

Pengaruh Sudut Vertikal Terhadap Hasil Ukuran Jarak dan Beda Tinggi Metode Trigonometris Menggunakan Total Station Nikon DTM 352

Parseno & Yulaikhah

Jurusan Teknik Geodesi Fakultas Teknik UGM
Jl. Grafika No.2, Yogyakarta

Abstract

The measurement of heigh differences using trigonometric technique, and Total Station Nikon DTM 352 is used. It is identified that the use of different vertical angle will produce different heights for the same point. It is interesting to analyse further that, the errors of distance and height differences in trigonometric technique are as the function of vertical angle. This research tries to investigate the phenomom mentioned above: is there sistimatical error? and how to corect them ?

This research is initially arranged to include some steps: (1) preparation of instruments, (2) measurement of distance and height differences in study area using spirit levelling and trigonometric levelling, (3) Data processing including correction of differences in height modelling. Evaluation was carried out by comparing both data of observed height differences.

Based on the result of the statistical test, it is found that the variety of vertical angles do not affect the computed distance and height differences using Total Station. From the data exercises resulted that the accuracy of height differences is affected by distance and vertical angle, however for the distance up to 800 m, the improvement is not signifcant. In addition the field observations also show that the distance greater than 50m , the contribution of the accuracy of angle to the change of the accuracy of height differences is greater than the contribution of the accuracy of the distances.

Keywords: *height differences, trigonometric levelling, trigonometric technique, Total Station.*

1. Pendahuluan

Pengukuran beda tinggi dapat diperoleh dengan dua pendekatan yaitu dengan metode sipatdatar menggunakan alat Waterpass (WP) dan metode trigonometris menggunakan alat Total Station (TS) atau Theodolit. Kedua metode ini masing-masing memiliki kelebihan dan kelemahan. Metode sipatdatar menghasilkan ketelitian lebih tinggi namun kurang praktis dan kurang ekonomis digunakan pada area yang tidak datar, dibandingkan dengan pengukuran beda tinggi secara trigonometris. Prinsip trigonometris menghasilkan ketelitian yang lebih rendah namun memiliki kelebihan karena alat TS sangat praktis digunakan di lapangan baik pada kondisi daerah pengukuran yang datar maupun yang bervariasi sehingga waktu dan biaya yang dibutuhkan menjadi lebih efisien dan ekonomis.

Berbagai penelitian untuk mengevaluasi dan membandingkan beda tinggi dengan kedua metode tersebut telah dilakukan, diantaranya oleh Parseno dan Yulaikhah (2008) yang telah mencoba menerapkan pengukuran beda tinggi secara trigonometris dengan alat TS NIKON DTM 352. Hasil kajian menunjukkan beda tinggi metode trigonometris setelah dilakukan koreksi selisih beda tinggi ketelitiannya mendekati ketelitian metode sipatdatar. Meskipun demikian pemberian koreksi terhadap beda tinggi trigonometris belum mampu meningkatkan ketelitian secara signifikan. Pada penelitian tersebut ditemukan fenomena di lapangan bahwa penggunaan sudut vertikal yang berbeda ternyata menghasilkan beda tinggi yang berbeda pula untuk posisi titik yang sama. Hal ini sangat menarik untuk dikaji lebih lanjut, mengingat bahwa ketelitian jarak maupun beda tinggi metode trigonometris sangat dipengaruhi oleh ketelitian sudut verti-

kal. Hasil penelitian yang dilakukan *Xiau Fuhe* dan *Zan Dezheng* (1996) menyatakan bahwa pada pengukuran *trigonometric leveling* dengan jarak pendek, kesalahan pengukuran sudut vertikal memberi kontribusi paling dominan terhadap ketelitian beda tinggi yang dihasilkan. Oleh karena itu penelitian ini mengkaji lebih lanjut mengenai fenomena/kesalahan tersebut: apakah hal itu merupakan kesalahan sistematis? lalu bagaimana-kah model koreksinya?

Wibowo PW (1987) melakukan penelitian pengukuran beda tinggi secara trigonometris dengan EDM pada jalur terbuka. Dalam penelitian tersebut pengukuran beda tinggi dengan cara trigonometris dilakukan sekali sedangkan dengan sipat datar dilakukan pengukuran pergi pulang. Jalur pengukuran beda tinggi dengan cara trigonometris berbeda dengan jalur pengukuran sipat datar. Dari penelitian ini diperoleh kesimpulan bahwa pengukuran beda tinggi cara trigonometris dapat menggantikan cara sipatdatar. Bahkan dapat menggantikan pengukuran beda tinggi sipat datar orde 1 bila pengukuran beda tinggi metode trigonometris dilakukan dalam kondisi tertentu dan dengan ketelitian yang cukup baik (Zhenglu Z, et all, 2005).

Ketelitian jarak yang diperoleh dengan hitungan menggunakan sudut vertikal sangat tergantung pada ketelitian ukuran sudut vertikal atau bisa dikatakan bahwa pada dasarnya ketelitian pengukuran sudut vertikal pada akhirnya menentukan ketelitian posisi. Kesalahan yang terjadi pada sudut horisontal menghasilkan kesalahan pada jarak atau posisi yang lebih kecil dibandingkan dengan kesalahan yang terjadi pada sudut vertikal. Sebagai contoh bisa dilihat pada Tabel 1.

Dari Tabel 1 tersebut terlihat bahwa kesalahan jarak akibat adanya kesalahan sudut vertikal mencapai 10 sampai 50 kali kesalahan akibat kesalahan sudut horisontal. Demikian juga tinggi instrumen yang rendah dapat meningkatkan kesalahan pengukuran jarak. Namun demikian kesalahan pada jarak tidak hanya dipengaruhi oleh kesalahan pengukuran sudut vertikal melainkan bisa dipengaruhi pula oleh faktor yang lain seperti refraksi.

Tabel 1. Efek dari Kesalahan Sudut Vertikal dan Horisontal

Station Height (m)	Distance to object (m)	Error in Distance caused by 20 second vertical angle error (m)	Error in Direction caused by 20 second horizontal angle error (m)
43	2100	10	0.2
115	2100	4	0.2
115	5000	19	0.5

Sumber: (<http://civilweb.newcastle.edu.au/cyclops/ObsTips.htm#Part1-6>).

2. Fundamental

2.1. Alat ukur total station

Secara fisik alat ukur Total Station merupakan perpaduan antara alat ukur jarak dan sudut elektronik yang dilengkapi dengan sistem memori dan micro komputer untuk melakukan hitungan-hitungan sederhana. Kesalahan data ukuran menggunakan Total Station terutama yang bersumber dari faktor manusia dapat diminimalkan. Waktu pengukuran menggunakan alat Total Station dapat lebih cepat dibandingkan dengan theodolit.

Salah satu data ukuran yang bisa diperoleh dengan melakukan pengukuran menggunakan Total Station adalah beda tinggi. Beda tinggi yang diperoleh menggunakan prinsip metode trigonometrik yaitu salah satu metode penentuan beda tinggi yang didasarkan pada hasil ukuran sudut vertikal dan jarak antara dua titik yang akan ditentukan beda tingginya.

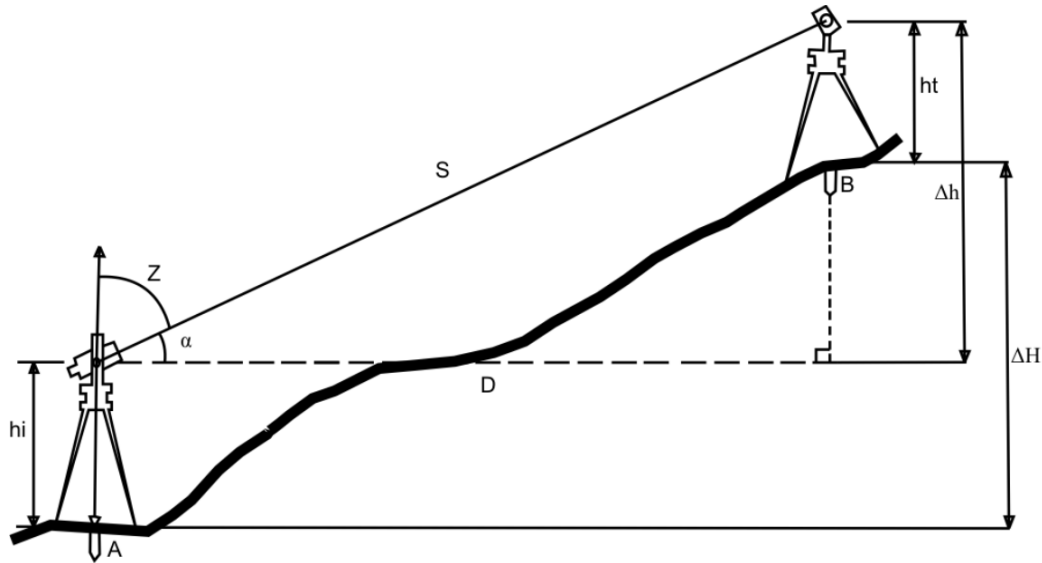
2.2. Konsep Penentuan Beda Tinggi dengan Metode Trigonometrik.

Prinsip beda tinggi dengan metode trigonometris dapat dilihat pada Gambar 1.

Berdasarkan Gambar I.1, maka beda tinggi antara titik A dan B (DH_{AB}) dapat diperoleh dengan persamaan-persamaan berikut:

$$DH_{AB} = h_i + \Delta h - h_t \quad (1)$$

$$\Delta h = S \sin \alpha = D \tan \alpha \quad (2)$$



Gambar 1. Prinsip Pengukuran Beda Tinggi Metode Trigonometrik

$$H_B = H_A + \Delta H_{AB}$$

$$= H_A + h_i + \Delta h - h_t \tag{3}$$

Berdasarkan persamaan (2) dan persamaan (3), ketelitian beda tinggi yang ditentukan dengan metode trigonometrik tergantung pada ketelitian besaran ukuran jarak (S), sudut vertikal (α), tinggi instrument (h_i) dan tinggi target (h_t). Menurut Mikhail, 1981, ketelitian beda tinggi cara trigonometrik dapat dihitung dengan hukum perambatan kesalahan.

2.3. Perambatan Kesalahan

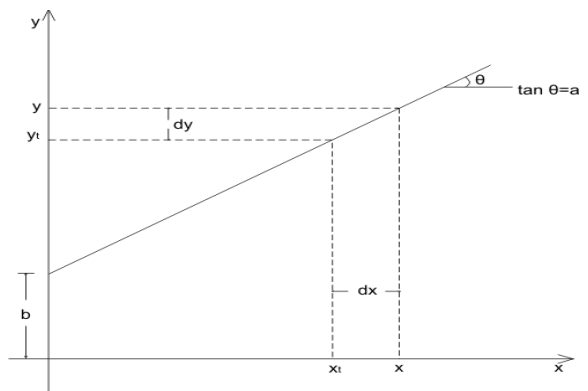
Besaran yang diukur pada setiap pengukuran umumnya digunakan untuk menghitung besaran lain yang diperlukan. Dalam kasus ini besaran yang dihitung dinyatakan sebagai fungsi matematik dari pengukuran. Bila di dalam pengukuran terdapat kesalahan, maka tidak bisa dihindari bahwa besaran yang dihitung dari hasil pengukuran akan mempunyai kesalahan. Evaluasi kesalahan dalam besaran yang dihitung yang dinyatakan sebagai fungsi kesalahan dalam pengukuran disebut perambatan kesalahan (Mikhail dan Gracie, 1981).

Menurut Mikhail dan Gracie (1981), besaran yang dihitung y , dapat dibuat suatu hubungan matematik dengan besaran yang diukur x , sebagai suatu persamaan linier, seperti disajikan berikut ini.

$$y = ax + b \tag{4}$$

Gambar 2. menunjukkan koefisien a dan b diketahui dan diasumsikan tanpa kesalahan. Untuk tujuan analisis, sangat membantu apabila digunakan konsep nilai sebenarnya (*true value*), dan digambarkan kesalahan pengukuran (dx) adalah nilai pengukuran (x) dikurangi nilai sebenarnya (x_t) (Mikhail dan Gracie, 1981), maka:

$$x = x_t + dx \tag{5}$$



Gambar 2. Fungsi $y = ax + b$ (Mikhail dan Gracie, 1981)

Nilai sebenarnya dari y (y_t) dapat dihitung langsung dari x_t , dengan persamaan (6)

$$y_t = ax_t + b \tag{6}$$

Kemudian dari persamaan (6) dapat dihitung nilai y ,

$$\begin{aligned}
 y &= ax + b \\
 y &= a(x_t + dx) + b \\
 y &= ax_t + b + adx \\
 y &= y_t + adx \quad (7)
 \end{aligned}$$

Jika dy adalah kesalahan y , kemudian mengikuti persamaan (7), maka

$$dy = adx \quad (8)$$

Apabila ilmu kalkulus dasar diaplikasikan dalam persamaan (4), dapat dilihat bahwa turunan y terhadap x adalah $dy/dx = a$, maka dari persamaan (10) didapat:

$$dy = \frac{dy}{dx} dx \quad (9)$$

Persamaan (9) digunakan untuk satu variabel yang diukur. Untuk lebih satu variabel yang diukur digunakan:

$$\begin{aligned}
 dy^2 &= \left(\frac{dy}{dx_1}\right)^2 (dx_1)^2 + \left(\frac{dy}{dx_2}\right)^2 (dx_2)^2 \\
 &+ \dots \left(\frac{dy}{dx_n}\right)^2 (dx_n)^2 \quad (10)
 \end{aligned}$$

Linearisasi:

$$y = f(x_0) + \left(\frac{dy}{dx}\right)_{x_0} \Delta x + \text{higher order term} \quad (11)$$

Persamaan (9) merupakan turunan dari persamaan (4). dy didapat dari fungsi turunan karena fungsi $y = ax + b$ adalah fungsi linear. Penggunaan perambatan kesalahan dari persamaan (10) yang dilinierisasi dari fungsi asli akan didapatkan hasil yang sama dengan hasil dari persamaan (11) (Mikhail dan Gracie, 1981).

2.4. Uji-t statistik nilai rata-rata dari dua sampel

Uji perbandingan ini dapat digunakan untuk membandingkan ketelitian antara dua besaran yaitu untuk mengkaji keberhasilan metode A dengan metode B dalam suatu eksperimen. Hasil yang diperoleh dari perlakuan metode A bersifat independen terhadap perlakuan metode B (Furqon, 1999):

Penyusunan hipotesisnya adalah:

$$H_0 : \mu_A = \mu_B$$

$$H_1 : \mu_A > \mu_B$$

$$H_0 \text{ diterima jika } -t_{(5\%,n-1)} < t_{\text{hitung}} < t_{(5\%,n-1)}$$

Penolakan terhadap hipotesis nol menyimpulkan bahwa kedua kelompok berasal dari populasi yang berbeda (rata-rata kedua populasi tersebut berbeda), sedangkan tidak menolak hipotesis nol menyimpulkan bahwa perbedaan yang diperoleh hanya bersifat kebetulan semata.

Rumus dasar uji-t:

$$t_{\text{hitung}} = \frac{\bar{y}_1 - \bar{y}_2}{\sqrt{\frac{s_1^2}{n_1'} + \frac{s_2^2}{n_2'}}} \quad (12)$$

3. Metodologi

Tahapan penelitian secara garis besar adalah sebagai berikut :

A. Pengukuran lapangan

Pengukuran beda tinggi dilakukan di dua lokasi yaitu di lingkungan Fakultas Teknik UGM (lokasi 1) dan di sekitar bundaran UGM (lokasi 2). Di lokasi pertama, didesain jarak maksimal 8m dibagi menjadi 4 penggal. Di lokasi 2 desain dibuat satu garis lurus sepanjang 300m dibagi menjadi penggal-penggal jarak 10m, 30m, 50m, 100m, 200m, 300m.

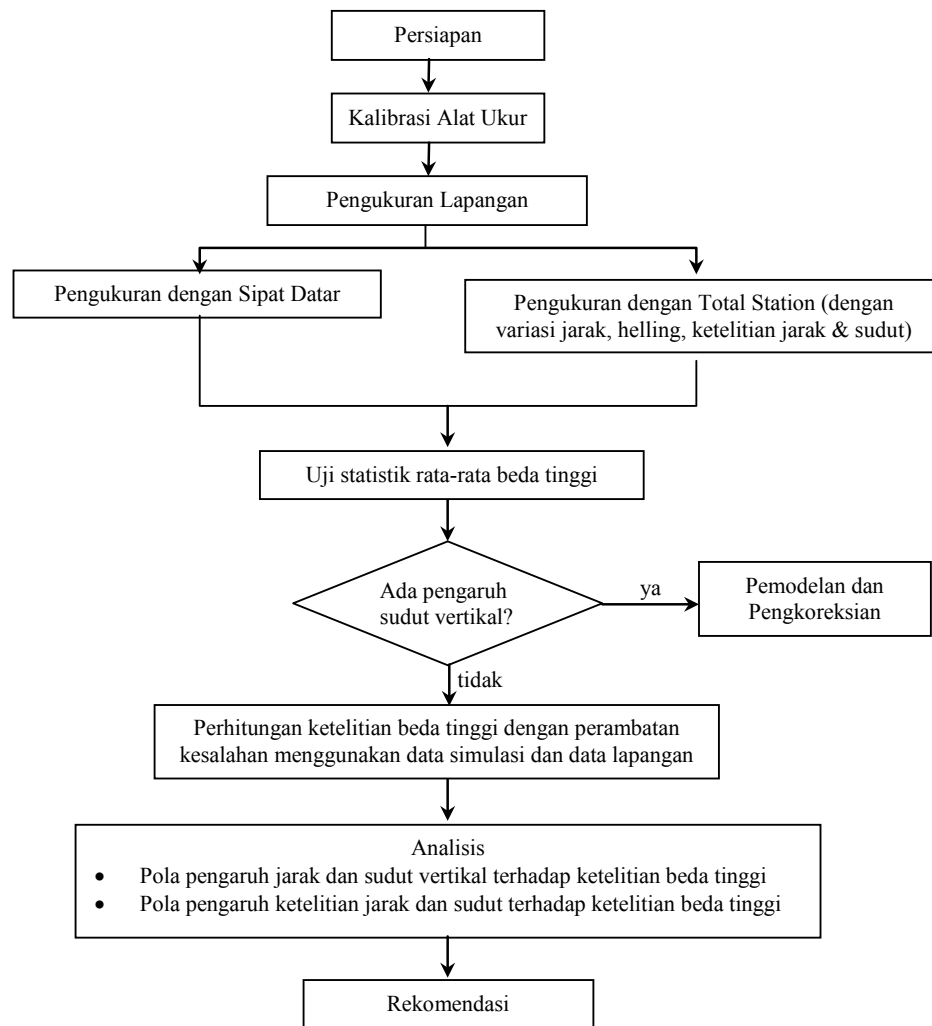
B. Data Simulasi

Data simulasi adalah data yang dibuat untuk mensimulasi ketelitian beda tinggi berdasarkan teori perambatan kesalahan. Tujuannya adalah untuk mengevaluasi pengaruh jarak dan sudut vertikal terhadap ketelitian beda tinggi. Data simulasi terdiri atas data jarak dan sudut vertikal. Data simulasi jarak dibuat pada rentang 0 - 800 m, dengan interval 50 m. Data simulasi sudut vertikal dibuat pada rentang $0^\circ - 21^\circ$, dengan interval 3° . Selanjutnya data tersebut digunakan untuk menghitung ketelitian beda tinggi menggunakan prinsip perambatan kesalahan.

C. Pengolahan data dan analisis

- 1) Uji statistik nilai rata-rata dari dua sampel, uji ini dilakukan terhadap jarak hasil ukuran Total Station dengan berbagai variasi sudut vertikal, dan dilakukan juga terhadap beda tinggi dengan berbagai

- variasi sudut vertikal untuk mengetahui adakah pengaruh sudut vertikal terhadap jarak dan beda tinggi hasil ukuran Total Station.
- 2) Perhitungan ketelitian beda tinggi dengan perambatan kesalahan menggunakan data simulasi. Perhitungan ketelitian beda tinggi dilakukan dengan menggunakan variasi jarak 2-800 m dan variasi sudut 0-21° dengan interval 3°.
 - 3) Berdasarkan data simulasi maupun data lapangan dilakukan analisis untuk melihat:
 - i. pola/tren pengaruh jarak dan ketelitiannya terhadap ketelitian pengukuran beda tinggi metode trigonometrik.
 - ii. pola/tren pengaruh sudut elevasi dan ketelitiannya terhadap ketelitian pengukuran beda tinggi metode trigonometrik.
 - iii. perbandingan pengaruh ketelitian jarak dan sudut elevasi terhadap ketelitian beda tinggi.
- Metode yang dilaksanakan pada penelitian ini secara keseluruhan seperti pada Gambar 3.



Gambar 3. Diagram Alir Pelaksanaan Penelitian

4. Hasil dan Pembahasan

A. Hasil Pengukuran Lapangan

Dari pengukuran di lapangan, data yang diperoleh adalah :

- 1) data beda tinggi hasil pengukuran sipat datar,
- 2) data yang diperoleh dari hasil pengukuran Total Station antara lain berupa data beda tinggi, jarak miring, sudut vertikal, tinggi alat dan tinggi target.

B. Hasil Uji Rata-rata Dua Sampel

Berdasarkan hasil uji statistik nilai rata-rata dari dua sampel, jarak dan beda tinggi yang diperoleh dari pengukuran Total Station dengan berbagai variasi sudut vertikal tidak terdapat perbedaan yang signifikan, oleh karena itu selanjutnya analisis lebih diarahkan pada pengaruh ketelitian jarak dan sudut vertikal terhadap ketelitian beda tinggi baik dengan menggunakan data simulasi dengan menerapkan perambatan kesalahan maupun dengan menggunakan data lapangan

C. Hasil Hitungan Ketelitian Beda Tinggi Berdasarkan Data Simulasi

Ketelitian beda tinggi ditentukan oleh ketelitian jarak, sudut elevasi, tinggi alat dan tinggi target sebagaimana persamaan :

$$\sigma\Delta H^2 = \sigma_{hi}^2 + (\text{tg } \alpha)^2 \sigma_D^2 + (D \sec^2 \alpha)^2 \sigma_a^2 - \sigma_{ht}^2 \quad (15)$$

Hasil simulasi menunjukkan bahwa :

- 1) nilai konstanta ketelitian jarak adalah tetap, tidak dipengaruhi oleh panjangnya jarak, dengan kata lain kontribusi ketelitian jarak terhadap ketelitian beda tinggi tidak dipengaruhi oleh panjangnya jarak ukuran. Tetapi nilai konstanta tersebut semakin besar bila pengukuran menggunakan sudut elevasi yang semakin besar pula namun peningkatannya tidak signifikan.
- 2) nilai konstanta ketelitian sudut elevasi dipengaruhi oleh panjangnya jarak ukuran sekaligus sudut elevasi yang digunakan, namun peningkatannya tidak signifikan sehingga dapat dikatakan bahwa untuk jarak sampai dengan 800 m pengaruh ketelitian sudut terhadap ketelitian

beda tinggi hampir tidak dipengaruhi oleh panjangnya jarak dan sudut elevasi yang digunakan.

- 3) pada kondisi tertentu (Tabel 2) pengaruh ketelitian sudut elevasi lebih besar dibandingkan pengaruh ketelitian jarak.

Tabel 2. Kondisi dimana ketelitian sudut elevasi lebih berpengaruh dibandingkan ketelitian jarak

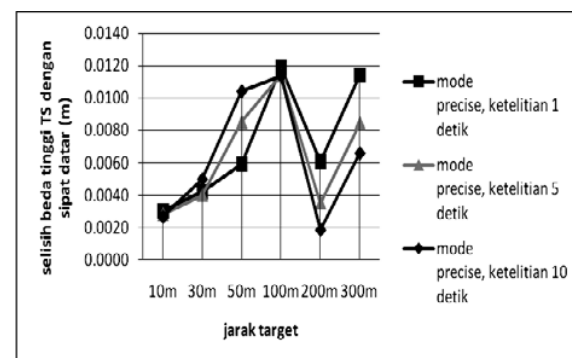
Sudut elevasi (°)	Jarak (m)
3	>10
6	>20
9	>30
12	>40
15	>50
18	>60
21	>65

D. Evaluasi Pengaruh Jarak dan Sudut Elevasi terhadap Ketelitian Beda Tinggi Berdasarkan Data Ukuran Lapangan

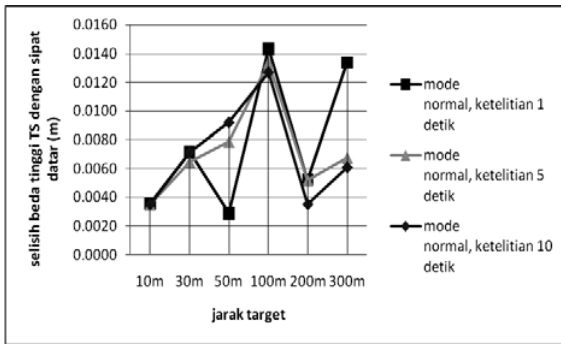
Dengan asumsi bahwa ketelitian yang diperoleh ditunjukkan oleh selisih beda tinggi antara Total Station dan sipat datar (sebagai acuan), maka hasil yang diperoleh diuraikan dalam sub-bab berikut .

D.1. Pola pengaruh jarak datar terhadap ketelitian beda tinggi

Pola pengaruh jarak dapat dilihat pada Gambar 4 dan Gambar 5.



Gambar 4. Pengaruh Jarak terhadap Ketelitian Beda Tinggi (Lokasi 2, mode precise)

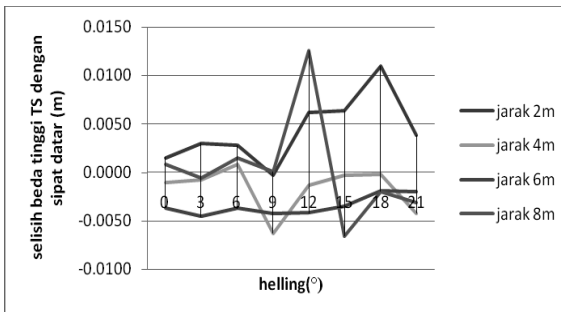


Gambar 5. Pengaruh Jarak terhadap Ketelitian Bada Tinggi (Lokasi 2, mode normal)

Berdasarkan grafik pada Gambar 4 dan 5 terlihat polanya adalah acak sehingga dapat dikatakan bahwa panjangnya jarak tidak berpengaruh terhadap ketelitian beda tinggi. Hal ini tidak jauh berbeda dengan hasil simulasi.

D.2. Pola pengaruh sudut elevasi terhadap ketelitian beda tinggi

Pengaruh sudut elevasi terhadap ketelitian beda tinggi dapat dilihat pada Gambar 6 dan Gambar 7 yang menunjukkan pola yang acak. Untuk jarak 10 – 300 m di lokasi 1 juga menunjukkan pola yang sama, sehingga dapat dikatakan bahwa tidak ada pengaruh yang signifikan.

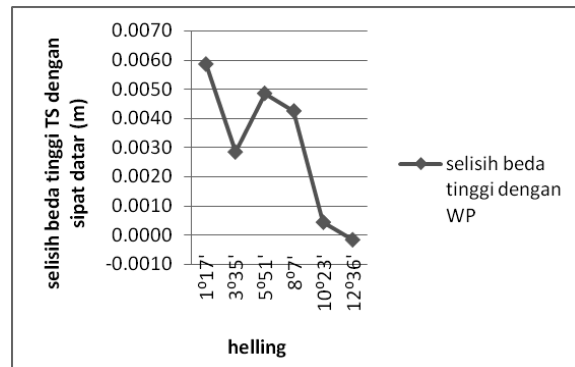


Gambar 6. Pengaruh Sudut Elevasi terhadap Ketelitian Bada Tinggi (Lokasi 2)

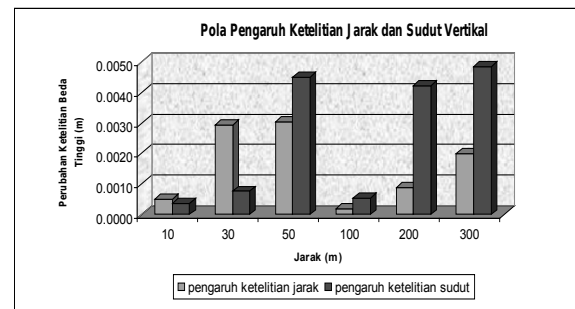
D.3. Pengaruh ketelitian jarak dan sudut elevasi terhadap ketelitian beda tinggi

Dengan perubahan ketelitian jarak dari mode normal ((10 +3ppm x D)mm) ke mode *precise* ((3 +2ppm x D)mm) dan juga akibat perubahan ketelitian sudut elevasi dari 1'' ke 10''

maka perubahan (selisih) ketelitian beda tinggi yang diperoleh akibat perubahan tersebut dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 7. Pengaruh Sudut Elevasi terhadap Ketelitian Bada Tinggi Untuk Jarak 10 m (Lokasi 1)



Gambar 8. Pola Pengaruh Ketelitian Jarak dan Sudut Vertikal terhadap Ketelitian Bada Tinggi

Dari Gambar 8 terlihat bahwa pada jarak ukuran 50 m atau lebih ketelitian sudut elevasi lebih berpengaruh terhadap perubahan ketelitian beda tinggi dibandingkan ketelitian jarak. Hal ini bisa menjadi pertimbangan dalam perencanaan pekerjaan pengukuran beda tinggi terutama mengenai ketelitian alat yang seharusnya digunakan.

5. Kesimpulan

- penggunaan sudut vertikal yang bervariasi tidak berpengaruh secara signifikan terhadap jarak maupun beda tinggi hasil ukuran Total Station.
- berdasarkan hasil simulasi, ketelitian beda tinggi dipengaruhi oleh jarak dan sudut elevasi yang digunakan (sebagaimana persamaan 1)

namun untuk jarak sampai dengan 800 m, peningkatannya tidak signifikan. Demikian juga hasil ukuran lapangan menunjukkan pola hubungan yang acak antara jarak maupun sudut elevasi terhadap ketelitian beda tinggi.

- c. pada jarak ukuran 50 meter atau lebih kontribusi ketelitian sudut terhadap perubahan ketelitian beda tinggi lebih besar dibandingkan kontribusi ketelitian jarak.

Daftar Notasi

H_A	: tinggi titik A
h_i	: tinggi alat
H_B	: tinggi titik B
h_t	: tinggi reflektor
DH_{AB}	: beda tinggi antara titik A dan B
S	: jarak miring
α	: sudut vertikal (helling)
D	: jarak datar
μ_A	:
t	: harga yang dihitung dan menunjukkan nilai simpangan baku dari distribusi t (tabel t)
\bar{y}_1	: rata-rata skor sampel pertama
\bar{y}_2	: rata-rata skor sampel kedua
s_1^2	: varian sampel pertama
s_2^2	: varian sampel kedua
n'	: jumlah sampel

Daftar Pustaka

- Basuki, S., 2006, *Ilmu Ukur Tanah*, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Ceylan A. and Baykal O., 2006, *Precise Height Determination Using Leap-Frog Trigonometric*

Leveling, Journal of Surveying Engineering, Volume 132, Issue 3, pp. 118-123., August 2006.

Furqon, 1999, *Statistika Terapan untuk Penelitian*, Cetakan kedua, Alfabeta, Bandung.

Kavanagh.B.F, 1997, *Surveying With Construction Applications*, Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey.

Leica Sprinter User Manual Version 1.1

Mikhail and Gracie, 1981, *Analysis and Adjustment of Survey Measurement*, Van Nostrand Reinhold Company Inc., New York.

Panduan Singkat TS NIKON DTM 352

Parseno, Yulaikhah, 2008, *Pola Penyimpangan Antara Beda Tinggi Hasil Ukuran Metode Trigonometris dan Sipatdatar*, Laporan Penelitian, Fakultas Teknik, Yogyakarta.

Wibowo, PW,1987, *Uji Metode Penentuan Tinggi Secara Trigonometris dengan EDM*, Skripsi, Jurusan Teknik Geodesi FT UGM, Yogyakarta

Xiau Fuhe and Zan Dezheng, 1996, *Improving The Accuracy of Vertical Angle Observations*, J. Cent. South Univ. Technol., Vol. 3 No.2 November 1996,

Zhenglu Z., Kun Z., Yong D., Changlin L., 2005, *Research on Precise Trigonometric Leveling in Place of First Order Leveling*, Geo-Spatial Information Science, Volume 8, Issue 4, December 2005.

<http://civilweb.newcastle.edu.au/cyclops/ObsTips.htm#Part1-6>, diunduh tanggal 24 Februari 2009