

ANALISIS PENGOLAHAN DATA GPS MENGGUNAKAN PERANGKAT LUNAK RTKLIB

Desvandri Gunawan, Bambang Darmo Yuwono, Bandi Sasmito *)

Program Studi Teknik Geodesi Fakultas Teknik Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Sudarto SH, Tembalang Semarang Telp.(024) 76480785, 76480788
email : desvandri@gmail.com *)

ABSTRAK

GPS (*Global Positioning System*) merupakan sistem satelit navigasi dan penentuan posisi menggunakan satelit. Salah satu faktor ketelitian penentuan posisi dengan GPS adalah strategi pemrosesan data. Mengikuti perkembangan kebutuhan GPS dalam kehidupan manusia, data hasil pengamatan GPS dapat diolah menggunakan berbagai macam perangkat lunak. RTKLIB merupakan salah satu perangkat lunak yang digunakan untuk pengolahan data pengamatan GPS.

Pada penelitian tugas akhir ini dilakukan pengamatan titik-titik menggunakan GPS *Dual Frequency* dengan metode statik untuk mengetahui karakteristik dan hasil pengolahan perangkat lunak tersebut. Hasil pengamatan titik GPS tersebut kemudian diolah menggunakan perangkat lunak RTKLIB dan Topcon Tools. Hasil pengolahan kedua perangkat lunak tersebut dibandingkan dengan hasil pengolahan perangkat lunak ilmiah Bernesse.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa terdapat nilai perbedaan antara nilai standar deviasi dari hasil pengolahan perangkat lunak RTKLIB dengan standar deviasi hasil pengolahan perangkat lunak Topcon Tools dengan nilai rata-rata σ_N dan σ_E sebesar -0,0011 m dan -0,0026 m dimana RTKLIB memiliki ketelitian standar deviasi yang lebih baik dan lebih mendekati hasil dari data sekunder, yaitu hasil pengolahan Bernesse. Berdasarkan hasil uji statistik dengan selang kepercayaan 95%, disimpulkan bahwa tidak ada perbedaan yang signifikan antara hasil Pengolahan RTKLIB dan Topcon Tools.

Kata Kunci : GPS, RTKLIB, Standar Deviasi, Topcon Tools

ABSTRACT

GPS (*Global Positioning System*) is a navigation and positioning system using satellites. One of accuracy factors using GPS is data processing strategy. By following the GPS demands in human life, GPS observation data can be processed using a variety of the softwares. RTKLIB is one of the softwares using for GPS observations data processing.

This research observation uses points observations using GPS *Dual Frequency* by static method so that it is known a characteristics and the result of software processing. This result is then analyzed using RTKLIB and Topcon Tools software. The result of those softwares then compares to the result of processing Bernesse scientific software.

The results of this research show that there is a difference between the deviation standard value of RTKLIB software and the deviation standard value of Topcon Tools software, with the mean value of σ_N and σ_E amounting -0.0011 and -0.0026 m respectively. RTKLIB has a better deviation standard accuracy and closer to the value of secondary data, that is the result of Bernesse. According to statistical test with 95% confidence interval, it is concluded that there is no significant differences between the result of RTKLIB and Topcon Tools software.

Keywords: GPS, RTKLIB, Standard Deviation, Topcon Tools

*) Penulis Penanggung Jawab

I. Pendahuluan

I.1 Latar Belakang

GPS (*Global Positioning System*) merupakan sistem satelit navigasi dan penentuan posisi menggunakan satelit. Perkembangan dan penggunaannya berjalan seiring dengan kebutuhan manusia dalam berbagai aplikasi serta keperluan riset. Posisi yang diberikan oleh GPS adalah posisi tiga dimensi yang dinyatakan dalam datum WGS (*World Geodetic System*) 1984. Dengan GPS, titik yang akan ditentukan posisinya dapat diam (*static positioning*) ataupun bergerak (*kinematic positioning*) (Abidin, 2007).

Ketelitian penentuan posisi dengan GPS dipengaruhi oleh beberapa faktor dan parameter. Salah satu faktor tersebut adalah strategi pemrosesan data. Mengikuti perkembangan kebutuhan GPS dalam kehidupan manusia, data hasil pengamatan gps dapat diproses dan diolah menggunakan berbagai macam perangkat lunak. Pada prinsipnya ada dua jenis perangkat lunak (*software*) pengolahan data, yaitu perangkat lunak komersial yang dikeluarkan oleh perusahaan-perusahaan *receiver* GPS, seperti SKI, GPSurvey, dan Topcon Tools, serta perangkat lunak ilmiah yang dikeluarkan oleh lembaga-lembaga penelitian atau universitas, seperti Bernesse dan GAMIT.

Berbeda dari kedua jenis perangkat lunak di atas, terdapat perangkat lunak pengolahan data GPS yang tersedia secara *free (open source)* bernama RTKLIB (Takasu, 2011). RTKLIB adalah salah satu perangkat yang digunakan untuk pengolahan data pengamatan GPS. Salah satu keunggulan dari perangkat lunak ini adalah dapat digunakan dapat di-*download* secara bebas oleh siapapun dan tanpa syarat apapun. Dengan melakukan pengolahan data GPS metode statik, diharapkan koordinat hasil pengukuran yang dikaji meliputi posisi dan simpangan baku titik pengamatan serta perbedaan karakteristik pengolahan data dapat diketahui. Untuk pengolahan data dari GPS sendiri, akan digunakan perangkat lunak RTKLIB.

I.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimana karakteristik pengolahan data GPS metode statik menggunakan perangkat lunak RTKLIB ?
2. Bagaimana ketelitian hasil pengolahan menggunakan perangkat lunak RTKLIB dan Topcon Tools ?

3. Bagaimanakah perbandingan hasil pengolahan RTKLIB dan Topcon Tools terhadap data sekunder hasil pengolahan Bernesse ?

I.3 Maksud dan Tujuan Penelitian

Adapun maksud dan tujuan penelitian ini adalah :

1. Mengetahui algoritma pengkoreksian atmosfer yang tepat dalam proses pengolahan data GPS menggunakan RTKLIB.
2. Mengetahui standar deviasi titik yang dihasilkan dari pengolahan data hasil pengamatan GPS oleh perangkat lunak RTKLIB dan Topcon Tools.
3. Mengetahui perbandingan koordinat dan standar deviasi hasil pengolahan RTKLIB dan Topcon Tools terhadap koordinat dan standar deviasi dari data sekunder hasil pengolahan Bernesse.

I.4 Ruang Lingkup Penelitian

Adapun ruang lingkup dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Studi kasus pengamatan GPS daerah Semarang.
2. Penelitian dilakukan menggunakan alat *receiver* gps dual frekuensi dengan metode statik.
3. Data yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah data hasil pengukuran GPS dengan format RINEX.
4. Pengolahan data pengamatan GPS menggunakan *Software* RTKLIB dan Topcon Tools.
5. Hasil dari penelitian ini nantinya akan dibandingkan dengan hasil dari data sekunder, yaitu hasil pengolahan Bernesse tahun 2008.
6. Hasil penelitian ini adalah grafik analisis koordinat dan simpangan baku.

I.5 Metodologi Penelitian

1. Pengadaan data dengan melakukan pengukuran menggunakan alat GPS *Dual Frequency* yang dilakukan pada bulan Juni 2015.
2. Melakukan pengolahan data menggunakan perangkat lunak RTKLIB dan Topcon Tools sehingga dihasilkan koordinat dan standar deviasi titik pengamatan GPS.
3. Analisis hasil pengolahan menggunakan perangkat lunak RTKLIB dan Topcon Tools.

II. Tinjauan Pustaka

II.1 GPS (*Global Positioning System*)

GPS (*Global Positioning System*) adalah sistem satelit navigasi dan penentuan posisi yang dimiliki dan dikelola oleh Amerika Serikat. Sistem ini didesain untuk memberikan posisi dan kecepatan tiga-dimensi serta informasi mengenai waktu, secara kontinyu di seluruh dunia tanpa bergantung waktu dan cuaca, dan bagi banyak orang secara simultan.

Saat ini GPS sudah banyak digunakan orang di seluruh dunia dalam berbagai bidang aplikasi yang menuntut informasi tentang posisi, kecepatan, percepatan ataupun waktu yang teliti. GPS dapat memberikan informasi posisi dengan ketelitian bervariasi dari beberapa millimeter (orde nol) sampai dengan puluhan meter.

Beberapa kemampuan GPS antara lain dapat memberikan informasi tentang posisi, kecepatan, dan waktu secara cepat, akurat, murah, dimana saja di bumi ini tanpa tergantung cuaca. Hal yang perlu dicatat bahwa GPS adalah satu-satunya sistem navigasi ataupun sistem penentuan posisi dalam beberapa abad ini yang memiliki kemampuan handal seperti itu (Abidin, 2007).

Ketelitian dari GPS dapat mencapai beberapa mm untuk ketelitian posisinya, beberapa cm/s untuk ketelitian kecepatannya dan beberapa nanodetik untuk ketelitian waktunya. Ketelitian posisi yang diperoleh akan tergantung pada beberapa faktor yaitu metode penentuan posisi, geometri satelit, tingkat ketelitian data, dan metode pengolahan datanya.

II.2 RTKLIB

RTKLIB adalah paket program *open source* untuk pemosisian standar dan tepat dengan GNSS (*Global Navigation Satellite System*). RTKLIB terdiri dari program perpustakaan portabel dan beberapa AP (program aplikasi) memanfaatkan perpustakaan (Takasu, 2011).

RTKLIB merupakan salah satu perangkat lunak yang digunakan dalam pengolahan data GPS. Di dalamnya terdapat berbagai macam metode penentuan posisi dengan GPS yang dapat dimanfaatkan sesuai dengan keperluan pengamatan GPS itu sendiri. Salah satu keunggulan yang dimiliki perangkat lunak ini adalah bahwa perangkat lunak ini dapat digunakan dan di-*download* secara bebas oleh siapapun tanpa syarat apapun. Tentunya dengan realita bahwa kebanyakan perangkat lunak pengolah data GPS adalah perangkat lunak yang cukup mahal, maka perangkat lunak ini cukup menjanjikan solusi yang lebih baik dari segi efisiensi biaya penelitian.

Tidak hanya dapat melakukan pengolahan data pengamatan GPS secara *post-processing*, perangkat lunak RTKLIB ini juga dapat melakukan

pengolahan data pengamatan GPS secara *realtime* yang dikombinasikan dengan sistem komunikasi data yang terpadu (Kuncoro, 2012).

II.3 Topcon Tools

Topcon Tools merupakan *software* yang menyediakan solusi *post-processing* yang kuat, analisis jaringan dan penyesuaian dengan *interface* intuitif operator yang mudah untuk dipelajari dan digunakan. Topcon Tools memiliki beberapa fitur dan kelebihan seperti mendukung semua instrumen Topcon survei dan pengumpulan data, mudah disesuaikan untuk alur kerja dan lain sebagainya. Topcon Tools adalah produk modular, dimana setiap modul memiliki tujuan khusus yang memungkinkan pengguna untuk menyelesaikan tugas yang berbeda (Topcon, 2009).

Geodesist berpengalaman dapat menggunakan perangkat lunak Topcon Tools untuk *post-processing baseline* GPS, pengolahan pengamatan TS dan/atau RTK, perataan jaring, *import file* pada komputer atau dari sebuah perangkat atau dari internet, serta *export* data ke komputer atau ke sebuah perangkat.

Untuk menghasilkan hasil koordinat yang teliti dengan perangkat lunak Topcon Tools dapat mengedit beberapa data RINEX seperti penggunaan data observasi dari GPS maupun GLONASS, memotong dan menggabungkan data pengamatan, dan menonaktifkan satelit.

III. Metodologi Penelitian

III.1 Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

- a. Laptop Lenovo seri G40 dengan *processor Intel(R) Core(TM) i5-5200U @ 2.20GHz* (4 CPUs), 2.2GHz RAM 4Gb.
- b. Printer Canon Pixma MP237
- c. Perangkat Lunak RTKLIB versi 2.4.2
- d. Perangkat Lunak Topcon Tools versi 7
- e. *Microsoft Word* 2013
- f. *Microsoft Excel* 2013
- g. *Google Earth*
- h. *GPS Dual Frequency*
- i. Tripod
- j. Meteran

III.2 Data Penelitian

Data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari :

a. Data Pengamatan

Data pengamatan GPS diperoleh langsung dari pengukuran menggunakan *receiver* Topcon HIPER II dan *receiver* Topcon HIPER Gb, sementara *base* yang digunakan adalah titik TTG447. Pengukuran dengan metode ini dilakukan sebanyak satu kali untuk setiap tipe titik patok yang digunakan pada penelitian ini, pengamatan akan dilakukan selama kurang lebih 5-7 Jam. Untuk pengolahan data statik akan menggunakan *software* RTKLIB dan Topcon Tools v.7.

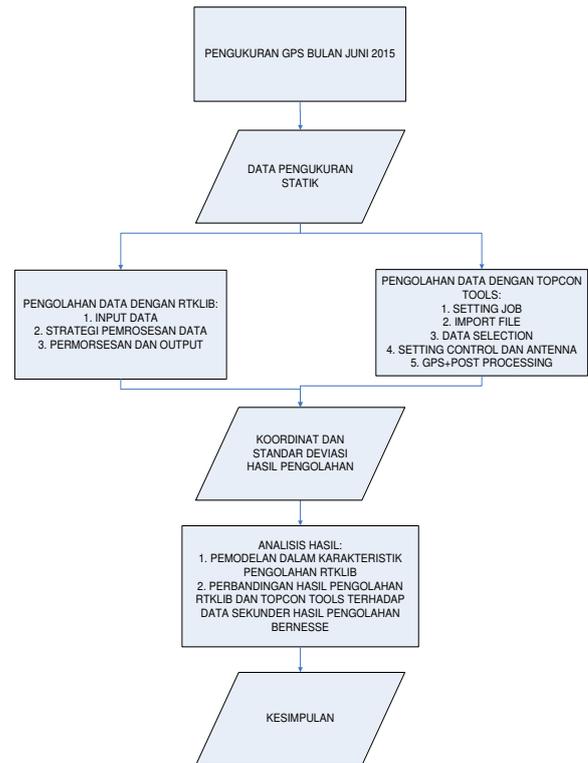
b. Data Pendukung

Data pendukung adalah data-data sekunder yang dilakukan saat pengolahan data. *Software* GAMIT menyediakan fasilitas dimana pengguna secara otomatis dapat melakukan mengunduh data-data sekunder yang dibutuhkan apabila tersambung dengan internet. Adapun jika melakukan mengunduh secara manual adalah sebagai berikut :

- 1) *File IGS ephemeris final orbit*. *File* ini dalam bentuk *.sp3 dan dapat diunduh dari <http://garner.ucsd.edu/pub/products/>.
- 2) *File navigasi*. *File* navigasi ini yang digunakan adalah yang bertipe *brdcDDD0.YYn* (DDD: DOY, YY: tahun) dan dapat diunduh dari <ftp://cddis.gsfc.nasa.gov/gnss/data/daily>.
- 3) Data pendukung lainnya yang digunakan dalam penelitian ini adalah data hasil pengolahan perangkat lunak Bernesse tahun 2008 (sumber: Maiyudi, 2012).

III.3 Metodologi

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah menggunakan metode GPS secara statik selama 5,5-7,5 jam dengan titik base yang digunakan adalah TTG447 serta tujuh titik rover yang digunakan adalah PMAS, ISLA, BM11, SMG03, DRI1, SFCP, dan K370. Diagram alir penelitian dapat dilihat pada *Gambar III.1.* :



Gambar III.1. Diagram Alir Penelitian

III.4 Pengolahan Data

Proses yang dilakukan untuk melakukan pengolahan data adalah :

a. Pengecekan Dengan RTKLIB

Sebelum dilakukan pengolahan data perlu dilakukan pengecekan kualitas data pengamatan terlebih dahulu dalam format RINEX dengan menggunakan aplikasi RTKPLT yang merupakan bagian dari perangkat lunak RTKLIB. Data pengamatan terlebih dahulu dilakukan cek kualitas sebelum diolah dengan *software* RTKLIB. Pengecekan data dilakukan untuk mengetahui waktu mulai dan berakhirnya sebuah pengamatan, nilai *multipath* yang terjadi, interval perekaman, total satelit, dan informasi lainnya.

b. Pengolahan Data Dengan RTKLIB

Secara umum, data pengamatan GPS biasanya akan dipengaruhi oleh kesalahan dan bias yang terkait dengan satelit (kesalahan orbit dan kesalahan jam satelit), *receiver* (kesalahan jam *receiver*, kesalahan pusat antena dan *noise*) dan data pengamatan (*ambiguitas fase*

serta kesalahan dan bias lingkungan sekitar pengamatan GPS). Pada RTKLIB, terdapat beberapa opsi yang dapat dilakukan dalam mengolah data pengamatan GPS secara statik agar didapatkan hasil yang kesalahan dan biasanya dapat tereduksi dengan baik. Pengolahan data pengamatan GPS dengan RTKLIB dilaksanakan melalui 3 tahapan, yaitu tahap *input* data, tahap pengaturan strategi pengolahan, dan tahap pemrosesan dan *output*. Hasil akhir dari pengolahan data pengamatan GPS dengan RTKLIB berupa koordinat hasil titik *rover* beserta nilai standar deviasi titik dan jarak *baseline* dari titik *base* terhadap koordinat *rover*.

c. Pengolahan Data Dengan Topcon Tools

Topcon Tools adalah perangkat lunak yang digunakan untuk mengolah data secara *post-processing*, analisa jaringan dan perataan yang dikeluarkan oleh salah satu perusahaan alat pengukuran Topcon. Topcon Tools adalah produk modular, dimana setiap modul memiliki tujuan khusus yang memungkinkan pengguna untuk menyelesaikan tugas yang berbeda (Topcon, 2009). Pengolahan data pengamatan GPS dengan Topcon Tools dilaksanakan melalui 5 tahapan pengolahan, yaitu *setting job*, *import file*, *data selection*, *setting control* dan *antenna*, dan *GPS+PostProcessing*. Hasil akhir dari pengolahan data pengamatan GPS dengan Topcon Tools berupa koordinat dan standar deviasi beserta *baseline* dan *precision* titik.

IV. Hasil dan Pembahasan

IV.1 Hasil Pengecekan Data dengan RTKLIB

Pada pengecekan kualitas data dengan TEQC yang terdapat pada RTKLIB beberapa parameter hasil pengecekan data pengamatan memenuhi kriteria apabila efek *multipath* MP1 dan MP2 kurang dari 0,5 m. Hasil pengecekan data pengamatan GPS pada penelitian ini dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Titik (DOY)	MP1 (m)	MP2 (m)
TTG447 (165)	0,639739	0,613819
TTG447 (166)	0,616874	0,618993
TTG447 (167)	0,602617	0,699630
ISLA (165)	0,813436	0,831525
PMAS (165)	0,710067	0,788250
SMG03 (166)	0,628750	0,646387
BM11 (166)	0,489602	0,475345
DRI1 (167)	0,440144	0,485634
K370 (167)	1,074119	1,196449
SFCP (167)	0,664204	0,677117
Rata-rata	0,688617	0,728672

Pada Tabel di atas menunjukkan efek *multipath* terjadi pada 7 titik pengamatan. Dimana

nilai *multipath* atau *moving average* pada rata-rata pada MP1 adalah sebesar 0,688617 m di titik statik. Sedangkan rata-rata nilai MP2 sebesar 0,728672 m. Secara keseluruhan nilai MP1 dan MP2 pada data pengamatan titik lebih dari 0,5 m yang artinya terjadi efek *multipath* yang besar pada titik-titik pengamatan.

IV.2 Hasil Pengecekan Kualitas Geometri Satelit dengan RTKLIB

Kualitas dari geometri satelit dapat ditunjukkan dengan melihat besar kecilnya nilai DOP (*Dilution of Precision*) dari RINEX observasi pengamatan. Nilai DOP yang kecil menunjukkan geometri satelit yang kuat (baik), dan nilai DOP yang besar menunjukkan geometri satelit yang lemah (buruk). Kriteria nilai DOP hasil pengecekan data antara lain dapat dilihat pada di bawah ini.

DOP VALUE	Ratings
1	Ideal
2-4	Excellent
4-6	Good
6-8	Moderate
8-20	Fair
20-50	Poor

Hasil cek kualitas data pengamatan GPS pada penelitian ini dapat dilihat pada berikut

Tanggal pengamatan	Rover	GDOP	PDOP	HDOP	VDOP
14/06/2015	TTG447	2.4	2.1	1.0	1.8
14/06/2015	ISLA	2.7	2.3	1.0	2.1
14/06/2015	PMAS	1.8	1.6	0.8	1.4
15/06/2015	TTG447	2.3	2.0	0.9	1.7
15/06/2015	SMG03	2.3	2.0	1.0	1.8
15/06/2015	BM11	1.7	1.5	0.7	1.3
16/06/2015	TTG447	2.2	1.9	0.9	1.7
16/06/2015	DRI1	2.3	2.0	1.0	1.7
16/06/2015	K370	1.8	1.5	0.7	1.3
16/06/2015	SFCP	1.8	1.5	0.8	1.3
	Rata-Rata	2.1	1.8	0.9	1.6

Pada Tabel di atas menunjukkan kualitas data pada 7 titik pengamatan. Dimana rata-rata nilai GDOP adalah sebesar 2,1. Rata-rata nilai PDOP sebesar 1,8. Rata-rata nilai HDOP sebesar 0,9. Rata-rata nilai VDOP sebesar 1,6. Secara keseluruhan nilai DOP pada data pengamatan menunjukkan nilai yang kecil yang artinya geometri satelit pada titik-titik pengamatan baik sekali.

IV.3 Analisis Pemodelan dalam Karakteristik Pengolahan RTKLIB

Dalam pengkoreksian data, dilakukan pengolahan menggunakan beberapa pemodelan koreksi troposfer dan ionosfer yang diharapkan dapat menghasilkan standar deviasi yang baik. Pada RTKLIB, pemodelan yang dipilih untuk pengkoreksian troposfer, yaitu *Saastamoinen*, *ZTD+Grad*, dan *Estimated ZTD*. Sedangkan

pemodelan yang dipilih untuk pengkoreksian ionosfer, yaitu *Broadcast*, *IonoFree LC*, dan *Estimated STEC*. Standar deviasi hasil pemodelan koreksi troposfer dan ionosfer dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

TITIK	KOR TROPOSFER	σ_N (m)	σ_E (m)
SMG03	SAASTAMOINEN	0.0037	0.0054
	ZTD+GRAD	0.0076	0.0093
	EST ZTD	0.0036	0.0059
BM11	SAASTAMOINEN	0.0026	0.0035
	ZTD+GRAD	0.0050	0.0062
	EST ZTD	0.0028	0.0036
DRI1	SAASTAMOINEN	0.0040	0.0046
	ZTD+GRAD	0.0080	0.0065
	EST ZTD	0.0033	0.0052
K370	SAASTAMOINEN	0.0025	0.0032
	ZTD+GRAD	0.0167	0.0160
	EST ZTD	0.0134	0.0153
SFCP	SAASTAMOINEN	0.0039	0.0046
	ZTD+GRAD	0.0051	0.0058
	EST ZTD	0.0049	0.0057
ISLA	SAASTAMOINEN	0.0038	0.0046
	ZTD+GRAD	0.0072	0.0082
	EST ZTD	0.0040	0.0048
PMAS	SAASTAMOINEN	0.0025	0.0031
	ZTD+GRAD	0.0086	0.0112
	EST ZTD	0.0028	0.0032
RATA-RATA	SAASTAMOINEN	0.0033	0.0041
	ZTD+GRAD	0.0083	0.0090
	EST ZTD	0.0050	0.0052

TITIK	KOR IONOSFER	σ_N (m)	σ_E (m)
SMG03	BROADCAST	0.0037	0.0054
	IONO FREE LC	0.0084	0.0129
	EST STEC	0.0095	0.0123
BM11	BROADCAST	0.0026	0.0035
	IONO FREE LC	0.0055	0.0078
	EST STEC	0.0066	0.0090
DRI1	BROADCAST	0.0040	0.0046
	IONO FREE LC	0.0096	0.0116
	EST STEC	0.0155	0.0159
K370	BROADCAST	0.0025	0.0032
	IONO FREE LC	0.0055	0.0072
	EST STEC	0.0067	0.0094
SFCP	BROADCAST	0.0039	0.0046
	IONO FREE LC	0.0098	0.0121
	EST STEC	0.0118	0.0146
ISLA	BROADCAST	0.0038	0.0046
	IONO FREE LC	0.0112	0.0117
	EST STEC	0.0142	0.0216
PMAS	BROADCAST	0.0025	0.0031
	IONO FREE LC	0.0128	0.0150
	EST STEC	0.0235	0.0455
RATA-RATA	BROADCAST	0.0033	0.0041
	IONO FREE LC	0.0090	0.0112
	EST STEC	0.0125	0.0183

Pada Tabel pertama menunjukkan standar deviasi hasil pemodelan koreksi troposfer. Dimana rata-rata nilai σ_E dan σ_N untuk pemodelan *Saastamoinen* sebesar 0,0041 n dan 0,0033 m. Rata-rata nilai σ_E dan σ_N untuk pemodelan ZTD+GRAD sebesar 0,0090 m dan 0,0083 m. Rata-rata nilai σ_E dan σ_N untuk pemodelan EST ZTD sebesar 0,0052 m dan 0,0050 m. Secara keseluruhan nilai standar deviasi terbaik dihasilkan oleh pengolahan RTKLIB

menggunakan pemodelan koreksi troposfer *Saastamoinen*.

Pada Tabel kedua menunjukkan standar deviasi hasil pemodelan koreksi ionosfer. Dimana rata-rata nilai σ_E dan σ_N untuk pemodelan *Broadcast* sebesar 0,0041 n dan 0,0033 m. Rata-rata nilai σ_E dan σ_N untuk pemodelan IonoFree LC sebesar 0,0112 m dan 0,0090 m. Rata-rata nilai σ_E dan σ_N untuk pemodelan ESTIMATED STEC sebesar 0,0183 m dan 0,0125 m. Secara keseluruhan nilai standar deviasi terbaik dihasilkan oleh pengolahan RTKLIB menggunakan pemodelan koreksi ionosfer *Broadcast*.

Kedua pemodelan ini menghasilkan standar deviasi terbaik dikarenakan baseline yang diolah adalah baseline pendek < 10 km sehingga kondisi atmosfer di lokasi pengamatan dapat dianggap sama, dengan demikian pengaruh bias atmosfer di lokasi pengamatan dapat diasumsikan seragam. Sehingga pemodelan standar di atas dapat menghasilkan standar deviasi terbaik untuk titik-titik pengamatan diatas.

IV.4 Analisis Baseline Hasil Pengolahan Menggunakan RTKLIB dan Topcon Tools

Pada penelitian ini, data *baseline* GPS yang diolah adalah *baseline* yang dihasilkan dari dengan metode statik *moda* Radial yang merupakan suatu model perataan *baseline* yang berasal dari posisi relatif terhadap satu titik sebagai *base*. Berikut ini merupakan tabel hasil pengolahan data *baseline* menggunakan perangkat lunak RTKLIB dan Topcon Tools.

TITIK	TITIK	Baseline	RTKLIB			Topcon Tools			Selisih			dL (m)
BASE	ROVER	(km)	dX (m)	dY (m)	dZ (m)	dX (m)	dY (m)	dZ (m)	dX (m)	dY (m)	dZ (m)	
TTG447	SMG03	7.153	-2243.208	-1586.853	-6604.321	-2243.152	-1586.912	-6604.203	-0.056	0.059	-0.118	0.1433
TTG447	BM11	7.978	-2309.413	-1721.133	-7440.570	-2309.388	-1721.219	-7440.487	-0.025	0.086	-0.083	0.1224
TTG447	DRI1	6.051	647.672	-432.219	-6001.223	647.713	-432.362	-6001.111	-0.041	0.143	-0.111	0.1858
TTG447	K370	6.674	-2905.099	-1722.980	-5756.535	-2905.086	-1722.655	-5756.564	-0.013	-0.325	0.029	0.3267
TTG447	SFCP	4.473	998.656	-62.445	-4153.832	998.577	-62.211	-4153.823	0.079	-0.234	-0.009	0.2475
TTG447	ISLA	8.597	-4284.409	-739.354	7416.310	-4284.404	-739.330	7416.292	-0.005	-0.024	0.018	0.0310
TTG447	PMAS	8.538	758.504	-713.712	-8474.055	758.478	-713.681	-8474.006	0.026	-0.031	-0.049	0.0640
jumlah											1.1207	
nilai rata-rata											0.1601	
selisih baseline terbesar											0.3267	
selisih baseline terkecil											0.0310	

Pada Tabel di atas menunjukkan hasil pengolahan *baseline* menggunakan perangkat lunak RTKLIB dan Topcon Tools. Dimana *baseline* terpanjang berada pada titik TTG447-ISLA dengan jarak 8.597 km dan *baseline* terpendek berada pada titik TTG447-SFCP dengan jarak 4.473 km. Nilai rata-rata pada selisih *baseline* adalah 0.1601 m. Selisih *baseline* terbesar adalah 0.3267 m yang berada di titik TTG447-K370, sedangkan selisih *baseline* terkecil yaitu 0.0310 m pada titik TTG447-ISLA.

Dari pengolahan *baseline* diatas, dapat disimpulkan bahwa untuk pengolahan titik-titik pengamatan pada penelitian ini didapatkan selisih *baseline* antara hasil pengolahan menggunakan perangkat lunak RTKLIB terhadap Topcon Tools memiliki rata-rata sebesar 0.1601 m.

IV.5 Analisis Ketelitian Hasil Pengolahan Menggunakan RTKLIB dan Topcon Tools

Static merupakan penentuan suatu posisi yang hasilnya diperoleh dengan melalui perhitungan secara *post processing*. Pengolahan data GPS dilakukan menggunakan perangkat lunak RTKLIB dan TOPCON TOOLS. Pengukuran dilakukan pada 14 Juni 2015 sampai tanggal 16 Juni 2015. Metode pengolahan *baseline* yang dilakukan adalah metode radial. Dalam penelitian ini hasil pengolahan yang diperoleh berupa *Latitude*, *Longitude*, dan *Elevation* serta standar deviasi titik-titik pengamatan yang kemudian ditransformasikan menjadi koordinat UTM. Data koordinat dan standar deviasi hasil pengolahan data pengukuran dapat dilihat pada Tabel dibawah ini.

Tabel IV.7. Data Koordinat Geodetik Titik Menggunakan RTKLIB

Nama Titik	Koordinat		
	Lintang	Bujur	Tinggi (m)
PMAS	6° 56' 47.6064" S	110° 25' 28.9514" E	27.9986
ISLA	6° 57' 22.2980" S	110° 27' 33.1145" E	26.8601
SMG03	6° 57' 48.9234" S	110° 23' 47.3834" E	27.5931
BM11	6° 57' 21.4968" S	110° 23' 43.8369" E	28.2780
DR11	6° 58' 08.7029" S	110° 25' 28.7680" E	27.3079
K370	6° 58' 16.7241" S	110° 23' 25.6260" E	28.1285
SFCP	6° 59' 09.2803" S	110° 25' 43.6881" E	29.3617

Tabel IV.8. Data Koordinat UTM dan Standar Deviasi Titik Menggunakan RTKLIB

Nama Titik	Koordinat (m)		Standar Deviasi (m)	
	Easting (UTM)	Northing (UTM)	σ_N	σ_E
PMAS	436450.2491	9232120.4431	0.0025	0.0037
ISLA	440261.4961	9231059.5994	0.0041	0.0049
SMG03	433335.9375	9230233.5821	0.0040	0.0053
BM11	433226.0362	9231075.6850	0.0045	0.0059
DR11	436447.6431	9229630.0578	0.0028	0.0040
K370	432669.4173	9229378.9925	0.0036	0.0053
SFCP	436907.7095	9227770.3500	0.0041	0.0051

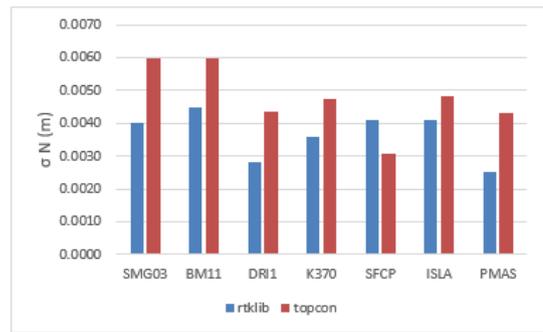
Tabel IV.9. Data Koordinat Geodetik Titik Menggunakan Topcon Tools

Nama Titik	Koordinat		
	Lintang	Bujur	Tinggi (m)
PMAS	6° 56' 47.6082" S	110° 25' 28.9510" E	27.9660
ISLA	6° 57' 22.2985" S	110° 27' 33.1141" E	26.8830
SMG03	6° 57' 48.9271" S	110° 23' 47.3840" E	27.6660
BM11	6° 57' 21.4991" S	110° 23' 43.8367" E	28.3770
DR11	6° 58' 08.7059" S	110° 25' 28.7676" E	27.4680
K370	6° 58' 16.7243" S	110° 23' 25.6301" E	27.8260
SFCP	6° 59' 09.2816" S	110° 25' 43.6884" E	29.1180

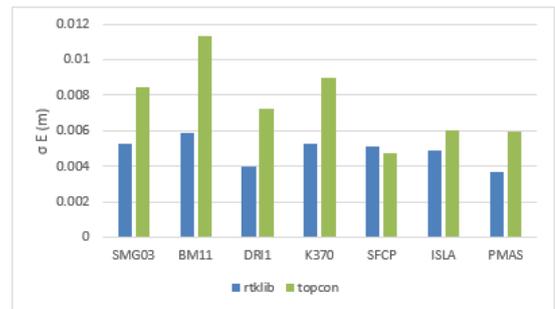
Tabel IV.10. Data Koordinat UTM dan Standar Deviasi Titik Menggunakan Topcon Tools

Nama Titik	Koordinat (m)		Standar Deviasi (m)	
	Easting (UTM)	Northing (UTM)	σ_N	σ_E
PMAS	436450.2292	9232120.3875	0.0043	0.0059
ISLA	440261.4832	9231059.5815	0.0048	0.0060
SMG03	433335.9582	9230233.6623	0.0060	0.0084
BM11	433226.0307	9231075.6140	0.0060	0.0113
DR11	436447.6322	9229629.9635	0.0044	0.0072
K370	432669.5413	9229378.9853	0.0047	0.0090
SFCP	436907.7187	9227770.3125	0.0031	0.0047

Standar deviasi dari masing-masing pengolahan kemudian dibandingkan untuk mengetahui standar deviasi dengan ketelitian yang lebih baik. Berikut ini merupakan grafik standar deviasi antara hasil pengolahan RTLIB dan Topcon Tools.



Gambar IV.7. Grafik Perbedaan σ_N pada RTKLIB dan Topcon Tools



Gambar IV.8. Grafik Perbedaan σ_E pada RTKLIB dan Topcon Tools

Selisih standar deviasi antara hasil pengolahan RTLIB dan Topcon Tools dapat dilihat pada Tabel IV.11.

Tabel IV.11. Selisih Standar Deviasi RTKLIB dan Topcon Tools

Titik	σ_N rtklib	σ_N topcon	$\Delta\sigma_N$	σ_E rtklib	σ_E topcon	$\Delta\sigma_E$
SMG03	0.0040	0.0060	-0.0020	0.0053	0.0084	-0.0031
BM11	0.0045	0.0060	-0.0015	0.0059	0.0113	-0.0054
DR11	0.0028	0.0044	-0.0016	0.0040	0.0072	-0.0032
K370	0.0036	0.0047	-0.0011	0.0053	0.0090	-0.0037
SFCP	0.0041	0.0031	0.0010	0.0051	0.0047	0.0004
ISLA	0.0041	0.0048	-0.0007	0.0049	0.0060	-0.0011
PMAS	0.0025	0.0043	-0.0018	0.0037	0.0059	-0.0022
Rata-rata			-0.0011			-0.0026

Pada Tabel IV.11. menunjukkan standar deviasi hasil pengolahan RTKLIB dan Topcon Tools. Dimana hampir di semua titik pengamatan, σ_N dan σ_E hasil pengolahan RTKLIB lebih baik dibandingkan dengan σ_N dan σ_E hasil pengolahan Topcon Tools ditunjukkan dengan grafik di atas. Hanya di titik SFCP saja nilai σ_N dan σ_E Topcon Tools lebih baik. Rata-rata selisih σ_N dan σ_E RTKLIB dan Topcon Tools adalah -0,0011 m dan -0,0026 m. Secara keseluruhan, pengolahan menggunakan RTKLIB menghasilkan nilai standar deviasi yang lebih baik dibandingkan pengolahan menggunakan Topcon Tools.

IV.6 Analisis Perbandingan Hasil Pengolahan RTKLIB dan Topcon Tools Terhadap BERNESSE

Dari hasil pengolahan data menggunakan RTKLIB dan pengolahan data menggunakan Topcon Tools didapatkan koordinat posisi dan standar deviasi tiap titik penelitian. Berdasarkan koordinat posisi

tersebut kemudian dihitung selisih koordinat dan standar deviasi tiap titik. Sebagai titik acuan adalah hasil pengolahan titik menggunakan Bernesse tahun 2008. Data koordinat dan standar deviasi hasil pengukurannya dapat dilihat pada Tabel berikut ini.

Nama Titik	Koordinat (m)		Standar Deviasi (m)	
	Easting (UTM)	Northing (UTM)	σ_N	σ_E
PMAS	436450.2370	9232120.4300	0.0003	0.0004
ISLA	440261.4870	9231059.6200	0.0003	0.0004
SMG03	433335.8970	9230233.5160	0.0003	0.0004
BM11	433225.9940	9231075.6670	0.0005	0.0007
DRI1	436447.6610	9229630.0150	0.0003	0.0006
K370	432669.4300	9229379.0110	0.0002	0.0004
SFCP	436907.6960	9227770.2990	0.0003	0.0006

(Sumber: Maiyudi, 2012)

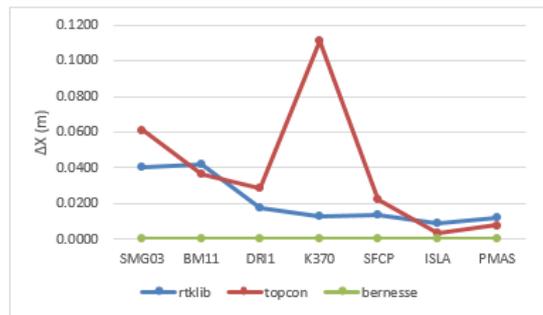
Analisis perbandingan koordinat hasil pengolahan pada penelitian ini yaitu membandingkan masing-masing nilai koordinat titik penelitian yaitu koordinat hasil pengolahan RTKLIB dan koordinat hasil pengolahan Topcon Tools terhadap nilai koordinat yang dianggap benar, dimana koordinat yang dianggap benar adalah koordinat hasil pengolahan Bernesse terhadap titik pengamatan tahun 2008 seperti yang tercantum pada Tabel di atas.

Berikut ini merupakan tabel selisih koordinat hasil pengolahan RTKLIB dan koordinat hasil pengolahan Topcon Tools terhadap koordinat hasil pengolahan Bernesse.

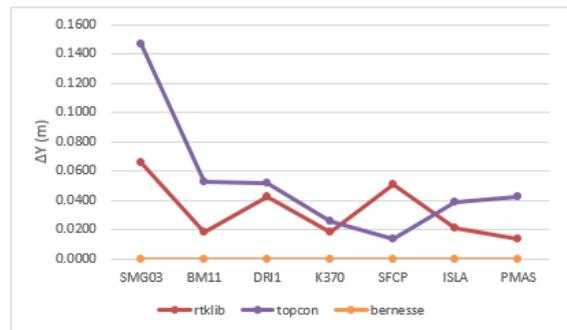
TITIK	X Bernesse (m)	X RTKLIB (m)	$ \Delta X $ (m)	Y Bernesse (m)	Y RTKLIB (m)	$ \Delta Y $ (m)
SMG03	433335.8970	433335.9375	0.0405	9230233.5160	9230233.5821	0.0661
BM11	433225.9940	433226.0362	0.0422	9231075.6670	9231075.6850	0.0180
DRI1	436447.6610	436447.6431	0.0179	9229630.0150	9229630.0578	0.0428
K370	432669.4300	432669.4173	0.0127	9229379.0110	9229378.9925	0.0185
SFCP	436907.6960	436907.7095	0.0135	9227770.2990	9227770.3500	0.0510
ISLA	440261.4870	440261.4961	0.0091	9231059.6200	9231059.5994	0.0206
PMAS	436450.2370	436450.2491	0.0121	9232120.4300	9232120.4431	0.0131
Rata-rata			0.0211			0.0329

TITIK	X Bernesse (m)	X Topcon (m)	$ \Delta X $ (m)	Y Bernesse (m)	Y Topcon (m)	$ \Delta Y $ (m)
SMG03	433335.8970	433335.9582	0.0612	9230233.5160	9230233.6623	0.1463
BM11	433225.9940	433226.0307	0.0367	9231075.6670	9231075.6140	0.0530
DRI1	436447.6610	436447.6322	0.0288	9229630.0150	9229629.9635	0.0515
K370	432669.4300	432669.5413	0.1113	9229379.0110	9229378.9853	0.0257
SFCP	436907.6960	436907.7187	0.0227	9227770.2990	9227770.3125	0.0135
ISLA	440261.4870	440261.4832	0.0038	9231059.6200	9231059.5815	0.0385
PMAS	436450.2370	436450.2292	0.0078	9232120.4300	9232120.3875	0.0425
Rata-rata			0.0358			0.0532

Berdasarkan selisih koordinat hasil pengolahan di atas diketahui bahwa nilai ΔX dan ΔY terkecil untuk pengolahan RTKLIB yaitu 0,0091 m dan 0,0131 m. Sedangkan nilai ΔX dan ΔY terbesar yaitu 0,0422 m 0,0661 m. Untuk pengolahan Topcon Tools, nilai ΔX dan ΔY terkecil yaitu 0,0038 m dan 0,0135 m. Sedangkan nilai ΔX dan ΔY terbesar yaitu 0,1113 m dan 0,1463 m. Harga nilai ΔX dan ΔY hasil pengolahan tersebut di mutlak agar diketahui selisih koordinat Real. Grafik selisih koordinat hasil pengolahan dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar IV.9. Grafik ΔX RTKLIB dan Topcon Tools terhadap Bernesse



Gambar IV.10. Grafik ΔY RTKLIB dan Topcon Tools terhadap Bernesse

Nilai ΔX dan ΔY pada gambar di atas menunjukkan bahwa koordinat RTKLIB yang paling mendekati koordinat Bernesse dibandingkan dengan Topcon Tools. Jadi dari hasil perhitungan selisih nilai koordinat untuk titik-titik pengamatan di atas dapat ditarik kesimpulan bahwa pengolahan data GPS menggunakan perangkat lunak RTKLIB menghasilkan ketelitian nilai koordinat yang lebih baik.

Analisis perbandingan standar deviasi hasil pengolahan pada penelitian ini yaitu membandingkan masing-masing nilai standar deviasi titik penelitian yaitu standar deviasi hasil pengolahan RTKLIB dan standar deviasi hasil pengolahan Topcon Tools terhadap nilai standar deviasi yang dianggap benar, dimana koordinat yang dianggap benar adalah koordinat hasil pengolahan Bernesse terhadap titik pengamatan tahun 2008 seperti yang tercantum pada Tabel IV.12.

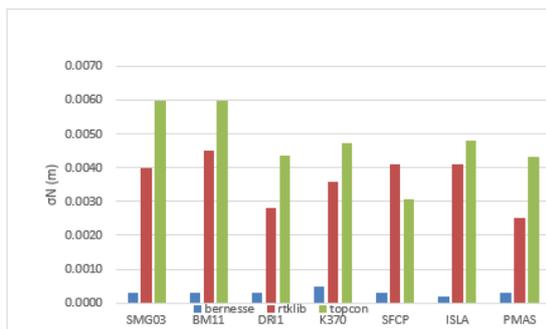
Berikut ini merupakan tabel standar deviasi hasil pengolahan RTKLIB dan standar deviasi hasil pengolahan Topcon Tools terhadap standar deviasi hasil pengolahan Bernesse.

Tabel IV.15. Standar Deviasi Hasil Pengolahan RTKLIB dan Topcon Tools Terhadap Bernesse

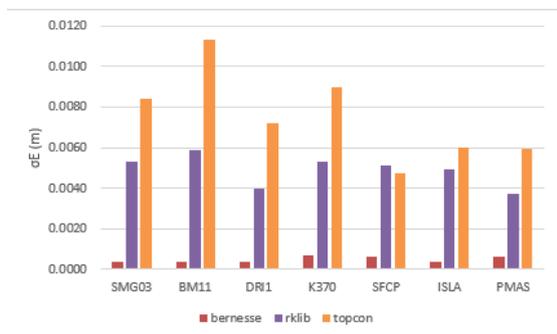
TITIK	σN (m)			σE (m)		
	bernesse	rtklib	topcon	bernesse	rtklib	topcon
SMG03	0.0003	0.0040	0.0060	0.0004	0.0053	0.0084
BM11	0.0003	0.0045	0.0060	0.0004	0.0059	0.0113
DRI1	0.0003	0.0028	0.0044	0.0004	0.0040	0.0072
K370	0.0005	0.0036	0.0047	0.0007	0.0053	0.0090
SFCP	0.0003	0.0041	0.0031	0.0006	0.0051	0.0047
ISLA	0.0002	0.0041	0.0048	0.0004	0.0049	0.0060
PMAS	0.0003	0.0025	0.0043	0.0006	0.0037	0.0059

Berdasarkan standar deviasi hasil pengolahan di atas (Tabel IV.15) diketahui bahwa nilai σN dan σE terkecil untuk pengolahan RTKLIB yaitu 0,0025 m dan 0,0037 m pada titik PMAS. Sedangkan nilai σN dan σE terbesar yaitu 0,0045 m 0,0059 m pada titik BM11. Untuk pengolahan Topcon Tools, nilai σN dan σE terkecil yaitu 0,0031 m dan 0,0047 m pada titik SFCP. Sedangkan nilai σN dan σE terbesar yaitu 0,0060 m dan 0,0113 m pada titik BM11.

Grafik standar deviasi hasil pengolahan RTKLIB dan Topcon Tools terhadap Bernesse dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar IV.11. Grafik σN RTKLIB dan Topcon Tools terhadap Bernesse



Gambar IV.12. Grafik σE RTKLIB dan Topcon Tools terhadap Bernesse

Nilai σN dan σE pada gambar di atas menunjukkan bahwa standar deviasi RTKLIB yang paling mendekati standar deviasi Bernesse dibandingkan dengan Topcon Tools. Jadi dari hasil pengolahan untuk titik-titik pengamatan di atas dapat ditarik kesimpulan bahwa pengolahan data GPS menggunakan perangkat lunak RTKLIB menghasilkan ketelitian nilai standar deviasi yang lebih baik.

IV.7 Uji F (Distribusi Fisher)

Dalam pengujian data menggunakan distribusi *fisher* disini ingin membandingkan pengaruh pengolahan data GPS dalam hasil *horizontal precision*nya dengan tingkat kepercayaan 95% ($\alpha = 0,05$). Apabila F-hitungan berada pada batas atas dan bawah dari nilai f-tabel ($F_{1-\alpha, v1, v2} < \frac{\sigma x1}{\sigma x2} < F_{\alpha, v1, v2}$)

menunjukkan bahwa parameter yang diuji mempunyai tidak perbedaan yang signifikan. Akan tetapi apabila nilai F-hitungan tidak berada pada batas atas dan bawah F-hitung berarti parameter yang diuji mempunyai perbedaan yang signifikan (Wolf, 1997).

Horizontal Precision RTKLIB dan Topcon Tools disajikan pada Tabel berikut.

Titik	RTKLIB	Topcon Tools
	Hor.Precision	Hor.Precision
SMG03	0.006640030	0.01032985
BM11	0.007420243	0.01282064
DRI1	0.004882622	0.00842578
K370	0.006407027	0.01014537
SFCP	0.006543699	0.00564734
ISLA	0.006389053	0.00770561
PMAS	0.004465423	0.00735068
Rata-Rata	0.006106871	0.00891790

Berdasarkan Tabel tersebut, didapatkan nilai F-hitungan sebesar 0,37303 dengan batas bawah dan batas atas F-tabel masing-masing sebesar 0,26385 dan 3,79. Sehingga nilai F-hitung berada pada batas bawah dan atas F-tabel ($0,26385 < 0,37303 < 3,79$).

Horizontal Precision RTKLIB dan Bernesse disajikan pada Tabel berikut.

Titik	RTKLIB	Bernesse
	Hor.Precision	Hor.Precision
SMG03	0.006640030	0.000500000
BM11	0.007420243	0.000500000
DRI1	0.004882622	0.000500000
K370	0.006407027	0.000860233
SFCP	0.006543699	0.000670820
ISLA	0.006389053	0.000447214
PMAS	0.004465423	0.000670820
Rata-Rata	0.006106871	0.000592727

Berdasarkan Tabel tersebut, didapatkan nilai F-hitungan sebesar 106,15208 dengan batas bawah dan batas atas F-tabel masing-masing sebesar 0,26385 dan 3,79. Sehingga nilai F-hitung berada diluar batas bawah dan atas F-tabel ($0,26385 < 106,15208 < 3,79$).

Horizontal Precision Topcon Tools dan Bernesse disajikan pada Tabel berikut.

Titik	Topcon Tools	Bernesse
	Hor.Precision	Hor.Precision
SMG03	0.010329850	0.000500000
BM11	0.012820644	0.000500000
DRI1	0.008425776	0.000500000
K370	0.010145368	0.000860233
SFCP	0.005647345	0.000670820
ISLA	0.007705615	0.000447214
PMAS	0.007350680	0.000670820
Rata-Rata	0.008917897	0.000592727

Berdasarkan Tabel tersebut, didapatkan nilai F-hitungan sebesar 226,36845 dengan batas bawah dan batas atas F-tabel masing-masing sebesar 0,26385 dan 3,79. Sehingga nilai F-hitung berada diluar batas bawah dan atas F-tabel ($0,26385 < 226,36845 < 3,79$).

Dilihat uji statistik data pengukuran menggunakan distribusi *fisher* dapat disimpulkan bahwa hipotesis nol dengan selang kepercayaan 95% diterima, yang berarti tidak ada perbedaan yang signifikan antara hasil pengolahan RTKLIB dan Topcon Tools. Sedangkan untuk pengolahan data RTKLIB terhadap Bernesse dan pengolahan data Topcon Tools terhadap Bernesse memiliki perbedaan yang signifikan.

V. Penutup

V.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengolahan dan analisis hasil data penelitian yang telah dilaksanakan, maka dapat diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Pemodelan koreksi troposfer *Saastamoinen* dan pemodelan koreksi ionosfer *Broadcast* menghasilkan standar deviasi terbaik untuk titik-titik pengamatan dalam penelitian ini dengan rata-rata nilai σE dan σN sebesar $\pm 0,0041$ m dan $\pm 0,0033$ m, dikarenakan baseline yang diolah adalah baseline pendek < 10 km sehingga kondisi atmosfer di lokasi pengamatan dapat dianggap sama.
2. Pada pengolahan data GPS, selisih nilai σN dan σE yang dihasilkan antara RTKLIB dan Topcon Tools memiliki rata-rata sebesar -0,0011 m dan -0,0026 m dimana RTKLIB memiliki ketelitian standar deviasi yang lebih baik.
3. Pada perbandingan koordinat dan standar deviasi hasil pengolahan RTKLIB dan Topcon Tools terhadap Bernesse, didapatkan bahwa koordinat dan standar deviasi hasil pengolahan RTKLIB paling mendekati koordinat dan standar deviasi hasil pengolahan Bernesse dengan rata-rata selisih ΔX dan ΔY terkecil yaitu 0,0091 m dan 0,0131 m. Berdasarkan hasil uji statistik dengan selang kepercayaan 95%, disimpulkan bahwa tidak ada perbedaan

yang signifikan antara hasil pengolahan RTKLIB dan Topcon Tools, sedangkan untuk hasil pengolahan RTKLIB dan Bernesse serta hasil pengolahan Topcon Tools dan Bernesse terdapat perbedaan yang signifikan.

V.2 Saran

Beberapa saran yang diberikan untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Pada saat proses pengolahan RTKLIB, sebaiknya mencermati dalam memilih strategi pemrosesan data agar mendapatkan ketelitian hasil yang maksimal.
2. Untuk penelitian selanjutnya, agar dapat membandingkan pengolahan deformasi lempeng bumi menggunakan RTKLIB dengan pengolahan menggunakan perangkat lunak lainnya.
3. Untuk penelitian selanjutnya, hasil pengolahan RTKLIB dapat dibandingkan dengan perangkat lunak ilmiah seperti GAMIT.
4. Untuk penelitian selanjutnya, agar dapat melakukan pengolahan Real Time Kinematik menggunakan RTKLIB.

VI. Daftar Pustaka

Abidin, H.Z. 2007. *Penentuan Posisi dengan GPS dan Aplikasinya*. Pradnya Paramita: Jakarta

Kuncoro, H. 2012. Analisis metode GPS Kinematik menggunakan perangkat lunak RTKLIB. *Tugas Akhir*. Teknik Geodesi dan Geomatika Institut Teknologi Bandung: Bandung.

Langley, R.B., 1999. *Dilution of Precision*, GPS World, 10 (5), 52-59. North Coast Media: New York.

Maiyudi, R. 2012. Studi Penyebab dan Identifikasi Dampak Penurunan Tanah di Wilayah Semarang. *Tugas Akhir*. Teknik Geodesi dan Geomatika Institut Teknologi Bandung: Bandung.

Takasu, T. 2011. RTKLIB ver. 2.4.1 Manual. Tokyo. Topcon. 2009. *Topcon Tools Reference Manual*. Topcon Positioning System, Inc.: Canada.

Wolf, Paul R., dan Ghilani. 1997. *Adjustment Computations*. John Willey and Sons, Inc.: New York.