Gumilar, I., Kuntjro, W., Bramanto, B., Gumilar, I., & Kuntjoro, W. (2015). RT-PPP : Concept and Performace in Indonesia Region RT-PPP : Konsep dan Performa di Wilayah Indonesia. *FIT ISI*, (November).
- Carcanague, S. (2013). *Low-cost GPS/GLONASS Precise Positioning Algorithm in Constrained Environment*. Institut National Polytechnique de Toulouse (INP).
- El-Rabbany, A. (2002). *Introduction to GPS:the Global Positioning System*. Boston, London: Artech House. Retrieved from [www.artechhouse.com](http://www.artechhouse.com)
- Gao, Y., & Chen, K. (2004). Performance Analysis of Precise Point Positioning Using Real-Time Orbit and Clock Products. *Journal of Global Positioning Systems*, 3(1&2), 95–100. <https://doi.org/10.5081/jgps.3.1.95>
- Herrera, A. M., Suhandri, H. F., Realini, E., Reguzzoni, M., & Lacy, M. C. (2016). goGPS: open-source MATLAB software. *GPS Solutions*, 20(3), 595–603. <https://doi.org/10.1007/s10291-015-0469-x>
- Malinowski, M., & Kwiecień, J. (2016). A Comparative Study of Precise Point Positioning (PPP) Accuracy Using Online Services. *Reports on Geodesy and Geoinformatics*, 102(1), 15–31. <https://doi.org/10.1515/rgg-2016-0025>
- Seeber, G. (2003). *Seeber · Satellite Geodesy. Encyclopedia of the Solar System* (2nd ed.). Hannover Germany: Walter de Gruyter GmbH & Co. Retrieved from <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780124158450000025>