



Perbandingan Ketelitian GNSS dengan Metode NRTK, *Real-Time* PPP dan *Post-Processed* PPP

(*Accuracy Comparison of GNSS With NRTK, Real-Time PPP and Post-Processed PPP Methods*)

Syafril Ramadhon¹, FX. Yudi Tryono¹, Ihwan Fauzi², Gian Nugraha Pramudita³

¹ Pusat Pengembangan Sumber Daya Manusia Minyak dan Gas Bumi Kementerian ESDM, Indonesia

² Balai Geoteknik, Terowongan dan Struktur Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, Indonesia

³ PT. GPS Lands Indosolutions, Indonesia

Penulis Korespondensi: Syafril Ramadhon | **Email:** syafril.ramadhon@gmail.com

Diterima (*Received*): 14/Mar/2022 Direvisi (*Revised*): 30/Jul/2022 Diterima untuk Publikasi (*Accepted*): 20/Oct/2022

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan ketelitian posisi pengukuran GNSS dengan metode NRTK, RT-PPP dan PPP secara *post-processing*. Metode penelitian dilakukan dengan membandingkan data posisi tiga dimensi dari enam titik pengamatan yang masing-masing diukur menggunakan setiap metode pengukuran. Metode NRTK dilakukan dengan menggunakan stasiun *Continuously Operating Reference Station* (CORS) milik Badan Informasi Geospasial (BIG), metode RT-PPP dilakukan dengan menggunakan layanan koreksi secara *Real-Time* dari *Trimble Center Point RTX*, adapun pada metode PPP, pengolahan data dilakukan dengan memanfaatkan layanan *Trimble CenterPoint RTX Post-Processing*. Analisis data dilakukan dengan membandingkan data posisi horizontal serta data tinggi pada setiap metode di setiap titik pengamatan. Analisis data juga dilakukan pada waktu pengamatan yang dibutuhkan pada metode NRTK dan RT-PPP untuk mencapai ketelitian tiga dimensi secara stabil di bawah 5 cm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat perbedaan rata-rata pada posisi horizontal untuk setiap metode sebesar 0.224 m di sumbu *easting* dan 0.096 m di sumbu *northing*. Adapun untuk data tinggi perbedaan rata-rata terbesar adalah pada metode NRTK yang dibandingkan dengan metode PPP yaitu sebesar 0.255 m dan perbedaan rata-rata terkecil adalah pada metode NRTK yang dibandingkan dengan metode RT-PPP yaitu sebesar 0.077 m. Terkait dengan waktu pengamatan, pada metode NRTK, waktu yang diperlukan untuk mencapai ketelitian yang stabil < 5 cm pada lokasi pengamatan yang bebas obstruksi memerlukan waktu kurang dari satu menit, sedangkan pada metode RT-PPP, waktu yang memerlukan waktu dengan rentang antara 11 hingga 20 menit.

Kata Kunci: GNSS, NRTK, RT-PPP, PPP

ABSTRACT

The Aim of this research is to compare the accuracy of the three-dimensional coordinate data of the GNSS survey methods such as the NRTK, RT-PPP and Post-Processed PPP. The research method was carried out by comparing three-dimensional position data from six observation points, each of which was measured using each measurement methods. The NRTK method is carried out using a CORS owned by the Geospatial Information Agency of Indonesia, the RT-PPP method is carried out using a Real-Time correction service from Trimble Center Point RTX, as for PPP method, data processing is carried out using the Trimble CenterPoint RTX Post-Processing service. Data analysis was carried out by comparing horizontal and vertical data with each method at the observation points. Data analysis was carried out at the required observation time for the NRTK and RT-PPP methods to achieve 3D accuracy below 5 cm. The results showed that there was an average difference in the horizontal position of 0.224 m on the easting and 0.096 m on the northing axis. For the height data, the largest average difference is in the NRTK compared to the PPP, which is 0.255 m and the smallest average difference is in the NRTK compared to the RT-PPP, which is 0.077 m. Regarding the observation time, in the NRTK, the time required to achieve a stable accuracy of < 5 cm at an obstruction-free observation site takes less than one minute, while in the RT-PPP, the time required ranges from 11 to 10 cm 20 minutes.

Keywords: GNSS, NRTK, RT-PPP, PPP

1. Pendahuluan

Global Navigation Satellite Systems (GNSS) adalah sistem satelit navigasi yang umumnya digunakan untuk memberikan posisi tiga dimensi objek di seluruh permukaan bumi yang tidak bergantung kepada waktu, cuaca maupun saling keterlihatan antar alat (Ghilani & Wolf, 2012). Seiring dengan perkembangan teknologi GNSS, terdapat beberapa metode penentuan posisi dengan GNSS yang bervariasi, baik dari segi kompleksitas dan tingkat akurasi posisi tiga dimensi sesuai dengan kebutuhan pengguna.

Metode penentuan posisi dengan GNSS yang paling dasar adalah *single-point positioning* dimana satu *receiver* GNSS dapat mendapatkan koordinat tiga dimensi suatu objek di permukaan bumi (Han dkk., 2012). Metode ini memberikan tingkat akurasi dalam kisaran meter, karena masih dipengaruhi oleh kesalahan dan bias seperti kesalahan orbit, jam satelit serta medium propagasi sinyal satelit (Han dkk., 2012).

Untuk menghilangkan atau mereduksi kesalahan dan bias tersebut, maka digunakan metode penentuan posisi diferensial statik menggunakan data fase sehingga dapat memberikan ketelitian horizontal dan vertikal yang lebih akurat (Correa-Muños & Cerón-Calderón, 2018; Anantakarn & Witchayangkoon, 2019). Metode ini dilakukan dengan melakukan akuisisi data satelit GNSS menggunakan minimum dua buah *receiver* GNSS, dimana satu *receiver* ditempatkan di titik referensi yang sudah diketahui koordinatnya (*base*) dan *receiver* yang lain ditempatkan pada titik yang akan diketahui koordinatnya (*rover*) secara simultan (Erol, Alkan, Ozulu, & İlçi, 2020). Pada metode ini, data yang satelit GNSS yang diakuisisi kemudian diproses lebih lanjut menggunakan perangkat lunak pengolahan data GNSS (*post-processing*) untuk mendapatkan posisi tiga dimensi objek dengan akurasi tinggi (Erol, Alkan, Ozulu, & İlçi, 2020).

Sebagai solusi untuk kebutuhan data secara *real time*, maka pada pertengahan tahun 1990 dikenalkan metode *Real-Time Kinematik* (Hamidi & Javadi, 2017). Pada metode ini, *receiver* GNSS ditempatkan di *base* untuk kemudian mengirimkan koreksi kepada *receiver* GNSS di *rover* dengan menggunakan *radio-link*, dimana pengolahan data dilakukan secara langsung pada *receiver* di *rover* sehingga memberikan ketelitian posisi dalam rentang centimeter hingga desimeter secara *real time* (Alkan, Erol, İlçi, dkk., 2020). Akan tetapi, pada metode *Real-Time Kinematik* (RTK), kemampuan *radio-link* untuk mengirimkan koreksi kepada *receiver* GNSS di *rover* masih terbatas pada jarak tertentu yang umumnya di bawah 10 km (Ghilani & Wolf, 2012).

Untuk memperluas cakupan jarak agar *base* bisa memberikan koreksi, maka dikenalkan metode *Network Real Time Kinematik* (NRTK) yang memperbesar cakupan jarak antara 70 hingga 100 km (Erol, Alkan, Ozulu, & İlçi, 2020). Metode ini mampu memberikan tingkat akurasi data hingga fraksi centimeter (Alkan, Erol, İlçi, dkk., 2020).

Berbeda dengan metode RTK, metode NRTK memerlukan tiga komponen utama, yaitu: (1) jaringan stasiun GNSS permanen yang disebut *Continuously Operating Reference Station* (CORS) yang mengirimkan datanya secara *real-time* ke pusat kontrol; (2) Pusat kontrol berupa *server* yang berfungsi untuk menerima dan memproses data dari CORS secara *real time*, memperbaiki data ambiguitas fase dari semua satelit untuk setiap CORS serta memperkirakan semua bias data GNSS; serta (3) *Product Network* yang berisi koreksi yang disebarikan kepada *receiver* di *rover* yang disediakan oleh pusat kontrol (Dabove, 2019). Berbeda halnya dengan metode RTK yang mengirimkan koreksi menggunakan *radio-link*, metode NRTK mengirimkan koreksi kepada pengguna menggunakan koneksi internet, sehingga metode ini hanya dapat dilakukan pada daerah yang memiliki koneksi internet atau jaringan GSM (Alkan, Erol, Ozulu, dkk., 2020).

Teknologi GNSS yang lain adalah *Precise Point Positioning* (PPP) yang mampu memberikan data posisi tiga dimensi berketelitian tinggi hanya dengan menggunakan satu *receiver* GNSS tanpa terpengaruh oleh jarak antara *base* dan *rover* (Ocalan, 2016; Bahadur & Nohutcu, 2020). Metode PPP merupakan metode penentuan posisi dengan memanfaatkan data *precise ephemeris* dan *precise clock* yang disediakan oleh Pusat Analisis *International GNSS Service* (IGS) untuk kemudian menggunakan model koreksi kesalahan dan metode estimasi parameter untuk menghilangkan kesalahan orbit dan jam satelit, sehingga mampu memberikan data posisi dengan ketelitian dalam rentang centimeter hingga desimeter (Bahadur & Nohutcu, 2020; Yan dkk., 2020; Pan dkk., 2021). Metode PPP dapat dilakukan dalam mode statik maupun kinematik secara *real-time* (Alkan dkk., 2017), dan bahkan untuk mode statik, metode PPP mampu memberikan ketelitian horizontal hingga milimeter dengan lama pengamatan selama 24 jam (Mohammed dkk., 2016; Bulbul dkk., 2021).

Metode PPP yang dilakukan dalam mode statik tidak bisa memberikan data posisi berketelitian tinggi secara *real time*, karena memerlukan proses pengolahan data. Terdapat tiga metode untuk mengolah data PPP dalam mode statik, yaitu: (1) menggunakan perangkat lunak pengolahan data GNSS (saintifik atau komersial), (2) penyedia layanan pengolahan data GNSS berbasis web, dan (3) menggunakan perangkat lunak internal yang dibuat oleh peneliti (Alkan, Erol, Ozulu, dkk., 2020). Diantara tiga metode tersebut, pengolahan data PPP berbasis web memberikan kemudahan kepada pengguna karena tersedia secara gratis dan akses yang tidak terbatas, serta tidak membutuhkan perangkat lunak pengolahan data maupun keahlian dalam mengolah data (Alkan, Erol, Ozulu, dkk., 2020). Secara umum, pada pengolahan data berbasis web, pengguna cukup mempunyai koneksi internet, alamat *email* yang valid, serta data pengamatan GNSS dalam rentang waktu tertentu, untuk kemudian data tersebut diolah secara otomatis untuk kemudian data koordinat tiga dimensi beserta berbagai informasi lainnya

dikirim ke *email* pengguna dalam waktu yang relatif singkat.

Untuk memenuhi kebutuhan PPP secara *real-time* (RT-PPP), maka pada bulan April 2013 IGS telah menyediakan *Real-Time Service* (RTS) bagi pengguna (Peng dkk., 2019). IGS RTS memancarkan koreksi orbit dan jam satelit kepada pengguna menggunakan sistem *Networked Transport of Radio Technical Commission for Maritime Services via Internet Protocol* (NTRIP). Akan tetapi, penentuan posisi menggunakan metode RT-PPP dengan menggunakan IGS RTS membutuhkan koneksi internet yang dihubungkan dengan komputer yang telah diinstal dengan perangkat lunak tertentu untuk mendapatkan produk-produk IGS dan satelit-satelit GNSS yang teramati (Alkan, Erol, İlçi, dkk., 2020).

Karena metode RT-PPP menggunakan IGS RTS masih membutuhkan koneksi internet dan perangkat lunak khusus, maka sekarang terdapat beberapa layanan koreksi berbasis global melalui satelit L-band dan/atau internet seperti Trimble RTX oleh Trimble Inc., Starfix oleh Fugro, Starfire oleh NavCom Technology Inc., Apex oleh Hexagon, TerraStar oleh NovAtel dan Atlas oleh Hemisphere GNSS Inc (Alkan, Erol, İlçi, dkk., 2020). Metode ini dilakukan dengan memancarkan data *precise ephemeris* dan jam satelit, koreksi, serta berbagai informasi lainnya yang secara umum dihitung dari jaringan layanan yang terdiri atas stasiun-stasiun referensi GNSS yang tersebar di berbagai penjuru dunia yang dikirimkan kepada pengguna melalui satelit-satelit geostasioner L-Band atau melalui internet dengan ketelitian yang berkisar antara desimeter hingga centimeter (Erol, Alkan, Ozulu, & İlçi, 2020). Dengan teknologi ini, keterbatasan metode RTK dan NRTK dapat diatasi. Akan tetapi, metode RT-PPP mempunyai beberapa kelemahan, yaitu waktu inisialisasi yang relatif lama (15-60 menit) untuk mendapatkan ketelitian hingga centimeter dan membutuhkan *receiver* GNSS dual/multi frekuensi khusus dengan harga yang mahal apabila dibandingkan dengan jenis *receiver* GNSS lainnya (Alkan, Erol, İlçi, dkk., 2020).

Berdasarkan berbagai metode penentuan posisi dengan GNSS, khususnya pada metode Network RTK, PPP dan RT-PPP tentunya menimbulkan pertanyaan mengenai berapakah perbedaan koordinat tiga dimensi dan ketelitian yang dihasilkan oleh setiap metode tersebut apabila dilakukan di Indonesia. Beberapa penelitian yang membandingkan ketelitian posisi tiga dimensi dengan beberapa metode tersebut telah dilakukan. Penelitian pertama dilakukan oleh Alkan, Erol, Ozulu, dkk. (2020) dengan membandingkan ketelitian posisi tiga dimensi dari metode RT-PPP dan PPP menggunakan layanan pengolahan data berbasis web yang dilaksanakan di Turki. Penelitian tersebut menyatakan bahwa kedua metode tersebut menghasilkan posisi tiga dimensi dengan ketelitian centimeter. Penelitian kedua dilakukan oleh Alkan, Erol, İlçi, dkk. (2020) dengan membandingkan ketelitian posisi tiga dimensi dari metode NRTK menggunakan koreksi dari Jaringan CORS Nasional Turki

dan RT-PPP menggunakan layanan *Trimble Center Point RTX* yang menyatakan bahwa ketelitian tiga dimensi metode NRTK adalah ± 3 cm dan untuk metode RT-PPP adalah ± 7 cm.

Atas dasar tersebut, maka pertanyaan penelitian yang diajukan dalam penelitian adalah berapakah perbedaan ketelitian posisi tiga dimensi antara metode NRTK, RT-PPP dan PPP yang dilakukan di Indonesia. Pertanyaan penelitian tersebut didasarkan atas lokasi penelitian terdahulu yang berlokasi di Turki, sehingga mempunyai karakteristik yang berbeda dengan Indonesia, baik dari stasiun CORS yang digunakan dan potensi keterlihatan satelit GNSS. Hal tersebut disebabkan karena Indonesia merupakan salah satu negara dengan potensi keterlihatan satelit yang tinggi (Ramadhon dkk., 2020).

Berdasarkan pertanyaan penelitian yang diajukan, maka penelitian ini bertujuan untuk membandingkan ketelitian data koordinat tiga dimensi enam titik pengamatan GNSS dengan metode NRTK, RT-PPP dan PPP di Indonesia. Penelitian dilaksanakan di Kabupaten Blora, Provinsi Jawa Tengah Indonesia. Analisis data dilakukan dengan membandingkan ketelitian data posisi tiga dimensi yang dihasilkan dari pengukuran tiga metode pengukuran GNSS tersebut. Penelitian ini memiliki signifikansi untuk memberikan informasi kepada penggunaan GNSS terkait kisaran perbedaan ketelitian tiga dimensi dari metode NRTK, RT-PPP dan PPP di Indonesia.

2. Data dan Metodologi

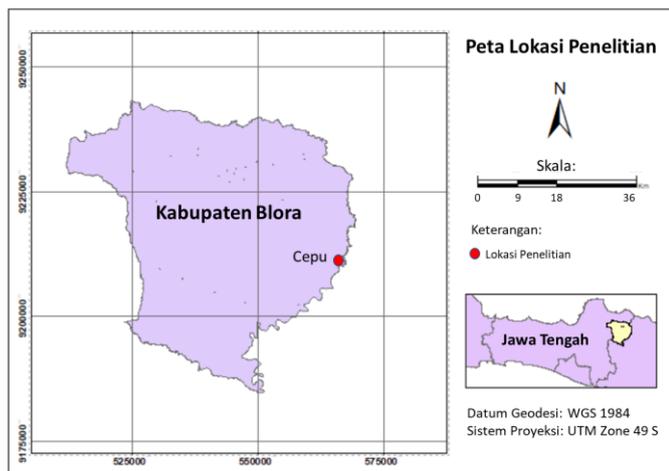
2.1. Data dan Lokasi

Secara umum, data yang digunakan dalam penelitian adalah data posisi tiga dimensi dari enam titik pengamatan GNSS dengan metode NRTK, RT-PPP dan PPP. Pada Metode NRTK dan RT-PPP data yang digunakan adalah data koordinat tiga dimensi pada setiap titik pengamatan, beserta waktu yang diperlukan untuk mencapai ketelitian horizontal dan vertikal yang stabil di bawah 5 cm. Adapun pada metode PPP, data yang digunakan adalah data koordinat tiga dimensi setiap titik pengamatan berdasarkan hasil pengolahan data berbasis web. Selain hal tersebut, pada metode PPP, koordinat yang digunakan terikat pada kerangka referensi global *International Terrestrial Reference Frame* (ITRF) 2008 yang didefinisikan pada epoch 2005.0 dan ITRF 2014 pada epoch 2021.

Pada setiap metode, digunakan *sampling rate* dan *mask angle* yang sama. *Sampling rate* yang digunakan adalah setiap 15 detik, Adapun *mask angle* yang digunakan adalah 15° .

Penelitian dilaksanakan di Kantor Pusat Pengembangan Sumber Daya Manusia Minyak dan gas Bumi yang berlokasi di Kecamatan Cepu, Kabupaten Blora, Provinsi Jawa Tengah Indonesia (gambar 1) pada tanggal 10-14 Januari 2021. Adapun, sebaran lokasi titik-titik

pengamatan dipilih pada wilayah yang bebas obstruksi seperti yang diberikan pada gambar 2.



Gambar 1 Peta Lokasi Penelitian



Gambar 2 Peta Lokasi Sebaran Titik Pengamatan

2.2. Metodologi

Pada metode NRTK, alat yang digunakan adalah Trimble R10 dengan stasiun CORS yang digunakan adalah InaCORS Badan Informasi Geospasial (BIG) Republik Indonesia. Adapun untuk koneksi internet digunakan *provider* GSM dengan kualitas sinyal 4g. Pada metode RT-PPP, alat yang digunakan adalah Trimble R10 dengan menggunakan layanan koreksi secara *Real-Time* dari *Trimble Center Point RTX*. Baik pada metode NRTK dan RT-PPP dilakukan kegiatan penentuan posisi pada setiap titik pengamatan hingga ketelitian posisi horizontal dan vertikal <5 cm, untuk kemudian dilakukan pencatatan terkait waktu yang diperlukan hingga data koordinat tiga dimensi stabil pada ketelitian tersebut.

Pada metode PPP, alat yang digunakan adalah Trimble Net-R9 untuk titik 1 s.d 5 (T-1 s.d T-5), dan Trimble R10 untuk titik 6 (T-6). Lama pengamatan dilakukan secara bervariasi seperti yang diberikan pada tabel 1. Pengolahan data (*post-processing*) dilakukan dengan memanfaatkan layanan *Trimble CenterPoint RTX Post-Processing*.

Tabel 1 Lama Pengamatan Setiap Titik Pengamatan pada Metode PPP

Titik	Lama Pengamatan (Menit)
T-1	89
T-2	91
T-3	89
T-4	93
T-5	66
T-6	89

Analisis data secara umum dilakukan dengan membandingkan data posisi tiga dimensi pada setiap metode penentuan posisi dengan GNSS pada sistem proyeksi *Universal Transverse Mercator* (UTM) dengan datum geodesi *World Geodetic Systems* 1984 dengan referensi tinggi ellipsoid. Secara lebih spesifik, analisis dilakukan pada sumbu *easting*, *northing* dan data tinggi pada setiap metode. Untuk metode NRTK dan RT-PPP juga dilakukan perbandingan waktu yang dibutuhkan untuk mencapai ketelitian horizontal dan vertikal di bawah 5 cm. Adapun untuk metode PPP, dilakukan juga perbandingan antara koordinat yang terikat pada kerangka referensi global ITRF 2008 pada epoch 2005.0 dan ITRF 2014 pada epoch 2021.09.

3. Hasil dan Pembahasan

Berikut diberikan data koordinat tiga dimensi pada enam titik pengamatan dengan metode NRTK, RT-PPP dan PPP pada tabel 2.

Tabel 2 Data Posisi Tiga Dimensi Setiap Metode Pengamatan GNSS

Titik	Koordinat UTM Zone 49 S (m)			Metode
	<i>Easting</i>	<i>Northing</i>	Tinggi	
T1	566303.181	9210537.810	54.779	NRTK
	566303.014	9210537.883	54.874	RT-PPP
	566303.106	9210537.899	54.992	PPP ITRF2008
	566303.380	9210537.733	54.992	PPP ITRF2014
T2	566199.784	9210636.186	55.136	NRTK
	566199.630	9210636.252	55.159	RT-PPP
	566199.747	9210636.291	55.314	PPP ITRF2008
	566200.021	9210636.125	55.314	PPP ITRF2014
T3	566035.206	9210722.945	55.817	NRTK
	566035.066	9210723.060	55.902	RT-PPP
	566035.157	9210723.028	56.098	PPP ITRF2008
	566035.431	9210722.862	56.098	PPP ITRF2014

Lanjutan Tabel 2.

Titik	Koordinat UTM Zone 49 S (m)			Metode
	<i>Easting</i>	<i>Northing</i>	Tinggi	
T4	566325.549	9210721.601	56.258	NRTK
	566325.828	9210721.647	56.354	RT-PPP
	566325.506	9210721.689	56.527	PPP ITRF2008
	566325.781	9210721.524	56.527	PPP ITRF2014
T5	566392.662	9210713.191	56.262	NRTK
	566392.503	9210713.287	56.208	RT-PPP
	566392.648	9210713.286	56.611	PPP ITRF2008
	566392.922	9210713.120	56.611	PPP ITRF2014
T6	566233.954	9210363.089	55.798	NRTK
	566233.501	9210363.065	55.909	RT-PPP
	566233.890	9210363.186	55.560	PPP ITRF2008
	566234.165	9210363.020	55.560	PPP ITRF2014

Berdasarkan data pengamatan pada setiap metode di sumbu *easting* (Tabel 3), rata-rata perbedaan pada setiap metode adalah sebesar 0.224 m. Perbedaan rata-rata terbesar adalah pada metode RT-PPP yang dibandingkan dengan metode PPP pada ITRF 2014 yaitu sebesar 0.375 m. Adapun perbedaan rata-rata terkecil adalah pada metode NRTK yang dibandingkan dengan metode PPP pada ITRF 2008 yaitu sebesar 0.047 m.

Tabel 3 Selisih Perbedaan setiap metode pengamatan di Sumbu *Easting*

Metode	Selisih di sumbu <i>Easting</i> (m)						Rata-Rata
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	
NRTK vs RT-PPP	0.167	0.154	0.140	0.279	0.159	0.453	0.225
NRTK vs PPP ITRF2008	0.075	0.037	0.049	0.043	0.014	0.064	0.047
NRTK vs PPP ITRF2014	0.199	0.237	0.225	0.232	0.260	0.211	0.227
RT-PPP vs PPP ITRF2008	0.092	0.117	0.091	0.322	0.145	0.389	0.193
RT-PPP vs PPP ITRF2014	0.366	0.391	0.365	0.047	0.419	0.664	0.375
PPP ITRF2008 vs PPP ITRF2014	0.274	0.274	0.274	0.275	0.274	0.275	0.274
Rata-Rata Total							0.224

Berdasarkan data pengamatan pada setiap metode di sumbu *northing* (Tabel 4), rata-rata perbedaan pada setiap metode adalah sebesar 0.096 m. Perbedaan rata-rata terbesar adalah pada metode PPP pada ITRF 2008 yang dibandingkan dengan metode PPP pada ITRF 2014 yaitu

sebesar 0.166 m. Adapun perbedaan rata-rata terkecil adalah pada metode NRTK yang dibandingkan dengan metode PPP pada ITRF 2008 yaitu sebesar 0.042 m.

Tabel 4 Selisih Perbedaan setiap metode pengamatan di Sumbu *Northing*

Metode	Selisih di sumbu <i>Northing</i> (m)						Rata-Rata
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	
NRTK vs RT-PPP	0.073	0.066	0.115	0.046	0.096	0.024	0.070
NRTK vs PPP ITRF2008	0.089	0.105	0.083	0.088	0.095	0.097	0.093
NRTK vs PPP ITRF2014	0.077	0.061	0.083	0.077	0.071	0.069	0.073
RT-PPP vs PPP ITRF2008	0.016	0.039	0.032	0.042	0.001	0.121	0.042
RT-PPP vs PPP ITRF2014	0.150	0.127	0.198	0.123	0.167	0.045	0.135
PPP ITRF2008 vs ITRF2014	0.166	0.166	0.166	0.165	0.166	0.166	0.166
Rata-Rata Total							0.096

Berdasarkan data pengamatan pada setiap metode pada data tinggi (Tabel 5), perbedaan rata-rata terbesar adalah pada metode NRTK yang dibandingkan dengan metode PPP pada ITRF 2008 dan 2014 yaitu sebesar 0.255 m. Adapun perbedaan rata-rata terkecil adalah pada metode NRTK yang dibandingkan dengan metode RT-PPP yaitu sebesar 0.077 m. Adapun tidak terdapat perbedaan data tinggi antara PPP yang terikat dengan ITRF 2008 dan 2014.

Tabel 5 Beda Perbedaan Data Tinggi pada Setiap Metode Pengamatan

Metode	Selisih di Data Tinggi (m)						Rata-Rata
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	
NRTK vs RT-PPP	0.095	0.023	0.085	0.096	0.054	0.111	0.077
NRTK vs PPP ITRF 2008	0.213	0.178	0.281	0.269	0.349	0.238	0.255
NRTK vs PPP ITRF 2014	0.213	0.178	0.281	0.269	0.349	0.238	0.255
RT-PPP vs PPP ITRF 2008	0.118	0.155	0.196	0.173	0.403	0.349	0.232
RT-PPP vs PPP ITRF 2014	0.118	0.155	0.196	0.173	0.403	0.349	0.232
PPP ITRF 2008 vs PPP ITRF 2014	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Secara umum untuk posisi horisontal, pada metode NRTK dan RT-PPP, terdapat selisih rata-rata di sumbu *easting* sebesar 0.255 m dan di sumbu *northing* sebesar 0.070 m. Adapun selisih data tinggi pada metode tersebut adalah sebesar 0.077 m. Selisih rata-rata antara metode NRTK dan RT-PPP tersebut tidak selaras dengan penelitian Alkan, Erol, İlçi, dkk. (2020), dimana dinyatakan bahwa ketelitian tiga dimensi metode NRTK adalah ± 0.030 m dan untuk metode RT-PPP adalah ± 0.070 mm, atau hanya berbeda ± 0.040 m. Perbedaan ini dapat disebabkan karena perbedaan penggunaan kerangka referensi global. Metode NRTK yang menggunakan koreksi dari CORS milik BIG terikat pada ITRF 2008 yang didefinisikan pada epoch 2012.0 (Badan Informasi Geospasial, n.d.), sedangkan metode RT-PPP menggunakan layanan koreksi *Trimble Real Time eXtended* (RTX) dari sekitar 120 stasiun referensi Trimble yang terdistribusi secara global yang terikat pada ITRF 2014 yang didefinisikan pada epoch 2021.0 (Trimble, n.d.). Hal tersebut diperkuat dengan perbedaan rata-rata antara metode PPP ITRF 2008 dan 2014 sebesar 0.274 m di sumbu *easting* di sumbu *northing* sebesar 0.116 m di sumbu *northing* menunjukkan bahwa terdapat perbedaan dalam fraksi desimeter antara koordinat horizontal pada sistem ITRF 2008 dan 2014. Begitu juga halnya dengan perbedaan rata-rata antara metode NRTK dengan PPP pada ITRF 2014, dimana terdapat perbedaan rata-rata sebesar 0.227 m pada sumbu *easting* dan 0.073 pada sumbu *northing*.

Lebih lanjut, terkait dengan penggunaan kerangka referensi global yang sama seperti yang ditunjukkan antara metode NRTK dan PPP ITRF 2008, dimana terdapat perbedaan rata-rata sebesar 0.047 m pada sumbu *easting* dan di sumbu *northing* sebesar 0.093 m. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan kerangka referensi global yang sama, yaitu ITRF 2008 memberikan perbedaan dalam fraksi cm, atau dengan kata lain memiliki perbedaan yang lebih kecil apabila dibandingkan dengan penggunaan kerangka referensi global yang berbeda.

Namun, terdapat sebuah hal yang menarik dimana metode RT-PPP dan metode PPP yang sama-sama terikat pada ITRF 2014 memiliki perbedaan rata-rata di posisi horizontal sebesar 0.375 m pada sumbu *easting* dan pada sumbu *northing* sebesar 0.135 m, atau memiliki selisih yang relatif lebih besar daripada metode-metode lainnya. Hasil ini tidak selaras dengan penelitian yang dilakukan oleh Alkan, Erol, Ozulu, dkk. (2020) yang membandingkan hasil pengamatan metode RT-PPP yang menggunakan koreksi dari *Trimble CenterPoint RTX*, dan PPP secara *post-processing* berbasis web dari *Canadian Spatial Reference System Precise Point Positioning* (CSRS-PPP) yang terikat pada sistem referensi global yang sama yaitu ITRF 2014. Hasil pengamatan tersebut dibandingkan dengan titik-titik pengamatan yang sama dengan metode diferensial statik sebagai titik yang dianggap benar. Secara umum, hasil penelitian tersebut memberikan hasil perbedaan rata-rata antara setiap metode yang dibandingkan dengan titik-titik yang dianggap benar memberikan selisih rata-rata posisi

horisontal sebesar 0.037 m dan vertikal 0.039 m untuk metode RT-PPP dan posisi horizontal sebesar 0.017 m dan vertikal sebesar 0.016 m. Dengan kata lain, hasil penelitian tersebut hanya memberikan perbedaan rata-rata < 5 cm baik untuk posisi horizontal dan vertikal. Perbedaan antara dua hasil penelitian tersebut dapat disebabkan salah satunya karena penggunaan web pemrosesan data PPP, dimana pada penelitian ini menggunakan layanan dari *Trimble CenterPoint RTX Post-Processing* sedangkan pada penelitian terdahulu menggunakan layanan CSRS-PPP.

Untuk data tinggi, berdasarkan hasil penelitian nampak bahwa perbedaan rata-rata antara metode NRTK dan RT-PPP sebesar 0.07 m. Adapun untuk metode PPP yang terikat pada ITRF 2008 dan 2014 tidak terdapat perbedaan tinggi. Sedangkan pada metode lainnya terdapat perbedaan rata-rata dalam fraksi desimeter. Hal ini disebabkan karena pada metode NRTK dan RT-PPP, tinggi alat yang digunakan merupakan data tinggi alat yang diinput pada kegiatan pengukuran sehingga memberikan data tinggi yang definitif. Akan tetapi, pada metode PPP, berdasarkan data yang diberikan oleh *web*, terdapat perbedaan tinggi alat antara yang diinput dengan hasil pelaporan, sehingga data tinggi yang diberikan dilakukan perhitungan lanjutan berdasarkan data tinggi alat sebenarnya.

Terkait dengan waktu yang diperlukan pada metode NRTK dan RT-PPP untuk mencapai ketelitian horizontal dan vertikal yang stabil < 5 cm (tabel 6), nampak bahwa untuk metode NRTK, waktu yang diperlukan untuk mencapai ketelitian yang stabil < 5 cm pada lokasi pengamatan yang bebas obstruksi memerlukan waktu kurang dari satu menit. Hasil terkait ini selaras dengan penelitian yang dilakukan oleh Ramadhon (2020) yang melakukan penelitian untuk mengetahui pengaruh obstruksi lingkungan pengamatan terhadap ketelitian posisi metode NRTK. Berdasarkan hasil penelitian tersebut disimpulkan bahwa pada metode NRTK, untuk mencapai ketelitian horizontal dan vertikal < 2 cm pada lingkungan pengamatan yang bebas obstruksi diperlukan waktu kurang dari satu menit.

Akan tetapi, pada metode RT-PPP, waktu yang diperlukan untuk mencapai ketelitian yang stabil < 5 cm memerlukan waktu dengan kisaran antara 11 hingga 20 menit. Hasil penelitian ini selaras dengan penelitian yang dilakukan oleh Harima dkk. (2017) yang melakukan investigasi mengenai performa metode RT-PPP di New Zealand. Hasil penelitian tersebut menyatakan bahwa waktu yang diperlukan untuk mencapai ketelitian horizontal < 10 cm diperlukan waktu antara 30 hingga 127 menit, dan untuk ketelitian vertikal di bawah 15 cm diperlukan waktu antara 20 hingga 40 menit. Penelitian tersebut juga diperkuat oleh penelitian Gumilar dkk., (2019) yang menyatakan bahwa metode RT-PPP memerlukan waktu setidaknya 30 menit untuk memberikan solusi ambiguitas fase, sehingga memberikan hasil yang presisi.

Tabel 6 Waktu yang diperlukan Untuk Mencapai Ketelitian < 5 cm

Titik	Ketelitian (m)		Lama Pengamatan (menit)	Metode
	H	V		
T1	0.018	0.024	11	RT-PPP
	0.022	0.041	< 1	NRTK
T2	0.020	0.027	20	RT-PPP
	0.011	0.022	< 1	NRTK
T3	0.017	0.024	15	RT-PPP
	0.009	0.017	< 1	NRTK
T4	0.030	0.023	15	RT-PPP
	0.010	0.016	< 1	NRTK
T5	0.017	0.020	15	RT-PPP
	0.010	0.018	< 1	NRTK
T6	0.021	0.025	15	RT-PPP
	0.034	0.044	< 1	NRTK

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa terdapat perbedaan rata-rata pada posisi horizontal untuk setiap metode yaitu sebesar 0.224 m di sumbu *easting* dan 0.096 m di sumbu *northing*. Adapun untuk data tinggi perbedaan rata-rata terbesar adalah pada metode NRTK yang dibandingkan dengan metode PPP pada ITRF 2008 dan 2014 yaitu sebesar 0.255 m dan perbedaan rata-rata terkecil adalah pada metode NRTK yang dibandingkan dengan metode RT-PPP yaitu sebesar 0.077 m. Pada data tinggi juga dapat disimpulkan bahwa tidak terdapat perbedaan data tinggi antara PPP yang terikat dengan ITRF 2008 dan 2014.

Terkait dengan waktu pengamatan, pada metode NRTK, waktu yang diperlukan untuk mencapai ketelitian yang stabil < 5 cm pada lokasi pengamatan yang bebas obstruksi memerlukan waktu kurang dari satu menit. Adapun pada metode RT-PPP, waktu yang diperlukan untuk mencapai ketelitian yang stabil < 5 cm memerlukan waktu dengan kisaran antara 11 hingga 20 menit.

Untuk penelitian lanjutan disarankan melakukan penelitian terkait metode PPP dengan membandingkan website penyedia layanan *post-processing*. Hal ini disebabkan karena berdasarkan hasil penelitian didapatkan perbedaan rata-rata antara RT-PPP dan PPP yang menggunakan layanan pengolahan data berbasis web dalam fraksi desimeter, baik pada posisi horizontal maupun data tinggi.

5. Pernyataan Konflik Kepentingan

Penulis menyatakan tidak ada konflik kepentingan dalam artikel ini (*The authors declare no competing interest*).

6. Referensi

- Alkan, R. M., Erol, S., İlçi, V., & Ozulu, M. (2020). Comparative analysis of real-time kinematic and PPP techniques in dynamic environment. *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*, 163, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2020.107995>
- Alkan, R. M., Erol, S., Ozulu, I. M., & İlçi, V. (2020). Accuracy Comparison of Post-processed PPP and Real-time Absolute Positioning Techniques. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 11(1), 178–190. <https://doi.org/10.1080/19475705.2020.1714752>
- Alkan, R. M., Saka, M. H., Ozulu, M., & İlçi, V. (2017). Kinematic precise point positioning using GPS and GLONASS measurements in marine environments. *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*, 109, 36–43. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2017.05.054>
- Anantakarn, K., & Witchayangkoon, B. (2019). Accuracy Assessment of L-Band Atlas GnsS System in Thailand. *International Transaction Journal of Engineering Management & Applied Sciences & Technologies*, 10(1), 91–98. <https://doi.org/10.14456/ITJEMAST.2019.9>
- Badan Informasi Geospasial. (n.d.). JARING KONTROL GEODESI. Diakses pada 24 February 2022, dari <https://srgi.big.go.id/page/jaring-kontrol-geodesi>
- Bahadur, B., & Nohutcu, M. (2020). Impact of observation sampling rate on Multi-GNSS static PPP performance. *Survey Review*, 53(378), 206–215. <https://doi.org/10.1080/00396265.2019.1711346>
- Bulbul, S., Bilgen, B., & Inal, C. (2021). The performance assessment of Precise Point Positioning (PPP) under various observation conditions. *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*, 171(November 2020), 108780. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2020.108780>
- Correa-Muñoz, N. A., & Cerón-Calderón, L. A. (2018). Precision and accuracy of the static gnss method for surveying networks used in civil engineering. *Ingeniería e Investigación*, 38(1), 52–59. <https://doi.org/10.15446/ing.investig.v38n1.64543>
- Dabove, P. (2019). The usability of GNSS mass-market receivers for cadastral surveys considering RTK and NRTK techniques. *Geodesy and Geodynamics*, 10(4), 282–289. <https://doi.org/10.1016/j.geog.2019.04.006>
- Erol, S., Alkan, R. M., Ozulu, M., & İlçi, V. (2020). Impact of

- different sampling rates on precise point positioning performance using online processing service. *Geo-Spatial Information Science*, 24(2), 302–312. <https://doi.org/10.1080/10095020.2020.1842811>
- Erol, S., Alkan, R. M., Ozulu, M., & İlçi, V. (2020). Performance analysis of real-time and post-mission kinematic precise point positioning in marine environments. *Geodesy and Geodynamics*, 11(6), 401–410. <https://doi.org/10.1016/j.geog.2020.09.002>
- Ghilani, C. D., & Wolf, P. R. (2012). *Elementary Surveying An Introduction to Geomatics* (Thirteenth). Pearson Education, Inc.
- Gumilar, I., Bramanto, B., P Sidiq, T., . P., & Mulyadi, B. (2019). Assessment of Different Real Time Precise Point Positioning Correction Over the Sea Area. *KnE Engineering*, 2019, 115–123. <https://doi.org/10.18502/keg.v4i3.5836>
- Hamidi, M., & Javadi, P. (2017). The Analysis of Scientific and Commercial Softwares Accuracy in GPS Observation Processing. *Open Journal of Geology*, 07(03), 267–278. <https://doi.org/10.4236/ojg.2017.73019>
- Han, J.-Y., Wu, Y., & Liu, R.-Y. (2012). Determining the optimal site location of GNSS base stations. *Boletim de Ciências Geodésicas*, 18(1), 154–169. <https://doi.org/10.1590/s1982-21702012000100009>
- Harima, K., Choy, S., Rizos, C., & Kogure, S. (2017). An investigation into the performance of real-time GPS+GLONASS Precise Point Positioning (PPP) in New Zealand. *Journal of Applied Geodesy*, 11(3), 185–195. <https://doi.org/10.1515/jag-2016-0035>
- Mohammed, J., Moore, T., Hill, C., Bingley, R. M., & Hansen, D. N. (2016). An assessment of static precise point positioning using GPS only, GLONASS only, and GPS plus GLONASS. *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*, 88, 121–130. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2016.03.048>
- Ocalan, T. (2016). Accuracy assessment of GPS precise point Positioning (PPP) technique using different web-based online services in a forest environment. *Sumarski List*, 140(7–8), 357–368. <https://doi.org/10.31298/sl.140.7-8.4>
- Pan, C., Li, Z., Gao, J., & Li, F. (2021). A variational Bayesian-based robust adaptive filtering for precise point positioning using undifferenced and uncombined observations. *Advances in Space Research*, 67(6), 1859–1869. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2020.12.022>
- Peng, Y., Lou, Y., Gong, X., Wang, Y., & Dai, X. (2019). Real-time clock prediction of multi-GNSS satellites and its application in precise point positioning. *Advances in Space Research*, 64(7), 1445–1454. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2019.06.040>
- Trimble. (n.d.). Trimble Positioning Services Geospatial Frequently Asked Questions. Diakses pada 24 February 2022, dari <https://positioningservices.trimble.com/geo-faq/>
- Ramadhon, S. (2020). Pengaruh Lingkungan Pengamatan pada Ketelitian Horisontal GNSS dengan Metode RTK-NTRIP. *Jurnal Nasional Pengelolaan Energi MigasZoom*, 2(1), 27–35. <https://doi.org/10.37525/mz/2020-1/249>
- Ramadhon, S., Miko, W. W., & Nugraha, G. (2020). Perbandingan Ketelitian Posisi Tiga Dimensi dari Perangkat Lunak Pengolahan Data GNSS Komersial. *JGISE: Journal of Geospatial Information Science and Engineering*, 3(2), 106. <https://doi.org/10.22146/jgise.58768>
- Yan, C., Wang, Q., Zhang, Y., Ke, F., Gao, W., & Yang, Y. (2020). Analysis of GNSS clock prediction performance with different interrupt intervals and application to real-time kinematic precise point positioning. *Advances in Space Research*, 65(3), 978–996. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2019.10.017>