

KAJIAN KETELITIAN PENGUKURAN KERANGKA KONTROL VERTIKAL MENGUNAKAN TOTAL STATION AKURASI SUDUT 1" DAN 5"

Anindya Sricandra Prasidya¹, Gondang Riyadi²

¹Prodi D3 Teknik Geomatika, Sekolah Vokasi, Universitas Gadjah Mada.
Gedung SV-UGM, Sekip Unit I, Catutunggal, Depok, Sleman. Telp./Faks: , e-mail:
anindya.sricandra.p@ugm.ac.id

²Departemen Teknik Geodesi, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada.
Jl. Grafika No.2, Kampus UGM, Bulaksumur, Yogyakarta. Telp./Faks: , e-mail: gondangr@yahoo.com

(Diterima 20 Oktober 2018, Disetujui 29 November 2018)

ABSTRAK

Pengukuran Kerangka Kontrol Vertikal (KKV) dalam pemetaan topografi pada dasarnya bisa dilaksanakan secara geometrik dengan sipat datar maupun secara trigonometrik memanfaatkan data sudut vertikal dan jarak menggunakan Total Station (TS). Pada pengukuran KKV dengan TS, khususnya pada rentang jarak-dekat, ukuran sudut menjadi hal yang sangat berpengaruh pada nilai beda tinggi yang dihasilkan. Oleh karena itu ketelitian pengukuran KKV dengan menggunakan TS berbagai spektrum akurasi sudut potensial untuk dikaji. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan ketelitian hasil pengukuran KKV dengan TS akurasi sudut 1" dan 5" serta membandingkan ketelitian tersebut dengan nilai yang dianggap benar dari *Digital Level*. Penelitian ini memakai metode trigonometrik teknik resiprokal dalam pengukuran 12 pilar titik kontrol berbentuk loop. Data diolah dengan metode Bowditch dan Hitung Kuadrat Terkecil metode parameter, serta dengan uji-t dan uji-F. Hasil menunjukkan bahwa ketelitian KKV hasil dari TS 1" lebih teliti daripada hasil dari TS 5" dari sisi $f\Delta h$, simpangan baku, dan kelas JKV. Nilai H dan simpangan baku H hasil TS 1" memiliki kedekatan yang tinggi dengan nilai hasil dari *Digital Level* dibanding hasil dari TS 5" jika ditinjau dari uji statistik pada tingkat kepercayaan 95%. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa semakin rendah akurasi sudut TS, maka semakin berkurang ketelitiannya dalam pengukuran KKV.

Kata kunci : KKV, Total Station, Akurasi Sudut

ABSTRACT

Vertical Control Frame (KKV) establishment in topographic mapping, basically, can be performed geometrically by using water pass or trigonometrically by means vertical angle and distance data from Total Station (TS). In the KKV establishment using TS, especially on short-range chase, the angle data is really affected to the resulted height difference value. So, the precision of KKV establishment by using various angle accuracy spectrums of TS is potential to be investigated. This research is aim to determine the precision of KKV establishment by using TS with 1" and 5" angle accuracy and compare it to the assumed true values from Digital Level. This research uses reciprocal technique of trigonometric method to measuring 12 looped control point pillar. Data were processed by using Bowditch method and Parameter method of Least Square Adjustment, and by using t-test and F-test. The results show that the KKV precision from TS 1" results is more precise than from TS 5" results in $f\Delta h$, standard deviation, and JKV class aspects. H value and its standard deviation resulted from TS 1" is more close to Digital Level results than TS 5" results in 95% confidence interval statistical testing aspect. Therefore, it can be conclude that the lower angle accuracy of TS, the lower precision of KKV establishment to be resulted.

Keywords : KKV, Total Station, Angle Accuracy

1. PENDAHULUAN

Kerangka Dasar Pemetaan (KDP) merupakan kumpulan titik-titik kontrol berbentuk pilar di lapangan yang memiliki koordinat yang terdefinisi dan konsisten geometri vertikal dan horizontalnya. KDP terdiri atas Kerangka Kontrol Horizontal (KKH) dan Vertikal (KKV). KKH

didefinisikan menggunakan beberapa metode : triangulasi, triangulaterasi, trilaterasi, *intersection*, *resection*, dan poligon (Basuki, 2011). Pengukurannya dilakukan dengan pengukuran sudut saja, jarak saja, maupun sudut dan jarak sekaligus tergantung metode mana yang dipilih. Pengukuran KKV dilaksanakan dengan metode *Geometric Levelling (GL)*, *Trigonometric Levelling*

(TL), dan *GPS/GNSS Levelling* (El-Ashmawy, 2014 ; Ceylan, dkk, 2005).

Pengukuran umum dan paling teliti saat ini adalah GL dengan sipat datar, sehingga metode GL dengan sipat datar teliti/ digital misalnya, sering dijadikan dalam pengadaan titik kontrol geodesi, jaring kontrol primer, ataupun untuk pemantauan deformasi vertikal. Pengukuran metode ini teliti, namun membutuhkan waktu yang lama, biaya yang besar, serta terpengaruh pada jenis terrain yang dilewati saat pengukuran (El-Ashmawy, 2014). Berkembangnya teknologi pengukuran saat ini, memberikan alternatif pengukuran KKV secara teristris, yaitu dengan TL menggunakan Total Station (TS). TS relatif lebih mudah diterapkan pada jenis terrain yang berbukit daripada sipat datar, hal ini karena fleksibilitas teropongnya. Nilai Δh yang krusial pada pengukuran KKV diperoleh TS berdasarkan jarak, sudut vertikal, dan tinggi instrument dan target. Dalam hal ini data ukuran jarak dan sudut vertikal dari ukuran TS berpengaruh pada ketelitian Δh yang diperoleh. Menurut Zhou dan Sun (2013), pada rentang jarak < 300 m, ketelitian kelas 3 pada KKV bisa diperoleh, sedangkan bertambahnya jarak berarti juga kesalahan sudut vertikal akibat kesulitan pembidikan juga naik. Begitu pula dengan sudut vertikal, semakin bertambah nilai sudut vertikal (semakin mendongak), semakin tinggi tingkat kesalahannya. Pada terrain yang memiliki elevasi sudut vertikal relatif antar titik kurang dari 10° dalam rentang jarak 60-100 m, maka kesalahan masih bernilai < 1mm (Zhou & Sun, 2013). Sedangkan menurut Lin, dkk. (2016) pada rentang jarak dekat pada trigonometric leveling, kesalahan yang berpengaruh adalah refraksi atmosfer, kelengkungan bumi, kesalahan pengukuran dari alat, dan pengukuran tinggi. Kesalahan akibat atmosfer dan kelengkungan bumi bisa dihilangkan dengan teknik resiprokal, sedangkan kesalahan pengukuran jarak pada rentang dekat sudah minimum, sehingga kesalahan pengukur sudut vertikal yang lebih dominan. Hal ini menunjukkan pada rentang jarak pendek dan beda tinggi tidak terlalu curam, maka kesalahan yang lebih berpengaruh adalah kesalahan dari ukuran sudut vertikal.

Total Station memiliki kemampuan pengukuran sudut yang beragam, ketelitian sudut berkisar antara $1''$ s.d. $5''$. Dalam hal ini pengaruh pemakaian jenis spektrum ketelitian sudut tertentu pada TS terhadap hasil KKV yang diperoleh potensial untuk diteliti lanjut. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan ketelitian hasil pengukuran KKV dengan metode trigonometrik teknik resiprokal dengan spektrum ketelitian sudut

Total Station sebesar $1''$ dan $5''$ serta membandingkan ketelitian tersebut dengan nilai yang dianggap benar.

2. METODE PENELITIAN

3.1. Alat dan bahan penelitian

Dalam penelitian ini dipakai beberapa peralatan dan bahan atau data, peralatan yang dipakai untuk pengukuran antara lain :

1. Seperangkat Total Station Nikon DTM-652 (akurasi sudut $0,5''/1''$ dan akurasi jarak $2\text{mm} + 2\text{ppm} \times D$)
2. Seperangkat Total Station Leica TS02 (akurasi sudut $5''$ dan akurasi jarak $2\text{mm} + 2\text{ppm} \times D$)

Bahan atau data yang dipakai dalam penelitian ini, yaitu :

1. Formulir ukuran sudut dan jarak. Formulir ini khusus untuk mencatat data ukuran sudut vertikal, horizontal, jarak datar, jarak miring, jarak vertikal, tinggi alat dan tinggi target.
2. Data ukuran sudut vertikal, jarak, tinggi alat, dan tinggi target pada proses pengukuran metode *trigonometric leveling* secara resiprokal pada 12 pilar titik kontrol di Fakultas Teknik UGM. Jaringan titik yang dipakai ini membentuk sebuah *loop*. Metode perolehan data ini disajikan pada sub-bab 3.2. Sebaran titik kontrol disajikan pada gambar 1.



Gambar 1. Persebaran 12 titik kontrol yang dipakai dalam penelitian ini

3. Data pembandingan nilai beda tinggi, tinggi, dan ketelitian titik kontrol dari penelitian Riyadi & Prasidya (2017) yang diukur dengan Digital Level Geomaxx ZDL-700.

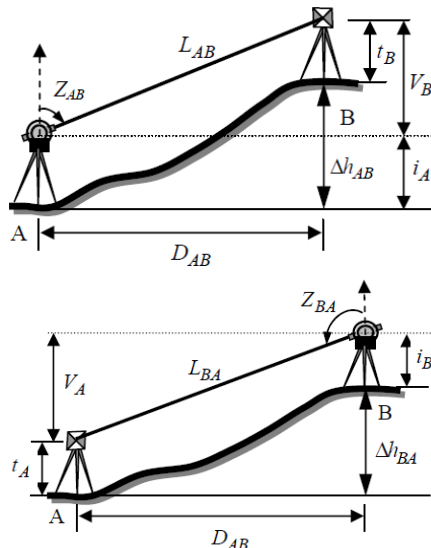
3.3. Metode Pelaksanaan

Pelaksanaan penelitian ini terbagi menjadi tahap persiapan, pengukuran KKV di lapangan, pengolahan, dan analisis hasil yang diperoleh.

1. Tahap persiapan. Tahap persiapan dilakukan untuk mempersiapkan peralatan dan bahan selain data ukuran pada sub-bab 3.1. Selain

itu dilakukan pengecekan kelayakan alat dan memastikan alat masih dalam masa kalibrasi.

2. Tahap pengukuran KKV. Tahap pengukuran KKV di lapangan pada 12 pilar titik kontrol dilakukan dengan dua jenis TS, yaitu TS 1" dan TS 5" dengan menerapkan metode trigonometrik teknik resiprokal. Pemilihan metode ini karena pada rentang jarak dekat refraksi atmosfer dan kelengkungan bumi akan terkoreksi (Lin, dkk., 2006). Secara umum metode ini terbagi dua, yaitu secara *synchronous* dan *non-synchronous* (Lin, dkk., 2016). Beda keduanya ada pada tingkat koneksinya pengukuran antar dua titik, *non-synchronous* langsung memakai dua alat untuk melakukan pengukuran resiprokal, sedangkan *non-synchronous* memakai 1 alat untuk mengukur resiprokal dengan menukar posisi alat dan target jika sudah selesai melakukan pengukuran 1 kali. Cara kedua ini prinsipnya pengukuran ini mengukur satu beda tinggi antar dua titik dengan melakukan pengukuran dua kali (bolak-balik) dari titik belakang ke arah titik depan, dan dari titik depan diarahkan ke titik belakang kembali. Gambaran metode ini ditunjukkan oleh Lin, dkk. (2016) begitupula dengan Riyadi & Prasidya (2017) pada gambar 2 berikut.



Gambar 2. Konsep metode trigonometric levelling teknik resiprokal *non-synchronous* (Lin, dkk., 2016)

Berdasarkan gambar 2, satu nilai beda tinggi bisa diperoleh dengan persamaan (1) atau (2) berikut (Lin, dkk., 2016) :

$$\Delta h_{AB} = L_{AB} \cdot \cos Z_{AB} - t_B + i_A \quad (\text{teropong naik}) \quad (1)$$

$$\Delta h_{BA} = L_{BA} \cdot \cos Z_{BA} + t_A - i_B \quad (\text{teropong turun}) \quad (2)$$

Pengukuran pada penelitian ini dilaksanakan berdasarkan konsep pada gambar 2. Spesifikasi pengukuran jarak dan sudut nya, yaitu : setiap sudut diukur secara 2 seri rangkap dan jarak diukur 5 kali pada setiap kedudukan alat. Data jarak dan sudut ini yang dicatat pada formulir sebagaimana disebutkan pada sub-bab 3.1. Data kemudian dipastikan dilakukan pengecekan terhadap kepresisiannya, yaitu sudut disyaratkan memiliki selisih antar seri hanya 10" dan jarak disyaratkan ketelitiannya kurang dari 1:10.000. Selanjutnya data ini dipakai dalam tahap pengolahan.

3. Tahap pengolahan data. Pengolahan data dilakukan dengan metode *Bowditch* dan Hitung Kuadrat Terkecil metode parameter pada dua data dari TS 1" dan 5". Data dari tahap pengukuran dilakukan perhitungan berdasarkan persamaan 1 atau 2 untuk memperoleh nilai Δh_{AB} (arah pergi) dan Δh_{BA} (arah pengukuran pulang). Data direkap untuk memperoleh seluruh data Δh arah pergi dan arah pulang, jarak antar sisi, dan jarak total *loop*. Pada metode *bowditch*, data Δh keseluruhan dijumlahkan untuk dibandingkan dengan syarat geometri KKV model *loop*, yaitu $\Delta h = 0$. Jika $\Delta h \neq 0$, maka terdapat kesalahan $f\Delta h$. Kesalahan tersebut didistribusikan pada setiap Δh berdasarkan bobot jarak berbanding jarak total pada metode *bowditch*. Nilai koreksi ini dikoreksikan pada Δh , sehingga diperoleh Δh terkoreksi. Nilai ini yang dijumlahkan dengan titik acuan awal untuk memperoleh tinggi titik seperti persamaan (3) berikut :

$$H_B = H_A + \overline{\Delta h_{AB}'} \quad (3)$$

Dalam hal ini $\overline{\Delta h_{AB}'}$ adalah nilai Δh rerata terkoreksi antara titik AB.

Pengolahan selanjutnya dilakukan dengan metode Hitung Kuadrat Terkecil metode parameter. Data Δh beserta data jarak dipakai dalam tahap ini. Model fungsional yang dipakai dalam menyusun persamaan adalah ukuran utama Δh merupakan fungsi parameter H, atau bisa dituliskan $L = F(X)$. Dimana L merupakan ukuran dan X merupakan parameter. Selanjutnya, ditentukan berapa jumlah persamaan (n), parameter (u), dan ukuran lainnya (r). Dalam hal ini nilai $r = n - u$. Persamaan disusun

sebanyak n berdasarkan bentuk persamaan normal berikut :

$${}_nV_1 = {}_nA_{uu}X_1 + {}_nF_1 \quad (4)$$

Dimana V merupakan matriks residu, A merupakan matriks desain, X merupakan matriks yang berisi parameter, dan F merupakan matriks yang berisi ukuran. Nilai parameter pada matriks X yang berisi tinggi (H) setiap titik dihitung berdasarkan persamaan (5) berikut (Ghilani dan Wolf, 2010):

$$X = -(ATPA)^{-1}(ATPF) \quad (5)$$

Nilai bobot pada matriks P dihitung berbanding terbalik dengan jarak (BSN, 2004) pada persamaan (6):

$$P = \frac{1}{\sqrt{D_i^2}} \quad (6)$$

Selanjutnya, matriks V dipakai untuk menghitung nilai varian aposteori ($\hat{\sigma}_o^2$) seperti pada persamaan (7) :

$$\hat{\sigma}_o^2 = \frac{V^T P V}{n-u} \quad (7)$$

Kemudian nilai simpangan baku setiap titik dapat diperoleh dari matriks varian-kovarian (Σ_{xx}) berikut :

$$\Sigma_{xx} = \hat{\sigma}_o^2 (A^T P A)^{-1} \quad (8)$$

Keseluruhan proses ini menghasilkan nilai tinggi setiap titik beserta simpangan bakunya. Hasil ini dipakai untuk menghitung RMSEz yang mana adalah akar dari total selisih antara nilai terukur dan nilai yang dianggap benar dibagi jumlah data. Nilai yang diasumsikan benar adalah nilai beda tinggi dan tinggi dari pengukuran sipat datar digital dari Riyadi & Prasidya (2017). RMSEz dihitung berdasarkan persamaan (9) berikut (El-Ashmawy, 2014 ; Ceylan, dkk., 2005):

$$RMSEz = \sqrt{\sum_{i=1}^n (H_{fix} - H_{TS1/5})^2 / n} \quad (9)$$

4. Analisis data. Analisis dilakukan untuk menguji signifikansi beda dua parameter dan evaluasi beda ketelitian antara dua nilai yang dibandingkan. Data yang dibandingkan antara lain nilai yang dianggap benar dari Digital Level dan terhadap masing-masing TS 1" dan TS 5". Uji ini berturut-turut menggunakan uji-t dengan distribusi *student* dan uji-F atau F-Test dengan distribusi *fisher*. Uji signifikansi parameter dilakukan pada tingkat kepercayaan 95% ($\alpha = 0,05$) dan derajat kebebasan 12 dengan kriteria berikut (Riyadi & Prasidya, 2017) :

$$t = \frac{|x_1 - x_2|}{\sqrt{\sigma_{x1}^2 + \sigma_{x2}^2}} \quad (10)$$

$$t \leq t(\alpha/2, df) \quad (11)$$

Dimana, nilai x_1 dan x_2 adalah nilai H dari TS 1" atau TS 5" dan GL dengan Digital Level, σ_{x1}^2 dan σ_{x2}^2 adalah varian nilai H . Penolakan hipotesis nol (H_0) jika kriteria pada persamaan 11 tidak terpenuhi, sehingga dua parameter berbeda secara signifikan. Selanjutnya, Uji-F dilakukan untuk evaluasi beda ketelitian antara masing-masing hasil TS dengan hasil dari Digital Level. Uji-F dilakukan secara *two-tailed test* pada tingkat kepercayaan 95% ($\alpha = 0,025$) dan derajat kebebasan pertama dan kedua sebesar 12 sesuai nilai $r = n-u$ saat proses hitung perataannya. Kriteria pengujian pada uji-F ini dituliskan pada persamaan berikut (Ghilani dan Wolf, 2010) :

$$F = \frac{\sigma_{x1}^2}{\sigma_{x2}^2} \quad (12)$$

$$F > F_{\alpha/2, v1, v2} \quad (13)$$

Nilai $v1$ dan $v2$ merupakan derajat kebebasan pengolahan pertama dan kedua. Kedua nilai ini dan nilai tingkat signifikansi α dipakai untuk menentukan nilai F berdasarkan tabel fisher. Nilai F hitung pada persamaan 12 dibandingkan dengan nilai F dari tabel *fisher* sesuai dengan tingkat signifikansi dan derajat kebebasannya. Penolakan terhadap H_0 terjadi jika persamaan 13 terpenuhi. Penolakan terhadap H_0 ini menunjukkan kedua ketelitian yang dibandingkan berbeda signifikan secara statistik (Ghilani dan Wolf, 2010). Setelah keseluruhan uji dilaksanakan, kemudian dilakukan analisis keseluruhan dan mengidentifikasi kelas Jaring Kontrol Vertikal berdasarkan SNI JKV (BSN, 2004).

3. HASIL & PEMBAHASAN

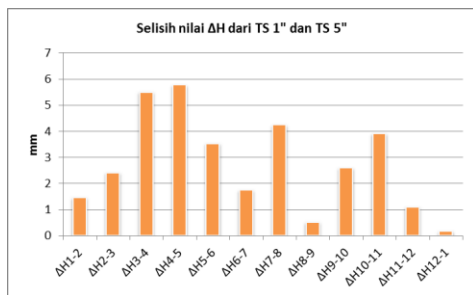
Hasil pengukuran dan pengolahan KKV pada TS 1" dan TS 5" berupa kumpulan nilai beda tinggi setiap sisi, tinggi titik, dan simpangan baku tinggi titik. Data jarak setiap sisi juga diperoleh dalam pengukuran ini. Hasil-hasil ini dibandingkan dan disajikan pada tabel I. Selanjutnya hasil perbandingan lebih rinci dan pembahasannya dilakukan pada sub-bab 4.1 s.d. 4.3.

4.1. Perbandingan hasil pengukuran KKV dengan TS 1" dan 5" diolah dengan metode *Bowditch*

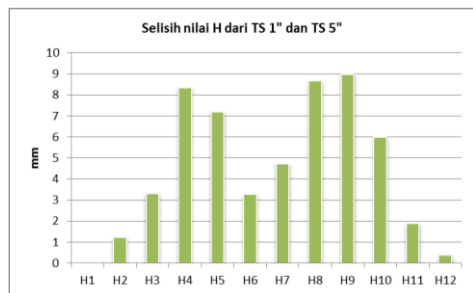
Perbandingan dilakukan untuk membandingkan nilai Δh , H , dan kesalahan penutup beda tinggi dari pengukuran KKV dengan TS 1" dan 5" yang diolah dengan metode *Bowditch*. Hasil perbandingan keduanya dari sisi Δh dan H disajikan pada gambar 3 dan gambar 4 berikut.

Tabel I. Nilai RMSEz hasil dari TS 1” dan TS 5”

Titik	Perbandingan						Jarak
	ΔH (m)		H titik – HKT (m)		σH (mm)		
	TS 1”	TS 5”	TS 1”	TS 5”	TS 1”	TS 5”	
BM 01 (fix)			100	100	0.00	0.00	
	1.3272	1.328664					53.6937
BM 02			101.3271	101.3283	1.73	2.918995	
	1.8257	1.828117					74.4855
BM 03			103.1527	103.156	2.54	4.286642	
	1.7353	1.740806					107.3586
BM 04			104.8878	104.8962	3.17	5.342549	
	-1.1236	-1.12938					61.8115
BM 05			103.7642	103.7714	3.37	5.678366	
	-4.5516	-4.55513					99.5071
BM 06			99.2124	99.21566	3.5	5.906955	
	-0.5803	-0.57855					53.4389
BM 07			98.63206	98.63679	3.49	5.884733	
	0.7535	0.757745					72.7569
BM 08			99.38543	99.39409	3.37	5.690415	
	-1.7327	-1.73218					49.6126
BM 09			97.65262	97.66161	3.22	5.440086	
	-0.905	-0.9076					77.9586
BM 10			96.74755	96.75353	2.85	4.813644	
	0.9885	0.984581					43.0291
BM 11			97.73597	97.73786	2.55	4.307228	
	1.6858	1.684705					76.7374
BM 12			99.42171	99.4221	1.72	2.901676	
	0.5784	0.57823					53.0099
BM 01 (fix)			100	100	0.00	0.00	

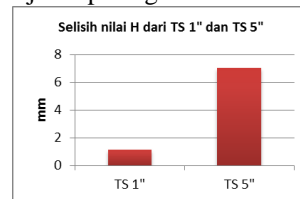


Gambar 3. Selisih nilai Δh yang dihasilkan antara TS 1” dan TS 5”



Gambar 4. Selisih nilai H yang dihasilkan antara TS 1” dan TS 5”

Berdasarkan gambar 3 dan 4, diketahui bahwa selisih nilai Δh dan H dari kedua alat TS 1” dan 5” berkisar antara 0.1 mm s.d 6 mm. Secara umum perbedaan Δh pada semua sisi kurang dari 0.6 cm. Perbedaan ini cukup kecil dan kepresisian antara kedua hasil cukup tinggi. Sedangkan selisih nilai H dari hasil TS 1” dan 5” hanya berkisar antara 0,3 mm s.d. 9,0 mm. Hasil ini menunjukkan kepresisian nilai H yang cukup tinggi antara hasil dari alat TS 1” dan TS 5”. Adapun perbandingan nilai $f\Delta h$ disajikan pada gambar 5.



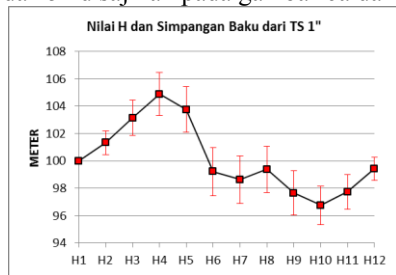
Gambar 5. Perbandingan nilai $f\Delta h$ yang dihasilkan dari pengukuran TS 1” dan 5”

Berdasarkan gambar 5, diketahui bahwa nilai $f\Delta h$ yang diperoleh dari TS 5” lebih rendah dari TS 1”, yaitu 7 mm berbanding 1.1 mm. Hal ini menunjukkan pula bahwa secara umum

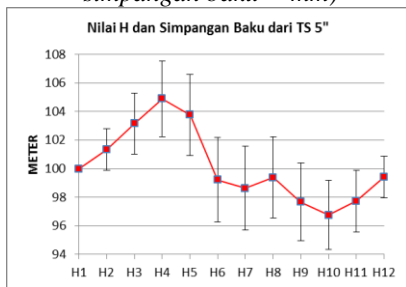
keterpengaruhannya akurasi sudut pada Δh yang dihasilkan. Pada tahap selanjutnya dalam hitungan berbasis HKT, pola ketelitian dari sisi simpangan baku juga diidentifikasi untuk melihat bagaimana kesinambungan hasil, bahwa ketelitian pengukuran TS 5" lebih rendah dari TS 1".

4.2. Perbandingan hasil pengukuran KKV dengan TS 1" dan 5" diolah dengan metode HKT

Hasil yang diperoleh dari pengolahan adalah perbandingan antara nilai H dan simpangan bakunya dari kedua hasil dari TS 1" dan 5", antara masing-masing hasil dari TS dengan nilai yang dianggap benar, yaitu *Digital Level*, dan nilai RMSEz yang menunjukkan kedekatan nilai H yang diperoleh dengan nilai yang dianggap benar. Berdasarkan nilai H dan simpangan baku hasil dari TS 1" dan 5" disajikan pada gambar 6a dan 6b.



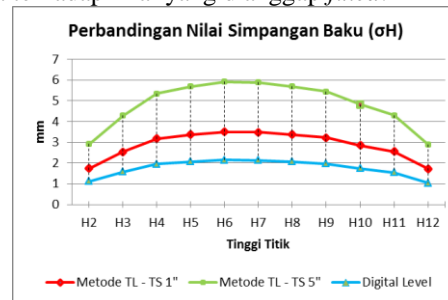
Gambar 6a. Nilai H dan simpangan bakunya hasil dari TS 1" (*unit tinggi = m; unit simpangan baku = mm*)



Gambar 6b. Nilai H dan simpangan bakunya hasil dari TS 5" (*unit tinggi = m; unit simpangan baku = mm*)

Berdasarkan gambar 6a dan 6b diketahui bahwa pola nilai H yang diperoleh pada masing-masing titik hasil dari TS 1" dan 5" sangat mirip. Ini menunjukkan hampir tidak terjadi beda nilai yang signifikan secara visual plot. Simpangan baku diplot dalam bentuk garis arah vertikal di masing-masing titik, semakin panjang garis, semakin rendah ketelitiannya. Satuan simpangan baku ini adalah dalam skala milimeter. Nilai simpangan baku pada H1 = 0, dikarenakan titik ini dianggap fixed. Gambar 6a memperlihatkan bahwa secara umum pola nilai simpangan baku hasil dari TS 1"

jauh lebih teliti dari pada TS 5". Nilai simpangan baku terbesar hanya 3.5 mm. Hal ini kontras dengan TS 5" yang simpangan baku terbesarnya berada pada nilai 6.0 mm atau hampir 2 kali lebih rendah dari TS 1". Secara pola terlihat bahwa simpangan baku titik yang dekat secara urutan dengan H1 memiliki ketelitian lebih baik dari pada titik yang lebih jauh. Hal ini menunjukkan bahwa kesalahan merambat dan semakin besar jika jauh dari titik fixed. Hasil pada gambar 6a dan 6b menunjukkan sekali lagi bahwa semakin rendah akurasi sudut dari TS yang dipakai, semakin rendah kemungkinan ketelitian yang dicapai. Hasil ketelitian dari TS 1" dan 5" ini selanjutnya dibandingkan dengan nilai simpangan baku hasil dari *Digital Level* pada gambar 7 untuk melihat pola terhadap nilai yang dianggap *fixed*.



Gambar 7. Perbandingan nilai simpangan baku nilai H hasil dari TS 1" dan 5" terhadap hasil dari *Digital Level*

Gambar 7 menunjukkan adanya urutan tingkat ketelitian yang gradual mulai dari *Digital Level*, TS 1", dan TS 5". Nilai ketelitian dari TS 1" menunjukkan lebih dekat terhadap nilai dari *Digital Level*, sedangkan TS 5" memiliki ketelitian paling rendah. Ketelitian TS 1" sekitar 1.5 kali lebih rendah dari *Digital Level*, sedangkan ketelitian TS 5" hampir 4 kali lebih rendah daripada *Digital Level*. Hal ini menunjukkan korelasi kembali antara ketelitian TS yang berbanding lurus dengan tingkat ketelitian nilai H yang diperoleh.

Selanjutnya nilai H hasil dari TS 1" dan 5" dibandingkan dengan *Digital Level* untuk memperoleh nilai RMSEz nya. Nilai RMSEz yang diperoleh dari persamaan 9 disajikan ringkasannya pada tabel II berikut :

Tabel II. Nilai RMSEz hasil dari TS 1" dan TS 5"

Jenis TS	$\Sigma(dz^2)$	$\{\Sigma(dz^2)\}/n$	RMSEz (m)
TS 1"	0.00019933	1.8121 x 10 ⁻⁵	0.004256869
TS 5"	0.00011531	1.04827 x 10 ⁻⁵	0.003237707

Pada tabel II diketahui nilai RMSEz hasil dari TS 1" adalah 4,25 mm sedangkan TS 5" nilai RMSEz nya adalah 3,23 mm. Hasil ini memperlihatkan nilai kedekatan H dengan nilai sebenarnya antara hasil kedua TS hampir sama. RMSEz yang lebih teliti justru muncul dari hasil TS 5". Dalam hal ini, perlu dianalisis dari berdasarkan uji signifikansi beda dua parameter untuk memastikan secara statistik perbedaan nilai H apakah signifikan berbeda atau tidak.

4.3. Analisis dan uji statistik

Uji statistik dilakukan menggunakan nilai yang dianggap benar dari *Digital Level* dibandingkan masing-masing dengan hasil dari TS 1" dan TS 5". Seluruh nilai perhitungan didasarkan pada data dari *Digital Level* berbanding masing-masing hasil dari TS. Hasil yang diperoleh dibagi menjadi dua, yaitu hasil uji signifikansi beda dua parameter dan uji-F untuk mengevaluasi perbedaan ketelitian secara statistik. Hasil disajikan pada tabel III dan tabel IV.

Berdasarkan tabel II diketahui nilai t-hitungan seluruhnya kurang dari t-tabel pada tingkat kepercayaan 95% dan derajat kebebasan 12, yaitu sebesar 2,56. Hal ini menunjukkan kriteria pada persamaan 11 terpenuhi, sehingga H_0 diterima. Hal ini berarti nilai parameter H antara *Digital Level* dengan masing-masing hasil dari TS 1" dan 5" tidak berbeda signifikan secara statistik. Nilai H pada TS 1" dan TS 5" masih pada cukup mirip secara statistik. Hal ini mendasari pula mengapa RMSEz hasil dari TS 5" lebih rendah 1 mm dari TS 1", karena nilai H masih termasuk sama dari segi statistik.

Tabel III. Hasil uji signifikansi beda dua parameter

Nilai H ke-	t-hitung		Hasil uji-t	
	TS 1"	TS 5"	TS 1"	TS 5"
H2	2.250	1.095	<i>Ho diterima</i>	<i>Ho diterima</i>
H3	1.540	0.289	<i>Ho diterima</i>	<i>Ho diterima</i>
H4	1.336	0.588	<i>Ho diterima</i>	<i>Ho diterima</i>
H5	1.269	0.368	<i>Ho diterima</i>	<i>Ho diterima</i>
H6	0.201	0.389	<i>Ho diterima</i>	<i>Ho diterima</i>
H7	0.163	0.862	<i>Ho diterima</i>	<i>Ho diterima</i>
H8	1.095	0.717	<i>Ho diterima</i>	<i>Ho diterima</i>
H9	1.699	0.445	<i>Ho diterima</i>	<i>Ho diterima</i>
H10	1.030	0.497	<i>Ho diterima</i>	<i>Ho diterima</i>
H11	1.372	0.483	<i>Ho diterima</i>	<i>Ho diterima</i>
H12	2.024	1.195	<i>Ho diterima</i>	<i>Ho diterima</i>

Tabel IV. Hasil uji-F

Nilai H ke-	F-hitung		Hasil uji-F	
	TS 1"	TS 5"	TS 1"	TS 5"
H2	2.389	6.799	<i>Ho diterima</i>	<i>Ho ditolak</i>
H3	2.581	7.348	<i>Ho diterima</i>	<i>Ho ditolak</i>
H4	2.646	7.530	<i>Ho diterima</i>	<i>Ho ditolak</i>
H5	2.667	7.591	<i>Ho diterima</i>	<i>Ho ditolak</i>
H6	2.681	7.630	<i>Ho diterima</i>	<i>Ho ditolak</i>
H7	2.687	7.646	<i>Ho diterima</i>	<i>Ho ditolak</i>
H8	2.689	7.652	<i>Ho diterima</i>	<i>Ho ditolak</i>
H9	2.694	7.668	<i>Ho diterima</i>	<i>Ho ditolak</i>
H10	2.693	7.665	<i>Ho diterima</i>	<i>Ho ditolak</i>
H11	2.700	7.684	<i>Ho diterima</i>	<i>Ho ditolak</i>
H12	2.746	7.817	<i>Ho diterima</i>	<i>Ho ditolak</i>

Tabel IV menunjukkan dua jenis hasil yang berbeda antara TS 1" dan TS 5". Uji-F ini menguji ketelitian antara *Digital Level* dengan TS 1" dan 5" apakah berbeda signifikan secara statistik atau tidak. Nilai F-hitung dari TS 1" kurang dari F-tabel, yaitu sebesar 3,27, sedangkan pada TS 5" seluruhnya lebih dari itu. Dengan demikian, pada TS 1", persamaan 13 tidak terpenuhi, H_0 pun tertolak, sehingga dapat dikatakan nilai ketelitian hasil dari TS 1" tidak berbeda signifikan secara statistik dengan ketelitian hasil dari *Digital Level*, dan sebaliknya untuk TS 5".

Guna mempermudah analisis secara menyeluruh, disajikan tabel yang merangkum keseluruhan hasil analisis, yakni pada tabel V berikut.

Tabel V. Rangkuman analisis

Parameter	TS 1"	TS 5"
f Δ h	1.1 mm	7.0 mm
Simpangan baku	1.7 – 3.5 mm	2.9 – 6.0 mm
Pola simpangan baku	1,5 kali lebih rendah dari <i>Digital Level</i>	4 kali lebih rendah dari <i>Digital Level</i>
RMSEz	4,25 mm	3,23 mm
Uji-t terhadap <i>Digital Level</i>	Seluruhnya tidak berbeda signifikan	Seluruhnya tidak berbeda signifikan
Uji-F terhadap <i>Digital Level</i>	Seluruhnya tidak berbeda signifikan	Seluruhnya berbeda signifikan
Kelas pada SNI JKV	LA (kelas ke-2)	LB (kelas ke-3)

Berdasarkan tabel V diketahui bahwa terjadi kesinambungan hasil analisis yang menunjukkan

bahwa secara umum terdapat hasil ketelitian pengukuran KKV dari TS 1" memiliki ketelitian yang lebih tinggi dibanding TS 5" dan memiliki nilai H dan simpangan baku yang tidak berbeda signifikan secara statistik dengan hasil yang dianggap benar, serta memiliki kelas JKV yang lebih tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa secara umum terdapat pola yang menunjukkan bahwa semakin kasar akurasi sudut TS yang dipakai dalam pengukuran KKV, maka semakin rendah juga ketelitian yang akan diperoleh.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Pengukuran KKV metode trigonometrik teknik resiprokal pada rentang jarak pendek dengan TS akurasi 1" dan 5" telah diuji ketelitiannya. Nilai ketelitian dari sisi Δh , simpangan baku, signifikansi nilai H dan simpangan baku hasil pada tingkat kepercayaan 95% dari TS 1" menunjukkan kecenderungan memiliki kedekatan nilai H dan ketelitian yang tinggi dengan nilai dari *Digital Level* (nilai yang dianggap benar). Di sisi lain, meskipun hasil dari TS 5" memiliki nilai RMSEz sedikit lebih baik dari TS 1", hasil dari TS 5" dan TS 1" masih dalam taraf tidak signifikan berbeda secara statistik, sehingga nilai ini dianggap tidak cukup membuktikan ketelitiannya. Hasil dari TS 5" secara kontras nampak lebih rendah daripada hasil dari TS 1" pada sisi-sisi lainnya. Sehingga, secara umum, bisa dikatakan bahwa terdapat kesebandingan antara akurasi sudut TS dengan ketelitian KKV yang diperoleh. Dengan kata lain, semakin kasar akurasi sudut TS, maka semakin berkurang ketelitiannya dalam pengukuran KKV.

Penelitian ini bisa dipertajam kembali pada penelitian selanjutnya dengan memperbanyak data untuk analisis, mengganti metode perhitungan HKT, menganalisis faktor lain yang berpengaruh, dan mengembangkan teknik pengukuran yang lebih baik.

UCAPAN TERIMA KASIH

Atas terselesainya penelitian ini, penulis mengucapkan terimakasih pada tim mahasiswa D3 Teknik Geomatika angkatan 2015 yang sudah membantu dalam akuisisi data lapangan dan Departemen Teknik Geodesi yang sudah membantu dalam hal peminjaman alat untuk penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standarisasi Nasional (BSN), 2004, Standar Nasional Indonesia Jaring Kontrol Vertikal dengan metode Sipat Datar, Badan Standarisasi Nasional, Jakarta.
- Basuki, S., 2011, Ilmu Ukur Tanah, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.

- Ceylan, A., Inal, C., dan I. Sanlioglu, 2005, Modern Height Determination Techniques and Comparison of Accuracies, FIG Working Week 2005 and GSDI-8, Cairo, Egypt, April 16-21, 2005.
- El-Ashmawy, K.L.A., 2014. Accuracy, Time Cost and Terrain Independence Comparisons of Levelling Techniques. *Journal of Geodesy and Cartography*, Taylor & Francis Group, 40:3, 133-141, DOI: 10.3846/20296991.2014.962727.
- Lin, H., Chang, T., dan C. Hou, 2016, An Approach for Improving the Precision on Short-Range Electronic Distance Measurement Trigonometry, *Proceeding of the IEEE International Conference on Advanced Materials for Science and Engineering (IEEE-ICAMSE 2016)*-Meen, Prior & Lam (Eds).
- Ghilani, C.D., dan Wolf, P.R., 2010, *Adjustment Computations, Spatial Data Analysis*. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.
- Riyadi, G., dan Prasidya, 2017, Analisis Ketelitian Penentuan Beda Tinggi secara Trigonometrik Teknik Resiprokal dengan Total Station Akurasi 1" pada Jaringan Titik Kontrol Rute Pendek, *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Terapan (SNNTT) 2017*, November 2017, ISBN 978-602-1159-27-9.
- Zhou, X. dan Sun, M., 2013, Study on Accuracy Measure of Trigonometric Levelling, *Journal of Applied Mechanics and Materials Volume 329* (2013) pp 373-377, doi:10.4028/www.scientific.net/AMM.329.373.