

EVALUASI CARA PENGIKATAN KE TITIK TETAP PADA PENENTUAN POSISI DENGAN GNSS

(Evaluation of the Use of Reference Points in GNSS Positioning)

Anindya Sricandra Prasidya, Muhamad Iqbal Taftazani, Wahyu Marta Mutiarasari, Annisa Farida Hayuningsih, Ni Putu Praja Chintya, dan Rochmad Muryamto

Program Studi D-III Teknik Geomatika, Departemen Teknologi Kebumihan, Sekolah Vokasi Universitas Gadjah Mada

Jl. Yacarana, Sekip Unit I, Caturtunggal, Depok, Sleman, Yogyakarta 55281

E-mail: anindya.sricandra.p@ugm.ac.id

Diterima: 08 November 2018; Direvisi: 08 April 2019; Disetujui untuk Dipublikasikan: 28 Juni 2019

ABSTRAK

Pengikatan ke titik tetap dalam sebuah penentuan posisi dengan GNSS merupakan salah satu faktor yang berpengaruh pada hasil perataan jaring GNSS. Cara pengikatan ke titik tetap masih jarang dikaji, padahal hal ini sering terjadi. Jauhnya lokasi titik tetap dan pendeknya baseline yang disurvei membuat cara pengikatan secara langsung ke titik tetap menghasilkan geometri jaringan yang kurang ideal. Masalah ketelitian yang dihasilkan akibat kasus tersebut dikaji pada penelitian ini. Dua pendekatan cara pengikatan yang dipakai dalam studi ini yakni skema-1 dan skema-2. Skema-1 adalah pengikatan langsung dari dua titik tetap (KPG2 dan BTL2) ke titik uji (PM1, PM2, PM3, dan PM4), sedangkan skema-2 adalah cara pengikatan beranting dari titik KPG2 dan BTL2 ke titik perantara dekat lokasi (PABU) yang dipakai untuk mengikat titik-titik uji. Titik uji diamat selama 30 menit dan titik PABU diamati selama 3 jam menggunakan pengamatan GNSS diferensial statik. Berdasarkan analisis, diketahui bahwa dengan asumsi titik PABU *fixed* dan perambatan kesalahannya pada koordinat akhir tidak diperhitungkan, skema-2 memiliki ketelitian koordinat yang lebih tinggi (2,5 mm sampai dengan 8,3 mm) dibandingkan skema-1 (24,9 mm s.d. 67,9 mm). Nilai koordinat dari dua skema tersebut berbeda secara statistik (rentang kepercayaan = 95%) hanya pada komponen *easting*-nya sedangkan komponen *northing* dan *height*-nya tidak demikian. Ketelitian antara kedua skema pun berbeda secara statistik pada semua komponen koordinat. Dengan demikian, pada kasus ini, cara pengikatan beranting menghasilkan ketelitian koordinat yang lebih tinggi dibandingkan pengikatan langsung.

Kata kunci: Titik Ikat, GNSS, Perataan Jaring, Simpangan Baku

ABSTRACT

The binding to reference points in GNSS positioning is one of factors affected GNSS network adjustment result. The binding to reference point method is rarely studied, even though it frequently happens. The distant reference point and the short baseline surveyed cause the direct binding to reference point has less ideal network geometry. The precision problem of this case was investigated in this study. Two kinds of binding method were introduced in this study, namely scheme-1 and scheme-2. Scheme-1 was the direct binding method from two reference points (KPG2 and BTL2) to surveyed points (PM1, PM2, PM3, and PM4), while scheme-2 was the sequential binding method from KPG2 and BTL2 point to intermediary near sites point (PABU) which was used to bind the surveyed points. The surveyed points were observed for 30 minutes and PABU point was observed for 3 hours using GNSS static differential observation. Based on analysis, it was known that with the assumption that PABU point was fixed and propagation of its error to final coordinate wasn't considered, then scheme-2 had better coordinate precision range (2.5 mm to 8.3 mm) than scheme-1 (24.9 mm to 67.9 mm). The coordinate values of the two schemes were statistically different (confidence level = 95%) only on their easting component while their northing and height component were not different. Coordinate precisions of the two schemes were statistically different in all coordinate components. Therefore, in this case, sequential binding method produced higher coordinate precision than direct binding.

Keywords: Reference Point, GNSS, Network Adjustment, Standard Deviation

PENDAHULUAN

Dewasa ini, kebutuhan penentuan posisi titik secara teliti di atas permukaan bumi telah meningkat pesat. Sebuah titik di permukaan bumi dinyatakan dalam nilai koordinat tertentu sesuai

sistem koordinat yang dipakai. Pada keperluan rekayasa, posisi suatu titik di permukaan bumi harus ditentukan secara tepat dan teliti, sehingga penerapan rencana ke lapangan semakin baik. Penentuan posisi secara teliti untuk suatu titik

semakin diperlukan apabila terkait dengan pengadaan kerangka kontrol. Salah satu metode penentuan posisi yang teliti dan mampu memenuhi spesifikasi pengadaan kerangka kontrol dengan kemampuan cakupan luas adalah menggunakan metode pengamatan satelit navigasi GNSS (Abidin, 2007). Dalam mencapai tujuan tersedianya posisi titik yang teliti sesuai spesifikasi tertentu, perlu diperhatikan faktor-faktor yang mempengaruhi ketelitian saat pelaksanaan pengamatan. Faktor-faktor tersebut, yaitu metode pengamatan, waktu saat pengamatan, lama waktu pengamatan, dan pengikatan ke titik tetap (Abidin, 2007).

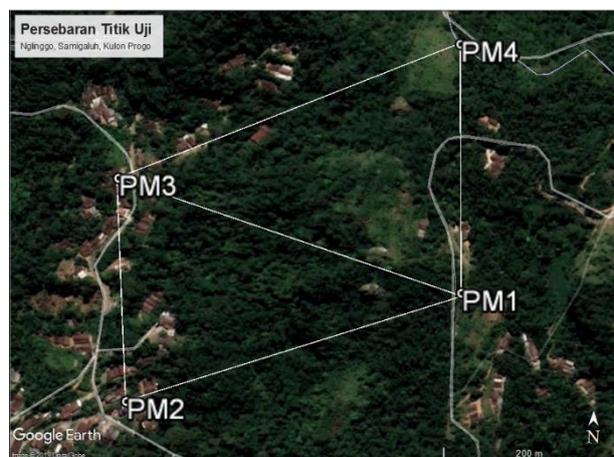
Strategi pengikatan ke titik tetap saat pengamatan GNSS menjadi hal yang penting untuk mendefinisikan datum dari kerangka acuan yang sesuai dengan sistem acuan yang berlaku di suatu wilayah dan memelihara konsistensi dan homogenitas akurasi titik terhadap kerangka acuan (Nugroho & Suntoko, 2011). Pengikatan ke titik tetap juga dijadikan standar dan spesifikasi survei dalam Standar Nasional Indonesia (SNI) Jaring Kontrol Horizontal (JKH) dalam hal kontrol kualitas hasil perataan jaring terikat dan penentuan parameter transformasi koordinat (Badan Standardisasi Nasional, 2002). Dalam hal ini, jumlah, distribusi, dan ketelitian titik tetap yang dijadikan titik ikat sangat mempengaruhi ketelitian titik hasil perataan jaring GNSS saat proses pengolahan data (Artini, 2014; Ikbal, Yuwono, & Amarrohman, 2017; Rudianto & Yuhana, 2013).

Penelitian-penelitian sebelumnya telah banyak membahas pengaruh jumlah, distribusi, dan ketelitian titik ikat. Hasil yang diperoleh bahwa secara umum, hal-hal tersebut sangat mempengaruhi ketelitian posisi yang dihasilkan pada penentuan posisi dengan GNSS. Di sisi lain, dalam pelaksanaan pengikatan ke titik tetap, masalah yang muncul tidak hanya terkait dengan jumlah, distribusi, dan ketelitian titik ikat. Pada kasus tertentu, terkadang didapati bahwa titik ikat berada sangat jauh dari lokasi yang disurvei. Apabila lokasi yang dipetakan memiliki cakupan sempit, dapat menyebabkan geometri jaringan menjadi tidak ideal. Dalam hal ini, alternatif cara pengikatan ke titik tetap menarik untuk dikaji. Alternatif cara yang dibahas yaitu mendekatkan titik ikat yang jauh dengan cara pengikatan secara tidak langsung atau beranting (Abidin, Jones, & Kahar, 2016).

Penelitian ini bertujuan mengevaluasi ketelitian cara pengikatan ke titik tetap saat pengamatan GNSS, khususnya pada studi kasus di mana baseline yang disurvei relatif sempit dan posisi titik ikat jauh dari lokasi. Cara pengikatan ke titik tetap yang dievaluasi adalah cara alternatif pengikatan ke titik tetap secara beranting dari segi efektivitas, perbedaan nilai koordinat dan ketelitian yang dihasilkan dari cara ini jika dibandingkan dengan cara pengikatan langsung.

METODE

Lokasi penelitian berada pada wilayah Kebun Teh Nginggo, Kecamatan Samigaluh, Kulon Progo. Pada lokasi ini terdapat titik-titik uji berupa *Ground Control Point* (GCP) pemetaan secara fotogrametris dengan UAV dalam cakupan sempit yang ditentukan posisinya, yaitu PM1, PM2, PM3, dan PM4. Jarak antar titik GCP maksimal sebesar 500 m. Adapun lokasi titik tetap masing-masing di Kabupaten Bantul dan Kabupaten Kulonprogo, yaitu titik stasiun CORS BTL2 dan KPG1. Jarak titik BTL2 dari lokasi survei sekitar 35 km, sedangkan KPG2 berjarak sekitar 21 km. Sketsa persebaran titik GCP yang dipakai pada penelitian ini disajikan pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Sketsa persebaran titik uji (PM1, PM2, PM3, dan PM4).

Alat dan bahan yang digunakan yaitu tiga unit GNSS dual-frekuensi merek Javad Triumph-1 dan dua unit GNSS merek Leica GS08, perangkat lunak GNSS komersial, dan data RINEX stasiun CORS BTL2 dan KPG2. Data GNSS direkam selama 30 menit pada masing-masing titik uji dan 3 jam pada titik pilar PABU, interval pengamatan 5 detik, dan *elevation mask* 10°. Metode yang dipakai adalah statik diferensial. Metode ini dipilih karena metode ini merupakan metode penentuan posisi GNSS yang paling teliti (El-Rabbany, 2002).

Pengolahan Data GNSS Diferensial

Pengolahan data GNSS secara umum dilakukan dengan tahapan berikut (H. Z. Abidin, 2007; Rizos, 1997): (1) Pemrosesan awal terdiri atas konversi data raw ke format RINEX (transfer dan pengkodean data), (2) pemeriksaan dan pengeditan data, (3) penentuan posisi awal dari data *pseudorange*, dan (4) penyiapan data. Hasil tahap ini dipakai pada pengolahan *baseline*. Pengolahan *baseline* bertujuan memperoleh solusi vektor *baseline* (dx, dy, dz) dan solusi ambiguitas fase (N) beserta matriks varian kovariannya. Pengolahan tersebut terdiri atas beberapa tahap, yaitu dari pemrosesan awal, penetapan satu titik di

ujung *baseline* sebagai *monitor station*, *differential positioning* menggunakan data fase *triple-difference*, pendeteksian dan pengkoreksian *cycle slips*, *differential positioning* dengan data fase *double-difference* yang menghasilkan *ambiguitas fase free/float*, penentuan *cycle ambiguity (searching and fixing)*, terakhir dilakukan kembali proses *double-difference* fase untuk memperoleh nilai ambiguitas fase *fixed*. Proses-proses estimasi pada pengolahan *baseline* yang dipakai yaitu metode perataan kuadrat terkecil. Hasil tahapan ini dipakai pada proses perataan jaringan.

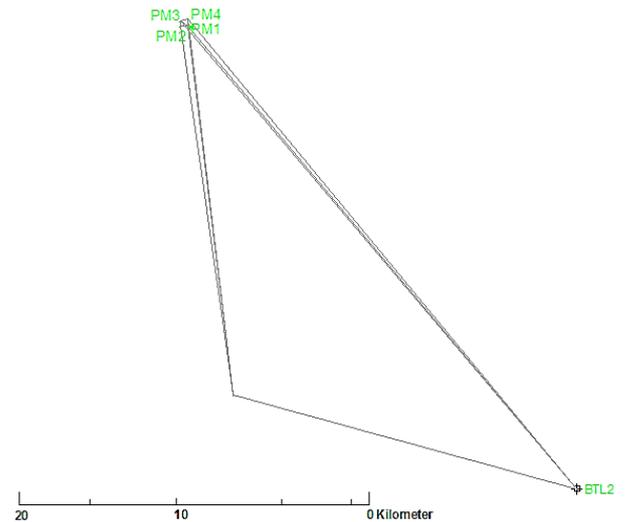
Data solusi *baseline* dijadikan data masukan dalam proses perataan jaring. *Baseline* yang belum terintegrasi dan koordinat titiknya belum unik diproses agar menghasilkan koordinat titik yang unik dan *baseline* terintegrasi dan konsisten (Abidin & Mugiarto, 2000). Proses perataan jaring terdiri atas perataan jaring bebas (*minimum constraint*) dan terikat (*full constraint*) (Rudianto & Izman, 2011). Koordinat akhir yang dipakai adalah koordinat dari hasil perataan jaring terikat dengan memakai semua titik ikat yang dianggap tanpa kesalahan. Perataan jaring terikat ini memberikan koordinat definitif untuk semua titik-titik yang baru. Konversi dilakukan untuk mendapatkan nilai koordinat yang sudah terproyeksi pada bidang datar dari koordinat pada bidang lengkung (RICS, 2010). Tujuannya adalah mendapatkan koordinat dalam satuan metrik yang siap dipakai untuk pemetaan di lapangan (El-Rabbany, 2002).

Pembuatan Skema Pengolahan

Pengolahan data GNSS dilakukan pada dua skema sesuai skema pengukuran. Penentuan dua skema ini didasarkan pada variabel bagaimana cara pengikatan titik uji yang berupa titik GCP seperti ditunjukkan **Gambar 1**. Dua skema ini mengikatkan titik uji secara langsung ke stasiun CORS dan secara tidak langsung melalui titik perantara.

Skema-1

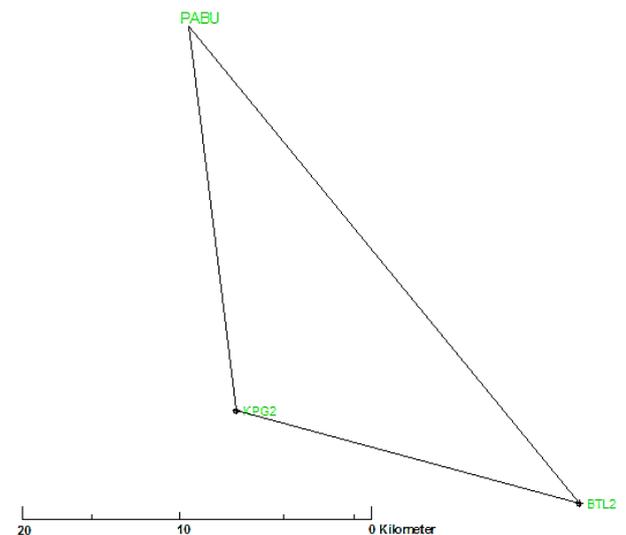
Pengolahan pertama dilaksanakan dengan cara pengikatan langsung titik-titik uji di lokasi survei ke titik tetap CORS BTL2 dan KPG2. Sketsa pengamatan GNSS disajikan pada **Gambar 2**. Berdasarkan **Gambar 2** terlihat bahwa panjang *baseline* titik uji PM1, PM2, PM3, dan PM4 di lokasi survei relatif pendek jika dibandingkan dengan *baseline* ke titik tetap. Panjang *baseline* di lokasi survei hanya berkisar 300 s.d. 500 meter saja, sedangkan *baseline* ke titik tetap panjangnya lebih dari 30 kilometer. Hal ini menyebabkan tidak idealnya geometri jaringan pengamatan GNSS.



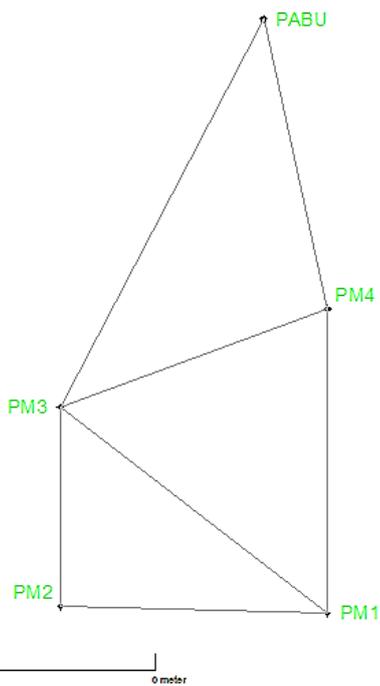
Gambar 2. Pengamatan jaring skema-1.

Skema-2

Pengolahan skema kedua dilakukan dengan cara pengikatan secara beranting/tidak langsung, yakni membuat titik perantara atau titik tetap baru (titik PABU) di dekat lokasi pengukuran berdasarkan pengikatan ke titik tetap BTL2 dan KPG2, kemudian hasilnya dapat dipakai untuk melakukan pengolahan titik-titik uji. Berbeda dengan skema sebelumnya, skema ini menyediakan titik perantara dahulu sebelum dipakai untuk pengikatan titik uji. Pengamatan GNSS untuk pengikatan titik perantara ini dilakukan lebih lama dibandingkan pengamatan titik uji, yaitu selama 3 jam. Titik perantara ini berupa pilar cor beton, sehingga relatif lebih stabil dibanding titik uji. Skema ini dijelaskan pada **Gambar 3** dan **Gambar 4**.



Gambar 3. Penentuan posisi titik perantara (PABU) berdasarkan titik CORS BTL2 dan KPG2 pada skema-2.



Gambar 4. Pengamatan titik uji berdasarkan titik PABU pada skema-2.

Uji Statistik Perbandingan Nilai Koordinat dan Simpangan Baku

Selanjutnya analisis perbandingan dilakukan terhadap hasil koordinat dan simpangan baku masing-masing titik uji yang diperoleh dari dua skema yang berbeda. Perbandingan dilakukan untuk mengetahui apakah nilai koordinat hasil skema-1 dan skema-2 berbeda signifikan atau tidak. Dalam hal ini, uji signifikansi beda dua parameter dilakukan dengan distribusi *student* pada tingkat kepercayaan 95% dengan derajat kebebasan ∞ . Kriteria pengujiannya pada **Persamaan 1** dan **Persamaan 2** (Ulinnuha, 2015).

$$t = \frac{|x_1 - x_2|}{\sqrt{\sigma_{x1}^2 + \sigma_{x2}^2}} \dots\dots\dots(1)$$

$$t \leq t(\alpha/2, df) \dots\dots\dots(2)$$

di mana:

x_1, x_2 : koordinat komponen skema-1 dan skema-2

$\sigma_{x1}^2, \sigma_{x2}^2$: varian koordinat skema-1 dan skema-2

Dalam persamaan tersebut, penolakan hipotesis nol (H_0) jika kriteria pada **Persamaan 2** tidak terpenuhi, sehingga kedua parameter berbeda secara signifikan. Selain uji signifikansi beda dua parameter, perbandingan ketelitian koordinat hasil kedua skema tersebut juga diuji signifikansi perbedaannya secara statistik. Dalam hal ini, uji *Fisher (F-test)* dilakukan dengan distribusi *Fisher* pada tingkat akurasi 95% dan derajat kebebasan tertentu. Kriteria pengujiannya tertera pada

Persamaan 3 dan **Persamaan 4** (Ghilani & Wolf, 2006).

$$F = \frac{\sigma_{x1}^2}{\sigma_{x2}^2} \dots\dots\dots(3)$$

$$F > F_{\alpha/2, v1, v2} \dots\dots\dots(4)$$

di mana,

v_1, v_2 = derajat kebebasan dari skema-1 dan skema-2

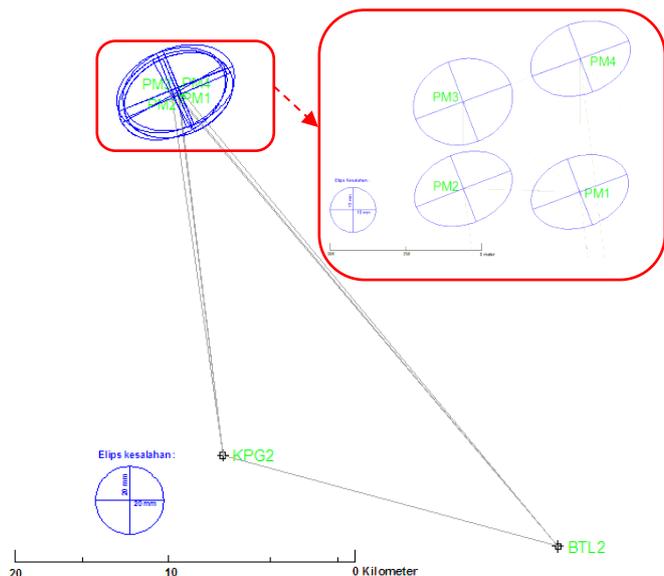
$\sigma_{x1}^2, \sigma_{x2}^2$ = varian nilai koordinat skema-1 dan 2

Dalam **Persamaan 4**, jika kriteria tidak terpenuhi, maka terjadi penolakan hipotesis nol (H_0). Hal ini berarti bahwa secara statistik ketelitian komponen koordinat pada kedua skema berbeda secara signifikan. Dalam penelitian ini, perbedaan dari segi nilai dan ketelitian ini menjadi kajian utama.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Perataan Jaring Skema-1 dan Skema-2

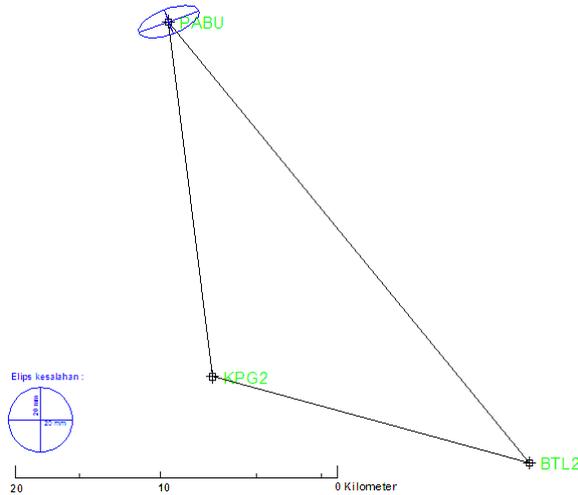
Analisis hasil perataan jaring dilakukan pada kedua skema. Pada skema-1, titik uji PM1, PM2, PM3, dan PM4 dilakukan perataan jaring terikat pada stasiun CORS KPG2 dan BTL2. Dalam hal ini, pengikatan dilaksanakan langsung dengan *baseline* ikatan sejauh 21 dan 35 km. Posisi antar titik uji yang sangat dekat membuat bentuk jaring titik yang diikat terlihat saling menumpuk. Bentuk jaring hasil perataan pada skema-1 beserta elips kesalahannya disajikan pada **Gambar 5**.



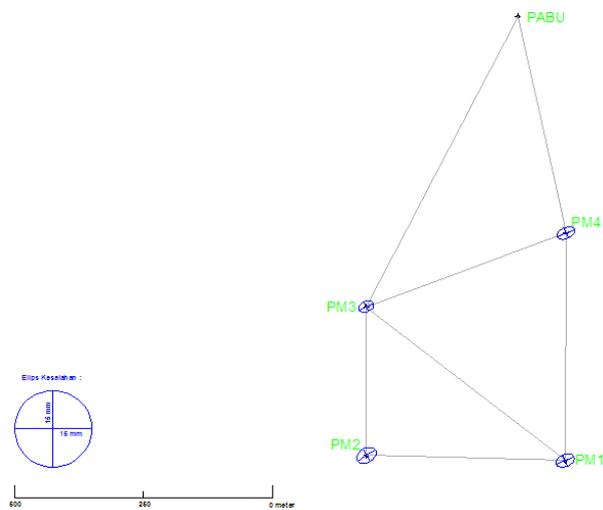
Gambar 5. Visualisasi elips kesalahan hasil pengolahan skema-1.

Pada skema-2, titik uji diolah melalui proses perataan jaring terikat ke titik PABU. Titik PABU merupakan titik yang diadakan dekat area yang

dipetakan untuk proses pengikatan secara beranting. Titik PABU diolah terikat pada titik yang sama pada skema-1, yaitu titik CORS KPG2 dan BTL2. Berdasarkan cara ini, titik KPG2 dan BTL2 tidak langsung dipakai untuk mengikat titik PM1, PM2, PM3, dan PM4. Dengan demikian, geometri jaring titik PABU dan titik-titik uji menjadi lebih baik. Hasil perataan jaring terikat titik PABU disajikan pada **Gambar 6**, sedangkan hasil perataan jaring terikat pada titik-titik uji disajikan pada **Gambar 7**.



Gambar 6. Visualisasi elips kesalahan titik perantara (PABU) hasil pengolahan skema-2.



Gambar 7. Visualisasi elips kesalahan titik uji (PM1, PM2, PM3, dan PM4) hasil pengolahan skema-2.

Hasil pengolahan secara umum pada skema-1, ketelitian horizontalnya adalah 34,1 mm dan ketelitian vertikalnya adalah 67,9 mm. Adapun nilai koordinat dan simpangan baku setiap titik disajikan pada **Tabel 1**. Dari **Tabel 1** diketahui bahwa rentang ketelitian (yang ditunjukkan dengan nilai simpangan baku) koordinat dari hasil perataan

jaring skema-1 adalah 24,9 mm s.d. 67,9 mm. Dalam hal ini, nilai ketelitian masing-masing titik hampir memiliki nilai yang sama.

Tabel 1. Nilai koordinat geodetik dan simpangan baku pada skema-1.

Titik		Lintang	Bujur	Tinggi [m]
BTL2	Koordinat	S7° 53' 43,74217"	E110° 20' 46,90369"	78,438
	S.Baku. (mm)	0,0	0,0	0,0
KPG 2	Koordinat	S7° 50' 47,33427"	E110° 10' 04,58830"	59,609
	S.Baku. (mm)	0,0	0,0	0,0
PM1	Koordinat	S7° 39' 13,68022"	E110° 08' 40,83171"	885,805
	S.Baku. (mm)	24,9	32,3	67,3
PM2	Koordinat	S7° 39' 13,31970"	E110° 08' 28,23746"	799,771
	S.Baku. (mm)	25,1	32,4	67,8
PM3	Koordinat	S7° 39' 03,84601"	E110° 08' 28,23006"	821,515
	S.Baku. (mm)	25,0	32,4	67,4
PM4	Koordinat	S7° 38' 59,17971"	E110° 08' 40,91479"	918,480
	S.Baku. (mm)	25,2	33,0	67,9

Pada skema-2, hasil dibedakan menjadi dua jenis, yaitu hasil perataan jaring pada titik ikat PABU terhadap CORS KPG2 dan BTL2 dan hasil perataan jaring pada titik-titik uji terhadap titik PABU. Hasil perataan jaring pada titik ikat PABU, diperoleh ketelitian horizontal sebesar sebesar 19,1 mm dan ketelitian vertikal (tinggi elipsoid) sebesar 21,4 mm. Sedangkan ketelitian pengolahan titik uji terikat pada PABU sebesar 4,1 mm pada komponen horizontalnya dan sebesar 8,3 mm pada komponen vertikalnya. Hasil koordinat dan simpangan baku setiap titik uji disajikan pada **Tabel 2**.

Berdasarkan **Tabel 2** diketahui bahwa pada pengukuran selama 30 menit dengan jarak titik tetap sejauh 21 km dan 35 km, skema-2 mampu menghasilkan ketelitian koordinat titik uji antara 2,5 mm s.d. 8,3 mm. Pola ketelitian koordinat berdasarkan hasil pada **Tabel 1** dan **Tabel 2** menunjukkan pola yang sama, yaitu ketelitian komponen vertikal 2 s.d. 3 kali ketelitian komponen horizontalnya (Abidin, 2007). Ketelitian dalam bentuk simpangan baku ini nantinya dipakai dalam uji statistik menentukan beda koordinat dan ketelitian.

Tabel 2. Nilai koordinat geodetik dan simpangan baku pada skema-2.

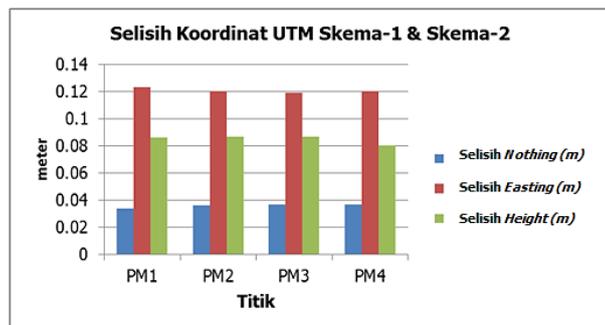
Titik		Lintang	Bujur	Tinggi [m]
PABU	Koordinat	S7° 38' 45,36937"	E110° 08' 37,89138"	904,462
	S.Baku.(mm)	0,0	0,0	0,0
PM1	Koordinat	S7° 39' 13,68415"	E110° 08' 40,83055"	885,719
	S.Baku.(mm)	2,7	3,5	7,4
PM2	Koordinat	S7° 39' 13,32363"	E110° 08' 28,23633"	799,684
	S.Baku.(mm)	3,1	3,7	8,3
PM3	Koordinat	S7° 39' 03,84995"	E110° 08' 28,22892"	821,428
	S.Baku.(mm)	2,2	3,0	6,3
PM4	Koordinat	S7° 38' 59,18358"	E110° 08' 40,91364"	918,400
	S.Baku.(mm)	2,5	3,5	6,8

Tabel 3. Hasil uji signifikansi beda dua parameter.

Titik		<i>Northing</i>	<i>Easting</i>	<i>Height</i>
PM1	Nilai t-hitung	1,36	3,78	1,27
	Hasil uji-t	Ho diterima	Ho ditolak	Ho diterima
PM2	Nilai t-hitung	1,42	3,68	1,27
	Hasil uji-t	Ho diterima	Ho ditolak	Ho diterima
PM3	Nilai t-hitung	1,47	3,66	1,27
	Hasil uji-t	Ho diterima	Ho ditolak	Ho diterima
PM4	Nilai t-hitung	1,46	3,62	1,17
	Hasil uji-t	Ho diterima	Ho ditolak	Ho diterima

Evaluasi Hasil Perbandingan Koordinat dan Simpangan Baku

Koordinat titik-titik uji pada skema-1 dan skema-2 dibandingkan untuk memperoleh tingkat perbedaan nilai dan ketelitiannya. Nilai koordinat geodetik dikonversi menjadi koordinat UTM. Hasil perbandingan koordinat pada setiap titik di setiap komponennya disajikan pada **Gambar 8**.



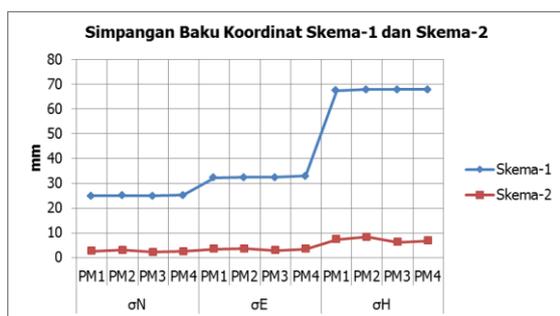
Gambar 8. Selisih koordinat UTM skema-1 dan skema-2.

Berdasarkan **Gambar 8**, diketahui bahwa selisih komponen *Northing* kurang dari 4 cm, sedangkan pada komponen *Easting* kurang dari 13 cm. Dalam hal ini, selisih komponen koordinat *Easting* memiliki selisih nilai yang lebih besar dari komponen *Northing*-nya. Perbedaan ini nampak cukup besar, tetapi untuk melihat apakah keduanya berbeda signifikan, maka perlu dikaitkan dengan ketelitiannya. Hasil perbandingan nilai koordinat dengan ketelitiannya dalam uji statistik menggunakan distribusi *student* dengan kriteria seperti **Persamaan 1** dan **Persamaan 2** disajikan pada **Tabel 3**.

Berdasarkan **Tabel 3**, diketahui bahwa nilai t hitung pada komponen *Easting* dan *Height* memiliki nilai kurang dari t tabel, yaitu 1,96, sedangkan pada komponen *Northing* nilai t hitung lebih dari t tabel. Hal ini menunjukkan bahwa dalam tingkat kepercayaan 95% terjadi perbedaan nilai yang signifikan pada komponen *Easting*, dan tidak terjadi perbedaan signifikan secara statistik pada komponen *Northing* dan *Height*. Dengan demikian, hasil koordinat skema-1 dan skema-2 tidak sepenuhnya berbeda akibat perbedaan cara pengikatan yang diterapkan. Perbedaan signifikan hanya terlihat pada komponen *Easting* saja, meskipun secara nilai terjadi perbedaan dalam fraksi sentimeter dan desimeter. Perbedaan signifikan pada komponen *Easting* ini dikarenakan posisi titik ikat PABU relatif berada di utara titik-titik uji, sehingga kontrol komponen *Northing* lebih baik dibandingkan terhadap komponen *Easting*-nya. Dalam hal ini, pengaruh penggunaan titik ikat PABU yang memiliki kesalahan belum diperhitungkan. Selanjutnya, evaluasi ketelitian koordinat dilakukan terhadap kedua skema tersebut. Hasil perbandingan ini disajikan pada **Gambar 9**.

Berdasarkan **Gambar 9**, ketelitian koordinat titik-titik uji pada setiap komponennya pada skema-2 lebih teliti daripada skema-1 ditandai dengan grafik simpangan baku yang relatif di bawah grafik skema-2. Rentang ketelitian koordinat skema-1 antara 24,9 mm s.d. 67,9 mm, sedangkan rentang ketelitian koordinat skema-2 antara 2,5 mm s.d. 8,3 mm. Dengan demikian, skema-2 menghasilkan ketelitian koordinat yang lebih tinggi. Meskipun demikian, hal ini masih memiliki beberapa batasan. Pertama, bahwa ketelitian skema-2 ini dipengaruhi

juga oleh ketelitian titik PABU yang memiliki nilai simpangan baku seperti disajikan pada **Gambar 5**. Dalam hal ini, pengkajian seberapa besar pengaruh kesalahan titik PABU terhadap hasil koordinat PM titik uji belum spesifik dilakukan. Kedua, ketelitian skema-2 ini masih menggunakan perataan jaring *minimum constraint* dengan memakai satu titik ikat saja. Hal ini tentu mempengaruhi juga tingkat ketelitian koordinat yang diperoleh. Padahal apabila dilakukan penambahan jumlah titik ikat (lebih dari 1 titik), maka perataan jaring *full constraint* dapat dilakukan, sehingga dapat meningkatkan tingkat kepresisian koordinat (Abidin et al., 2016). Berdasarkan dua batasan ini, dimungkinkan nilai koordinat pada **Tabel 2** dan **Tabel 3** memiliki nilai yang hampir sama. Perlu penelitian lanjut untuk menjawab hal ini.



Gambar 9. Perbandingan simpangan baku koordinat skema-1 dan skema-2.

dimana:

- σN = Simpangan baku pada komponen *Northing*
- σE = Simpangan baku pada komponen *Easting*
- σH = Simpangan baku pada komponen *Height*

Berdasarkan **Gambar 9** terlihat perbedaan yang cukup signifikan ketelitian koordinat dari skema-1 dan skema-2. Dalam hal ini, uji statistik dilakukan untuk mengetahui apakah perbedaan ketelitian tersebut signifikan secara statistik atau tidak. Berdasarkan kriteria pada **Persamaan 3** dan **Persamaan 4**, hasil uji seperti disajikan pada **Tabel 4**.

Tabel 4. Hasil uji-F.

Titik		σN	σE	σH
PM1	Nilai	85,049	85,166	82,957
	F-hitung			
	Hasil Uji-F	Ho	Ho	Ho
	Uji-F	ditolak	ditolak	ditolak
PM2	Nilai	65,558	76,681	66,727
	F-hitung			
	Hasil Uji-F	Ho	Ho	Ho
	Uji-F	ditolak	ditolak	ditolak
PM3	Nilai	129,132	116,640	116,160
	F-hitung			
	Hasil Uji-F	Ho	Ho	Ho
	Uji-F	ditolak	ditolak	ditolak

Titik		σN	σE	σH
PM4	Nilai	101,606	88,898	99,706
	F-hitung			
	Hasil Uji-F	Ho	Ho	Ho
	Uji-F	ditolak	ditolak	ditolak

dimana:

- σN = Simpangan baku pada komponen *Northing*
- σE = Simpangan baku pada komponen *Easting*
- σH = Simpangan baku pada komponen *Height*

Berdasarkan **Tabel 4**, diketahui nilai F hitung lebih besar dari pada nilai F tabel, yakni sebesar 3,651. Dengan demikian, hipotesis nol (Ho) ditolak, yang berarti pada tingkat kepercayaan 95% terdapat perbedaan ketelitian yang signifikan secara statistik antara skema-1 dan skema-2. Perbedaan ketelitian ini dapat disebabkan karena adanya perbedaan cara penanganan terhadap efek kesalahan dan bias yang terjadi pada baseline yang panjang (seperti ditemukan pada skema-1 dan pengikatan titik perantara (titik PABU) pada skema-2).

Pada skema-2 dilakukan pengamatan yang lebih lama dibandingkan skema-1 untuk panjang *baseline* yang hampir sama. Skema-1 langsung mengikat titik uji yang hanya diamat selama 30 menit, sedangkan skema-2 mengikat titik perantara dahulu selama 3 jam baru mengikat titik uji selama 30 menit. Pengamatan selama 3 jam pada skema-2 ini menangani adanya fakta mengenai efek kesalahan orbit, bias ionosfer dan troposfer. Pengamatan yang lama ini akan meliputi variasi geometri satelit dan variasi kondisi atmosfer yang besar, sehingga menyebabkan randomisasi yang lebih baik terhadap efek kesalahan orbit, bias ionosfer dan troposfer pada data ukuran jarak (Wells et al., 1986). Berdasarkan hal ini, diketahui juga adanya perbedaan tingkat penanganan terhadap kesalahan dan bias dari skema-1 dan skema-2 yang mana secara nyata menghasilkan ketelitian data yang lebih baik. Selain lama pengamatan, pada skema-2 ini juga menggunakan receiver dual-frekuensi untuk menangani fakta adanya efek kesalahan dan bias pada panjang *baseline* tersebut (El-Rabbany, 2002).

Selain faktor tersebut, perbedaan ketelitian skema-1 dan skema-2 juga dapat disebabkan karena perbedaan jarak titik ikat dengan titik-titik ujinya. Pada skema-1 jarak titik uji ke titik ikat mencapai 20 s.d. 35 kilometer, sedangkan pada skema-2 titik ikat yang jauh tersebut didekatkan hingga hanya 700 meter saja dari titik uji. Hal ini tentu memperbaiki tingkat ketelitian koordinat titik uji, karena tingkat kontrol kesalahan terhadap titik yang lebih dekat dari titik ikat semakin baik dibandingkan titik yang lebih jauh darinya. Tingkat ketelitian koordinat pada suatu jaring akan relatif kurang baik pada bagian jaringan yang jauh dari titik ikatnya (Abidin et al., 2016). Selain itu, dari sisi

geometri jaringan yang terbentuk, skema-2 lebih menguntungkan karena pengikatan dilakukan dari titik ikat PABU dibandingkan dengan skema-1 yang membentuk geometri yang cenderung kurang ideal. Adapun jumlah dan sebaran titik ikat bantu selain PABU juga menarik untuk diteliti lanjut untuk meningkatkan ketelitian titik-titik uji.

Dengan demikian, meskipun ketelitian koordinat yang dihasilkan skema-2 berbeda secara signifikan dengan skema-1 dan ketelitiannya lebih tinggi dibandingkan skema-1, namun hal ini masih menggunakan batasan bahwa titik ikat PABU tanpa kesalahan dan perambatan kesalahannya tidak diperhitungkan terhadap nilai koordinat, serta perataan jaring-nya masih secara *minimum constraint*.

KESIMPULAN

Kajian ini menganalisis dua cara pengikatan yang punya karakteristik berbeda. Cara pengikatan pada skema-1 dilakukan secara langsung dari titik ikat BTL2 dan KPG2 yang berjarak > 30 kilometer ke titik-titik uji yang panjang *baseline*-nya hanya < 500 meter. Cara pengikatan pada skema-2 dilakukan secara beranting dari titik ikat BTL2 dan KPG2 ke titik perantara PABU, lalu dipakai mengikat titik-titik uji.

Berdasarkan hasil pengolahan dan analisis dapat disimpulkan bahwa cara pengikatan skema-2 pada kajian ini menghasilkan ketelitian koordinat yang lebih tinggi dibandingkan skema-1. Rentang ketelitian koordinat skema-2 antara 2,5 mm sampai dengan 8,3 mm, sedangkan skema-1 antara 24,9 mm s.d. 67,9 mm. Pada tingkat kepercayaan 95% ketelitian koordinat antara skema-1 dan skema-2 ini berbeda signifikan secara statistik. Tingginya ketelitian skema-2 ini masih dalam batasan tertentu bahwa titik ikat PABU tanpa kesalahan dan perambatan kesalahannya tidak diperhitungkan terhadap nilai koordinat, serta perataan jaringnya masih secara *minimum constraint*. Adapun pada uji beda nilai koordinat pada tingkat kepercayaan 95%, nilai koordinat yang dihasilkan skema-2 dan skema-1 berbeda signifikan secara statistik pada komponen *Easting* dan tidak berbeda signifikan pada komponen *Northing* dan *Height*-nya.

Perlu penelitian lanjut mengenai pengaruh kesalahan titik perantara PABU terhadap nilai koordinat dan simpangan baku dari titik uji, serta efek penambahan titik ikat perantara. Hal ini dalam rangka menjawab pertanyaan apakah kesalahan titik PABU menyebabkan koordinat dan ketelitiannya berbeda signifikan terhadap cara pengikatan langsung atau tidak. Selain itu, juga untuk mengetahui seberapa besar pengaruh kesalahan titik perantara terhadap titik uji pada pengikatan secara beranting.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terimakasih diberikan kepada tim PPM Program Studi Teknik Geomatika SV UGM dalam penyediaan data.

DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, H. Z. (2007). *Penentuan Posisi dengan GPS dan Aplikasinya*. Jakarta: Pradnya Paramita.
- Abidin, H. Z., Jones, A., & Kahar, J. (2016). *Survei dengan GPS*. Bandung: ITB Press.
- Abidin, H. Z., & Mugiarto, F. T. (2000). Pengaruh Geometri Jaringan Terhadap Ketelitian Survey GPS. *Jurnal Surveying dan Geodesi*, 10(January 2000). <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.21707.69923>
- Artini, S. R. (2014). Penggunaan Titik Ikat GPS Regional dalam Pendefinisian Stasiun Aktif GMU1 yang Diikatkan pada ITRF 2008. *PILAR Jurnal Teknik Sipil*, 10(2), 124–131.
- Badan Standardisasi Nasional. Standar Nasional Indonesia (SNI) Jaring Kontrol Horizontal (2002). Indonesia.
- El-Rabbany, A. (2002). *Introduction to GPS: The Global Positioning System*. London: Artech House, Inc.
- Ghilani, C. D., & Wolf, P. R. (2006). *Adjustment Computations: Spatial Data Analysis, Fourth Edition* (Fourth Edi). Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Ikkal, M. C., Yuwono, B. D., & Amarrohman, F. J. (2017). Analisis Strategi Pengolahan Baseline GPS Berdasarkan Jumlah Titik Ikat dan Variasi Waktu Pengamatan. *Jurnal Geodesi UNDIP*, 8(1), 228–237.
- Nugroho, A., & Suntoko, H. (2011). The Effect of Time Duration in the Network and Radial Method Toward the Accuracy in Measuring the Deformation At Muria. *Jurnal Pengembangan Energi Nuklir*, 13(2), 92–101. Diambil dari <http://jurnal.batan.go.id/index.php/jpen/article/view/1467/1397>
- RICS. (2010). *Guidelines For the Use of GNSS in Surveying and Mapping* (2nd Editio). Coventry: Royal Institute of Chartered Surveyors (RICS).
- Rizos, C. (1997). *Principles and Practice of GPS Surveying*. Sidney: The School of Gomatic Engineering, The University of New South Wales.
- Rudianto, B., & Izman, Y. (2011). *Analisis Komparatif Ketelitian Posisi Titik Hasil Pengukuran Dari Satelit GPS dan Satelit GLONASS*. Malang.
- Rudianto, B., & Yuhana, N. (2013). Pengaruh Penambahan Jumlah Titik Ikat terhadap Peningkatan Ketelitian Posisi Titik pada Survei GPS. *REKA GEOMATIKA, Jurnal Online Institut Teknologi Nasional*, 1(2), 80–89. <https://doi.org/10.1029/92GL02549>
- Ulinuha, H. (2015). *Analisis Deformasi Aspek Geometrik Segmen Mentawai Akibat Gempa Tektonik 10 Juli 2013*. Universitas Gadjah Mada.
- Wells, D. E., Beck, N., Delikaroglou, D., Kleusberg, A., Krakiwsky, E. J., Lachapelle, G., ... Vanicek, P. (1986). *Guide to GPS Positioning*. Fredericton, New Brunswick, Canada: Canadian GPS Associates.