

## **ANALISIS PERBANDINGAN PENGUKURAN JARAK MENGUNAKAN THEODOLITE DAN WATERPASS PADA MEDAN MIRING (SLOPE) DI AKMIL**

**Adiawan W.S.P.<sup>1\*</sup>, Luluk Kristanto<sup>2</sup>, Anung Nugroho<sup>3</sup>, Nur Asnah<sup>4</sup>,  
Arifianto<sup>5</sup>**

<sup>1, 2, 3, 4, 5</sup> Prodi Teknik Sipil Pertahanan Kordos Akmil, Jl. Gatot Subroto No 1  
Magelang

<sup>1</sup>gefitop.11@gmail.com, <sup>2</sup>mrluke.014@gmail.com, <sup>3</sup>mathsolvingvi@gmail.com,  
<sup>4</sup>nurasnah2012@gmail.com, <sup>5</sup>arifianto190179@gmail.com

### **ABSTRAK**

Pelaksanaan tugas pokok dan fungsi satuan Zeni dan Topografi TNI AD di lapangan khususnya dalam mendukung penyelesaian tugas Operasi Militer Selain Perang (OMSP) seperti pemetaan lahan, salah satunya diperlukan metode pengukuran efisien dengan kapasitas alat sesuai kondisi lapangan penugasan. Lokasi penelitian terletak di Area Gedung M. Lily Rochly Akmil menggunakan referensi pengujian metode Waterpassing yang dilakukan pada ring 1-2-3 dengan titik pangkal BM dan ujung titik pangkal yang sama. Ketelitian perhitungan dilakukan dengan perataan kuadrat terkecil untuk mendapatkan standar deviasi alat Theodolite KT 440LR Series dan Waterpass Topcon B2. Hasil pengukuran jarak vertikal (beda tinggi) dari Waterpass memiliki ketelitian lebih baik daripada Theodolite, dimana kesalahan penutup tinggi Waterpass yakni 4 mm (ring 1), 9 mm (ring 2) dan 10 mm (ring 3). Sementara pada Theodolite yakni 7 mm (ring 1), 11 mm (ring 2) dan 14 mm (ring 3). Pada Waterpass standar deviasi adalah 0,02 mm, sedangkan standar deviasi pada Theodolite yakni 0,03 mm. Waktu pengukuran Theodolite terbukti lebih efisien dibandingkan dengan Waterpass, dimana waktu pengukurannya 1/3 kali lebih pendek dari waktu pengukuran alat Waterpass.

**Kata-kunci: Pengukuran Jarak Vertikal; Theodolite; Waterpass.**

### **ABSTRACT**

The main tasks and functions implementation of Indonesian Engineering Corps and Topography Corps Army unit in the field, especially, supporting the completion of Military Operations Other Than War tasks such as land mapping, which requires an efficient measurement method from right equipment to be needed to the assigned field conditions. This research located in the M. Lily Rochly Akmil Building area by using Waterpassing Method as a reference test which is carried out on the ring 1-2-3 on the same BM starting point. The calculation accuracy using least squares averaging to obtain the standard deviation of the Theodolite KT 440LR Series and Waterpass Topcon B2 tools. The vertical distance measuring results from the Waterpass have better accuracy than the Theodolite, where the height covering error of the Waterpass is 10 mm (ring 1), 6 mm (ring 2) and 5 mm (ring 3). Meanwhile, the Theodolite is 12 mm (ring 1), 16 mm (ring 2) and 11 mm (ring 3). Waterpass standard deviation is 0.02 mm, while Theodolite standard deviation is 0.03 mm. Theodolite measurement time is proven more efficient compared to Waterpass, where 1/3 times shorter than Waterpass.

**Keywords: Theodolite; Vertical Distance Measurement; Waterpass.**

## PENDAHULUAN

Penentuan tinggi titik-titik di permukaan bumi dapat dilaksanakan dengan beberapa metode, mulai dengan *barometrik*, *trigonometrik*, *takhimetrik*, dan GPS (*Global Positioning System*), ataupun dengan metode sipat datar. Tujuan dari pengukuran tinggi di bidang teknik sipil, erat kaitannya dalam pelaksanaan di beberapa pekerjaan pembangunan, seperti bangunan gedung, jalan raya, jalan kereta api, dermaga, lapangan terbang, bendungan, dll. Berdasarkan beberapa metode dan peralatan yang tersedia tersebut, diharapkan pelaksanaan pengukuran dapat dilakukan dengan baik, sesuai dengan ketentuan yang disyaratkan serta pertimbangan efisiensi waktu, tenaga dan biaya.

Pelaksanaan tugas pokok dan fungsi satuan Zeni dan Topografi TNI AD di lapangan khususnya dalam mendukung penyelesaian tugas Operasi Militer Selain Perang (OMSP) seperti pemetaan lahan, salah satunya diperlukan metode pengukuran efisien dengan kapasitas alat sesuai kondisi lapangan penugasan. Keputusan yang tepat dan cepat di lapangan perlu diambil dengan mempertimbangkan waktu dan biaya seefektif dan seefisien mungkin memedomani faktor ketelitian yang telah menjadi ketentuan.

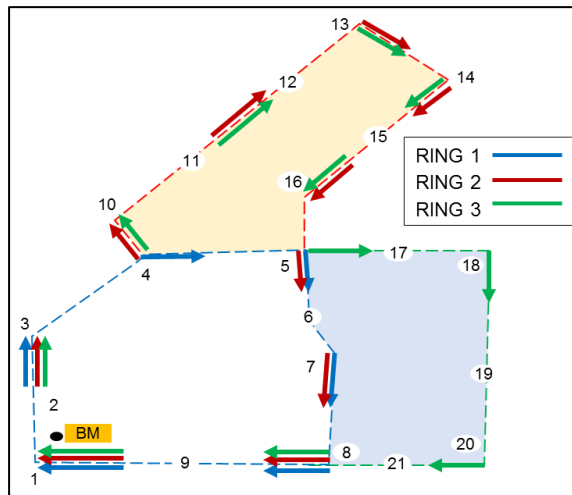
Penelitian Parasu (2023), bahwa menggunakan *Total Station* menghasilkan ketelitian cukup baik yang tidak begitu jauh dibandingkan dengan *waterpass* dalam pengukuran beda tinggi dengan selisih 17,320 mm dan masuk dalam toleransi SNI.

Mulyani, et al. (2021) dalam penelitiannya bahwa standar deviasi beda tinggi dengan *waterpass* sebesar 0.01mm, sedangkan dengan *Total Station* sebesar 0.02 mm. Berdasarkan hasil perhitungan nilai standar deviasi pengukuran beda tinggi, maka *Total Station* dapat digunakan untuk pengukuran beda tinggi pada pekerjaan teknik sipil yang tidak memerlukan ketelitian yang sangat tinggi, dan pengukuran beda tinggi dengan *Total Station* lebih ekonomis karena waktu yang diperlukan untuk pengukuran adalah seperempat dari waktu yang diperlukan pengukuran beda tinggi dengan *Waterpass*.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui tingkat ketelitian dan keakuratan jarak vertikal dari alat ukur *Theodolite* dibandingkan dengan alat ukur Sipat Datar pada lahan/area kemiringan (*Slope*) serta efisiensi waktu pelaksanaan pengukurannya di lokasi lahan kosong seputaran Gedung M. Lily Rochly Akmil Magelang. Hasil akhir penelitian diharapkan dapat menjadi referensi ataupun perbandingan pelaksanaan pengukuran dalam penugasan serupa di lapangan.

## METODE

Penelitian kuantitatif dengan metode *Waterpassing* di lapangan, menggunakan dua alat ukur utama optis yakni *Theodolite KT 440LR Series* dan *Waterpass Topcon B2*. Alat bantu pengukuran yakni 4 set rambu ukur 3 meter, *Laser distance meter*, Meteran pita 7,5 meter dan alat tulis. Mekanisme pengujian jaring polygon tertutup pada titik BM tetap, disusun dalam tiga ring pengukuran sebagai berikut:



**Gambar 1.** Skema 3 Ring Pengukuran  
(Sumber: Tim Lit 3, 2023)

- Ring 1 (Sisi Barat Gedung M. Lily Rochly, seluas 4100 m<sup>2</sup>) rute titik 1,2,3,4,5,6,7,8,9,1.
- Ring 2 (Sisi Utara-Barat Gedung M. Lily Rochly, seluas 6970 m<sup>2</sup>) rute titik 1,2,3,4,10,11,12,13,14,15,16,5,6,7,8,9,1.
- Ring 3 (Sisi Utara-Barat hingga luar area Gedung M. Lily Rochly, seluas 9130 m<sup>2</sup>), rute titik 1,2,3,4,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20,21,8,9,1.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Standar Deviasi Waterpass

Matriks B yakni:

$$B = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Matriks C yakni:

$$C = \begin{pmatrix} 0,011 \\ 0,007 \\ 0,004 \end{pmatrix}$$

Matriks L dan W yakni:

$$L = \begin{pmatrix} -0.867 \\ -0.613 \\ -0.681 \\ -0.828 \\ -0.066 \\ -0.056 \\ -0.022 \\ 1.062 \\ 0.948 \\ 0.993 \\ -0.898 \\ 0.452 \end{pmatrix} \quad W = \begin{pmatrix} 0,002 \\ 0.024 \\ 0.067 \end{pmatrix}$$

Matriks B X B<sup>T</sup> yakni:

$$\begin{pmatrix} 10 & 7 & 3 \\ 7 & 7 & 3 \\ 4 & 4 & 4 \end{pmatrix}$$

Invers dari matriks B X B<sup>T</sup> yakni:

$$\begin{pmatrix} 0,228 & -0,155 & -0,023 \\ -0,174 & 0,344 & -0,119 \\ -0,063 & -0,124 & 0,387 \end{pmatrix}$$

Matriks B<sup>T</sup> x (BB<sup>T</sup>)<sup>-1</sup> yakni:

$$\begin{pmatrix} 0,021 & 0,055 & 0,214 \\ 0,021 & 0,055 & 0,214 \\ 0,055 & 0,187 & -0,148 \\ 0,055 & 0,187 & -0,148 \\ 0,214 & -0,148 & -0,029 \\ 0,214 & -0,148 & -0,029 \\ 0,214 & -0,148 & -0,029 \\ 0,055 & 0,187 & -0,148 \\ 0,055 & 0,187 & -0,148 \\ 0,021 & 0,055 & 0,214 \\ -0,144 & 0,359 & -0,122 \\ -0,029 & -0,122 & 0,386 \end{pmatrix}$$

V = B<sup>T</sup> x (BB<sup>T</sup>)<sup>-1</sup> x W yakni:

$$V = \begin{pmatrix} 0.022 \\ 0.022 \\ -0.004 \\ -0.004 \\ -0.005 \\ -0.005 \\ -0.005 \\ -0.004 \\ -0.004 \\ 0.022 \\ 0.001 \\ 0.023 \end{pmatrix}$$

Berdasarkan rumus  $S_o = \sqrt{\frac{\sum pv^2}{n-1}}$ , maka standard deviasi pengukuran untuk *Waterpass* yakni 0,02 mm.

**Standar Deviasi Theodolite**

Matriks B yakni:

$$B = \begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}$$

Matriks C yakni:

$$C = \begin{vmatrix} -0.017 \\ 0.038 \\ 0.023 \end{vmatrix}$$

Matriks L dan W yakni:

$$L = \begin{vmatrix} -0.779 \\ -0.486 \\ -0.567 \\ -0.788 \\ -0.043 \\ -0.069 \\ -0.011 \\ 1.075 \\ 0.964 \\ 0.962 \\ -0.882 \\ 0.423 \end{vmatrix} \quad W = \begin{vmatrix} -0.007 \\ -0.006 \\ 0.048 \end{vmatrix}$$

Matriks B X B<sup>T</sup> yakni:

$$\begin{vmatrix} 10 & 7 & 3 \\ 7 & 7 & 3 \\ 4 & 4 & 4 \end{vmatrix}$$

Invers dari matriks B X B<sup>T</sup> yakni:

$$\begin{vmatrix} 0,228 & -0,155 & -0,023 \\ -0,174 & 0,344 & -0,119 \\ -0,063 & -0,124 & 0,387 \end{vmatrix}$$

Matriks B<sup>T</sup> x (BB<sup>T</sup>)<sup>-1</sup> yakni:

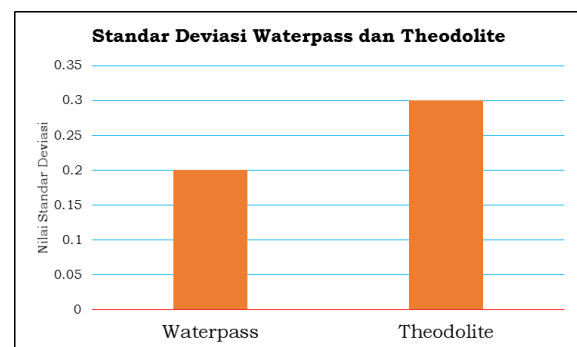
$$\begin{vmatrix} 0,021 & 0,055 & 0,214 \\ 0,021 & 0,055 & 0,214 \\ 0,055 & 0,187 & -0,148 \\ 0,055 & 0,187 & -0,148 \\ 0,214 & -0,148 & -0,029 \\ 0,214 & -0,148 & -0,029 \\ 0,214 & -0,148 & -0,029 \\ 0,055 & 0,187 & -0,148 \\ 0,055 & 0,187 & -0,148 \\ 0,021 & 0,055 & 0,214 \\ -0,144 & 0,359 & -0,122 \\ -0,029 & -0,122 & 0,386 \end{vmatrix}$$

V = B<sup>T</sup> x (BB<sup>T</sup>)<sup>-1</sup> x W yakni:

$$V = \begin{vmatrix} 0.011 \\ 0.011 \\ -0.007 \\ -0.007 \\ -0.001 \\ -0.001 \\ -0.001 \\ -0.007 \\ -0.007 \\ -0.007 \\ 0.011 \\ -0.005 \\ 0.018 \end{vmatrix}$$

Berdasarkan rumus  $S_o = \sqrt{\frac{\sum pv^2}{n-1}}$ , maka standard deviasi pengukuran untuk *Theodolite* yakni 0,03 mm.

Hasil analisa terhadap standar deviasi kedua alat dimana *Waterpass* senilai 0,02 mm dan *Theodolite* sebesar 0,03 mm, mengindikasikan bahwa keakuratan *Theodolite* dalam pengukuran tinggi memiliki ketelitian yang tidak jauh berbeda dengan pengukuran tinggi alat *Waterpass*.



**Gambar 2.** Diagram Standar Deviasi (Sumber: Tim Lit 3, 2023)

**Efisiensi Waktu**

Berdasarkan hasil analisa pada Tabel 1, dapat dijelaskan bahwa hasil ukur jarak vertikal dengan *Waterpass* memiliki kesalahan penutup tinggi lebih kecil dibanding *Theodolite*. Guna meminimalisir hal tersebut, pengukuran dilaksanakan beberapa kali, sehingga data yang menyimpang atau salah dapat diketahui untuk

dilakukan perbaikan agar mencapai standar ketelitian.

**Tabel 1.** Hasil Ukur Kesalahan Penutup Tinggi Alat *Waterpass* dan *Theodolite*

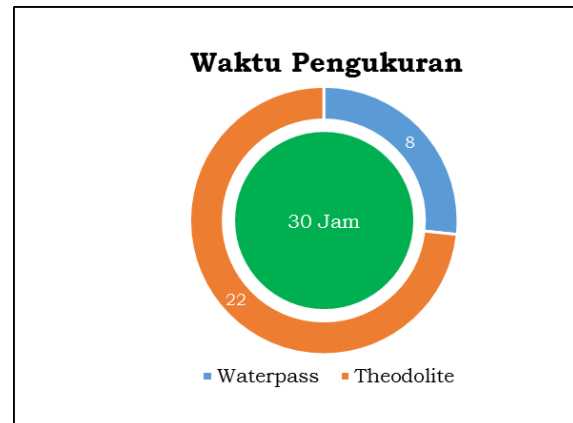
No	Ring	Alat Ukur	Kesalahan Penutup Tinggi (mm)
1	1	<i>Waterpass</i>	4
2	1	<i>Theodolite</i>	7
3	2	<i>Waterpass</i>	9
4	2	<i>Theodolite</i>	11
5	3	<i>Waterpass</i>	10
6	3	<i>Theodolite</i>	14

(Sumber: Tim Lit 3, 2023)

Pada alat *Waterpass*, operasional teropong hanya dapat digerakkan pada arah horizontal dan tidak dapat digerakkan pada arah vertikal, sehingga kesalahan dalam pengukuran tinggi mengindikasikan memiliki nilai lebih kecil dari *Theodolite*.

Pada pekerjaan pengukuran tinggi yang tidak memerlukan ketelitian yang tinggi, rekomendasi alat *Theodolite* dapat digunakan dimana ketelitian yang dihasilkan tidak terlalu jauh dari alat *Waterpass*.

Ditinjau dari total waktu pengukuran selama sekitar 30 jam pada area pengukuran seluas 20.200 m<sup>2</sup>, alat *Theodolite* memerlukan waktu sekitar 8 jam, sedangkan alat *Waterpass* memerlukan waktu sekitar 22 jam. Maka pengukuran dengan *Theodolite* lebih efisien dari segi waktu atau  $\frac{1}{3}$  kali lebih pendek dari alat *Waterpass* dan secara linear akan berpengaruh terhadap biaya pekerjaan di lapangan khususnya di daerah serupa yang lebih luas cakupan pengukurannya.



**Gambar 3.** Diagram Waktu Pengukuran (Sumber: Tim Lit 3, 2023)

## KESIMPULAN

1. Jarak Vertikal (beda tinggi) dari *Waterpass* memiliki ketelitian lebih baik daripada *Theodolite*, dimana kesalahan penutup tinggi *Waterpass* yakni 10 mm (ring 1), 6 mm (ring 2) dan 5 mm (ring 3). Sementara pada *Theodolite* yakni 12 mm (ring 1), 16 mm (ring 2) dan 11 mm (ring 3). Pada *Waterpass* standar deviasi adalah 0,02 mm, sedangkan standar deviasi pada *Theodolite* yakni 0,03 mm.

2. *Theodolite* terbukti lebih efisien dibandingkan dengan *Waterpass*, dimana waktu pengukurannya  $\frac{1}{3}$  kali lebih pendek dari waktu pengukuran alat *Waterpass*.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada pihak yang telah mendukung terlaksananya kegiatan Tim Penelitian Kelompok 3, khususnya kepada Akademi Militer selaku pemberi dana sehingga penelitian dapat berjalan sesuai tujuan dan waktu yang ditetapkan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Mulyani, A.S. dan Tampubolon, S.P., 2021. Studi Perbandingan Analisa Ketelitian Tinggi Menggunakan *Total Station* dan

Sipat Datar. Jurnal Muara Sains, Teknologi, Kedokteran, dan Ilmu Kesehatan Vol. 5, No. 2, Oktober 2021: 259-268.

- Parasu, B. 2023. Perbandingan Ketelitian Elevasi Antara *Total Station* dan *Waterpass* Dalam Pengukuran Situasi di Irigasi Sungai Sekunder Kedunggede Bekasi, Fakultas Teknik Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Prasidya, A.S. dan Riyadi, G., 2018. Kajian Ketelitian Pengukuran Kerangka Kontrol Vertikal Menggunakan Total Station Akurasi Sudut 1" dan 5". *Elipsoida: Jurnal Geodesi dan Geomatika*, 1(02): 71-78.
- Slamet, B., 2016. Ilmu Ukur Tanah, Edisi Revisi. Universitas Gadjah Mada Press. Yogyakarta.
- Syaifullah, A., Wahyono, E.B., dan Susmiyanto, A., 2018. Ilmu Ukur Tanah. Modul Pelatihan Bidang Survey dan Pemetaan. Kementrian ATR/BPN: Jakarta.