

Pengujian Kepresisian Modul GNSS Murah *Dual Frequency* Pada Pengamatan GNSS Dengan Metode RTK-NTRIP

EFRILA AJI RATNAWATI, HENRI KUNCORO

Jurusan Teknik Geodesi
FTSP – Institut Teknologi Nasional, Bandung

Email: efrilaa@gmail.com

ABSTRAK

GNSS berkembang dengan pesat seiring berkembangnya zaman. Dominasi dari receiver GNSS tipe geodetik memiliki kekurangan, yaitu terkait permasalahan biaya (cost issue) yang tinggi. Permasalahan biaya tersebut dapat diatasi dengan pengembangan Original Equipment Manufacturer boards (OEM-boards) yang memerlukan biaya murah untuk menjadi modul GNSS yang bisa digunakan untuk pengukuran RTK-NTRIP. Penelitian ini bertujuan menguji tingkat kepresisian dari modul GNSS murah dual frequency untuk pengukuran metode RTK-NTRIP dengan panjang baseline 0,1 km, 2 km, 10 km, dan 20 km. Pengukuran dilakukan berdasarkan New International Standard ISO 17123-8:2015 yang terdiri dalam tiga tahap, yaitu pengukuran menggunakan receiver GPS geodetik metode statik, pengukuran menggunakan modul GNSS murah dual frequency, dan pengukuran menggunakan receiver geodetik metode RTK-NTRIP. Kepresisian ditentukan berdasarkan simpangan baku horizontal dan vertikal, diuji menggunakan Simplified Test Procedure. Tingkat kepresisian yang dihasilkan modul GNSS murah tergolong tinggi, untuk komponen horizontal berkisar antara 8 mm s.d. 3 cm dan vertikal antara 7 mm s.d. 3 dm. Nilai kepresisian horizontal telah memenuhi standar yang ditetapkan oleh New International Standard ISO 17123-8:2015, sedangkan komponen vertikal tingkat kepresisiannya terbatas pada baseline kurang dari 10 km.

Kata kunci: Panjang baseline, modul GNSS murah; tingkat kepresisian

ABSTRACT

GNSS was a technology that grows rapidly. Unfortunately, most of geodetic GNSS receivers had disadvantages related to the cost issue. Original Equipment Manufacturer boards (OEM-boards) could be developed as low cost GNSS modules which is used for RTK-NTRIP measurements to overcome the cost problem. This research was objected to measure the level of precision from dual-frequency GNSS modules of the RTK-NTRIP method, tested on baselines with 0.1 km, 2 km, 10 km, and 20 km length Based on New International Standard ISO 17123-8: 2015 measurements were established with three stages, static measurement with geodetic GPS receiver, measurement with cheap dual-frequency GNSS modules, and RTK-NTRIP measurements with geodetic GPS receiver. Precision was determined based on horizontal and vertical standard deviation and tested using the Simplified Test Procedure. It was founded that low cost GNSS modules could achieved the the high-level precision, 8 mm to 3 cm for horizontal component and 7 mm to 3 dm for the vertical. Horizontal precision had reached the New International Standard ISO 17123-8: 2015, while the vertical precision still could be reached the standard with limitation, i.e. for baselines with less 10 kilometers length.

Keywords: baseline length, low cost GNSS modules, level of precision

1. PENDAHULUAN

Peningkatan jumlah perangkat pengguna GNSS untuk keperluan pemetaan tentunya harus diimbangi dengan kemampuan perangkat untuk menghasilkan tingkat kepresisian posisi yang baik, salah satunya adalah dipengaruhi oleh tipe *receiver*. Tipe *receiver* GNSS untuk keperluan pemetaan didominasi oleh tipe geodetik baik *single* ataupun *dual frequency* (GSA, 2018). Namun, dominasi dari *receiver* GNSS tipe geodetik tersebut memiliki kekurangan, yaitu terkait permasalahan biaya yang tinggi (Schwieger dan Gläser, 2005). Permasalahan biaya tersebut dapat diatasi dengan pengembangan *Original Equipment Manufacturer boards* (OEM-boards) yang hanya memerlukan biaya €200-300 menjadi modul GNSS murah (Dabove dan Manzino, 2014).

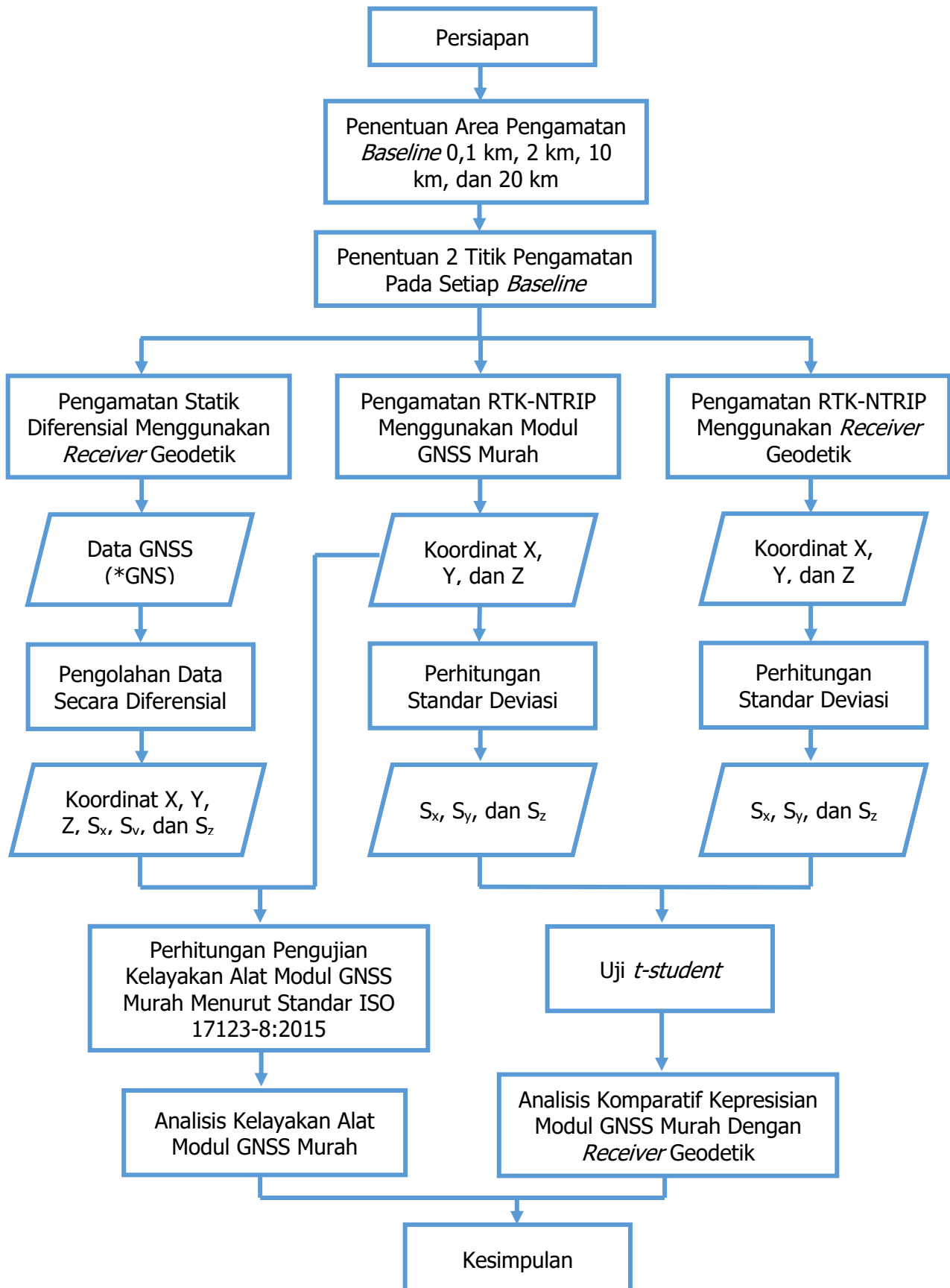
Modul GNSS murah memungkinkan untuk dilakukan pengukuran penentuan posisi dengan banyak metode karena sudah memiliki spesifikasi dan fitur yang sudah memadai. Salah satu metode penentuan posisi yang sering diaplikasikan dari modul GNSS murah adalah RTK-NTRIP. Saat ini keperluan penentuan posisi yang *real-time* menggunakan metode RTK dapat diakses secara terbuka dan dimanfaatkan secara luas untuk keperluan pemetaan, yaitu dengan adanya layanan dari Jaringan *Indonesian Continuously Operating Reference Station* (InaCORS) milik Badan Informasi Geospasial (BIG, 2018) atau Jaringan Referensi Satelit Pertanian (JRSP) milik Badan Pertanahan Nasional (BPN).

Pemanfaatan InaCORS milik Badan Informasi Geospasial dalam keperluan penentuan posisi *real time* menggunakan metode RTK-NTRIP GNSS yang dapat diakses secara terbuka memungkinkan penentuan posisi dengan tingkat presisi yang tinggi tidak lagi sulit dicapai. Tetapi, melihat penggunaan dalam pekerjaan atau penelitian terkait modul GNSS murah untuk penentuan posisi secara RTK masih banyak digunakan modul GNSS murah *single frequency* dan sekedar langsung digunakan tanpa mengetahui secara riil kepresisian yang dihasilkan apabila dilakukan pada variasi beberapa jarak pengukuran dari *base station* RTK. Meskipun dari pabrikan modul GNSS murah mencantumkan tingkat kepresisian posisi (horizontal dan vertikal) berdasarkan jarak dengan *base station* RTK, tetapi melakukan pengujian secara langsung dan mengikuti standar pengujian yang telah ditetapkan merupakan langkah terbaik untuk melihat realitas kemampuan modul GNSS murah untuk penentuan posisi secara RTK.

Penelitian ini bertujuan untuk menguji tingkat kepresisian dari modul GNSS murah *dual frequency* untuk pengukuran metode RTK-NTRIP dengan panjang *baseline* 0,1 km, 2 km, 10 km, dan 20 km. Dengan mengetahui tingkat kepresisian modul GNSS murah maka dapat dimanfaatkan untuk keperluan geodesi atau pemetaan yang menuntut kepresisian tinggi seperti survei GNSS, navigasi presisi, pertanian presisi, ataupun pengukuran *Ground Control Point* (GCP) dalam pemotretan udara dengan UAV. Batasan-batasan yang diterapkan dalam penelitian ini di antaranya adalah: jenis pengukuran RTK-NTRIP memanfaatkan *single-base correction* dari layanan InaCORS, provider sinyal internet yang digunakan adalah Telkomsel, penentuan panjang maksimum *baseline* mengacu ke penelitian Tominaga, dkk. (2004), prosedur pengukuran RTK GNSS mengacu ke *New International Standard* ISO 17123-8:2015 (Heister, 2008; Zrinjski dkk., 2016), dan satelit GNSS yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah GPS, GLONASS, dan BeiDu.

2. METODOLOGI

Metodologi yang akan digunakan pada penelitian mengenai pengujian kepresisian modul GNSS murah *dual frequency* pada pengamatan GNSS dengan metode RTK-NTRIP dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Metodologi Penelitian

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data hasil dari pengukuran yang dilakukan dengan pengamatan GNSS secara statik diferensial selama satu jam dan secara RTK-NTRIP. Data yang diperoleh dari pengukuran tersebut merupakan *raw data* pengamatan GNSS geodetik dengan format .GNS yang kemudian dikonversi ke format .RINEX sehingga dapat dilakukan *post processing* dan koordinat hasil pengukuran secara RTK-NTRIP menggunakan GNSS geodetik dan Modul GNSS murah *dual frequency* di titik yang akan diukur koordinatnya. Sampel data .RINEX dapat dilihat pada Gambar 2 dan data koordinat hasil pengukuran RTK-NTRIP dapat dilihat pada Tabel 1.

```

B4R2.19o - Notepad
File Edit Format View Help
3.02 OBSERVATION DATA M (MIXED) RINEX VERSION / TYPE
BLANK OR G = GPS, R = GLONASS, C = BDS, E = GAL, M = MIXED COMMENT
HGO 7? 20190529 042418 UTC PGM / RUN BY / DATE
B4R2 MARKER NAME
MARKER NUMBER
whoever 7? OBSERVER / AGENCY
10227137 HD-V30 REC # / TYPE / VERS
1 V30 ANT # / TYPE
-1925579.0131 6036204.9457 -734902.2658 APPROX POSITION XYZ
-----
*** Antenna height is from mark to ANTENNA Phase Center. COMMENT
-----
1.7183 0.0000 0.0000 ANTENNA: DELTA H/E/N
G 6 C1C C2W L1C L2W S1C S2W SYS / # / OBS TYPES
R 12 C1C C1P C2P C2C L1C L1P L2P L2C S1C S1P S2P S2C SYS / # / OBS TYPES
C 6 C1I C7I L1I L7I S1I S7I SYS / # / OBS TYPES
15.000 INTERVAL
2019 5 19 5 20 45.00000000 GPS TIME OF FIRST OBS
0 RCV CLOCK OFFS APPL
18 LEAP SECONDS
END OF HEADER
> 2019 05 19 05 20 45.0000000 0 33
G30 23423265.023 23423276.434 123090090.778 95914399.377 41.400 23.400
G09 21682510.078 21682518.730 113942356.745 88786283.890 49.300 35.600
G23 21978723.359 21978727.895 115498065.604 89999211.663 44.900 30.300
G18 22133995.352 22134004.867 116314929.952 90635045.201 44.200 28.300
G01 20634643.828 20634653.691 108435777.773 84495452.810 48.000 34.700
G03 22483827.586 22483835.910 118153304.671 92067544.914 42.800 27.500
G07 21031256.164 21031264.324 110519997.723 86119509.127 48.400 33.800
G22 22912089.594 22912093.980 120403849.399 93821189.749 43.100 27.100
G11 21785819.219 21785826.832 114485248.967 89209308.019 46.100 31.100
G17 23199916.234 23199925.879 121916377.417 94999812.766 43.400 27.000
R03 22741012.719 22741011.461 22741017.949 22741018.203 121734422.584 121734409.610 94682321.299 94682326.295
36.400 38.100
R13 20960218.234 20960216.813 20960224.707 20960225.652 111926257.797 111926384.768 87053853.328 87053859.325
36.000 35.400
    
```

Gambar 2. Sampel data dalam format .RINEX

Tabel 1. Sampel data koordinat hasil pengukuran RTK-NTRIP

No.	X (m)	Y (m)	Z (m)
1	789.259,9068	9.244.842,1544	1.319,2180
2	789.259,9026	9.244.842,1653	1.319,2230
3	789.259,8909	9.244.842,1710	1.319,2120
4	789.259,9004	9.244.842,1616	1.319,1950
5	789.259,8977	9.244.842,1570	1.319,2150

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Analisis Koordinat Statik Diferensial

Koordinat referensi digunakan sebagai acuan pengecekan kepresisian sistem pengukuran lapangan GNSS dalam metode penentuan posisi secara RTK. Menurut Zrinjski dkk., (2016) dengan metode geodetik yang kepresisiannya lebih tinggi dari metode GNSS RTK dapat digunakan sebagai acuan untuk penentuan suatu posisi dan nilai tertentu dari kuantitas tersebut yang dinyatakan sebagai nilai acuan/referensi. Hasil koordinat referensi ini menggunakan sistem koordinat SRGI 2013 dengan sistem proyeksi UTM. Hal tersebut dikarenakan sistem koordinat referensi yang digunakan harus sama dengan sistem referensi koordinat RTK (Quraisy, 2014). Hasil koordinat referensi dapat dilihat pada Tabel 2 dengan standar deviasi masing-masing komponen koordinat pada Tabel 3.

Tabel 2. Koordinat Referensi

Nama Titik	Panjang Baseline (m)	E (m)	N (m)	h (m)	$\sigma_{\Delta E}$ (m)	$\sigma_{\Delta N}$ (m)	$\sigma_{\Delta h}$ (m)
B1R1	162,768	789.259,866	9.244.842,158	1.319,226	0,0002	0,0004	0,0002
B1R2	159,433	789.251,585	9.244.824,160	1.318,508	0,0004	0,0007	0,0003
B2R1	2.024,012	791.084,739	9.245.266,749	1.233,673	0,0004	0,0007	0,0002
B2R2	2.037,434	791.100,701	9.245.254,965	1.233,274	0,0003	0,0006	0,0002
B3R1	10.216,554	795.823,452	9.237.193,765	787,906	0,0039	0,0079	0,0027
B3R2	10.228,593	795.819,471	9.237.174,280	787,736	0,0042	0,0110	0,0043
B4R1	20.078,930	797.772,758	9.262.977,302	520,494	0,0028	0,0046	0,0018
B4R2	20.078,291	797.754,367	9.262.985,410	520,979	0,0037	0,0028	0,0015

Standar deviasi koordinat yang didapatkan bertujuan untuk mengetahui seberapa besar kepresisian koordinat statik diferensial yang dihasilkan sehingga dapat ditentukan layak atau tidaknya untuk menjadi koordinat referensi. Pada Tabel 2 ditunjukkan bahwa dari seluruh komponen koordinat E memiliki nilai standar deviasi yang terkecil sebesar 0,0002 meter atau 0,2 milimeter pada titik B1R1, sedangkan nilai standar deviasi yang terbesar adalah 0,0042 meter atau 4,2 milimeter pada titik B3R2. Untuk seluruh komponen koordinat N nilai standar deviasi yang terkecil sebesar 0,0004 meter atau 0,4 milimeter pada titik B1R1, sedangkan nilai standar deviasi yang terbesar adalah 0,0110 meter atau 10,2 milimeter pada titik B3R2, dan untuk seluruh komponen koordinat h nilai standar deviasi yang terkecil sebesar 0,0002 meter atau 0,2 milimeter pada titik B1R1, B2R1 dan B2R2, sedangkan nilai standar deviasi yang terbesar adalah 0,0043 meter atau 4,3 milimeter pada titik B3R2. Hal tersebut dapat dikatakan bahwa pada titik B3R2 memiliki tingkat kepresisian yang paling rendah dari pada titik yang lain, tetapi jika digunakan sebagai referensi dari pengukuran RTK masih layak karena nilai tersebut masih di atas standar dari standar deviasi horizontal dan vertikal untuk pengukuran RTK. Menurut Sioulis dkk. (2015) untuk pengukuran *real time kinematic* (RTK) dengan standar deviasi horizontal $\leq 0,027$ m dan vertikal $\leq 0,046$ m mampu memenuhi standar ketelitian ISO kelas RT2.

3.2 Analisis Kepresisian Modul GNSS Murah Dual Frequency

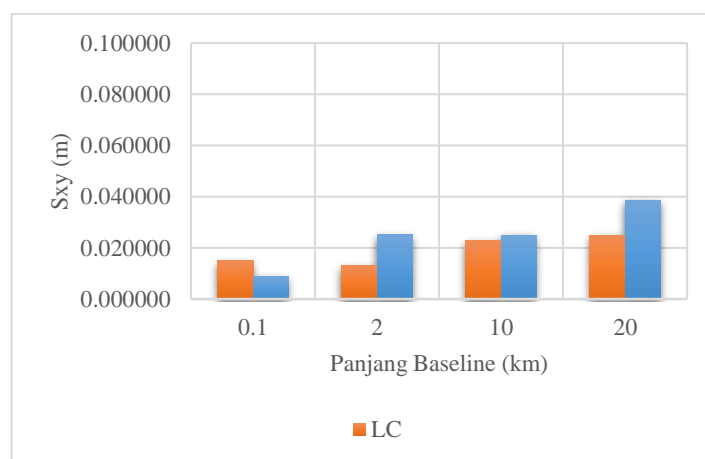
Simpangan baku hasil pengukuran modul GNSS murah pada setiap *baseline* dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Nilai Simpangan Baku Hasil Pengukuran Modul GNSS Murah pada Setiap *Baseline*

Panjang Baseline (km)	S_{xy} (m)				S_h (m)			
	R1		R2		R1		R2	
	GD	LC	GD	LC	GD	LC	GD	LC
0,1	0,008881	0,014953	0,006963	0,011225	0,010644	0,011402	0,014007	0,013038
2	0,025112	0,012965	0,021324	0,008155	0,012845	0,007071	0,014926	0,008944
10	0,024979	0,022808	0,032540	0,021831	0,054125	0,301198	0,034967	0,305320
20	0,038561	0,024928	0,032725	0,028455	0,054614	0,378048	0,037632	0,377849

Pada Tabel 3 ditunjukkan bahwa nilai kepresisian dari modul GNSS murah dapat mencapai hingga 0,0081 meter atau 8 milimeter pada *baseline* 2 kilometer Rover 2 dan untuk kepresisian horizontal, sedangkan untuk kepresisian vertikal nilai yang dicapai adalah 0,0070 meter atau 7 milimeter untuk *baseline* 2 kilometer Rover 1. Tingkat kepresisian yang dihasilkan oleh modul GNSS murah ini bergantung pada pemilihan tempat yang ditentukan untuk melakukan pengukuran. Hal tersebut dibuktikan dari hasil pengukuran bahwa pada *baseline* 2 km memiliki nilai kepresisian yang lebih kecil daripada nilai kepresisian pada *baseline* 0,1 km yang memiliki nilai kepresisian horizontal sebesar 1,49 cm untuk Rover 1, 1,12 cm untuk Rover 2 dan kepresisian vertikal 1,14 cm untuk Rover 1, 1,3 cm untuk Rover 2. Hal tersebut dikarenakan pengukuran pada *baseline* 2 km terletak pada kebun terbuka, tidak terdapat banyak rumput dan tidak terdapat banyak bangunan, sedangkan pada *baseline* 0,1 km terletak pada tempat terbuka, tetapi terdapat beberapa bangunan dan pepohonan.

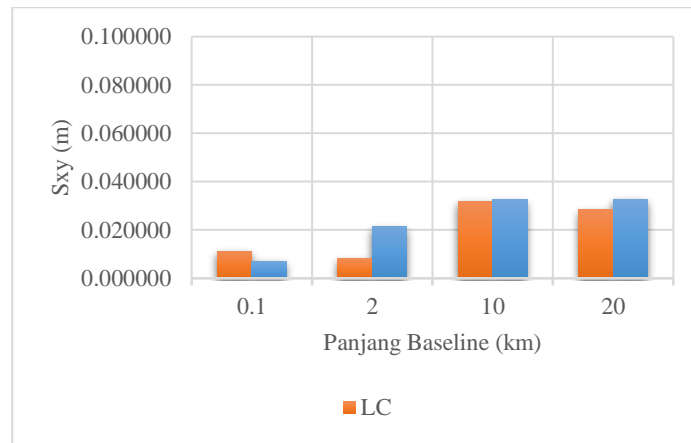
Pada Gambar 3 dan 4 dapat dilihat *trend* simpangan baku horizontal hasil dari Rover 1 dan Rover 2 untuk semua *baseline* menggunakan modul GNSS murah dengan *receiver* geodetik. S_{xy} merupakan simpangan baku horizontal dalam satuan meter, LC merupakan *plotting* hasil simpangan baku dari modul GNSS murah dan GD merupakan *plotting* hasil simpangan baku dari *receiver* geodetik. Pada kedua *trend* ini dapat dilihat bahwa semakin panjang *baseline* maka semakin tinggi pula simpangan baku yang dihasilkan atau dengan kata lain berarti semakin panjang *baseline* maka semakin rendah tingkat kepresisiannya, hal ini berlaku untuk modul GNSS murah maupun *receiver* geodetik. Untuk komponen horizontal perbandingan kepresisian modul GNSS murah dengan *receiver* geodetik tidak terlalu signifikan setiap antar *baseline* atau masih dapat dikatakan mempunyai perbedaan kurang lebih 1 sampai dengan 2 cm. Bahkan pada grafik tersebut ditunjukkan pada *baseline* 10 km dan 20 km untuk Rover 1 maupun Rover 2 bahwa kepresisian horizontal modul GNSS murah lebih baik daripada kepresisian *receiver* geodetik untuk pengukuran RTK-NTRIP. Hal ini berarti modul GNSS murah memiliki tingkat kepresisian yang bagus untuk komponen horizontal dalam pengukuran RTK-NTRIP.



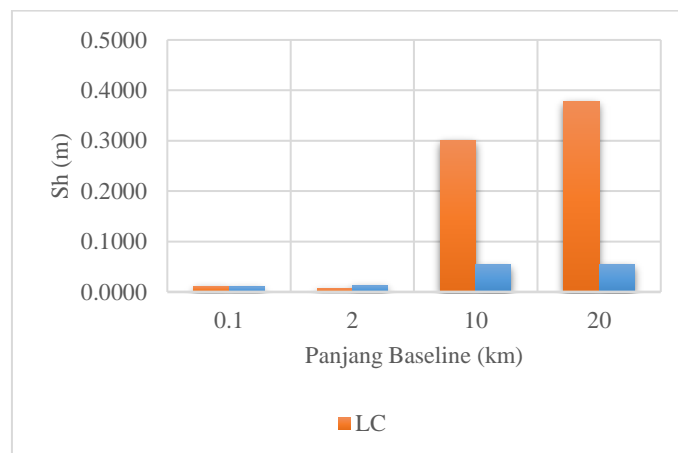
Gambar 3. Simpangan Baku Horizontal pada Rover 1

Pada Gambar 5 dan 6 dapat dilihat *trend* simpangan baku vertikal hasil pengukuran menggunakan modul GNSS murah dan *receiver* geodetik. Pada *trend* ini terlihat simpangan baku vertikal pada *baseline* 0,1 km dan 0,2 km memiliki nilai yang kecil atau dapat dikatakan bahwa tingkat kepresisiannya tinggi, tetapi terlihat juga sangat jelas perbedaan pada *baseline* 10 sampai 20 km antara modul GNSS murah dengan *receiver* geodetik pada Rover 1 maupun Rover 2, nilai kepresisian yang dihasilkan modul GNSS murah mencapai lebih dari 30 cm atau 3 dm, sedangkan nilai kepresisian yang dihasilkan oleh *receiver* geodetik masih dalam batas

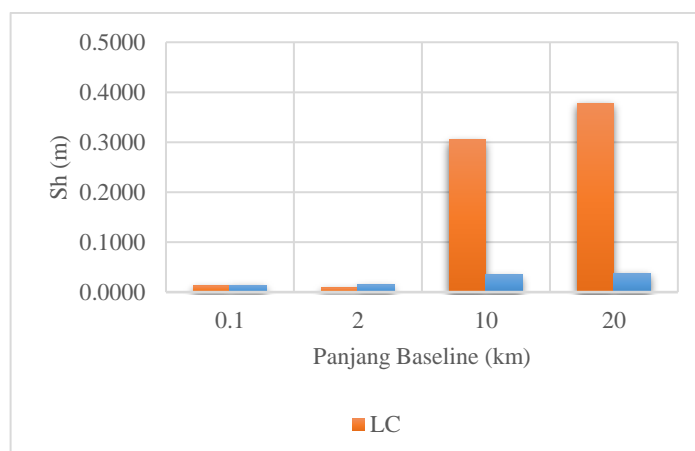
sentimeter. Berdasarkan hal tersebut maka dapat dikatakan bahwa modul GNSS murah memiliki tingkat kepresisian pengukuran RTK-NTRIP yang kurang baik untuk komponen vertikal dengan jarak *baseline* yang cukup jauh dari stasiun *base*, sedangkan untuk *receiver* geodetik memiliki tingkat kepresisian vertikalnya masih dalam batas sentimeter dan masih stabil untuk setiap panjang *baseline* yang ditentukan.



Gambar 4. Grafik Simpangan Baku Vertikal pada Rover 1



Gambar 5. Trend Simpangan Baku Horizontal pada Rover 2



Gambar 6. Trend Simpangan Baku Vertikal pada Rover 2

3.3 Hasil Uji-t

Uji t dikenal dengan uji parsial, yaitu untuk menguji bagaimana pengaruh masing-masing variabel bebasnya secara sendiri-sendiri terhadap variabel terikatnya. Uji ini dapat dilakukan dengan membandingkan t_{hitung} dengan t_{tabel} atau dengan melihat kolom signifikansi pada masing-masing t_{hitung} (Hidayat, 2013). Dengan kata lain t-uji ini digunakan untuk membandingkan seberapa signifikan perbedaan antar data dengan variabel yang berbeda. Pada penelitian ini digunakan taraf signifikansi 0,5, uji dua arah, dan derajat kebebasan 8 yang mempunyai nilai t_{tabel} sebesar 2,306, dengan hipotesis terima H_0 dan tolak H_a jika, $t_{hitung} < t_{tabel}$ atau tolak H_0 dan terima H_a jika $t_{hitung} > t_{tabel}$. Hal tersebut berarti bahwa jika H_0 diterima dan H_a ditolak maka hasil pengukuran antara *receiver* geodetik dan modul GNSS murah memiliki hasil pengukuran yang setara, tetapi jika H_0 ditolak dan H_a diterima maka hasil pengukuran antara *receiver* geodetik dan modul GNSS murah memiliki perbedaan hasil pengukuran yang signifikan.

Tabel 4. Hasil Uji-t

<i>Baseline</i>	Komponen	
	Horizontal	Vertikal
0,1	1,55351	-1,63425
2	0,78882	0,30499
10	1,99893	4,47912
20	2,12228	-4,69609

Pada Tabel 4 ditunjukkan adanya penolakan H_0 dan diterimanya H_a dari pengujian hasil pengukuran antara modul GNSS murah dengan *receiver* geodetik pada *baseline* 10 dan 20 km untuk komponen vertikal dengan bukti $t_{hitung} > t_{tabel}$ yang memiliki nilai 4,47912 > 2,306 (*baseline* 10 km) dan -4,69609 > -2,306 (*baseline* 20 km), yang berarti bahwa hasil pengukuran dari kedua alat pada *baseline* 10 dan 20 km memiliki perbedaan yang signifikan untuk komponen vertikal. Hal tersebut berarti bahwa hasil pengukuran komponen vertikal pada *baseline* 10 dan 20 km lebih baik menggunakan *receiver* geodetik. Tingkat kepresisian yang dihasilkan oleh modul GNSS murah pada panjang *baseline* tersebut sudah mencapai kurang lebih 30 sentimeter, sedangkan tingkat kepresisian yang dihasilkan oleh *receiver* geodetik masih dalam tingkat kurang lebih 2-3 sentimeter.

Uji-t untuk komponen horizontal pada semua *baseline* menghasilkan hipotesis penerimaan H_0 dan penolakan H_a dengan nilai $t_{hitung} < t_{tabel}$ 1,55351 < 2,306 untuk *baseline* 0,1 km, 0,78882 < 2,306 untuk *baseline* 2 km, 1,99893 < 2,306 untuk *baseline* 10 km, dan 2,12228 < 2,306 untuk *baseline* 20 km. Hal tersebut berarti bahwa hasil pengukuran komponen horizontal dari modul GNSS murah dengan *receiver* geodetik tidak memiliki perbedaan yang signifikan atau dengan kata lain hasil pengukuran komponen horizontal dari kedua alat tersebut memiliki tingkat yang sama.

3.4 Pengujian Modul GNSS Murah *Dual Frequency* Menurut Standar ISO 17123-8:2015

ISO 17123-8:2015 merupakan rincian prosedur lapangan untuk dilakukan saat menentukan dan mengevaluasi kepresisian sistem pengukuran lapangan GNSS dalam mode *real-time* kinematik (GNSS RTK) dan peralatan pendukungnya saat digunakan pada pengukuran bangunan, survei, dan industri. Pengujian ini dilakukan sebagai verifikasi lapangan dari kesesuaian instrumen tertentu untuk aplikasi yang dibutuhkan dan untuk memenuhi persyaratan standar lainnya (ISO, 2015). Pengujian ini dibuat untuk antena GNSS dan *receiver* seperti pada manual pabrik alat tersebut. Apakah alat yang digunakan sudah sesuai dengan

ketetapan nilai yang diberikan untuk kepresisiannya. Pada pengujian ini kepresisian suatu *receiver* GNSS dalam mode *real-time* kinematik (GNSS RTK) akan memenuhi kondisinya atau layak apabila deviasi penyimpangan jarak horizontal ($|\varepsilon_{Di,j}|$) dan ($|\varepsilon_{hi,j}|$) beda vertikal lebih kecil atau sama dengan nilainya dari $(2,5 \cdot \sqrt{2} \cdot S_{xy})$ dan $(2,5 \cdot \sqrt{2} \cdot S_h)$ atau nilai yang asli.

Hasil pengujian modul GNSS murah ditampilkan pada Tabel 5 s.d.8. Untuk pengukuran pada *baseline* 0,1 km, 2 km, dan 10 km komponen horizontal dan vertikal telah terpenuhi semua kondisi kepresisiannya. Untuk *baseline* 20 km komponen horizontal telah memenuhi standar yang ditetapkan oleh pabrik pembuatnya, tetapi untuk komponen horizontal tidak terpenuhi. Kondisi ini diperkuat berdasarkan pembahasan mengenai simpangan baku secara manual, kepresisian yang dihasilkan modul GNSS murah menggunakan metode RTK-NTRIP pada *baseline* 20 km untuk komponen vertikal memang belum baik atau masih mencapai tingkat dm sehingga disarankan pengukuran menggunakan modul GNSS murah metode RTK-NTRIP untuk digunakan pada *baseline* kurang dari 20 km supaya masih memiliki kepresisian komponen vertikal sesuai standar.

Tabel 5. Hasil Pengujian Modul GNSS Murah Berdasarkan *Simplified Test Standard ISO 17123-8:2015* pada *Baseline* 0,1 km

$ \varepsilon_{Di,j} \leq 2,5 \cdot \sqrt{2} \cdot S_{xy}$	Kondisi	$ \varepsilon_{hi,j} \leq 2,5 \cdot \sqrt{2} \cdot S_h$	Kondisi
$0,0032 \leq 0,0357$	Memenuhi	$0,0076 \leq 0,0534$	Memenuhi
$0,0064 \leq 0,0357$	Memenuhi	$0,0176 \leq 0,0534$	Memenuhi
$0,0176 \leq 0,0357$	Memenuhi	$0,0176 \leq 0,0534$	Memenuhi
$0,0073 \leq 0,0357$	Memenuhi	$0,0076 \leq 0,0534$	Memenuhi
$0,0078 \leq 0,0357$	Memenuhi	$0,0076 \leq 0,0534$	Memenuhi

Tabel 6. Hasil Pengujian Modul GNSS Murah Berdasarkan *Simplified Test Standard ISO 17123-8:2015* pada *Baseline* 2 km

$ \varepsilon_{Di,j} \leq 2,5 \cdot \sqrt{2} \cdot S_{xy}$	Kondisi	$ \varepsilon_{hi,j} \leq 2,5 \cdot \sqrt{2} \cdot S_h$	Kondisi
$0,0098 \leq 0,0424$	Memenuhi	$0,0012 \leq 0,0601$	Memenuhi
$0,0059 \leq 0,0424$	Memenuhi	$0,0012 \leq 0,0601$	Memenuhi
$0,0033 \leq 0,0424$	Memenuhi	$0,0012 \leq 0,0601$	Memenuhi
$0,0080 \leq 0,0424$	Memenuhi	$0,0088 \leq 0,0601$	Memenuhi
$0,0063 \leq 0,0424$	Memenuhi	$0,0188 \leq 0,0601$	Memenuhi

Tabel 7 Hasil Pengujian Modul GNSS Murah Berdasarkan *Simplified Test Standard ISO 17123-8:2015* pada *Baseline* 10 km

$ \varepsilon_{Di,j} \leq 2,5 \cdot \sqrt{2} \cdot S_{xy}$	Kondisi	$ \varepsilon_{hi,j} \leq 2,5 \cdot \sqrt{2} \cdot S_h$	Kondisi
$0,0053 \leq 0,0707$	Memenuhi	$0,0404 \leq 0,0884$	Memenuhi
$0,0223 \leq 0,0707$	Memenuhi	$0,0104 \leq 0,0884$	Memenuhi
$0,0228 \leq 0,0707$	Memenuhi	$0,0096 \leq 0,0884$	Memenuhi
$0,0044 \leq 0,0707$	Memenuhi	$0,0296 \leq 0,0884$	Memenuhi
$0,0065 \leq 0,0707$	Memenuhi	$0,0404 \leq 0,0884$	Memenuhi

Tabel 8 Hasil Pengujian Modul GNSS Murah Berdasarkan *Simplified Test Standard ISO 17123-8:2015* pada *Baseline 20 km*

$ \varepsilon_{Dij} \leq 2,5 \cdot \sqrt{2} \cdot S_{xy}$	Kondisi	$ \varepsilon_{hi,j} \leq 2,5 \cdot \sqrt{2} \cdot S_h$	Kondisi
$0,0988 \leq 0,1061$	Memenuhi	$0,2446 \leq 0,1237$	Tidak Memenuhi
$0,0688 \leq 0,1061$	Memenuhi	$0,0646 \leq 0,1237$	Memenuhi
$0,0743 \leq 0,1061$	Memenuhi	$0,1446 \leq 0,1237$	Tidak Memenuhi
$0,0822 \leq 0,1061$	Memenuhi	$0,1846 \leq 0,1237$	Tidak Memenuhi
$0,0816 \leq 0,1061$	Memenuhi	$0,2346 \leq 0,1237$	Tidak Memenuhi

4. KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian yang sudah dilakukan ini, yaitu: (1) tingkat kepresisian koordinat modul GNSS murah yang dihasilkan berdasarkan standar deviasi horizontal yang didapat menghasilkan nilai terkecil 0,81 cm pada *baseline* 2 km dan nilai tertinggi 2,84 cm pada *baseline* 20 km. Standar deviasi vertikal yang didapat menghasilkan nilai terkecil 0,7 cm pada *baseline* 2 km dan nilai tertinggi 37,78 cm pada *baseline* 20 km; (2) pada pengujian kepresisian alat berdasarkan standar ISO 17123-8:2015 semua komponen horizontal pada semua *baseline* modul GNSS murah sudah terpenuhi kelayakannya untuk pengukuran secara RTK; (3) pada pengujian kepresisian alat berdasarkan standar ISO 17123-8:2015 komponen vertikal pada *baseline* 20 km modul GNSS murah tidak terpenuhi standar kelayakannya untuk pengukuran secara RTK; (4) berdasarkan hasil uji-t yang dilakukan dengan selang kepercayaan 95% untuk komponen horizontal pada semua *baseline* tidak memiliki perbedaan yang signifikan antara modul GNSS murah dengan *receiver* geodetik atau dapat dikatakan hasil pengukuran kedua alat tersebut sama; (5) berdasarkan hasil uji-t yang dilakukan dengan selang kepercayaan 95% untuk komponen vertikal pada *baseline* 10 dan 20 km memiliki perbedaan yang signifikan antara modul GNSS murah dengan *receiver* geodetik atau dapat dikatakan lebih baik menggunakan *receiver* geodetik.

DAFTAR PUSTAKA

- BIG. (2018). Mengenal Sistem InaCORS. In B. G.-P. Geodinamika, *InaCORS BIG Satu Referensi Pemetaan Indonesia* (p. 35). Cibinong: Badan Informasi Geospasial.
- Dabove, P., dan Manzino, A. M. (2014). *GPS & GLONASS Mass-Market Receivers: Positioning Performances and Peculiarities*. Sensors Vol. 14 No. 12: 22159-22179. November 2014: MDPI, Basel.
- Ghilani, C. (2011). *Adjustment computations: spatial data analysis*. John Wiley & Sons.
- GSA. (2018). *GNSS User Technology Report Issue 2*. Publications Office of the European Union, Luksemburg.
- Heister, Hans. (2008). *The new ISO standard 17123-8 for checking GNSS field measuring systems (3069)*. FIG Working Week 2008, Stockholm, Swedia.
- Hidayat, A. (2013). *Uji F dan Uji T*. Diakses pada 23 Januari 2019, dari: Statistikian: <https://www.statistikian.com/2013/01/uji-f-dan-uji-t.html>
- ISO. (2015). *ISO 17123-8:2015 – Optics and optical instruments – Field procedures for testing geodetic and surveying instruments – Part 8: GNSS field measurement systems in real-time kinematic (RTK)*. Geneva, Switzerland: ISO.

- Quraisy, A. (2014). *Analisis Efektifitas Koreksi RTK CORS Terkait Panjang Baseline Base dengan Rover*. Bandung: ITB.
- Schwieger, V., dan Gläser, A. (2005). *Possibilities of Low Cost GPS Technology for Precise Geodetic Applications From Pharaohs to Geoinformatics*. FIG Working Week 2005 and GSDI-8, Kairo.
- Tominaga, T., Kondo, K., Kubo, N., dan Yasuda, A. (2004). *The Ionospheric Effect on Medium Baseline RTK-GPS Positioning*. The 2004 International Symposium on GNSS/GPS. Sydney, Australia.
- Zrinjski, M., Barkovic, D., dan Gabela, J. (2016). *Review of the New International Test Standard for GNSS RTK Measurement Systems*. International Symposium on Engineering Geodesy. Varaždin.