

# ANALISIS PENGARUH TOTAL ELECTRON CONTENT (TEC) DI LAPISAN IONOSFER PADA DATA PENGAMATAN GNSS RT-PPP

Oleh :

Syafril Ramadhon

## ABSTRAK

Metode *Real Time Point Precise Positioning* (RT-PPP) merupakan teknologi penentuan posisi menggunakan *Global Navigation Satellite Systems* (GNSS) terkini yang efektif dan efisien. Hal tersebut disebabkan karena dengan metode tersebut tidak dibutuhkan adanya titik ikat (*base*) dan lamanya penentuan posisi dengan akurasi 4 cm dibawah satu menit. Berbeda dengan penentuan posisi menggunakan teknologi *Global Positioning Systems* (GPS)/GNSS konvensional yang membutuhkan adanya *base*, dan lamanya waktu pengukuran untuk mencapai ketelitian 2 cm sampai dengan 4 cm selama 30 menit hingga dua jam tergantung panjang *baseline*. Masalah yang muncul adalah pada metode RT-PPP koreksi yang diberikan hanya koreksi jam dan orbit satelit, sedangkan koreksi terhadap kesalahan dan bias medium propagasi, khususnya bias ionosfer melalui proses differencing data tidak diberikan, seperti halnya pada metode konvensional diferensial GPS/GNSS. Dalam penelitian ini akan diberikan analisis pengaruh *Total Electron Content* (TEC) dilapisan ionosfer terhadap ketelitian data pengamatan GNSS dengan metode RT-PPP dan kisaran ketelitian data pengamatan berdasarkan jumlah TEC di lapisan ionosfer dengan membandingkan posisi titik-titik yang ditentukan menggunakan metode statik diferensial dalam moda jaringan dengan posisi titik-titik yang ditentukan dengan metode RT-PPP. Dari hasil penelitian terdapat pengaruh TEC pada ketelitian posisi dalam metode RT-PPP yang relatif kecil pada pagi hari, dan terus meningkat pada tengah hari dan cenderung menurun pada sore hari. Pengaruh TEC pada ketelitian posisi mencapai maksimum pada kisaran waktu pukul 10.30 WIB sampai dengan pukul 13.00 WIB dengan selisih jarak berkisar antara 30 cm hingga 1.2 m

Kata Kunci : GNSS RT-PPP, TEC, Ionosfer, Ketelitian, Posisi

## BAB I. PENDAHULUAN

### I.1 Latar Belakang

*Precise Point Positioning* (PPP) adalah metode penentuan posisi yang mengaplikasikan koreksi jam dan orbit satelit dengan memanfaatkan data stasiun jaringan data global untuk melakukan kegiatan penentuan posisi dengan hanya menggunakan satu receiver *Global Navigation Satellite System* (GNSS). Metode PPP berbeda dengan metode penentuan posisi secara presisi yang

umum digunakan saat ini, yaitu dengan metode diferensial.

Dalam metode diferensial, untuk mendapatkan hasil dengan ketelitian tinggi membutuhkan data dari stasiun referensi lain yang telah diketahui koordinatnya untuk kemudian dilakukan proses penselisihan (*differencing*) data, atau dengan kata lain dibutuhkan minimal dua receiver GPS dengan satu receiver ditempatkan di stasiun referensi. Dalam hal ini jelas metode PPP mempunyai keunggulan dibanding metode diferensial, dengan hanya menggunakan satu buah

receiver GNSS saja, sehingga kebutuhan akan receiver lain dan stasiun referensi dapat dihilangkan. Kekurangan lain dari metode diferensial adalah keterbatasan jarak baseline antara receiver GNSS di stasiun referensi (base) dan receiver GNSS untuk menentukan posisi titik/objek (rover). Jarak optimal baseline antara base dan rover adalah kurang dari 20 km, karena semakin panjang baseline, maka pengaruh kesalahan orbit dan refraksi ionosfer akan semakin besar (Abidin, 1994). Dengan hanya menggunakan satu buah receiver, maka secara umum dengan mengaplikasikan metode PPP, maka terdapat efisiensi terkait jumlah pekerja (surveyor), waktu pengamatan, dan tentunya biaya survey.

Metode GNSS PPP yang saat ini dikembangkan adalah metode Real Time PPP (RT-PPP). Perbedaan dengan metode PPP adalah metode tersebut tetap dibutuhkan pengolahan data (post-processing) untuk menghasilkan koordinat yang presisi, sedangkan dengan metode RT-PPP data posisi titik yang presisi didapat secara langsung (Real-Time) tanpa pengolahan data. Yang menjadi ganjalan terkait dengan metode RT-PPP adalah dengan metode tersebut, koreksi yang diberikan hanya koreksi jam dan orbit satelit, sedangkan koreksi terhadap kesalahan dan bias medium propagasi, khususnya bias ionosfer tidak diberikan, dikarenakan tidak dilakukannya proses differencing data seperti metode konvensional diferensial GNSS.

### **1.2 Identifikasi Masalah**

Permasalahan yang dikedepankan dalam penelitian ini adalah apakah ketelitian data pengamatan GNSS dengan metode RT-PPP dipengaruhi oleh *Total Electron Content* di lapisan ionosfer

sebagai akibat tidak dilakukannya proses *differencing data*.

### **1.3 Rumusan Masalah**

Masalah yang dikedepankan dalam penelitian ini adalah untuk memberikan analisis tentang pengaruh *Total Electron Content* (TEC) dilapisan ionosfer terhadap ketelitian data pengamatan GNSS dengan metode RT-PPP sebagai akibat tidak dilakukannya proses differencing data.

### **1.4 Tujuan Penulisan**

Memberikan analisis pengaruh *Total Electron Content* (TEC) dilapisan ionosfer terhadap ketelitian data pengamatan GNSS dengan metode RT-PPP dan kisaran ketelitian data pengamatan berdasarkan jumlah TEC di lapisan ionosfer.

### **1.5 Sistematika Penulisan**

#### **Bab I Pendahuluan**

Menguraikan latar belakang, identifikasi masalah, perumusan masalah, tujuan penulisan, dan sistematika penulisan.

#### **Bab II Tinjauan Pustaka**

Bab ini menjelaskan tentang penentuan posisi dengan GNSS dengan metode diferensial static dalam moda jaring; teknologi GNSS RT-PPP; serta bias ionosfer.

#### **Bab III Metodologi**

Dalam bab ini dibahas tentang sistematika penelitian dan penjelasan untuk setiap tahapan kegiatan penelitian

#### **Bab IV Hasil dan Analisis**

Dalam Bab ini diberikan hasil pengolahan data

#### **Bab IV Analisis**

Dalam Bab ini diberikan analisis terhadap data penentuan posisi dengan metode

diferensial statik dalam moda jaringan dan perbandingan antara data tersebut dengan hasil penentuan posisi dengan metode RT-PPP.

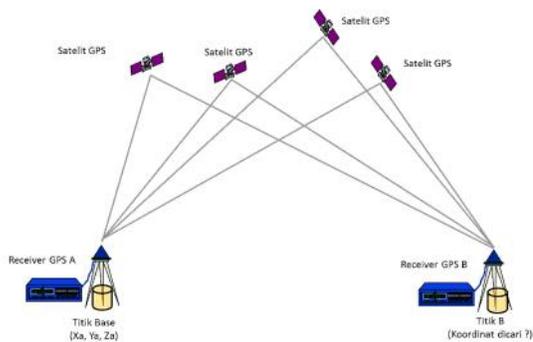
#### Bab IV Kesimpulan dan Saran

Dalam bab ini diberikan kesimpulan penelitian dan juga saran untuk penelitian selanjutnya.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### II.1 Metode Diferensial Statik

Dalam penggunaannya GNSS dapat digunakan secara absolut, yaitu metode penentuan posisi dengan hanya menggunakan satu buah receiver GPS/GNSS. Namun metode ini hanya memberikan ketelitian dengan kisaran 3 s.d 10 m (Abidin, 2006). Ketelitian tersebut dapat ditingkatkan dengan menggunakan metode diferensial. Pada penentuan posisi secara diferensial, posisi suatu titik (rover) ditentukan relatif terhadap titik lainnya yang telah diketahui koordinatnya (stasiun referensi/base) seperti yang diilustrasikan pada gambar 2.1.



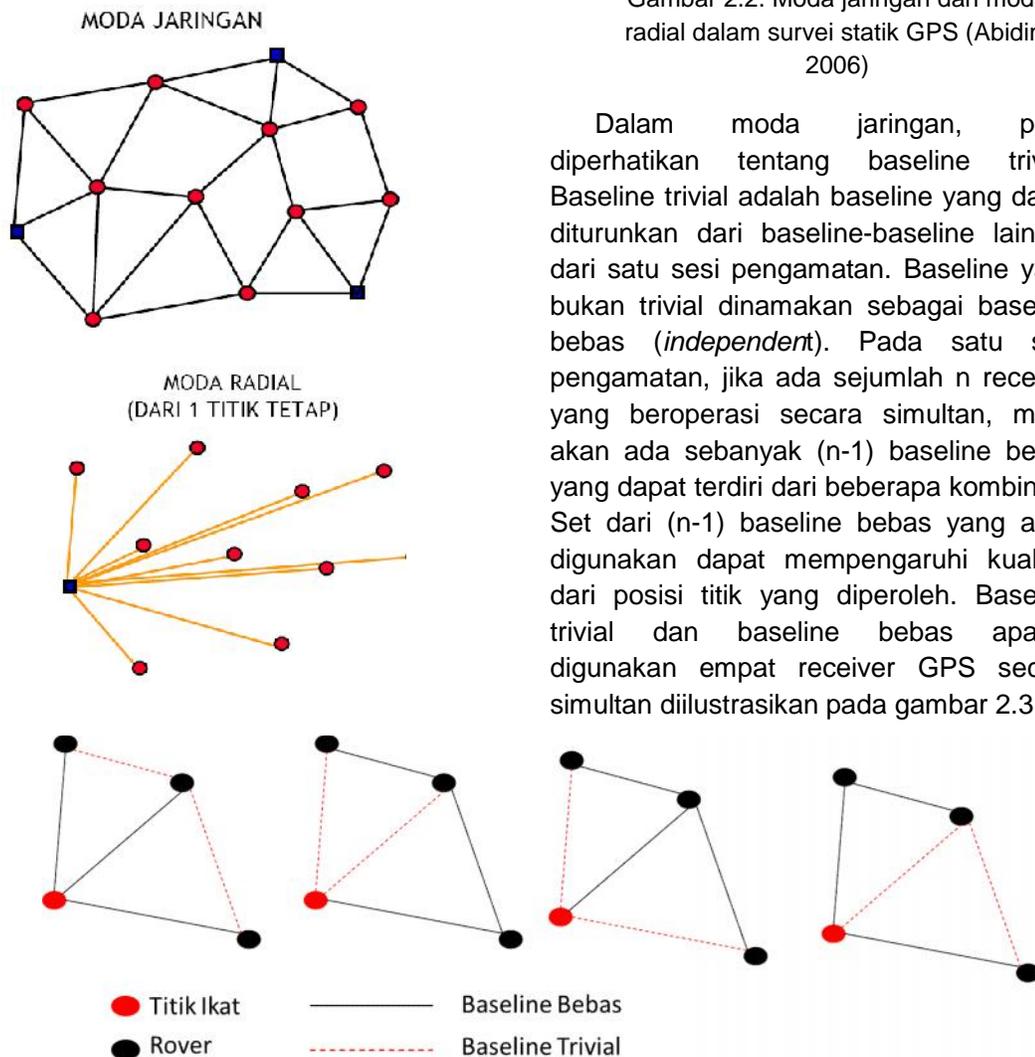
Gambar 2.1. Prinsip pengukuran diferensial

Pada metode diferensial, dilakukan pengurangan data yang diamati oleh dua receiver GNSS pada waktu yang sama (bertampalan) yang bertujuan untuk mereduksi dan menghilangkan beberapa jenis kesalahan dan bias data GPS.

Pereduksian dan pengeliminasian kesalahan dan bias ini akan meningkatkan akurasi dan presisi data sehingga akan meningkatkan tingkat akurasi dan presisi posisi yang diperoleh dengan kisaran mm sampai dengan centimeter.

Metode penentuan posisi secara diferensial statik adalah penentuan posisi titik-titik yang diam (statik) dalam jangka waktu tertentu tergantung jarak antara base dan rover sehingga ukuran lebih pada suatu titik pengamatan yang diperoleh dengan penentuan posisi statik biasanya lebih banyak. Hal ini menyebabkan tingkat ketelitian posisi yang didapatkan umumnya relatif tinggi (dapat mencapai orde mm).

Pada prinsipnya, Metode GPS statik dilakukan dengan menggunakan metode penentuan posisi statik secara diferensial dengan menggunakan data fase. Dalam hal ini pengamatan satelit GPS umumnya dilakukan baseline per baseline selama selang waktu tertentu (beberapa puluh menit sampai beberapa jam tergantung tingkat ketelitian yang diinginkan) dalam suatu jaringan (kerangka) dari titik-titik yang akan ditentukan posisinya. Survei penentuan posisi dengan metode GPS statik dapat dilaksanakan dalam moda jaringan dan moda radial. Pemilihan kedua moda tersebut akan mempengaruhi ketelitian posisi titik yang diperoleh, waktu penyelesaian survei, serta biaya operasional survei. Moda radial umumnya menghasilkan tingkat ketelitian posisi yang rendah, namun waktu survei lebih cepat yang berdampak pada biaya operasional yang lebih rendah dibandingkan dengan moda jaringan. Gambar 2.2 berikut memberikan ilustrasi moda jaringan dan radial dalam survei GPS statik.



Gambar 2.2. Moda jaringan dan moda radial dalam survei statik GPS (Abidin, 2006)

Dalam moda jaringan, perlu diperhatikan tentang baseline trivial. Baseline trivial adalah baseline yang dapat diturunkan dari baseline-baseline lainnya dari satu sesi pengamatan. Baseline yang bukan trivial dinamakan sebagai baseline bebas (*independent*). Pada satu sesi pengamatan, jika ada sejumlah  $n$  receiver yang beroperasi secara simultan, maka akan ada sebanyak  $(n-1)$  baseline bebas yang dapat terdiri dari beberapa kombinasi. Set dari  $(n-1)$  baseline bebas yang akan digunakan dapat mempengaruhi kualitas dari posisi titik yang diperoleh. Baseline trivial dan baseline bebas apabila digunakan empat receiver GPS secara simultan diilustrasikan pada gambar 2.3.

Gambar 2.3. Ilustrasi Baseline bebas dan trivial

Dalam pengolahan data, baseline trivial tidak boleh disertakan dalam proses pengolahan. Oleh karena itu ketika pengamatan, apabila terdapat baseline trivial, maka pengukuran terhadap baseline tersebut harus diulang. Dasar penyebab baseline trivial tidak boleh disertakan dalam pengolahan data adalah:

1. Spesifikasi geometris jaring menjadi tidak terpenuhi.
2. Informasi yang masuk ke dalam perataan jaring menjadi berkurang.
3. Tingkat ketelitian dari titik yang diperoleh secara teoritis akan berkurang.
4. Hasil yang diberikan oleh hitung perataan jaring tidak mencerminkan kondisi yang sebenarnya, atau dengan kata lain tidak realistis.
5. Pengikutsertaan baseline trivial dalam perataan jaring akan memberikan hasil perataan yang terkesan lebih presisi dibandingkan kondisi yang sebenarnya.

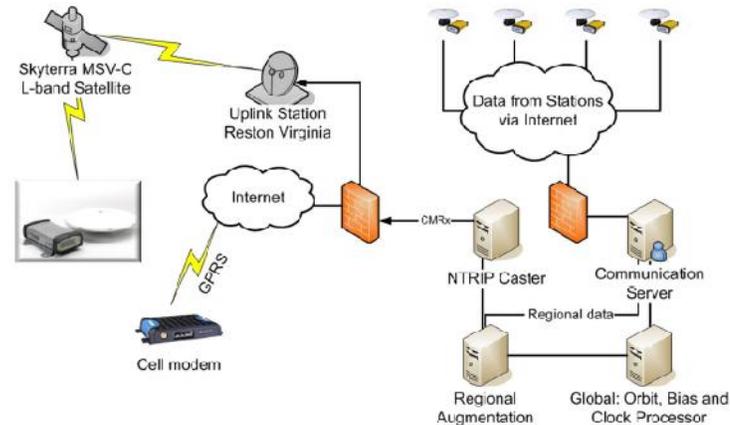
6. Karena pada dasarnya tidak ada informasi tambahan, maka tingkat ketelitian titik yang diperoleh relatif tidak akan berubah.
7. Karena semakin banyaknya baseline yang terlibat, maka beban pengolahan data semakin bertambah.

## II.2 Teknologi GNSS RT-PPP

GNSS RT-PPP merupakan teknologi baru dalam dunia penentuan posisi ekstraterestris. Kelebihan dari teknologi ini dibanding metode diferensial GNSS yang ada sekarang ini adalah dapat mencapai ketelitian 4 cm tanpa menggunakan titik ikat/base sebagai stasiun referensi (PT. GPSlands Indosolutions, 2014). Umumnya stasiun referensi merupakan titik-titik *Bench Mark* (BM) ataupun stasiun *Continuous Operating (GPS) Reference Systems* (CORS) yang tersebar. Dengan keberadaan teknologi GNSS RT-PPP, para

pengguna tidak harus membuat kerangka dasar untuk membuat stasiun referensi ataupun meminta otorisasi penggunaan data CORS pada instansi yang bersangkutan.

Teknologi GNSS RT-PPP dapat mencapai ketelitian yang presisi tanpa adanya proses differencing data antara base dan rover. Hal ini dikarenakan teknologi GNSS RT-PPP memanfaatkan jaringan stasiun CORS global yang dapat menghitung koreksi orbit satelit yang presisi dan jam satelit, sehingga diklaim dapat menghasilkan ketelitian posisi horisontal sebesar 4 cm, dengan waktu inisiasi kurang dari satu menit untuk mengirimkan informasi orbit dan jam satelit yang dibutuhkan melalui sinyal L-band kepada satelit geostasioner, untuk kemudian dikirimkan kepada receiver GNSS yang digambarkan pada gambar 2.4.



Gambar 2.4 konfigurasi RT-PPP (GPSLand Indosolutions, 2014)

Dalam hal pelaksanaan pekerjaan survey menggunakan teknologi RT-PPP, untuk mencapai ketelitian cm tersebut hanya diperlukan waktu kurang dari satu menit untuk setiap objek yang akan ditentukan posisinya tanpa adanya titik ikat (untuk inisiasi awal biasanya dibutuhkan waktu sekitar 15 – 20 menit) . Berbeda halnya dengan metode diferensial static,

untuk mencapai ketelitian cm, diperlukan waktu 10 sampai dengan 120 menit (tergantung jarak antara base dan rover) ditambah dengan pengolahan data. Untuk metode RTK, ketelitian yang didapat adalah 1-5 cm dalam waktu kurang dari satu menit, namun diperlukan titik ikat dengan radius jarak yang memungkinkan radio link memberikan data dari base ke

rover ataupun sinyal koreksi dari stasiun *Continue Operated Reference System* (CORS) terdekat. Dengan teknologi RT-PPP, kegiatan penentuan posisi dengan GPS/GNSS menjadi lebih efisien.

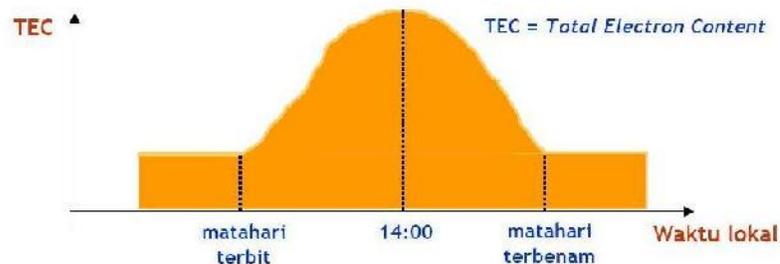
### II.3 Bias Ionosfer

Ionosfer adalah lapisan di atmosfer dimana terdapat sejumlah elektron bebas yang dapat mempengaruhi perambatan gelombang radio. Lapisan ionosfer terletak antara 60 – 1000 km di atas permukaan bumi. Jumlah elektron dan ion bebas pada lapisan ionosfer tergantung pada besarnya intensitas radiasi matahari serta densitas gas pada lapisan tersebut (Davies, 1990; dalam Abidin 2006).

Sinyal dari satelit GPS ketika melewati lapisan ionosfer akan dipengaruhi ion-ion bebas (elektron) sehingga mempengaruhi perambatan sinyal GPS. Lapisan ionosfer tersebut mempengaruhi kecepatan, arah, polarisasi, dan kekuatan sinyal GPS yang melaluinya. Pengaruh terbesar dari lapisan ionosfer ini adalah pada kecepatan sinyal,

sehingga akan langsung mempengaruhi nilai ukuran jarak dari pengamat ke satelit. Ionosfer akan memperlambat pseudorange yang menyebabkan ukuran jarak menjadi lebih panjang, dan mempercepat fase yang menyebabkan ukuran jarak menjadi lebih pendek dengan bias jarak (dalam unit panjang) yang sama besarnya. Besarnya bias jarak karena efek ionosfer tergantung pada konsentrasi elektron sepanjang lintasan sinyal serta frekuensi sinyal yang bersangkutan. Sementara, konsentrasi elektron sendiri tergantung pada beberapa faktor, terutama aktivitas matahari dan medan magnet bumi yang keduanya tergantung pada lokasi geografis, musim, dan waktu.

Aktivitas temporal ionosfer yang bersifat harian didapatkan secara empirik yang disesuaikan dengan aktivitas matahari yang relatif tinggi. Nilai TEC (*Total Electron Content*) yang terbesar biasanya terjadi pada jam dua siang waktu setempat, seperti yang ditunjukkan gambar 2.5 berikut.



Gambar 2.5. Variasi Harian TEC (Abidin, 2005)

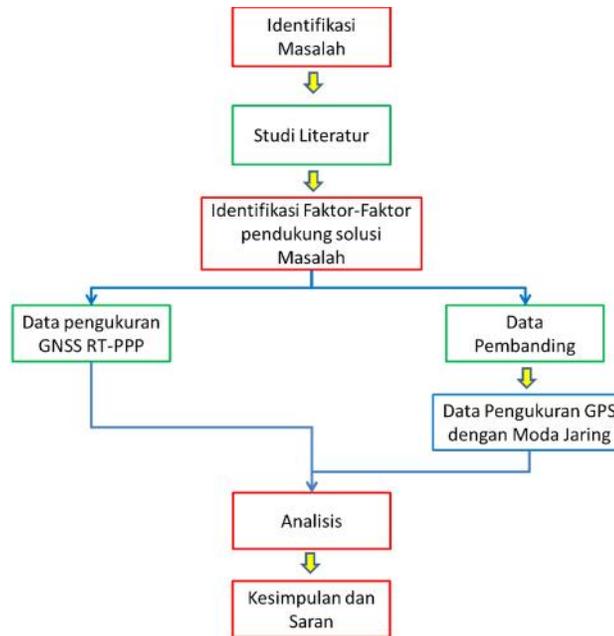
Dari gambar tersebut dapat disimpulkan bahwa pada malam hari, sesuai dengan aktivitas matahari, harga TEC relatif lebih kecil dibandingkan pada siang hari. Pada penentuan posisi dengan GPS, jadwal pengamatan GPS sebaiknya disesuaikan dengan variasi harian dari aktivitas ionosfer, kecuali apabila menggunakan GPS dual frekuensi.

Aktivitas ionosfer selaras dengan aktivitas matahari. Salah satu aktivitas matahari adalah jumlah sunspot yang nampak pada permukaan matahari. Semakin banyak jumlah sunspot pada permukaan matahari, maka aktivitas matahari akan semakin tinggi. Dari pengamatan terhadap matahari didapatkan bahwa jumlah sunspot mempunyai siklus sekitar 11 tahun. Sunspot yang maksimum

terjadi adalah pada tahun 1955 dan minimum di tahun 1960. Ditahun 1965 an, jumlah sunspot kembali meningkat, begitupun di tahun 1970 an, jumlah sunspot mencapai jumlah minimum. Oleh karena itu, dalam perencanaan pengukuran GNSS, saat maksimum sunspot sebaiknya dihindari.

### III. METODOLOGI

Dalam penelitian ini dibahas tahapan-tahapan kegiatan yang dilakukan untuk dapat mengakomodir kegiatan analisis data. Secara umum metodologi dari penelitian terkait analisis data pengamatan GNSS-RTPPP terhadap TEC di lapisan ionosfer diberikan pada gambar 3.1.



Gambar 3.1 Metodologi Penelitian

Secara detail tahapan-tahapan penelitian dijelaskan sebagai berikut:

#### 1. Identifikasi Masalah

Dalam penelitian ini, masalah yang dikedepankan adalah bagaimana pengaruh *Total Electron Content* (TEC) dilapisan ionosfer terhadap ketelitian data pengamatan GNSS dengan metode RT-PPP sebagai akibat tidak dilakukannya proses differencing data, dan kisaran ketelitian data pengamatan berdasarkan jumlah TEC di lapisan ionosfer.

#### 2. Studi Literatur

Untuk memberikan dasar solusi atas masalah tersebut maka dilakukan kajian

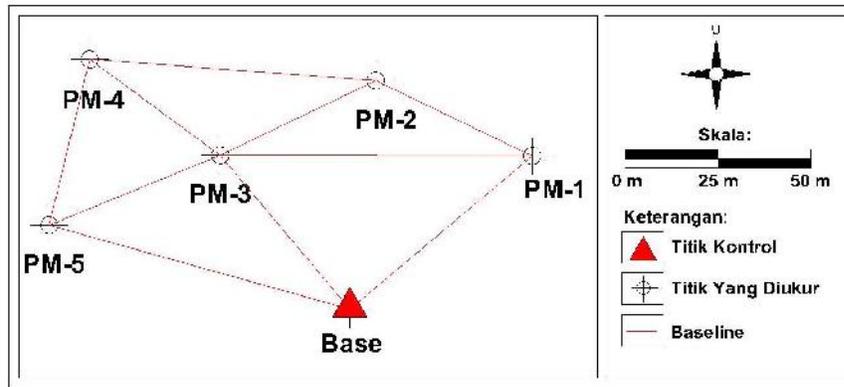
literatur terkait metode RT-PPP dan bias ionosfer. Melalui studi literatur didapatkan bahwa TEC terbesar di lapisan ionosfer adalah pada waktu jam 14.00 waktu setempat. Oleh karena itu, sesuai dengan gambar 2.5 terkait variasi harian TEC akan dilakukan pengamatan GNSS dengan metode RT-PPP di waktu dimana jumlah TEC minimal dan maksimal.

#### 3. Identifikasi Faktor-Faktor Pendukung Solusi Masalah

Untuk mengetahui tingkat ketelitian data GNSS RT-PPP maka dilakukan pengukuran untuk menentukan koordinat 3-dimensi terhadap lima titik dengan menggunakan metode diferensial statik

dalam moda jaring dan metode RT-PPP. Dalam hal ini hasil koordinat 3-dimensi menggunakan metode diferensial statik menggunakan metode jaring adalah sebagai data yang dianggap benar. Hasil tersebut kemudian dibandingkan dengan hasil pengukuran kelima titik tersebut dengan menggunakan metode RT-PPP yang dilakukan pada waktu pagi hingga sore hari untuk mengetahui pada pukul berapa aktivitas ionosfer paling mempengaruhi hasil pengukuran.

a. Pengukuran dengan Metode Diferensial Statik Dengan Moda Jaring  
 Penentuan posisi titik-titik dengan metode ini dilakukan dengan menggunakan tiga buah *receiver* GPS Geodetik merk Topcon dengan titik ikat yang sudah diketahui koordinatnya. Kegiatan pengukuran dilakukan di Jl. Kaliurang kilometer 14 Daerah Istimewa Yogyakarta. Jumlah baseline bebas dalam pengukuran ini berjumlah 10 buah. Gambar 3.2 memberikan peta titik-titik yang akan diukur dengan dengan baseline bebas pengukuran.



Gambar 3.2 Peta Pengukuran GPS Metode Diferensial Statik Dalam Moda Jaring

Karena receiver GPS yang digunakan berjumlah tiga buah, maka dibagi 3 tim untuk mengukur baseline dengan waktu pengukuran untuk setiap sesi adalah 30 menit, sehingga untuk mengukur seluruh baseline tersebut dengan tiga

receiver GPS diperlukan lima sesi pengukuran. Tabel 3.1 memberikan ilustrasi kegiatan pengukuran dengan Metode Diferensial Statik Dalam Moda Jaring.

Tabel 3.1 Ilustrasi Kegiatan Pengukuran

Tim	Sesi 1	Moving	Sesi 2	Moving	Sesi 3
	(09.00 – 09.30 )	(09.30 – 09.45 )	(09.45 – 10.15 )	(10.15 – 10.30 )	(10.30 – 11.00 )
Tim 1	B		B		4
Tim 2	1		5		5
Tim 3	3		3		3
Baseline yang Diukur	B-1 B-3		B-5 3-5		4-5 3-4

Tim	
-----	--

	Sesi 4	Moving	Sesi 5
	(11.15 – 11.45)	(11.45 – 12.00)	(12.00 – 12.30)
Tim 1	4		1
Tim 2	2		2
Tim 3	3		3
Baseline yang Diukur	2-4		1-2
	2-3		1-3

Setelah dilakukan kegiatan pengukuran, maka langkah selanjutnya adalah pengolahan data dengan menggunakan perangkat lunak SKI PRO. Pengolahan data terdiri dari dua tahapan umum, yaitu proses pengolahan baseline dan pengolahan jaring. Hasil keluaran dari tahapan pengolahan data adalah data koordinat 3-dimensi titik-titik yang ditentukan koordinatnya.

#### b. Pengukuran dengan Metode RT-PPP

Pengukuran dengan metode ini dilakukan menggunakan alat Trimble Nett R8 dengan dua tahapan, yaitu

tahapan inialisasi dan tahapan pengukuran. Tahapan inialisasi dilakukan dengan maksud agar data koreksi RT-PPP dari satelit geostasioner bisa stabil di ketelitian yang diharapkan. Lamanya tahap inialisasi adalah 20 menit. Setelah tahapan inialisasi dilakukan pengukuran di lima titik yang akan ditentukan kordinatnya pada waktu-waktu tertentu dari pagi hingga sore hari.

## IV. HASIL

### IV.1 Hasil Koordinat 3-dimensi Menggunakan Metode Diferensial Statik Dengan Moda Jaring

Tabel 4.1 Hasil Pengolahan Data Koordinat Menggunakan Metode Diferensial Statik Dengan Moda Jaring

Titik	Easting (m)	Northing (m)	Tinggi Elipsoid (m)	Sd. Easting (m)	Sd. Northing (m)	Sd. Tinggi (m)
<b>BASE</b>	436072.7540	9159096.0000	807.3710	0	0	0
<b>PM1</b>	436121.6815	9159137.1044	811.6392	0.0058	0.004	0.0128
<b>PM2</b>	436079.7658	9159157.3809	811.8741	0.0052	0.0035	0.0089
<b>PM3</b>	436037.9132	9159137.3408	808.8246	0.0032	0.0023	0.0051
<b>PM4</b>	436002.8495	9159163.1997	810.4082	0.0052	0.0032	0.0091
<b>PM5</b>	435991.8613	9159118.6195	806.6470	0.0043	0.0028	0.0076

## IV.2 Hasil Koordinat 3-dimensi Menggunakan Metode RT-PPP

Tabel 4.2 Hasil Koordinat Menggunakan Metode RT-PPP

Titik	Waktu Pengukuran	Easting (m)	Northing (m)	Tinggi Ellipsoid (m)
PM1	10:02:24	436121.682	9159137.121	811.563
	10:07:11	436121.636	9159137.071	811.623
	10:42:45	436121.768	9159137.226	811.691
	11:09:27	436121.597	9159137.213	811.692
	11:16:35	436121.687	9159136.708	812.313
	12:11:56	436122.958	9159137.200	810.098
	14:14:39	436121.714	9159137.049	811.232
	14:16:18	436121.680	9159137.044	811.163
	14:27:00	436121.743	9159137.002	811.270
	14:26:30	436121.862	9159137.047	811.130
14:36:00	436122.013	9159137.122	810.945	
PM2	9:09:59	436079.824	9159157.352	811.842
	10:02:34	436079.821	9159157.434	811.824
	11:03:06	436079.446	9159157.430	811.919
	11:28:56	436079.876	9159157.480	812.618
	12:27:28	436079.885	9159157.388	812.175
	13:46:56	436079.927	9159157.348	811.584
	14:00:15	436079.838	9159157.387	811.549
	14:02:56	436079.855	9159157.387	811.614
	14:05:00	436079.880	9159157.394	811.663
	14:06:07	436079.863	9159157.396	811.656
14:08:55	436079.832	9159157.384	811.629	
PM3	9:49:53	436037.870	9159137.298	808.871
	10:03:29	436038.050	9159137.342	808.802
	10:30:57	436037.855	9159137.361	808.878
	11:13:24	436037.626	9159137.451	809.082
	12:00:10	436038.042	9159137.361	808.961
	13:36:43	436038.010	9159137.347	808.489
	13:21:46	436038.000	9159137.339	808.464
	13:07:48	436038.006	9159137.348	808.505
	13:49:57	436038.006	9159137.335	808.517
13:51:55	436037.995	9159137.340	808.536	
PM4	9:49:51	436002.721	9159163.082	810.399
	10:24:56	436003.021	9159163.514	810.520
	10:01:50	436002.908	9159163.236	810.592
	11:19:00	436002.788	9159163.183	810.310
	11:41:50	436002.775	9159163.105	810.390
	14:43:54	436002.975	9159163.194	810.319
	14:42:56	436002.984	9159163.204	810.162
	14:43:58	436002.983	9159163.180	810.222
	15:01:12	436002.967	9159163.199	810.137
15:02:48	436002.950	9159163.189	810.148	
PM5	9:06:45	435991.905	9159118.622	806.728
	10:18:39	435991.230	9159118.682	806.427
	10:37:46	435992.027	9159118.528	806.980
	11:15:53	435991.953	9159118.565	806.519
	11:40:45	435991.407	9159118.455	806.936
	15:08:32	435991.969	9159118.645	806.454
	15:10:30	435991.955	9159118.629	806.473
15:05:13	435991.953	9159118.643	806.400	

Titik	Waktu Pengukuran	Easting (m)	Northing (m)	Tinggi Ellipsoid (m)
	15:14:55	435991.946	9159118.641	806.409
	15:16:59	435991.955	9159118.635	806.428

## V. ANALISIS

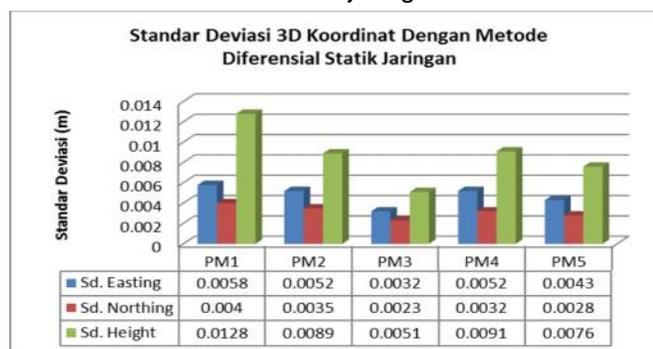
Analisis data dilakukan pada hasil pengukuran dengan metode diferensial statis moda jaringan dan hasil perbandingan jarak antara koordinat hasil pengukuran dengan metode diferensial statik sebagai hasil yang dianggap benar dengan hasil pengukuran menggunakan metode RT-PPP di setiap waktu pengukuran.

### V.1 Analisis Koordinat Hasil Pengukuran Metode Diferensial Statik Moda Jaringan

Dalam kegiatan ini diukur lima titik berdasarkan data dari titik ikat base. Dengan menggunakan moda jaringan, dilakukan lima sesi pengukuran dengan menggunakan tiga buah receiver GPS Geodetik yang menghasilkan 10 buah baseline pengukuran. Apabila dibandingkan dengan metode statik dalam moda radial, jumlah sesi pengukuran adalah tiga buah sesi dengan jumlah baseline 5 buah. Dari segi efisiensi dan efektifitas pengukuran tentunya metode diferensial radial lebih baik dibandingkan dengan metode diferensial jaringan.

Bertolak belakang dari segi efisiensi dan efektifitas, metode diferensial statik dalam moda jaringan memberikan ketelitian posisi yang lebih baik dibandingkan dalam moda radial karena setiap titik diamati lebih dari satu kali, sehingga data ukuran lebih banyak. Berbeda halnya dengan metode radial, dimana satu titik hanya diukur satu kali, sehingga tidak ada ukuran lebih pada titik tersebut.

Dalam penelitian ini dipilih moda jaringan dengan dasar bahwa koordinat hasil pengukuran dengan metode ini akan dijadikan sebagai acuan yang dianggap benar bagi koordinat hasil pengukuran dengan metode RT-PPP. Dari tabel 4.1 tentang data koordinat hasil pengukuran dengan metode diferensial statik metode jaringan didapat kisaran standar deviasi posisi horisontal (easting dan northing) yang terendah pada angka 0.0028 m dan tertinggi 0.0058 m. Untuk standar deviasi ketelitian tinggi, yang terendah adalah 0.051 m dan yang tertinggi adalah 0.0128. Gambar 5.1 memberikan grafis standar deviasi pada koordinat hasil pengolahan data metode diferensial statik dalam moda jaringan.



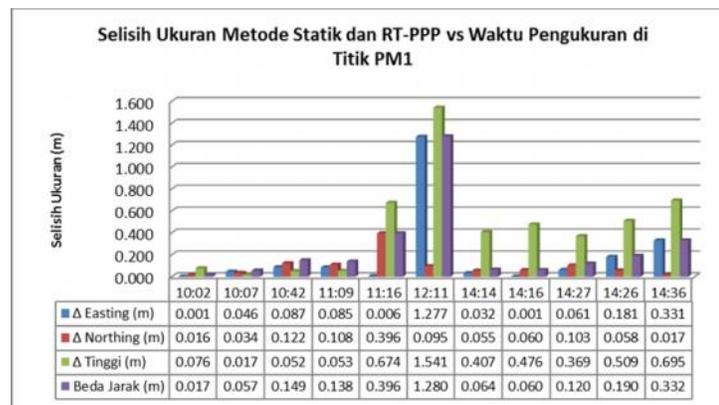
Gambar 5.1. Standar deviasi 3D koordinat dengan metode diferensial Statik Jaringan

Ketelitian komponen horisontal dari koordinat ditunjukkan oleh besaran standar deviasi easting dan northing yang rendah ( $< 6 \text{ mm}$ ), sehingga titik-titik tersebut mempunyai ketelitian yang baik dan dapat dijadikan sebagai acuan untuk dibandingkan dengan hasil pengukuran RT-PPP. Ketelitian komponen tinggi yang ditunjukkan oleh besaran standar deviasi tinggi lebih besar daripada komponen horisontal. Ketelitian komponen tinggi yang ditentukan menggunakan alat GPS umumnya 2-3 kali lebih rendah dibandingkan komponen horisontalnya (Abidin, 1994). Hal tersebut dikarenakan satelit-satelit yang bisa diamati hanya berada di atas horison, dan efek dari kesalahan dan bias umumnya adalah memanjang atau memendekkan ukuran, yang dalam hal ini yang paling terpengaruh adalah komponen tinggi.

## V.2 Analisis Data Pengukuran Metode Diferensial Statik vs RT-PPP

Dalam kegiatan penelitian ini, dilakukan pengukuran koordinat di titik PM1, PM2, PM3, PM4 dan PM5 dengan metode RT-PPP dalam waktu-waktu tertentu. Hasil pengukuran tersebut kemudian dibandingkan dengan data koordinat hasil pengukuran dengan metode diferensial statik dalam moda jaringan.

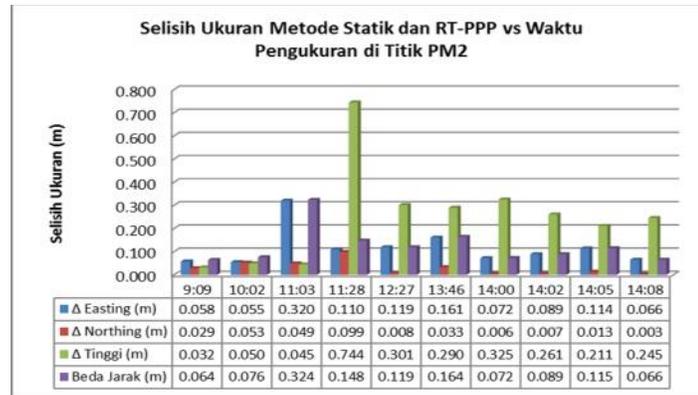
Di titik PM1, selisih antara koordinat hasil pengukuran metode diferensial statik dan RT-PPP semakin besar seiring dengan bertambahnya jam, hingga mencapai puncaknya pada pukul 12.11 menit WIB, seperti yang diilustrasikan pada gambar 5.2. Setelah pukul 12.00, besarnya selisih cenderung turun, meskipun tidak sekecil selisih di pagi hari. Secara kuantitatif, besarnya selisih jarak berkisar antara 1.7 cm hingga 39 cm



Gambar 5.2 Perbandingan Koordinat Diferensial Statik dan RT-PPP vs Waktu Pengamatan di titik PM1

Di titik PM2, selisih antara koordinat hasil pengukuran metode diferensial statik dan RT-PPP semakin besar seiring dengan bertambahnya jam, hingga mencapai puncaknya pada pukul 11.03 menit WIB, seperti yang diilustrasikan pada gambar

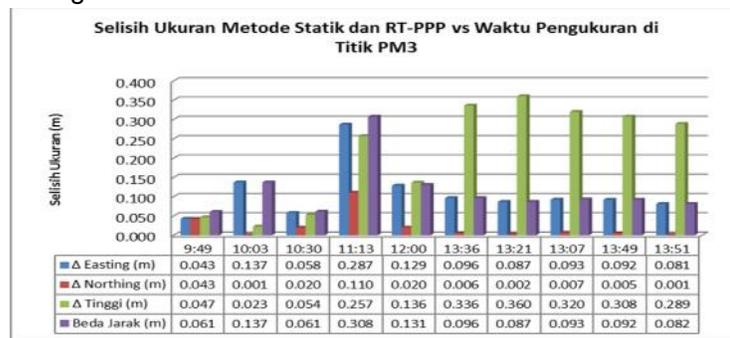
5.3. Setelah pukul 11.00 WIB, besarnya selisih cenderung stabil, dan setelah pukul 13.00 WIB besarnya cenderung turun, meskipun tidak sekecil selisih di pagi hari. Secara kuantitatif, besarnya selisih jarak berkisar antara 6 cm hingga 32 cm



Gambar 5.3 Perbandingan Koordinat Diferensial Statik dan RT-PPP vs Waktu Pengamatan di titik PM2

Di titik PM3, selisih antara koordinat hasil pengukuran metode diferensial statik dan RT-PPP cenderung naik pada siang hari, hingga mencapai puncaknya pada pukul 11.13 menit WIB, seperti yang diilustrasikan pada gambar 5.4. Setelah

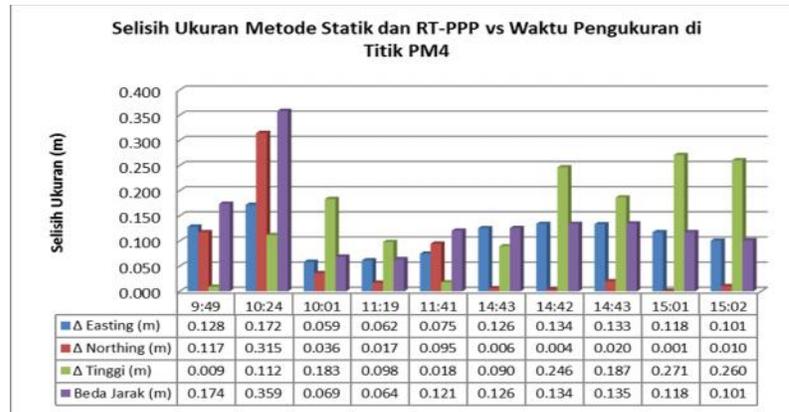
pukul 11.00 WIB, besarnya selisih cenderung menurun, meskipun tidak sekecil selisih di pagi hari. Secara kuantitatif, besarnya selisih jarak berkisar antara 6 cm hingga 30 cm



Gambar 5.4 Perbandingan Koordinat Diferensial Statik dan RT-PPP vs Waktu Pengamatan di titik PM3

Di titik PM4, selisih antara koordinat hasil pengukuran metode diferensial statik dan RT-PPP cenderung menurun dan setelah pukul 11.00 WIB besarnya cenderung stabil. Terdapat perbedaan dengan pengamatan pada titik-titik sebelumnya, dimana pada pagi hari di pukul 09.49 WIB hingga pukul 10.24 WIB besarnya selisih koordinat justru mencapai puncaknya. Hal ini disebabkan antara lain karena

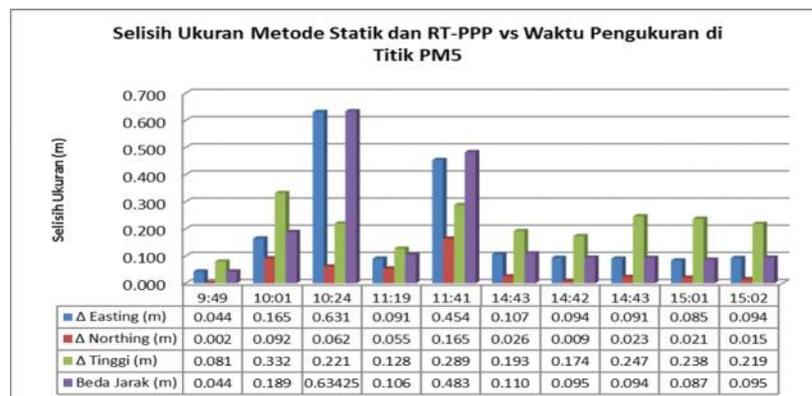
banyaknya obstruksi di sekitar lingkungan pengamatan di titik PM4 dan kualitas sinyal pembawa GPS pada waktu tersebut. Secara kuantitatif, besarnya selisih jarak berkisar antara 6 cm hingga 30 cm. Ilustrasi Perbandingan Koordinat Diferensial Statik dan RT-PPP vs Waktu Pengamatan di titik PM4 di berikan pada gambar 5.5



Gambar 5.5 Perbandingan Koordinat Diferensial Statik dan RT-PPP vs Waktu Pengamatan di titik PM4

Di titik PM5, selisih antara koordinat hasil pengukuran metode diferensial statik dan RT-PPP cenderung kecil dan meningkat di siang hari. Pada pukul 10.24 WIB besarnya mencapai maksimal, dan cenderung turun pada pukul 11.19 WIB dan kembali meningkat pada pukul 11.41 WIB. Pada

pukul 14.00 hingga 15.00 WIB besarnya selisih cenderung stabil. Secara kuantitatif, besarnya selisih jarak berkisar antara 4 cm hingga 60 cm. Ilustrasi Perbandingan Koordinat Diferensial Statik dan RT-PPP vs Waktu Pengamatan di titik PM5 di berikan pada gambar 5.6



Gambar 5.6 Perbandingan Koordinat Diferensial Statik dan RT-PPP vs Waktu Pengamatan di titik PM5

Secara umum besarnya selisih antara koordinat diferensial statik dan RT-PPP relatif kecil dipagi hari dan cenderung membesar pada siang hari. Umumnya selisih terbesar adalah antara pukul 10.30 WIB hingga pukul 13.00 WIB, dan cenderung turun pada sore hari. Hal tersebut mengindikasikan bahwa terdapat pengaruh *Total Electron Content* (TEC) pada lapisan ionosfer pada sinyal pembawa GNSS, sehingga ketelitian posisi semakin menurun. Hal tersebut diakibatkan semakin siang, maka intensitas radiasi

matahari dan densitas gas semakin meningkat yang berakibat pada semakin bertambahnya jumlah elektron dan ion bebas pada lapisan matahari yang mempengaruhi tingkat ketelitian GPS. Hal tersebut terjadi karena tidak dilakukan proses differencing data pada metode RT-PPP seperti halnya dilakukan pada metode diferensial.

## VI. KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan

- Terdapat pengaruh *Total Electron Content* (TEC) pada ketelitian posisi dalam metode RT-PPP sebagai akibat tidak adanya differencing data seperti halnya pada metode diferensial konvensional.
- Pengaruh TEC pada tingkat ketelitian posisi relatif kecil pada pagi hari, dan terus meningkat pada tengah hari dan cenderung menurun pada sore hari.

- Pengaruh TEC pada ketelitian posisi mencapai maksimum pada kisaran waktu pukul 10.30 WIB sampai dengan pukul 13.00 WIB dengan selisih jarak berkisar antara 30 cm hingga 1.2 m.

### Saran

Dilakukan penelitian sejenis terhadap GNSS dengan teknologi RT-PPP jenis lain di lokasi yang lain untuk meneliti tingkat pengaruh TEC pada GNSS dengan teknologi RT-PPP lainnya dan pengaruh lokasi pengukuran pada tingkat ketelitian data posisi.

### Daftar Pustaka

- Abidin, H.Z. (2006). *Penentuan Posisi Dengan GPS dan Aplikasinya*. Jakarta: PT. Pradnya Paramita
- Abidin, H.Z. (1994). *Penentuan Posisi Dengan GPS*. Bandung: Penerbit ITB.
- Andreas, Heri. (2014). *Teknologi CORS dan RT-PPP*. Bandung : Teknik Geodesi dan Geomatika FITB ITB.
- PT. GPSlands Indo Solutions. (2014). *Trimble Pro- XRT Land Administration With RTX untuk Aplikasi Topografi Survey Seismik Darat*. Bahan Presentasi