

Uji Akurasi hasil Pengukuran GNSS Metode Statik Dan RTK-NTRIP Dengan Referensi CORS GMU2

Anandito Hardiyoso^{a*} Muhammad Iqbal Taftazani^a

^aTeknologi Survei dan Pemetaan Dasar, Sekolah Vokasi, Universitas Gadjah Mada, Indonesia

Research Article

DOI:

10.22146/jgst.v3i1.17071

correspondence:

anandito.h@mail.ugm.ac.id

Article history:

Received:

17-10-2024

Accepted:

30-05-2025

Published:

30-07-2025

ABSTRACT

Global Navigation Satellite Systems (GNSS) technology continues to develop, including in the development of supporting infrastructure. One form of progress is the establishment of the GMU2 Continuous Operating Reference System (CORS) station on October 14, 2023, which is the result of cooperation between the Department of Earth Technology, UGM Vocational School, and PT Kantara Group. Because this station is still relatively new, studies on the accuracy of GNSS measurements with the CORS GMU2 reference are not yet available. Therefore, this activity aims to test the accuracy of GNSS measurements using static and RTK-NTRIP methods with the GMU2 CORS reference and compare it with the measurement results using CORS JOGS in Yogyakarta. GNSS data was obtained from nine measurement points using static and RTK-NTRIP methods with CORS GMU2 and JOGS as reference stations. The static method refers to the SNI standard Horizontal Control Net with 4th order equivalent observations, while RTK-NTRIP uses real-time correction via the internet. Analysis is done through the calculation of standard deviation, RMSE, and significance test of coordinate differences. The results show that the static method with the GMU2 reference produces standard deviations for each component in fractions of millimeters. The RTK-NTRIP method produces standard deviation of each component in fractions of millimeters to centimeters. Although the precision of GMU2 CORS is quite good, its accuracy is lower than that of JOGS CORS, with significant differences at some points. The total RMSE for the static method reached 37.565 cm, while the RTK-NTRIP method ranged from 41.010 cm to 42.572 cm. Significance tests showed significant differences at most points, with null hypothesis rejection of 100% for the static method and 78 to 81% for RTK-NTRIP. In conclusion, further evaluation is needed to ensure the reliability of GMU2 CORS as a reference station.

Key words: GNSS, CORS GMU2, RTK-NTRIP, Static method, Measurement accuracy

INTISARI

Teknologi Global Navigation Satellite Systems (GNSS) terus mengalami perkembangan, termasuk dalam pembangunan infrastruktur pendukungnya. Salah satu bentuk kemajuan tersebut adalah pendirian stasiun Continuous Operating Reference System (CORS) GMU2 pada 14 Oktober 2023, yang merupakan hasil kerja sama antara Departemen Teknologi Kebumihan, Sekolah Vokasi UGM, dan PT Kantara Group. Karena stasiun ini masih tergolong baru, kajian mengenai akurasi pengukuran GNSS dengan referensi CORS GMU2 belum tersedia. Oleh karena itu, kegiatan ini bertujuan untuk menguji tingkat akurasi pengukuran GNSS menggunakan metode statik dan RTK-NTRIP dengan referensi CORS GMU2, serta membandingkannya dengan hasil pengukuran yang menggunakan CORS JOGS di Yogyakarta. Data GNSS diperoleh dari sembilan titik pengukuran menggunakan metode statik dan RTK-NTRIP dengan CORS GMU2 dan JOGS sebagai stasiun referensi. Metode statik mengacu pada standar SNI Jaring Kontrol Horizontal dengan pengamatan setara orde 4, sedangkan RTK-NTRIP menggunakan koreksi real-time via internet. Analisis dilakukan melalui perhitungan simpangan baku, RMSE, dan uji signifikansi perbedaan koordinat. Hasil menunjukkan bahwa metode statik dengan referensi GMU2 menghasilkan simpangan baku pada setiap komponen dalam fraksi milimeter. Metode RTK-NTRIP menghasilkan simpangan baku setiap komponen dalam fraksi milimeter sampai sentimeter. Meskipun presisi CORS GMU2 cukup baik, akurasinya lebih rendah dibandingkan dengan CORS JOGS, dengan perbedaan signifikan pada beberapa titik. RMSE total untuk metode statik mencapai 37,565 cm, sementara metode RTK-NTRIP berkisar antara 41,010 cm sampai 42,572 cm. Uji signifikansi menunjukkan perbedaan signifikan pada sebagian besar titik, dengan penolakan hipotesis nol sebesar 100% untuk metode statik dan 78 sampai 81% untuk RTK-NTRIP.

Kesimpulannya, diperlukan evaluasi lebih lanjut untuk memastikan keandalan CORS GMU2 sebagai stasiun referensi.

Kata kunci: GNSS, CORS GMU2, RTK-NTRIP, Metode statik, Akurasi pengukuran

1. Pendahuluan

Penentuan posisi di permukaan bumi dapat dilakukan melalui metode terestris dan ekstra-terestris (Haspari dkk., 2016). Metode ekstra-terestris, seperti survei *Global Navigation Satellite System* (GNSS), menggunakan teknologi satelit untuk memperoleh koordinat dengan akurasi tinggi (Purba dkk., 2013). GNSS memanfaatkan konstelasi satelit dari berbagai sistem, termasuk GPS, GLONASS, Galileo, Beidou, dan QZSS, untuk memberikan data waktu dan lokasi (Alfarizi, 2022). Tingginya kebutuhan akurasi dalam pengukuran GNSS mendorong pengembangan metode dan infrastruktur pendukung yang lebih baik (Khairuddin dkk., 2019).

Dalam upaya meningkatkan infrastruktur GNSS, Departemen Teknologi Kebumihan, Sekolah Vokasi UGM bekerja sama dengan PT Kantara Group mendirikan stasiun *Continuous Operating Reference System* (CORS) GMU2 pada 14 Agustus 2023. CORS GMU2 menyediakan data referensi untuk metode pengukuran *Real Time Kinematic – Networked Transport of RTCM via Internet Protocol* (RTK-NTRIP) dan metode *diferensial statik*. RTK-NTRIP memungkinkan pengukuran *real-time* dengan akurasi tinggi (Lenz, 2005), sementara metode statik mengutamakan stabilitas data melalui pengukuran jangka panjang (Pratama, 2023).

Namun, sebagai stasiun referensi yang baru didirikan, hingga saat ini belum terdapat kajian yang mengevaluasi tingkat akurasi pengukuran GNSS dengan referensi CORS GMU2. Perbandingan hasil pengukuran antara CORS GMU2 dan stasiun referensi lain, seperti CORS JOGS di wilayah Yogyakarta, juga belum dilakukan. Selain itu, perbedaan hasil antara metode statik dan RTK-NTRIP dari kedua stasiun belum diuji secara statistik untuk mengetahui apakah terdapat perbedaan signifikan secara akurasi. Berdasarkan hal tersebut, kegiatan aplikatif ini bertujuan untuk mengevaluasi akurasi pengukuran GNSS menggunakan metode statik dan RTK-NTRIP dengan referensi CORS GMU2, serta membandingkannya dengan hasil pengukuran menggunakan CORS JOGS.

Hasil dari kegiatan aplikatif ini dapat menjadi bahan pertimbangan dalam proses verifikasi stasiun CORS baru, yaitu CORS GMU2. Verifikasi ini penting karena semakin banyak stasiun CORS yang teruji akurasinya akan turut menjaga kualitas Jaringan Kontrol Geodesi yang digunakan sebagai titik ikat pengukuran. Dengan diketahui tingkat akurasinya, CORS GMU2 berpotensi untuk direkomendasikan sebagai stasiun referensi dalam kegiatan pengukuran GNSS.

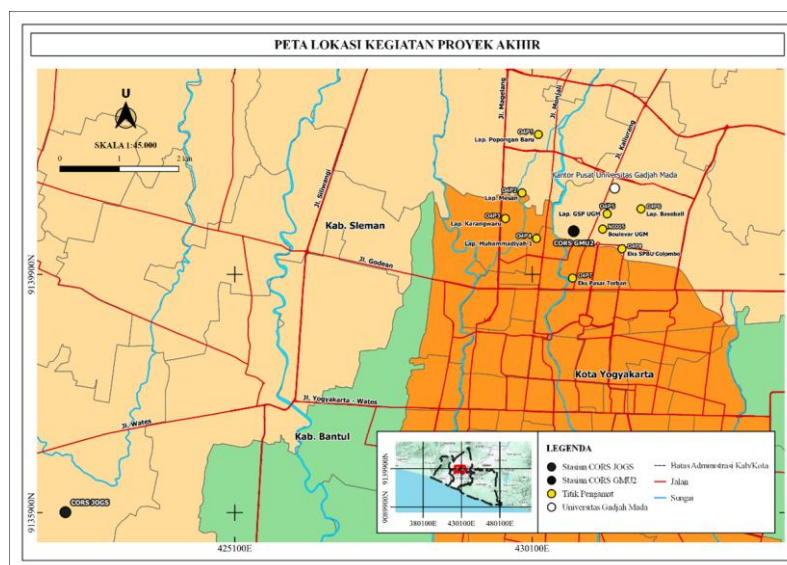
2. DATA

Perangkat yang digunakan dalam kegiatan kegiatan aplikatif ini terdiri dari alat ukur, perangkat keras, dan perangkat lunak pendukung. Peralatan utama meliputi satu set receiver GNSS geodetik Singular XYZ untuk akuisisi data, smartphone sebagai pengendali pengukuran dan media dokumentasi, serta laptop AXIOO dengan prosesor Intel Core i5 dan RAM 8 GB untuk pengolahan data. Data referensi CORS GMU2 diperoleh melalui laman CORS SinoGNSS, sedangkan data CORS JOGS diakses dari laman InaCORS. Pengolahan dan analisis data dilakukan dengan berbagai perangkat lunak, yaitu QGIS untuk visualisasi dan peta, *RINEX Converter* untuk konversi data statik, *TEQC* untuk kontrol kualitas data, *CHC Geomatics Office 2* untuk pengolahan data statik, serta Microsoft Excel untuk pengolahan data RTK-NTRIP dan uji statistik.

Data yang digunakan dalam kegiatan aplikatif ini terdiri atas data primer dan sekunder. Data primer mencakup hasil pengamatan GNSS pada sembilan titik sampel yang tersebar dalam radius sekitar 2 km dari stasiun referensi CORS GMU2 yang berada di wilayah Kabupaten Sleman, dengan pemilihan lokasi berdasarkan kemudahan akses, keterbukaan terhadap sinyal satelit, dan distribusi spasial yang representatif. Pengamatan dilakukan menggunakan dua metode, yaitu metode statik dan RTK-NTRIP. Pada metode statik, pengukuran mengacu pada spesifikasi orde 4 berdasarkan SNI 19-6724-2002, dengan durasi minimum 15 menit per titik dan interval pencatatan 15 detik. Data hasil pengamatan dikonversi ke format *RINEX*, dikontrol kualitasnya menggunakan *TEQC*, dan diolah menggunakan perangkat lunak *CHC Geomatics Office 2*.

Metode RTK-NTRIP dilakukan secara *real-time* menggunakan koreksi single base dan solusi fix, dengan setiap titik diamati sebanyak 200 rekaman data untuk menjamin kestabilan hasil. Data koordinat yang diperoleh secara langsung ini juga merupakan bagian dari data primer. Sedangkan data sekunder berupa file *RINEX* dari stasiun CORS GMU2 dan CORS JOGS, yang digunakan sebagai

referensi koreksi dalam pengolahan dan analisis data GNSS. Penggunaan dua stasiun referensi ini memungkinkan evaluasi komparatif terhadap akurasi pengukuran GNSS dari masing-masing metode.



Gambar 1. Lokasi penelitian. Titik kuning adalah lokasi titik pengamatan GNSS. Simbol putih adalah stasiun CORS yang digunakan sebagai referensi.

3. METODOLOGI

Berbagai penelitian sebelumnya telah mengkaji efektivitas metode RTK-NTRIP dalam menghasilkan koordinat yang akurat. Hafiz dkk. (2014) menunjukkan bahwa panjang baseline berpengaruh signifikan terhadap akurasi, dengan baseline 1 km menghasilkan standar deviasi terbaik ($\pm 0,092$ m horizontal dan $\pm 0,047$ m vertikal). Penelitian oleh Syafi'i & Aditya (2017) menegaskan bahwa RTK-NTRIP dapat mempercepat pemetaan dengan akurasi fraksi sentimeter, meskipun metode statik tetap unggul dalam akurasi absolut. Nugroho dkk. (2022) menemukan bahwa provider jaringan memengaruhi hasil RTK-NTRIP, dengan Telkomsel memberikan hasil pengukuran bidang tanah paling akurat di lokasi uji. Pratama (2023) menunjukkan bahwa RTK-NTRIP dengan referensi CORS ULPJ memenuhi standar ketelitian peta kelas 1 ($CE90 < 0,2$ m), dengan nilai $RMSE_{xy}$ rata-rata $0,0767$ m. Sementara itu, Mukhlis (2023) membandingkan metode Rapid Static dan RTK-NTRIP untuk titik kontrol orde 3 dan 4. Hasilnya, RTK-NTRIP cukup akurat untuk orde 4 (87,5%), meskipun kurang ideal untuk orde 3. Berdasarkan studi tersebut, metode RTK-NTRIP terbukti memiliki akurasi tinggi dan dapat digunakan sebagai alternatif metode statik, terutama dalam kondisi yang memerlukan efisiensi waktu. Faktor-faktor seperti panjang baseline, provider jaringan, dan kebutuhan survei sangat memengaruhi hasil pengukuran.

Kegiatan aplikatif ini mengadopsi pendekatan serupa dengan fokus pada pengujian akurasi CORS GMU2, sebuah stasiun referensi baru yang belum banyak dikaji. Pengujian dilakukan melalui metode statik dan RTK-NTRIP, dan dibandingkan dengan referensi dari CORS JOGS yang telah terverifikasi, guna mengevaluasi potensi CORS GMU2 sebagai stasiun acuan di wilayah Yogyakarta. Kegiatan diawali dengan studi literatur dan survei pendahuluan untuk menentukan titik pengamatan. Pengambilan data dilakukan menggunakan dua metode, yaitu metode statik (setara Orde 4) dan metode RTK-NTRIP. Pada metode statik, setelah pengumpulan data, dilakukan download data, kontrol kualitas, dan post-processing untuk memperoleh koordinat titik. Sementara itu, pada metode RTK-NTRIP, setelah data diunduh, terlebih dahulu dilakukan eliminasi outlier untuk memastikan hanya data yang valid digunakan, kemudian dilakukan pengolahan data hingga diperoleh koordinat titik. Dalam kegiatan ini, data koordinat yang diperoleh dari kedua metode dibandingkan dengan dua referensi, yaitu GMU2 dan JOGS. Analisis dilakukan untuk mengevaluasi tingkat presisi, akurasi, dan RMSE. Tingkat presisi dinilai berdasarkan simpangan baku yang menggambarkan seberapa tersebar data pengamatan di sekitar nilai rata-rata. Akurasi dihitung dari selisih koordinat yang dihasilkan oleh masing-masing metode terhadap referensi yang digunakan. Selain itu, *Root Mean Square Error* (RMSE) digunakan untuk mengukur keseluruhan kesalahan antara hasil pengukuran dengan referensi (Ghilani & Wolf, 2014).

$$RMSE \text{ Horizontal} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta E)^2 + (\Delta N)^2}{n}} \quad (1)$$

$$\text{RMSE Total} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta E)^2 + (\Delta N)^2 + (\Delta h)^2}{n}} \quad (2)$$

Dalam hal ini, ΔE : selisih nilai koordinat x, ΔN : selisih nilai koordinat y, Δh : selisih nilai koordinat z dan n : jumlah total titik pengamatan.

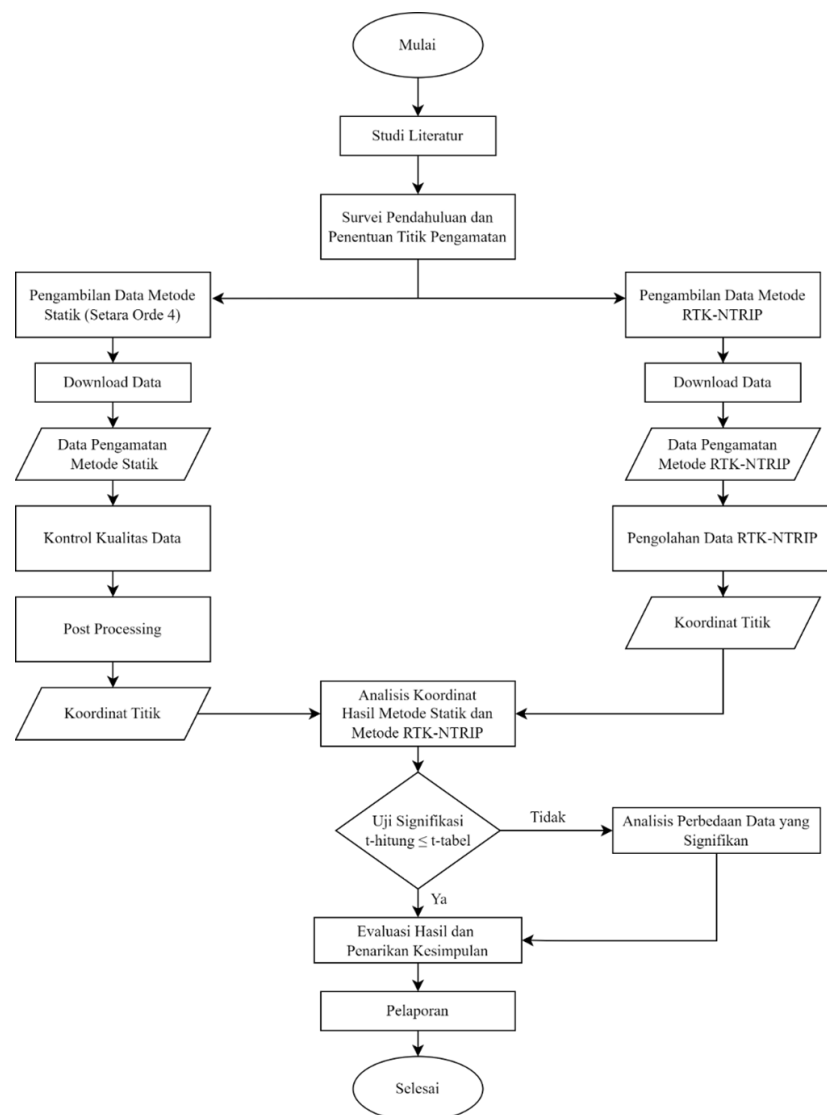
Setelah analisis tingkat presisi, akurasi, dan RMSE dilakukan, uji signifikansi diterapkan menggunakan uji t. Uji ini bertujuan untuk mengetahui apakah perbedaan antara hasil koordinat yang diperoleh dengan referensi GMU2 dan JOGS signifikan atau tidak. Jika nilai t-hitung lebih kecil dari t-tabel, perbedaan dianggap tidak signifikan. Pada tahapan akhir, hasil dievaluasi dan kesimpulan ditarik untuk dilaporkan dalam bentuk laporan kegiatan.

Penyusunan hipotesis penentuan taraf uji, perhitungan t-hitung, dan pengujian hipotesis dalam uji statistik harus diperhatikan (Ghilani & Wolf, 2010). Persamaan 1.4. digunakan untuk memperoleh nilai t-hitung, sedangkan persamaan 1.5. digunakan untuk pengujian hipotesis.

$$t_{hit} = \frac{X1 - X2}{\sqrt{\sigma X1^2 + \sigma X2^2}} \quad (3)$$

$$|t| \leq t_{\frac{\alpha}{2}, df} \quad (4)$$

Dalam hal ini, t_{hit} : nilai t hitung, $|t|$: nilai t-tabel, $X1$: nilai rata-rata koordinat pengukuran metode 1, $X2$: nilai rata-rata koordinat pengukuran metode 2, $\sigma X1^2$: simpangan baku koordinat pengukuran metode 1, $\sigma X2^2$: simpangan baku koordinat pengukuran metode 2 dan df : derajat kebebasan



Gambar 2. Diagram alir.

3.1. Kontrol kualitas data metode statik

Kontrol kualitas data pengamatan GNSS metode statik dilakukan menggunakan perangkat lunak *TEQC* dengan perintah "*teqc +qc [nama file]*". Evaluasi dilakukan terhadap seluruh data RINEX dari titik pengamatan dan stasiun referensi GMU2. Parameter yang diperiksa meliputi nilai *multipath* (MP12 dan MP21), *IOD slips*, serta *IOD/MP slips*, yang mencerminkan gangguan sinyal akibat *multipath* dan ionosfer. Nilai parameter yang rendah menunjukkan kualitas data yang baik (Yulaikhah dkk., 2018). Hasil kontrol kualitas disajikan dalam file laporan berformat (*.yyS).

```
Time of start of window : 2024 Jul 24 04:47:30.000
Time of end of window : 2024 Jul 24 05:08:00.000
Time line window length : 20.50 minute(s), ticked every 10.0 minute(s)
mean antenna: # of pos : 41
antenna WGS 84 (vty) : -2200886.0877 5924483.6229 -857343.0519 (m)
antenna WGS 84 (geo) : 5 7 deg 46' 35.99" E 110 deg 22' 46.29"
antenna WGS 84 (geo) : -7.776664 deg 110.379525 deg
WGS 84 height : 216.7444 m
[qc - header] position : 62.6443 m
qc position offsets : 61.6359 m vertical 11.1950 m horizontal
Observation interval : 30.0000 seconds
Total satellites w/ obs : 23
NAVSTAR GPS SVs w/o OBS : 1 2 3 4 7 8 9 10 14 16 17 18
21 22 23 26 27 28 30 31 32
NAVSTAR GPS SVs w/o NAV :
GLONASS SVs w/o OBS : 2 3 4 5 6 7 9 10 12 13 14 15
16 17 18 19 20 23 24
GLONASS SVs w/o NAV :
Galileo SVs w/o OBS : 1 2 3 5 6 7 8 10 11 13 14 15
16 17 18 20 21 22 23 25 26 27 28 29 30
32 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45
46 47 48 49 50 51 52 53
Galileo SVs w/o NAV : 4 31 9 33 19 12 24
Rx tracking capability : unknown
Poss. # of obs epochs : 42
Epochs w/ observations : 42
Epochs repeated : 0 (0.00%)
Possible obs > 0.0 deg: 672
Possible obs > 10.0 deg: 630
Complete obs > 10.0 deg: 580
Deleted obs > 10.0 deg: 2
Masked obs < 10.0 deg: 47
Obs w/ SV duplication : 0 (within non-repeated epochs)
Moving average MP12 : 0.582014 m
Moving average MP21 : 0.702423 m
Points in MP moving avg : 50
Mean S1 : 42.32 (sd=5.84 n=871)
Mean S2 : 43.58 (sd=6.14 n=580)
No. of Rx clock offsets : 0
Total Rx clock drift : 0.000000 ms
Rate of Rx clock drift : 0.000 ms/hr
Avg time between resets : Inf minute(s)
Freq no. and timecode : 2 16271 000030
Report gap > than : 10.00 minute(s)
epochs w/ msec clk slip : 0
other msec mp events : 0 (: 21) {expect == 1:50}
IOD signifying a slip : >400.0 cm/minute
IOD slips < 10.0 deg* : 0
IOD slips > 10.0 deg : 1
IOD or MP slips < 10.0* : 0
IOD or MP slips > 10.0 : 1
* or unknown elevation
first epoch last epoch sn1 sn2
SSN 24 7 24 04:47 24 7 24 05:08 42.32 43.58
first epoch last epoch hrs dt #expt #have % mp1 mp2 o/slps
SUM 24 7 24 04:47 24 7 24 05:08 .3500 30 630 580 92 0.58 0.70 580
```

Gambar 1. Contoh isi file report kontrol kualitas data GNSS dengan TEQC.

3.2. Kontrol kualitas data metode RTK-NTRIP

Data koordinat hasil pengamatan RTK-NTRIP berupa *Easting*, *Northing*, dan tinggi dalam sistem UTM dianalisis untuk menghilangkan *outlier* menggunakan metode *Z-score* dengan ambang $-3 \leq Z \leq 3$. *Outlier* diidentifikasi karena dapat memengaruhi nilai rata-rata dan simpangan baku. Setelah seleksi, jumlah data dikurangi dari 200 menjadi 150 rekaman yang bebas dari *outlier*. Data ini kemudian dibagi menjadi sampel berukuran 10, 50, 100, dan 150 untuk mengevaluasi pengaruh jumlah repetisi terhadap ketelitian koordinat, dengan perhitungan nilai rata-rata dan simpangan baku di setiap titik.



Gambar 4. Contoh Outlier dari Data Hasil Pengamatan Metode RTK-NTRIP.

4. Hasil

4.1. Koordinat titik Pengamatan Metode Statik

Koordinat hasil pengamatan metode statik disajikan dalam sistem proyeksi UTM zona 49S. Koordinat dari pengamatan dengan referensi CORS JOGS akan digunakan sebagai acuan untuk menganalisis hasil pengamatan yang menggunakan referensi CORS GMU2.

Tabel 1. Koordinat Hasil Metode Statik dengan Referensi CORS JOGS

No. Titik	Koordinat (m)		
	N	E	h
O4P1	9142256,131	430216,446	167,251
O4P2	9141269,539	429934,922	158,142
O4P3	9140861,684	429656,611	154,800
O4P4	9140511,255	430172,633	152,199
O4P5	9140939,707	431332,372	160,854
O4P6	9140965,811	431924,685	158,741
O4P7	9139838,704	430801,919	146,801
O4P8	9140352,290	431581,370	154,195
N0005	9140657,836	431284,477	157,703

Tabel 2. Koordinat Hasil Metode Statik dengan Referensi CORS GMU2

No. Titik	Koordinat (m)		
	N	E	h
O4P1	9142256,046	430216,796	167,522
O4P2	9141269,473	429934,976	158,331
O4P3	9140861,714	429656,938	154,842
O4P4	9140511,157	430172,972	152,428
O4P5	9140939,713	431332,300	160,876
O4P6	9140965,719	431925,030	158,988
O4P7	9139838,670	430802,294	146,938
O4P8	9140352,226	431581,727	154,356
N0005	9140657,769	431284,868	157,962

4.2. Koordinat titik Pengamatan Metode RTK-NTRIP

Tabel 3. Koordinat Hasil Metode RTK-NTRIP dengan Referensi CORS JOGS

No. Titik	10 Sampel			25 Sampel			50 Sampel			100 Sampel		
	N	E	Z	N	E	Z	N	E	Z	N	E	Z
O4P	9142	4302	16	9142	4302	16	9142	4302	16	9142	4302	16
1BI	256.1	16.4	7.4	256.1	16.4	7.4	256.1	16.4	7.4	256.1	16.4	7.4
G	32	56	74	32	51	89	34	52	81	35	54	87
O4P	9141	4299	15	9141	4299	15	9141	4299	15	9141	4299	15
2BI	269.5	34.6	8.3	269.6	34.6	8.1	269.6	34.6	8.1	269.6	34.6	8.1
G	79	11	39	57	76	83	66	83	80	55	61	94
O4P	9140	4295	15	9140	4295	15	9140	4295	15	9140	4295	15
3BI	861.9	65.6	4.7	861.9	65.6	4.8	861.9	65.6	4.8	861.9	65.6	4.8
G	17	36	92	17	33	07	16	32	18	09	30	30
O4P	9140	4301	15	9140	4301	15	9140	4301	15	9140	4301	15
4BI	511.2	72.6	2.5	511.2	72.6	2.5	511.2	72.6	2.5	511.2	72.6	2.5
G	43	22	50	79	54	42	80	50	34	80	57	28
O4P	9140	4313	16	9140	4313	16	9140	4313	16	9140	4313	16
5BI	939.8	32.0	0.5	939.8	31.9	0.5	939.8	31.9	0.5	939.8	31.9	0.5
G	53	13	12	59	98	10	69	94	36	72	84	38
O4P	9140	4319	15	9140	4319	15	9140	4319	15	9140	4319	15
6BI	965.8	24.6	8.8	965.8	24.6	8.8	965.8	24.6	8.8	965.8	24.6	8.8
G	36	79	13	15	83	17	22	88	23	20	75	22
O4P	9139	4308	14	9139	4308	14	9139	4308	14	9139	4308	14
7BI	838.7	01.9	6.8	838.7	01.9	6.8	838.7	01.9	6.8	838.7	01.9	6.8
G	31	19	29	37	58	29	40	28	17	39	09	17
O4P	9140	4315	15	9140	4315	15	9140	4315	15	9140	4315	15
8BI	352.3	81.3	4.2	352.3	81.3	4.3	352.3	81.3	4.3	352.3	81.3	4.3
G	30	85	74	25	71	03	13	64	11	05	62	16

No. Titik	10 Sampel			25 Sampel			50 Sampel			100 Sampel		
	N	E	Z	N	E	Z	N	E	Z	N	E	Z
N00	9140	4312	15	9140	4312	15	9140	4312	15	9140	4312	15
05BI	657.8	84.5	7.8	657.8	84.5	7.7	657.8	84.5	7.7	657.9	84.5	7.5
G	81	41	21	78	37	97	78	35	97	08	64	92

Tabel 4. Koordinat Hasil Metode RTK-NTRIP dengan Referensi CORS GMU2

No. Titik	10 Sampel			25 Sampel			50 Sampel			100 Sampel		
	N	E	Z	N	E	Z	N	E	Z	N	E	Z
O4	9142	4302	16	9142	4302	16	9142	4302	16	9142	4302	16
P1	256.0	16.8	7.5	256.0	16.8	7.5	256.0	16.8	7.5	256.0	16.8	7.5
G	51	18	40	47	11	46	46	04	54	51	02	57
O4	9141	4299	15	9141	4299	15	9141	4299	15	9141	4299	15
P2	269.4	34.9	8.3	269.4	34.9	8.4	269.4	34.9	8.3	269.4	34.9	8.4
G	85	75	95	81	61	03	75	59	99	74	61	00
O4	9140	4295	15	9140	4295	15	9140	4295	15	9140	4295	15
P3	861.7	65.9	4.8	861.7	66.9	4.9	861.7	66.9	4.9	861.7	65.9	4.9
G	12	38	98	09	38	07	07	36	08	09	37	05
O4	9140	4301	15	9140	4301	15	9140	4301	15	9140	4301	15
P4	511.1	72.9	2.5	511.1	72.9	2.5	511.1	72.9	2.5	511.1	72.9	2.5
G	78	86	57	61	69	66	57	75	69	58	77	67
O4	9140	4313	16	9140	4313	16	9140	4313	16	9140	4313	16
P5	939.6	32.2	0.7	939.6	32.2	0.7	939.6	32.2	0.7	939.6	32.2	0.7
G	86	74	56	86	79	59	86	79	56	84	83	56
O4	9140	4319	15	9140	4319	15	9140	4319	15	9140	4319	15
P6	965.7	25.0	8.8	965.7	25.0	8.8	965.7	25.0	8.8	965.7	25.0	8.8
G	09	26	59	22	22	73	35	25	76	15	41	78
O4	9139	4308	14	9139	4308	14	9139	4308	14	9139	4308	14
P7	838.6	02.3	6.8	838.6	02.3	6.8	838.6	02.3	6.8	838.6	02.3	6.8
G	76	26	14	68	26	22	64	27	20	62	27	20
O4	9140	4315	15	9140	4315	15	9140	4315	15	9140	4315	15
P8	352.9	81.8	4.2	351.9	81.8	4.2	351.9	81.8	4.3	351.9	81.8	4.3
G	73	90	45	40	74	89	29	71	15	19	62	51
N0	9140	4312	15	9140	4312	15	9140	4312	15	9140	4312	15
00	657.7	84.8	7.8	657.7	84.8	7.8	657.7	84.8	7.8	657.7	84.8	7.8
5G	94	56	54	94	59	51	93	59	52	86	62	56

4.3. Ketelitian Hasil Pengamatan GNSS dengan Referensi CORS GMU2

Pada pengamatan dengan metode statik, simpangan baku untuk komponen *Easting*, *Northing*, dan tinggi berada dalam kisaran milimeter. Sebaliknya, pada pengamatan dengan metode RTK-NTRIP, simpangan baku berkisar dari milimeter hingga beberapa sentimeter untuk setiap komponen. Secara keseluruhan, pengamatan GNSS menggunakan metode RTK-NTRIP maupun metode statik dengan referensi CORS GMU2 menunjukkan tingkat presisi yang baik.

Tabel 5. Simpangan Baku Koordinat Hasil Metode Statik

No. Titik	Simpangan Baku (cm)		
	σ_N	σ_E	σ_h
O4P1	0.03	0.03	0.08
O4P2	0.03	0.04	0.08
O4P3	0.02	0.03	0.04
O4P4	0.02	0.03	0.07
O4P5	0.04	0.04	0.12
O4P6	0.07	0.08	0.17
O4P7	0.05	0.07	0.09
O4P8	0.09	0.09	0.16
N0005	0.02	0.04	0.05

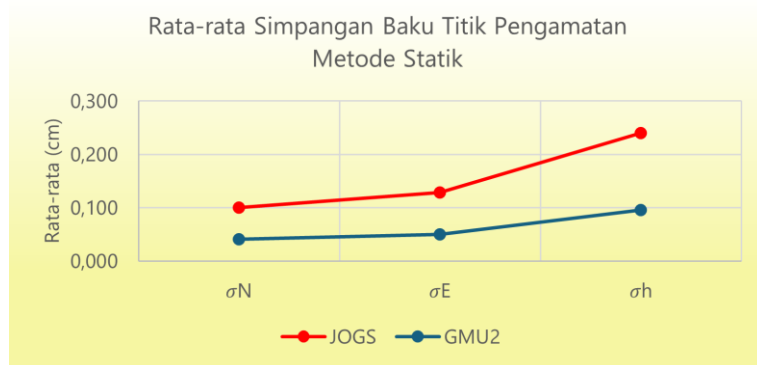
Tabel 6. Simpangan Baku Koordinat Hasil Metode RTK-NTRIP

No. Titik	10 Sampel			25 Sampel			50 Sampel			100 Sampel		
	σ_N (cm)	σ_E (cm)	σ_h (cm)	σ_N (cm)	σ_E (cm)	σ_h (cm)	σ_N (cm)	σ_E (cm)	σ_h (cm)	σ_N (cm)	σ_E (cm)	σ_h (cm)
O4P1	0,38	0,62	0,40	1,32	1,19	0,90	1,35	1,70	1,10	1,46	1,54	1,08
O4P2	0,64	0,81	0,54	1,18	1,34	1,03	1,75	1,51	1,01	1,87	1,87	1,34

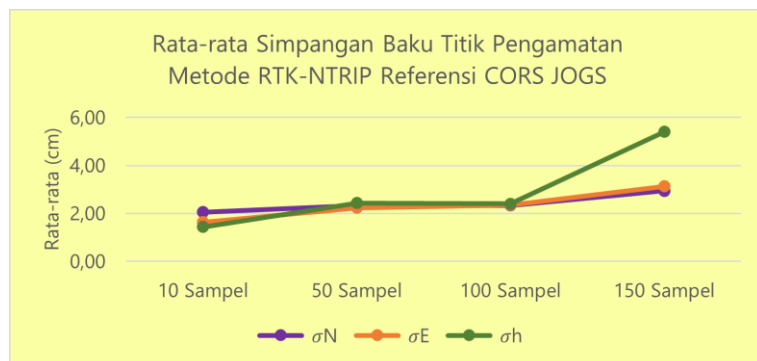
No. Titik	10 Sampel			25 Sampel			50 Sampel			100 Sampel		
	σ_N (cm)	σ_E (cm)	σ_h (cm)	σ_N (cm)	σ_E (cm)	σ_h (cm)	σ_N (cm)	σ_E (cm)	σ_h (cm)	σ_N (cm)	σ_E (cm)	σ_h (cm)
O4P3	0,53	1,25	0,38	0,92	1,71	0,66	1,25	1,70	0,63	1,30	1,76	0,99
O4P4	3,90	1,95	0,26	3,19	2,67	1,01	2,93	2,74	0,83	2,87	2,98	1,00
O4P5	1,01	0,91	0,45	0,96	1,57	0,49	0,79	1,19	0,61	0,78	1,29	0,62
O4P6	0,82	0,94	0,30	3,02	1,34	1,07	3,16	2,09	0,97	5,00	3,90	1,09
O4P7	0,36	0,12	0,23	0,47	0,15	0,50	0,58	0,22	0,46	0,57	0,22	0,42
O4P8	2,40	2,48	0,42	2,48	2,10	4,86	2,83	4,42	4,79	3,65	4,46	6,77
N000 5	0,11	0,16	0,21	0,25	0,45	0,36	0,27	0,43	0,38	0,97	0,56	0,73

4.4. Perbandingan Kepresisian Hasil Pengamatan

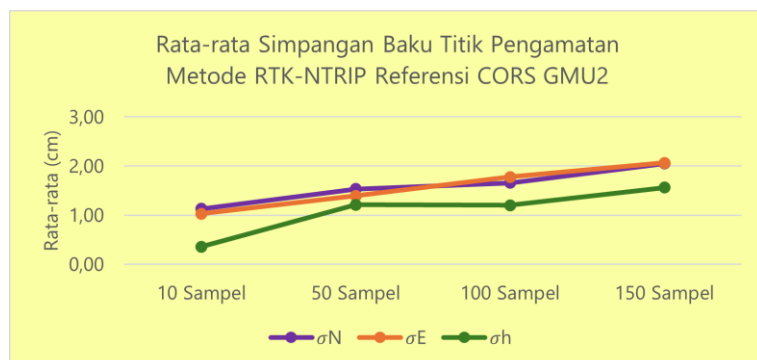
Perbandingan rata-rata simpangan baku dapat digunakan untuk mengidentifikasi perbedaan tingkat presisi data. Hasil menunjukkan bahwa rata-rata simpangan baku meningkat seiring bertambahnya jumlah sampel, baik untuk referensi CORS JOGS maupun GMU2. Selain itu, perbandingan ini juga mengindikasikan bahwa pengamatan GNSS menggunakan metode RTK-NTRIP dengan referensi CORS GMU2 memiliki presisi yang lebih baik dibandingkan dengan referensi CORS JOGS.



Gambar 5. Rata-rata Simpangan Baku Koordinat Hasil Metode Statik.



Gambar 6. Nilai Rata-rata Simpangan Baku Koordinat Hasil Metode RTK-NTRIP Referensi CORS JOGS.



Gambar 7. Nilai Rata-rata Simpangan Baku Koordinat Hasil Metode RTK-NTRIP Referensi CORS GMU2.

4.5. Keakuratan Hasil Pengamatan

Akurasi hasil pengamatan menggunakan metode statik dan RTK-NTRIP dalam proyek ini diukur dengan membandingkan selisih koordinat antara hasil pengukuran dan dua referensi CORS, yaitu JOGS dan GMU2. Hasil pengukuran dari metode statik dan RTK-NTRIP yang menggunakan referensi CORS JOGS dijadikan acuan atau dianggap sebagai nilai yang benar untuk mengevaluasi konsistensi pengukuran terhadap referensi CORS GMU2.

Tabel 7. Selisih Koordinat Hasil Metode Statik

No. Titik	Selisih Koordinat (cm)		
	σN	σE	σh
O4P1	8,5	-35,1	-27,1
O4P2	6,5	-5,4	-19,0
O4P3	-2,9	-32,7	-4,3
O4P4	9,8	-34,0	-22,8
O4P5	-0,6	7,2	-2,2
O4P6	9,2	-34,5	-24,6
O4P7	3,3	-37,5	-13,6
O4P8	6,4	-35,7	-16,2
N0005	6,7	-39,1	-26,0

Tabel 8. Selisih Koordinat Hasil Metode RTK-NTRIP

No. Titik	10 Sampel			25 Sampel			50 Sampel			100 Sampel		
	ΔN (cm)	ΔE (cm)	Δh (cm)	ΔN (cm)	ΔE (cm)	Δh (cm)	ΔN (cm)	ΔE (cm)	Δh (cm)	ΔN (cm)	ΔE (cm)	Δh (cm)
O4P1	8,1	-	-6,6	8,5	-	-5,7	8,8	-	-7,3	8,4	-	-7,0
O4P2	9,4	-	-5,6	17,6	-	-	19,2	-	-	18,1	-	-20,6
O4P3	20,6	-	-	20,9	-	-	20,9	-	-	20,1	-	-7,4
O4P4	6,5	-	-0,7	11,8	-	-2,4	12,3	-	-3,5	12,2	-	-3,9
O4P5	16,7	-	-	17,3	-	-	18,3	-	-	18,8	-	-21,8
O4P6	12,7	-	-4,6	9,3	-	-5,7	8,7	-	-5,2	10,6	-	-5,6
O4P7	5,5	-	1,5	7,0	-	0,7	7,6	-	-0,4	7,7	-	-0,3
O4P8	35,6	-	2,9	38,5	-	1,4	38,4	-	-0,5	38,6	-	-3,5
N0005	8,7	-	-3,2	8,4	-	-5,4	8,6	-	-5,5	12,1	-	-26,3

4.6. RMSE Hasil Pengamatan

Nilai RMSE digunakan untuk mengidentifikasi tingkat akurasi suatu metode pengukuran dengan menyatakan perbedaan antara hasil pengukuran dan nilai acuan. Dalam kegiatan ini, RMSE digunakan untuk mengukur perbedaan relatif antara hasil pengamatan metode statik dan RTK-NTRIP terhadap referensi CORS GMU2 dan CORS JOGS, berdasarkan pengukuran di semua titik sampel. RMSE dihitung untuk tiga komponen koordinat (N, E, h) serta dihitung secara horizontal dan total.

Tabel 9. Nilai RMSE Hasil Metode Statik

RMSE N (cm)	RMSE E (cm)	RMSE h (cm)	RMSE Horizontal (cm)	RMSE Total (cm)
6,676	31,505	19,340	32,204	37,565

Tabel 10. Nilai RMSE Hasil Metode RTK-NTRIP

Repetisi Data	RMSE N (cm)	RMSE E (cm)	RMSE h (cm)	RMSE Horizontal (cm)	RMSE Total (cm)
10	16,451	36,470	9,577	40,008	41,138
50	18,090	34,784	12,025	39,207	41,010
100	18,402	35,202	11,382	39,722	41,320
150	18,586	35,663	13,967	40,216	42,572

4.7. Uji Signifikansi

Uji signifikansi dilakukan untuk menentukan apakah terdapat perbedaan signifikan antara koordinat hasil pengamatan dan koordinat referensi (Ghilani & Wolf, 2010). Uji ini menggunakan uji *t-student* dengan dua parameter pada tingkat kepercayaan 95% ($\alpha = 0,05$) dan derajat kebebasan (df) sebanyak 8, berdasarkan 9 titik pengamatan. Hasilnya menunjukkan nilai t-hitung sebesar 2,306. Pengujian ini bertujuan untuk memverifikasi apakah hipotesis nol (H_0) dapat diterima atau ditolak.

Hasil uji signifikansi disajikan dalam bentuk tabel. Pada kolom hasil uji, nilai "0" dan warna hijau menunjukkan bahwa hipotesis nol diterima, artinya koordinat yang diuji tidak memiliki perbedaan signifikan dengan koordinat acuan. Sebaliknya, nilai "A" dan warna merah menunjukkan penolakan hipotesis nol, yang berarti koordinat yang diuji berbeda secara signifikan dengan koordinat acuan.

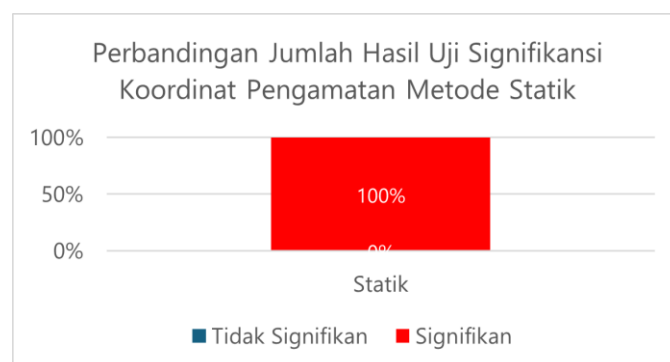
Tabel 11. Hasil Uji Signifikansi Koordinat Pengamatan Metode Statik

No. Titik	Koordinat		
	N	E	h
O4P1	A	A	A
O4P2	A	A	A
O4P3	A	A	A
O4P4	A	A	A
O4P5	A	A	A
O4P6	A	A	A
O4P7	A	A	A
O4P8	A	A	A
N0005	A	A	A

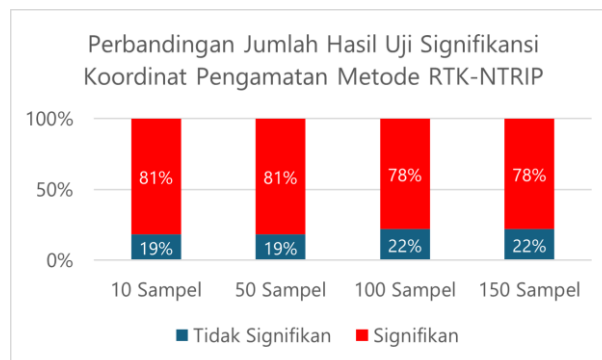
Tabel 12. Hasil Uji Signifikansi Koordinat Pengamatan Metode RTK-NTRIP

No. Titik	10 Sampel			25 Sampel			50 Sampel			100 Sampel		
	N	E	h	N	E	h	N	E	h	N	E	h
O4P1	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
O4P2	A	A	0	A	A	A	A	A	A	A	A	A
O4P3	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
O4P4	0	A	0	0	A	0	0	A	A	A	A	0
O4P5	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
O4P6	A	A	A	A	A	A	0	A	A	0	A	A
O4P7	0	A	0	A	A	0	0	A	0	0	A	0
O4P8	A	A	A	A	A	0	A	A	0	A	A	0
N0005	A	A	A	A	A	0	A	A	0	A	A	0

Gambar berikut menampilkan perbandingan persentase penerimaan dan penolakan hipotesis untuk setiap titik uji.



Gambar 8. Perbandingan Hasil Uji Signifikansi Pengamatan Metode Statik.



Gambar 9. Perbandingan Hasil Uji Signifikansi Pengamatan Metode RTK-NTRIP.

5. Pembahasan

Pembahasan ini menganalisis hasil evaluasi pengamatan GNSS menggunakan metode statik dan RTK-NTRIP dengan referensi CORS GMU2 dan CORS JOGS, meliputi aspek presisi, akurasi, serta perbandingan antara kedua metode tersebut. Pertama, dari segi presisi, pengamatan menggunakan metode statik menunjukkan hasil yang sangat baik, dengan simpangan baku untuk komponen *Easting*, *Northing*, dan tinggi berada dalam rentang milimeter. Metode RTK-NTRIP juga menunjukkan presisi yang cukup tinggi, meskipun simpangan bakunya sedikit lebih besar, berada dalam rentang milimeter hingga beberapa sentimeter. Secara keseluruhan, baik metode statik maupun RTK-NTRIP dengan referensi CORS GMU2 menunjukkan tingkat presisi yang memadai. Ketika dibandingkan antara CORS GMU2 dan CORS JOGS, referensi CORS GMU2 menghasilkan simpangan baku yang lebih rendah untuk kedua metode, terutama pada komponen tinggi. Pada metode statik, simpangan baku dengan referensi CORS GMU2 lebih kecil dibandingkan CORS JOGS, yang menunjukkan bahwa pengamatan dengan CORS GMU2 memiliki tingkat presisi yang lebih tinggi.

Pada segi akurasi, terdapat perbedaan yang signifikan antara koordinat hasil pengamatan dengan referensi CORS GMU2 dan CORS JOGS. Selisih koordinat pada sumbu *Easting*, *Northing*, dan tinggi mencapai fraksi sentimeter hingga desimeter, menunjukkan bahwa akurasi pengukuran masih perlu ditingkatkan. Nilai RMSE juga menunjukkan bahwa metode statik lebih unggul, dengan RMSE sebesar 37,565 cm, sedangkan metode RTK-NTRIP memiliki RMSE yang lebih besar, yaitu antara 41,010 cm hingga 42,572 cm. Meskipun metode statik memiliki RMSE yang lebih rendah, kedua metode masih menunjukkan ketidakakuratan yang cukup signifikan dalam hasil pengukuran.

Uji signifikansi antara kedua metode mengungkapkan bahwa metode statik lebih konsisten, dengan persentase penolakan hipotesis nol mencapai 100%, sementara metode RTK-NTRIP hanya mencapai 78% hingga 81%. Hal ini menunjukkan bahwa hasil pengamatan menggunakan metode statik lebih stabil dibandingkan RTK-NTRIP. Secara keseluruhan, pengamatan dengan referensi CORS GMU2 menunjukkan tingkat presisi yang lebih tinggi dibandingkan CORS JOGS, namun akurasi pengukuran masih bervariasi, yang kemungkinan disebabkan oleh perbedaan sistem referensi. CORS GMU2 menggunakan referensi global, sementara CORS JOGS menggunakan referensi SRGI 2013, yang lebih sesuai dengan sistem nasional.

6. Kesimpulan

Kesimpulan dari kegiatan aplikatif ini menunjukkan bahwa meskipun stasiun CORS GMU2 menghasilkan tingkat presisi yang tinggi, terutama pada metode statik, akurasinya masih kurang memadai. Pengamatan metode statik menunjukkan simpangan baku yang sangat kecil, dengan rentang komponen *Easting*, *Northing*, dan tinggi dalam satuan milimeter. Sementara metode RTK-NTRIP memiliki simpangan baku yang lebih besar, dengan variasi yang mencapai beberapa sentimeter, terutama pada komponen tinggi. Saat dibandingkan dengan referensi CORS JOGS, pengukuran menggunakan CORS GMU2 menunjukkan selisih koordinat yang signifikan, baik pada metode statik maupun RTK-NTRIP, dengan selisih rata-rata komponen *Northing*, *Easting*, dan tinggi mencapai rentang fraksi sentimeter hingga desimeter. Nilai RMSE yang diperoleh dari kedua metode menunjukkan bahwa pengamatan dengan CORS GMU2 menghasilkan ketidakakuratan yang cukup besar, dengan RMSE metode statik sebesar 37,565 cm dan metode RTK-NTRIP sebesar 41,010 cm. Selain itu, hasil uji signifikansi menunjukkan bahwa koordinat yang dihasilkan oleh kedua metode tersebut memiliki perbedaan signifikan, dengan persentase penolakan hipotesis nol pada metode statik mencapai 100%, dan metode RTK-NTRIP mencapai 78%. Dengan hasil ini, meskipun CORS GMU2 menunjukkan presisi yang tinggi, akurasi pengamatannya masih belum memadai untuk keperluan yang memerlukan tingkat ketelitian tinggi, sehingga belum direkomendasikan untuk digunakan tanpa peningkatan kualitas referensi atau pengolahan data yang lebih baik.

7. UCAPAN TERIMA KASIH/ACKNOWLEDGMENT

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Bapak Muhammad Iqbal Taftazani, S.T., M.Eng., selaku dosen pembimbing proyek akhir, atas arahan dan bimbingannya selama penyusunan proyek ini. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Ibu Erlin Setia Mumpuni, A.Md., laboran program studi Teknologi Survei dan Pemetaan Dasar, DTK, SV, UGM, yang membantu dan memberikan izin penggunaan alat GNSS Singular XYZ. Terima kasih yang mendalam juga ditujukan kepada keluarga penulis atas doa, dukungan, dan cinta yang tiada henti, serta teman-teman, khususnya Rafi, Angga, Aini, Laila, Amel, dan Ulya, yang turut serta dalam pengambilan data dan memberikan bantuan selama penyusunan proyek akhir ini.

8. Daftar Pustaka

- Alfarizi, G. (2022). Pendefinisian Koordinat Titik CORS ULPC Dengan Titik Ikat IGS dan Ina-CORS. Skripsi. Fakultas Teknik Universitas Lampung. Bandar Lampung. 61 hlm.
- Badan Standardisasi Nasional. (2002). SNI 19-6724-2002. Badan Standar Nasional Negara Republik Indonesia. Jakarta.
- Ghilani, C. D., & Wolf, P. R. (2014). *Elementary Surveying: an Introduction to Geomatics* (14th Edition). Pearson.
- Ghilani, C. D., dan Wolf, P. R., (2010), *Adjustment Computations, Spatial Data Analysis*. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.
- Ghilani, C. D., dan Wolf, P. R., (2010), *Adjustment Computations, Spatial Data Analysis*. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.
- Hafiz, E. G., Awaluddin, M., & Yuwono, B. D. (2014). Analisis Pengaruh Panjang Baseline Terhadap Ketelitian Pengukuran Situasi Dengan Menggunakan GNSS Metode RTK-NTRIP (Studi Kasus: Semarang, Kab. Kendal dan Boyolali). *Jurnal Geodesi Undip*, 3(1), 45-54. <https://doi.org/10.14710/jgundip.2014.4732>.
- Haspasari, W., Yuwono, B. D., & Ammarrohman, F. J. (2016). Penentuan Posisi Stasiun GNSS CORS Undip Epoch 2015 dan Epoch 2016 Berdasarkan Stasiun IGS dan SRGI Menggunakan Perangkat Lunak Gamit 10.6. *Jurnal Geodesi Undip*, 5(4), 243 - 253. <https://doi.org/10.14710/jgundip.2016.13982>.
- Khairuddin, K., Yuwono, B. D., & Awalludin, M. (2019). Analisis Hasil Pengolahan Titik Pengamatan CORS BIG Menggunakan Ultra Rapid, Rapid dan Final Ephemeris Untuk Pengamatan Deformasi. *Jurnal Geodesi Undip*, 8(1), 190-199. <https://doi.org/10.14710/jgundip.2019.22556>.
- Lenz, E. (2005). Networked Transport of RTCM via Internet Protocol (NTRIP) – Application and Benefit in Modern Surveying Systems. In FIG Working Week. Hal 22-27.
- Mukhlis, M. (2023). Analisis Hasil Penentuan Posisi Metode Rapid Static dan RTK-NTRIP untuk Titik Kontrol Orde 3 dan 4. Skripsi. Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta. 100 hlm.
- Mukhlis, M. (2023). Analisis Hasil Penentuan Posisi Metode Rapid Static dan RTK-NTRIP untuk Titik Kontrol Orde 3 dan 4. Skripsi. Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta. 100 hlm.
- Nugroho, M. R. S. J., Murdapa, F., & Rahmadi, E. (2022). Analisis Pengukuran Bidang Tanah Menggunakan Metode RTK-NTRIP dengan Beberapa Provider 4G. *Journal of Geodesy and Geomatics*, 2(1), 1-9.
- Pratama, S. M. (2023). Akurasi Pengamatan GNSS Metode RTK-NTRIP Menggunakan CORS ULPC. Skripsi. Fakultas Teknik Universitas Lampung. Bandar Lampung. 49 hlm.
- Purba, E. S., Yuwono, B. D., & Sabri, L. M. (2013). Penentuan Koordinat Definitif Epoch 2013 Stasiun CORS Geodesi Undip Dengan Menggunakan Perangkat Lunak Gamit 10.04. *Jurnal Geodesi Undip*, 2(4). <https://doi.org/10.14710/jgundip.2013.3698>.
- Safi'i, A. N., & Aditya, A. (2017). Akurasi Pengukuran GPS Metode RTK-NTRIP Menggunakan Ina-CORS BIG. *Seminar Nasional Geomatika*, 2, 455. <https://doi.org/10.24895/Sng.2017.2-0.441>.
- Yulaikhah, Y., Pramumijoyo, S., & Widjajanti, N. (2018). Correlation of GNSS Observation Data Quality Resulted from TEQC Checking and Coordinate's Precision. *JGISE: Journal of Geospatial Information Science and Engineering*, 1(1). <https://doi.org/10.22146/jgise.38387>.