



Menganalisis Akurasi Hasil Pengukuran Topografi Menggunakan Metode *Bowditch* Dan Metode Koordinat Polaris Pada Pemetaan Situasi

Jonathan Wantania^{#a}, Lucia I. R. Lefrandt^{#b}, Samuel Y. R Rompis^{#c}

[#]Program Studi Teknik Sipil Universitas Sam Ratulangi, Manado, Indonesia

^ajonathanwantania021@student.unsrat.ac.id, ^blucia.lefrandt@unsrat.ac.id, ^csemrompis@unsrat.ac.id

Abstrak

Pengukuran topografi merupakan kegiatan penting dalam bidang survei dan pemetaan yang berfungsi sebagai dasar dalam perencanaan dan pelaksanaan pembangunan. Tingkat ketelitian hasil pengukuran sangat mempengaruhi kualitas informasi spasial yang dihasilkan, khususnya dalam kegiatan pemetaan situasi. Oleh karena itu, diperlukan metode pengukuran yang mampu memberikan hasil yang akurat dan efisien sesuai dengan kondisi lapangan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dan membandingkan akurasi hasil pengukuran topografi menggunakan metode Bowditch dan metode koordinat polaris, serta menilai efisiensi penerapan kedua metode tersebut dalam pemetaan situasi. Perbandingan dilakukan untuk mengetahui kelebihan dan keterbatasan masing-masing metode sehingga dapat dijadikan acuan dalam pemilihan metode pengukuran yang tepat. Penelitian dilaksanakan di Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi Manado dengan menggunakan alat ukur Total Station. Metode Bowditch diterapkan pada pengukuran poligon tertutup dengan koreksi kesalahan sudut dan jarak secara proporsional, sedangkan metode koordinat polaris digunakan untuk menentukan posisi titik detail berdasarkan pengukuran sudut dan jarak dari titik referensi. Data hasil pengukuran diolah menggunakan AutoCAD Civil3D dan dianalisis tingkat akurasinya menggunakan parameter Root Mean Square Error (RMSE) berdasarkan standar ketelitian peta Peraturan Kepala Badan Informasi Geospasial (BIG) Nomor 15 Tahun 2014. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kedua metode menghasilkan koordinat dan elevasi yang memenuhi standar ketelitian pemetaan situasi. Metode Bowditch memberikan hasil yang lebih stabil dan akurat pada pengukuran poligon tertutup, sedangkan metode koordinat polaris lebih efisien dalam pengambilan data titik detail dengan waktu pelaksanaan yang lebih singkat.

Kata kunci: pengukuran topografi, metode Bowditch, metode koordinat Polaris

1. Pendahuluan

1.1. Latar Belakang

Pengukuran topografi merupakan bagian penting dalam bidang survei dan pemetaan karena digunakan untuk menentukan posisi relatif titik-titik di permukaan bumi. Data topografi menjadi dasar dalam berbagai kegiatan seperti perencanaan pembangunan infrastruktur, pemetaan lahan, pengembangan kawasan permukiman, serta pengelolaan sumber daya alam. Oleh karena itu, ketelitian dan akurasi pengukuran sangat diperlukan agar informasi spasial yang dihasilkan dapat dimanfaatkan secara tepat dan efisien dalam proses perencanaan dan pengambilan keputusan.

Salah satu kegiatan yang umum dilakukan dalam pengukuran topografi adalah pemetaan situasi, yaitu proses pengambilan data detail permukaan bumi yang mencakup unsur-unsur alami maupun buatan manusia, seperti jalan, bangunan, kontur tanah, saluran air, dan vegetasi. Dalam pelaksanaannya terdapat beberapa metode pengukuran yang dapat digunakan, di antaranya metode Bowditch dan metode koordinat polaris, yang memiliki prinsip kerja serta kelebihan dan keterbatasan masing-masing dalam penerapannya di lapangan.

Metode Bowditch digunakan untuk melakukan penyesuaian kesalahan pada pengukuran traverse tertutup dengan mendistribusikan koreksi secara proporsional terhadap panjang sisi lintasan sehingga menghasilkan pengukuran yang relatif akurat. Sementara itu, metode koordinat polaris menentukan posisi titik melalui pengukuran sudut horizontal dan jarak dari titik referensi yang telah diketahui koordinatnya, sehingga lebih praktis dan cepat dalam pengumpulan data. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan akurasi dan efisiensi kedua metode tersebut dalam pengukuran topografi sebagai referensi dalam pemilihan metode survei di lapangan.

1.2. Rumusan Masalah

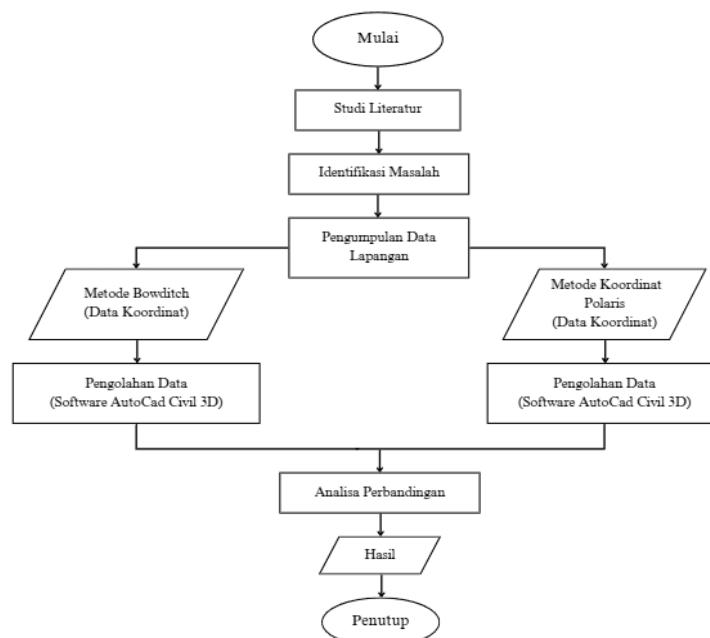
1. Metode manakah yang memberikan hasil lebih efisien dalam pemetaan topografi?
2. Faktor-faktor apa saja yang mempengaruhi akurasi kedua metode tersebut pada kondisi lapangan yang sama
3. Hasil akurasi pengukuran topografi yang diperoleh dengan metode bowditch dibandingkan dengan metode koordinat polaris

1.3. Tujuan Penelitian

1. Menganalisis efisiensi antara metode Bowditch dan Metode Koordinat Polaris dalam pemetaan Topografi.
2. Menganalisis faktor yang mempengaruhi akurasi kedua metode tersebut pada kondisi lapangan yang sama
3. Menganalisis keakuratan pengukuran topografi yang diperoleh dengan metode bowditch dan metode koordinat polaris

2. Metode

Desain penelitian yang dilakukan dengan menggunakan tahapan kerangka kerja sebagai berikut :



Gambar 1. Diagram Alir Kegiatan Penelitian

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Gambaran Umum Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi (UNSRAT) yang berlokasi di Kampus UNSRAT, Jalan Kampus Unsrat, Kelurahan Bahu, Kecamatan Malalayang,

Kota Manado, Provinsi Sulawesi Utara. Lokasi ini dipilih karena memiliki fasilitas dan infrastruktur yang mendukung kegiatan penelitian survei dan pemetaan. Lingkungan kampus yang relatif datar memungkinkan penerapan metode Bowditch dan koordinat polaris secara efektif. Objek pengukuran berupa beberapa titik BenchMark (BM) yang tersebar di area kampus sebagai titik acuan koordinat. Pengukuran dilakukan dengan mempertimbangkan kondisi lingkungan seperti cuaca agar hasil pengukuran sudut dan jarak tetap akurat, sehingga kedua metode dapat diterapkan untuk memperoleh data koordinat yang valid dan presisi di area Fakultas Teknik UNSRAT Manado.

3.2. *Persiapan Pengukuran*

Tahap persiapan awal dalam penelitian pengukuran koordinat menggunakan metode Koordinat Polaris dan metode Bowditch dilakukan untuk memastikan kelancaran proses pengumpulan data serta keberhasilan penelitian. Pada tahap ini dilakukan studi literatur untuk memahami konsep dan prosedur pengukuran, serta evaluasi dan pemilihan peralatan yang tepat seperti total station yang telah dikalibrasi agar memenuhi standar ketelitian pengukuran. Selain itu, dilakukan tinjauan awal lokasi penelitian guna memperoleh gambaran kondisi fisik dan lingkungan area survei.

Lokasi penelitian berada di Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi Manado yang memiliki topografi dominan datar hingga landai dengan kemiringan lereng sekitar 0–15%, sehingga mendukung pelaksanaan pengukuran menggunakan metode Koordinat Polaris dan Bowditch. Penentuan batas lahan dilakukan dengan mengidentifikasi batas fisik seperti pagar kampus, trotoar, dan area hijau untuk menentukan ruang lingkup survei. Apabila tanda batas tidak jelas, dilakukan pemasangan patok baru dan pengukuran menggunakan total station untuk memperoleh koordinat titik batas secara akurat, yang selanjutnya digunakan dalam penyusunan peta batas lahan yang merepresentasikan kondisi sebenarnya.

3.3. *Pengolahan Data Menggunakan Metode Bowditch*

Pengolahan data metode Bowditch bertujuan untuk mengoreksi error penutupan poligon tertutup yang dihasilkan dari pengukuran sudut interior dan jarak sisi menggunakan Total Station. Metode ini dinamakan menurut Nathaniel Bowditch (1802) yang mendistribusikan kesalahan secara proporsional berdasarkan panjang sisi poligon, sehingga menghasilkan koordinat final yang akurat dan memenuhi standar geometri poligon tertutup.

1. Kontrol sudut

Kontrol sudut horizontal merupakan tahap awal wajib dalam pengolahan data untuk memastikan poligon tertutup memenuhi syarat geometri dasar, Proses kontrol sudut dilakukan sebelum perhitungan azimuth kumulatif dan koordinat sementara. Pada pengukuran dilapangan arah pengukurannya searah dengan arah jarum jam.

Kontrol sudut (Pengukuran searah jarum dengan jumlah titik = 22), maka :

$$(n+2) \times 180^\circ = \sum s$$

$$(22+2) \times 180^\circ = 4319^\circ 0' 000''$$

$$4319^\circ 0' 000'' \neq 4319^\circ 53' 55.00''$$

2. Koreksi Sudut

$$f(S) = (((n+2) \times 180^\circ) - \sum s) / n$$

$$f(S) = (4319^\circ 0' 000'' - 4319^\circ 53' 55.00'') / 22$$

$$f(S) = 0^\circ 0' 16,59''$$

Catatan: Syarat Prosedur Operasional Standar Survey Geodesi:

$$= 10'' \times \sqrt{(\text{Jumlah poligon } (n))}$$

$$= 10'' \times \sqrt{22} = 0^\circ 0' 47''$$

$$= 0^\circ 0' \llbracket 16,59 \rrbracket ^'' < 0^\circ 0' 47''$$

(Memenuhi Prosedur Operasional Standar Survey Geodesi)

Tabel 1. Sudut Horizontal tanpa Azimuth

DARI	KE	DMS
BM1	BM2	250° 29' 40.00"
BM2	BM3	210° 45' 55.00"
BM3	BM4	241° 53' 30.00"
BM4	TB1	272° 0' 10.00"
TB1	BM5	131° 34' 55.00"
BM5	BM6	162° 45' 0.00"
BM6	BM7	216° 45' 50.00"
BM7	BM8	186° 24' 20.00"
BM8	BM9	198° 41' 40.00"
BM9	BM10	271° 30' 10.00"
BM10	BM11	172° 32' 45.00"
BM11	BM12	96° 55' 5.00"
BM12	BM13	253° 13' 0.00"
BM13	BM14	248° 34' 40.00"
BM14	BM15	217° 33' 50.00"
BM15	BM16	129° 4' 40.00"
BM16	TB2	215° 41' 0.00"
TB2	BM17	183° 46' 30.00"
BM17	BM18	173° 15' 5.00"
BM18	TB3	200° 51' 50.00"
TB3	TK	250° 57' 35.00"
TK	BM1	34° 36' 45.00"
Jumlah Sudut		4319° 53' 55.00"

3. Sudut Terkoreksi

Sudut terkoreksi diperoleh dengan menambahkan nilai koreksi sudut pada hasil pembacaan sudut dari lapangan.

BM1 BM2	250° 29' 40.00"	-0° 0' 16.59"	=	250° 29' 56.59"
BM2 BM3	210° 45' 55.00"	-0° 0' 16.59"	=	210° 46' 11.59"
BM3 BM4	241° 53' 30.00"	-0° 0' 16.59"	=	241° 53' 46.59"
BM4 TB1	272° 0' 10.00"	-0° 0' 16.59"	=	272° 0' 26.59"
TB1 BM5	131° 34' 55.00"	-0° 0' 16.59"	=	131° 35' 11.59"
BM5 BM6	162° 45' 0.00"	-0° 0' 16.59"	=	162° 45' 16.59"
BM6 BM7	216° 45' 50.00"	-0° 0' 16.59"	=	216° 46' 6.59"
BM7 BM8	186° 24' 20.00"	-0° 0' 16.59"	=	186° 24' 36.59"
BM8 BM9	198° 41' 40.00"	-0° 0' 16.59"	=	198° 41' 56.59"
BM9 BM10	271° 30' 10.00"	-0° 0' 16.59"	=	271° 30' 26.59"
BM10 BM11	172° 32' 45.00"	-0° 0' 16.59"	=	172° 33' 1.59"
BM11 BM12	96° 55' 5.00"	-0° 0' 16.59"	=	96° 55' 21.59"
BM12 BM13	253° 13' 0.00"	-0° 0' 16.59"	=	253° 13' 16.59"
BM13 BM14	248° 34' 40.00"	-0° 0' 16.59"	=	248° 34' 56.59"
BM14 BM15	217° 33' 50.00"	-0° 0' 16.59"	=	217° 34' 6.59"
BM15 BM16	129° 4' 40.00"	-0° 0' 16.59"	=	129° 4' 56.59"
BM16 TB2	215° 41' 0.00"	-0° 0' 16.59"	=	215° 41' 16.59"
TB2 BM17	183° 46' 30.00"	-0° 0' 16.59"	=	183° 46' 46.59"
BM17 BM18	173° 15' 5.00"	-0° 0' 16.59"	=	173° 15' 21.59"
BM18 TB3	200° 51' 50.00"	-0° 0' 16.59"	=	200° 52' 6.59"
TB3 TK	250° 57' 35.00"	-0° 0' 16.59"	=	250° 57' 51.59"
TK BM1	34° 36' 45.00"	-0° 0' 16.59"	=	34° 37' 1.59"

4. Azimuth

Azimuth yang benar akan menghasilkan koordinat yang logis dan konsisten dengan kondisi lapangan jika nilai awal azimuth kembali sama dengan azimuth akhir ketika poligon kembali ke titik awal. Agar azimuth dinyatakan benar dan dapat digunakan untuk selanjutnya, berikut syarat-syaratnya:

Dalam menghitung Azimuth terdapat 3 syarat penting yang harus dipenuhi;

Jika azimuth $> 180^\circ$, maka dikurangi 180°

Jika azimuth $< 180^\circ$, maka ditambah 180°

Jika azimuth $> 540^\circ$, maka dikurangi 540°

TK	BM1	302° 34' 50"			
BM1	BM2	302° 34' 50"	+250° 29' 56.59"-540	=13° 4' 46.59"	
BM2	BM3	13° 4' 46.59"	+210° 46' 11.59"-180°	=43° 50' 58.18"	
BM3	BM4	43° 50' 58.18"	+241° 53' 46.59"-180°	=105° 44' 44.77"	
BM4	TB1	105° 44' 44.77"	+272° 0' 26.59" -180°	=197° 45' 11.36"	
TB1	BM5	197° 45' 11.36"	+131° 35' 11.59"-180°	=149° 20' 22.95"	
BM5	BM6	149° 20' 22.95"	+162° 45' 16.59"-180°	=132° 5' 39.55"	
BM6	BM7	132° 5' 39.55"	+216° 46' 6.59" -180°	=168° 51' 46.14"	
BM7	BM8	168° 51' 46.14"	+186° 24' 36.59"-180°	=175° 16' 22.73"	
BM8	BM9	175° 16' 22.73"	+198° 41' 56.59"-180°	=193° 58' 19.32"	
BM9	BM10	193° 58' 19.32"	+271° 30' 26.59"-180°	=285° 28' 45.91"	
BM10	BM11	285° 28' 45.91"	+172° 33' 1.59" -180°	=278° 1' 47.50"	
BM11	BM12	278° 1' 47.50"	+96° 55' 21.59" -180°	=194° 57' 9.09"	
BM12	BM13	194° 57' 9.09"	+253° 13' 16.59"-180°	=268° 10' 25.68"	
BM13	BM14	268° 10' 25.68"	+248° 34' 56.59"-180°	=336° 45' 22.27"	
BM14	BM15	336° 45' 22.27"	+217° 34' 6.59" -540°	=14° 19' 28.86"	
BM15	BM16	14° 19' 28.86"	+129° 4' 56.59" +180°	=323° 24' 25.45"	
BM16	TB2	323° 24' 25.45"	+215° 41' 16.59"-180°	=359° 5' 42.05"	
TB2	BM17	359° 5' 42.05"	+183° 46' 46.59"-540°	=2° 52' 28.64"	
BM17	BM18	2° 52' 28.64"	+173° 15' 21.59"+180°	=356° 7' 50.23"	
BM18	TB3	356° 7' 50.23"	+200° 52' 6.59" -540°	=16° 59' 56.82"	
TB3	TK	16° 59' 56.82"	+250° 57' 51.59"-180°	=87° 57' 48.41"	
TK	BM1	87° 57' 48.41"	+34° 37' 1.59" +180°	=302° 34' 50.00"	

3.4. Pengolahan Data dengan Metode Koordinat Polaris

Pengolahan data dalam penelitian ini bertujuan untuk mengkonversi data pengukuran lapangan berupa sudut azimuth dan jarak miring yang diperoleh dari Total Station menjadi koordinat kartesius (X,Y) yang akurat menggunakan metode koordinat polaris. Metode ini dipilih karena efisien untuk pengukuran topografi situasi dengan titik detail dari satu titik acuan (Backsight).

Proses pengolahan dilakukan secara bertahap Menggunakan microsoft Excel dengan rumus Koordinat Polaris:

$$Y_i = Y_o + \bar{r} \times \sin \bar{\alpha}$$

$$X_i = X_o + \bar{r} \times \cos \bar{\alpha}$$

Keterangan :

Y_i, X_i Koordinat kartesius titik target (Hasil akhir)

Y_o, X_o Koordinat kartesius titik acuan (Benchmark)

$\bar{r}$ Jarak rata-rata

$\bar{\alpha}$ Azimuth

$\sin \bar{\alpha}$ Komponen Y (utara-selatan) dari azimuth

$\cos \bar{\alpha}$ Komponen X (timur-barat) dari azimuth

Hasil pengolahan menghasilkan Koordinat sementara yang kemudian akan dibandingkan dengan metode Bowditch untuk evaluasi akurasi sesuai standar SNI 19-6724-2002. Metode Koordinat Polaris tidak memerlukan kontrol sudut interior seperti pada poligon tertutup karena merupakan pengukuran radiasi dari satu titik acuan. Azimuth horizontal diukur langsung relatif terhadap backsight setelah orientasi Total Station, sehingga sudut azimuth dapat digunakan langsung tanpa koreksi sudut tambahan. Koreksi dilakukan pada tahap bowditch untuk error penutupan poligon.

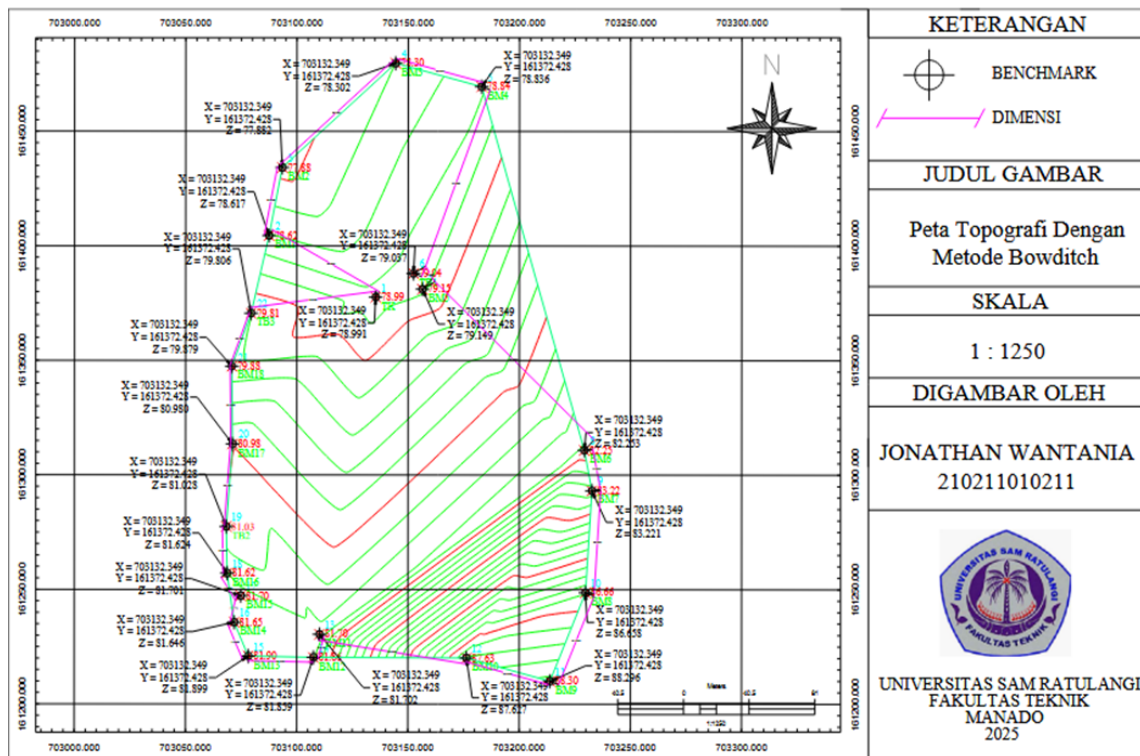
3.5. Hasil Pengolahan Data

Bagian ini menyajikan hasil pengolahan data Total Station, meliputi perhitungan menggunakan metode Bowditch dan metode Polaris terhadap data yang diperoleh di lapangan.

3.5.1. Metode Bowditch

Tabel 2. Koordinat Metode Bowditch

TITIK	EASTING	NORTHING	ELEVATION
TITIK KONTROL	703132,3495	161372,4282	789.909
BM1	703085,9749	161402,0307	78.617
BM2	703093,4114	161434,1604	77.882
BM3	703136,6052	161479,1442	78.302
BM4	703174,1066	161468,5487	78.836
TB1	703150,2917	161394,25	79.037
BM5	703154,3394	161387,3561	79.149
BM6	703224,0222	161324,364	82.253
BM7	703227,4627	161306,7153	83.221
BM8	703231,8722	161252,9975	86.658
BM9	703220,741	161208,3725	88.296
BM10	703178,3105	161220,1012	87.627
BM11	703114,1917	161229,1291	81.702
BM12	703111,4773	161219,0691	81.859
BM13	703083,4602	161218,1636	81.899
BM14	703077,1153	161232,85	81.646
BM15	703080,0529	161244,4638	81.701
BM16	703071,5626	161255,8436	81.624
TB2	703071,2093	161276,209	81.028
BM17	703073,0229	161312,9375	80.98
BM18	703070,9683	161342,838	79.879
TB3	703079,4153	161370,5579	79.806



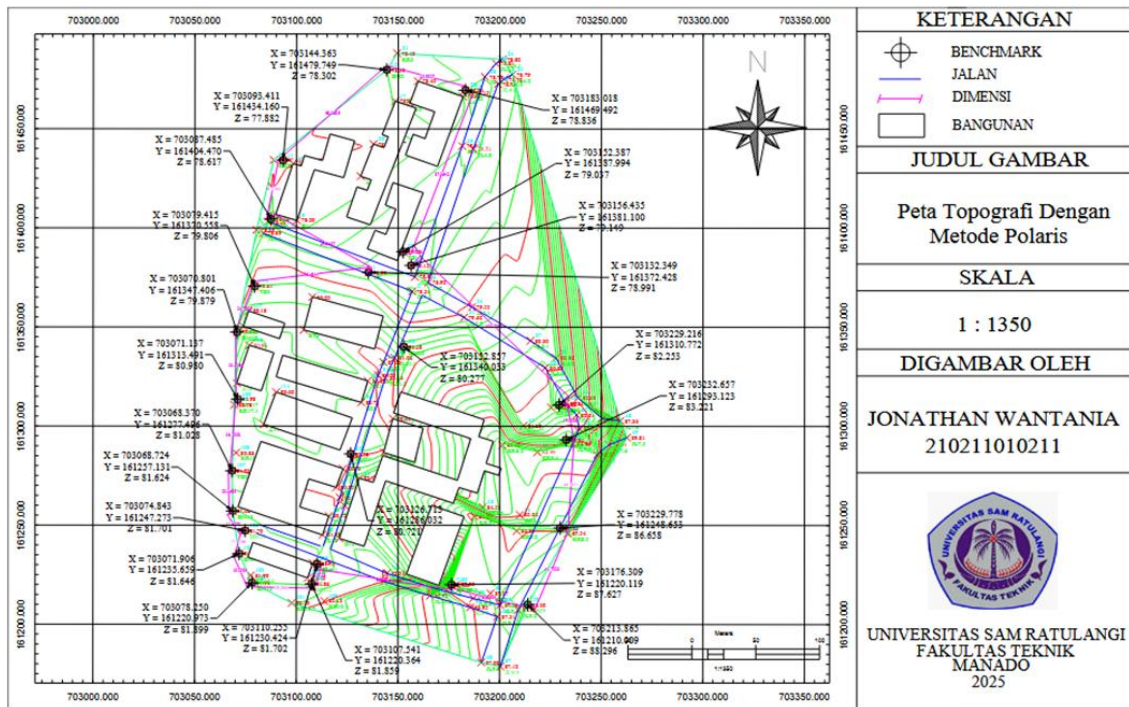
Gambar 2. Peta Topografi Dengan Metode Bowditch

3.5.2 Metode Koordinat Polaris

Tabel 3. Koordinat Metode Koordinat Polaris

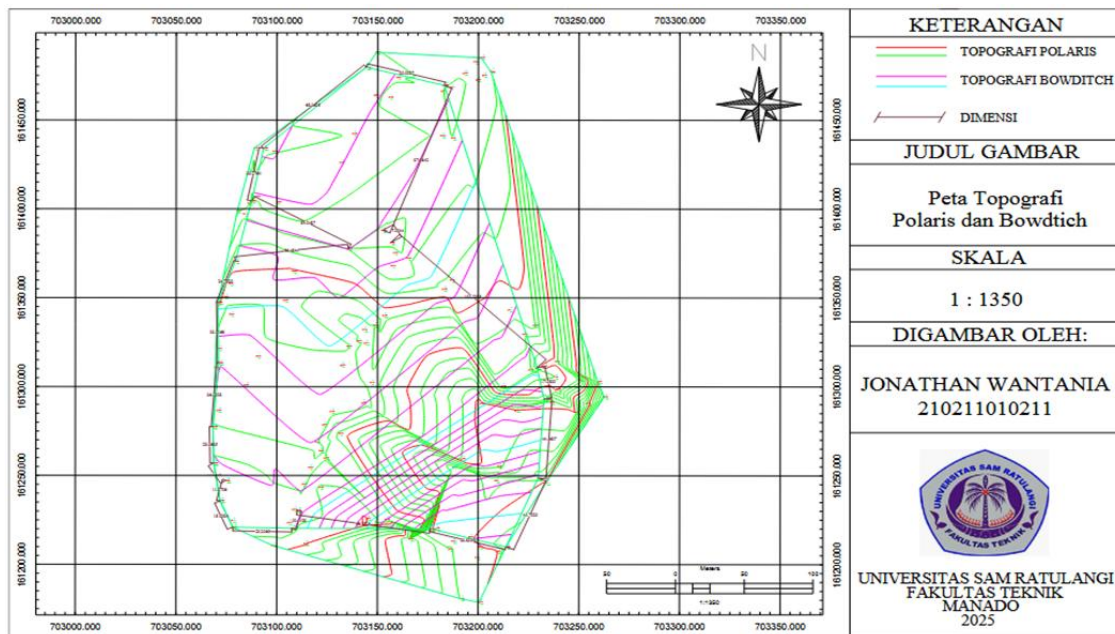
TITIK	EASTING	NORTHING	ELEVATION
TK	703132,3	161372,4282	789.909
JL1	161368,1	703156,8941	78.535
JL2	161372,4	703164,7174	78.925
JL3	161375,3	703158,2609	78.81
BM1	703086	161402,0307	78.617
JL1.1	161397,3	703083,6099	78.888
JL1.2	161403,1	703085,9389	78.241
A1	161406,9	703089,7663	78.204
B1	161402,6	703099,7457	78.201
KR1	161399	703080,366	78.401
BM2	703093,4	161434,1604	77.882
A2	161426,4	703099,1027	78.137
B2	161468,3	703185,9205	78.148
KR2	161434,3	703088,8154	77.814
BM3	703136,6	161479,1442	78.302
A3	161426,1	703131,5663	78.149
B3	161463,9	703148,564	78.334
C3	161463	703155,7908	78.671
D3	161474	703159,7416	78.43
E3	161442,3	703138,1805	78.018
KR3	161488,1	703149,4402	78.482
BM4	703174,1	161468,5487	78.836

A4	161466,3	703181,8326	78.614
JL4.1	161485,1	703201,2465	78.82
JL4.2	161477,4	703206,085	78.79
JL4.3	161483	703198,0624	78.81
JL4.4	161475,2	703202,1948	78.748
JL4.5	161476,3	703192,6501	78.697
JL4.6	161472,7	703199,1057	78.748
JL4.7	161441,3	703181,4735	78.574
JL4.8	161439,9	703186,8786	78.513
TB1	703150,3	161394,25	79.037
BM5	703154,3	161387,3561	79.149
JL5.1	161360,1	703186,2886	79.554
JL5.2	161354,9	703182,4602	79.617
BM6	703224	161324,364	82.253
JL6.1	161343,2	703215,1188	80.304
JL6.2	161334,5	703227,6335	80.356
JL6.3	161329,5	703222,4189	80.818
JL6.4	161311,5	703232,5077	82.606
JL6.5	161314,4	703238,53	82.684
KR6.1	161309,5	703225,3103	81.264
KR6.2	161300,3	703211,742	81.198
BM7	703227,5	161306,7153	83.221
JL7.1	161305,7	703237,7905	82.006
JL7.2	161298,8	703239,0872	82.403
JL7.3	161304	703250,3888	83.109
JL7.4	161302,7	703259,3434	87.356
JL7.5	161294,3	703262,5901	89.809
JL7.6	161290,6	703253,6648	86.949
JL7.7	161291,2	703235,9485	84.856
JL7.8	703231,9	161252,9975	85.052
BM8	161248,7	703229,7783	86.658
KR8.1	161255,3	703209,9391	85.382
KR8.2	161290,5	703201,3928	85.202
KR8.3	161259,3	703191,6761	84.548
KR8.4	161287	703218,5953	84.991
KR8.5	161245,9	703233,5661	87.543
BM9	703220,7	161208,3725	88.296
KR.91	161254,5	703187,6166	87.307
KR9.2	161247,2	703208,4233	86.812
KR9.3	161220,2	703178,9211	87.352
KR9.4	161215,7	703195,5348	87.372
JL9.1	161209,8	703200,2831	87.381
JL9.2	161207,3	703209,2157	87.461
JL9.3	161204	703198,8496	87.313
JL9.4	161178,8	703200,4515	87.122
JL9.5	161180,9	703191,1069	87.02
JL9.6	161213,2	703187,0927	87.122
JL9.7	161208,6	703185,5997	86.952



Gambar 3. Peta Topografi Dengan Metode Koordinat Polaris

3.6. Perbandingan Metode Bowditch dan Metode Koordinat Polaris Pengolahan Data



Gambar 4. Peta Topografi Metode Bowditch dan Metode Koordinat Polaris

Untuk menilai keakuratan dari metode bowditch dan polaris terhadap kualitas pemetaan, dilakukan perbandingan koordinat dan elevasi. Nilai RMSE dua metode digunakan sebagai indikator untuk menentukan sejauh mana variasi jumlah dan jarak titik kontrol mempengaruhi akurasi pada koordinat serta elevasi model permukaan.

3.7. Analisis Data

3.7.1. Perhitungan Selisih Koordinat

Perhitungan selisih koordinat menggunakan RMSE bertujuan untuk mengukur besaran dan konsistensi penyimpangan antara koordinat hasil pengukuran (Bowditch dan Polaris) dengan nilai koordinat acuan kontrol guna mengevaluasi tingkat ketelitian relatif kedua metode. Nilai selisih koordinat dinyatakan sebagai (Bowditch/Polaris X) dan (Bowditch/Polaris Y) yang diperoleh dari pengurangan koordinat model terhadap koordinat observasi pada titik yang sama.

Tabel 4. Selisih Data Koordinat Metode Bowditch

NO	TITIK	Bowditch Easting	Bowditch Norting	$BX^2 + BY^2$ (m ²)
1	BM13	0.01	0.02	0.0005
2	BM12	0.02	0.02	0.0008
3	BM9	0.00	0.00	0.0000
4	BM7	0.00	0.00	0.0000
5	BM5	0.02	0.09	0.0087
6	BM4	0.00	0.00	0.0000
7	BM3	0.00	0.00	0.0000
8	BM2	0.01	0.01	0.0002
9	BM18	0.00	0.00	0.0000
10	BM16	0.00	0.00	0.0000
JUMLAH				0.010

Tabel 5. Selisih Data Koordinat Metode Koordinat Polaris

NO	TITIK	Polaris Easting	Polaris Norting	$PX^2 + PY^2$ (m ²)
1	BM13	0.10	0.00	0.0100
2	BM12	0.30	0.00	0.0900
3	BM9	0.00	0.00	0.0000
4	BM7	0.00	0.00	0.0000
5	BM5	0.41	0.00	0.1681
6	BM4	0.00	0.00	0.0000
7	BM3	0.00	0.00	0.0000
8	BM2	0.86	0.00	0.7396
9	BM18	0.00	0.00	0.0000
10	BM16	0.00	0.00	0.0000
JUMLAH				1.008

Perhitungan RMSE koordinat

Metode Bowditch Diketahui :

Jumlah $\sum BX^2 + BY^2$ (m²) = 0.010 m²

Jumlah titik (n) = 10

Maka :

$RMSE_{xy} = \sqrt{(0.010/10)} = \sqrt{0.001} = 0.031$ m

Metode Polaris Diketahui :

Jumlah $\sum PX^2 + PY^2$ (m²) = 1.008 m²

Jumlah titik (n) = 10

Maka :

$RMSE_{xy} = \sqrt{(1.008/10)} = \sqrt{0.1008} = 0.317$ m

3.7.2. Perhitungan Selisih Elevasi

Perhitungan ini bertujuan untuk akurasi beda tinggi vertikal (ΔZ) antara hasil pengukuran metode bowditch dan metode polaris dengan elevasi acuan kontrol. RMSE Z mengevaluasi penyimpangan rata-rata kuadrat elevasi guna menentukan kualitas representasi kontur dan ketelitian Digital Elevation Model (DEM) untuk menilai metode mana yang lebih akurat dalam menghasilkan peta topografi.

Secara matematis: $e = Z_{Bb} - Z_{Bl}$

Contoh: $e = 81.849 - 81.899 = -0.050$ m

Tabel 6. Selisih Data Elevasi Metode Bowditch

TITIK	Pl Elevasi	Pb Elevasi	Selisih
BM13	81.875	81.899	-0.024
BM12	81.839	81.859	-0.020
BM9	88.301	88.296	0.005
BM7	83.221	83.221	0.000
BM5	79.119	79.149	-0.030
BM4	78.836	78.836	0.000
BM3	78.302	78.302	0.000
BM2	77.872	77.882	-0.010
BM18	79.879	79.879	0.000
BM16	81.624	81.624	0.000
JUMLAH			-0.079

Tabel 7. Selisih Data Elevasi Metode Koordinat Polaris

TITIK	Bl Elevasi	Bb Elevasi	Selisih
BM13	81.889	81.899	-0.010
BM12	81.844	81.859	-0.015
BM9	88.296	88.296	0.000
BM7	83.221	83.221	0.000
BM5	79.137	79.149	-0.012
BM4	78.836	78.836	0.000
BM3	78.302	78.302	0.000
BM2	77.882	77.882	0.000
BM18	79.864	79.879	-0.015
BM16	81.624	81.624	0.000
JUMLAH			-0.052

Perhitungan RSME Elevasi

- Metode Polaris

Diketahui :

Jumlah selisih = - 0.079 m²

Jumlah titik (n) = 10

Maka :

$$RMSE_{xy} = \sqrt{(0.079/10)} = \sqrt{0.0079} = 0.088 \text{ m}$$

- Metode Bowditch

Diketahui:

Jumlah selisih = - 0.052 m²

Jumlah titik (n) = 10

Maka :

$$RMSE_{xy} = \sqrt{(0.052/10)} = \sqrt{0.0052} = 0.072 \text{ m}$$

3.7.3. Perbandingan Metode Bowditch dan Metode Polaris

Untuk menilai keakuratan dari metode bowditch dan polaris terhadap kualitas pemetaan, dilakukan perbandingan koordinat dan elevasi. Nilai RMSE dua metode digunakan sebagai indikator untuk menentukan sejauh mana variasi jumlah dan jarak titik kontrol memengaruhi akurasi pada koordinat serta elevasi model permukaan.

Tabel 8. Perbandingan Keakuratan Kedua Metode

Metode	RMSE (m)	Keakuratan
Bowditch	0.031	Sangat Akurat
Polaris	0.317	Tidak Akurat

- Hasil analisis perbandingan koordinat adalah sebagai berikut:
Metode Bowditch tetap unggul signifikan (RMSE 0.031) dibandingkan Polaris (RMSE 0.317) pada 10 titik acuan yang sama. Akurasi Bowditch memenuhi toleransi pemetaan 1:1000 sedangkan Polaris tidak memenuhi toleransi akurasi untuk peta topografi.
- Hasil analisis perbandingan elevasi adalah sebagai berikut:
Metode Bowditch menghasilkan RMSE elevasi lebih rendah (0.072m) dibandingkan Polaris (0.088m) pada 10 titik acuan yang sama. Ini menunjukkan efisiensi Bowditch dalam representasi kontur vertikal untuk pemetaan topografi skala 1:1000.

4. Kesimpulan

1. Metode Polaris lebih efisien dalam representasi visual peta topografi karena mampu merekam objek dan kontur secara lebih lengkap pada area pengukuran.
2. Pola pengukuran mempengaruhi akurasi hasil. Metode Polaris yang berpusat pada satu titik utama menyebabkan error membesar pada titik detail, sedangkan metode Bowditch menyebarkan error secara lebih merata karena menghubungkan setiap titik utama.
3. Metode Bowditch menunjukkan akurasi sangat tinggi (RMSE X,Y 0,031 m; RMSE Z 0,072 m) dan memenuhi standar toleransi, sedangkan metode Polaris (RMSE X,Y 0,317 m; RMSE Z 0,088 m) tidak memenuhi standar sehingga menghasilkan kontur yang kurang presisi.

Referensi

- Amini, H., & Mehrdad, S. (2020). ACCURACY ASSESSMENT OF DIFFERENT ERROR ADJUSTMENT METHODS IN CLOSED TRAVERSE NETWORKS; STUDYING THE IMPACT OF DIFFERENT OBSERVATION ERROR SETUPS IN DIFFERENT GEOMETRICAL CONFIGURATIONS. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLIII-B4-2020, 519–525. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLIII-B4-2020-519-2020>
- Civil Department, Faculty of Engineering, Kafr El-Sheikh University, Egypt, A. Al-Qabas, Israa., H. Farahan, M., Civil Department, Faculty of Engineering, Kafr El-Sheikh University, Egypt, El-Din Fawzy, H., & Civil Department, Faculty of Engineering, Kafr El-Sheikh University, Egypt. (2020a). Surrounding Factors' Influence on the Accuracy of the Digital Level and Total Station. *Journal of Engineering Research*, 8(4). <https://doi.org/10.36909/jer.v8i4.9361>
- Civil Department, Faculty of Engineering, Kafr El-Sheikh University, Egypt, A. Al-Qabas, Israa., H. Farahan, M., Civil Department, Faculty of Engineering, Kafr El-Sheikh University, Egypt, El-Din Fawzy, H., & Civil Department, Faculty of Engineering, Kafr El-Sheikh University, Egypt. (2020b). Surrounding Factors' Influence on the Accuracy of the Digital Level and Total Station. *Journal of Engineering Research*, 8(4). <https://doi.org/10.36909/jer.v8i4.9361>
- Correa Muñoz, N. A., & Cerón-Calderón, L. A. (2018). Precision and accuracy of the static GNSS system for surveying networks used in Civil Engineering. *Ingeniería e Investigación*, 38(1), 52–59. <https://doi.org/10.15446/ing.investig.v38n1.64543>
- D'Emilia, G., & Natale, E. (2023). Metrological assessment of a robotic total station for use in post-earthquake emergency conditions. *Journal of Sensors and Sensor Systems*, 12(1), 187–195. <https://doi.org/10.5194/jsss-12-187-2023>
- Galvão, M. L., Fogliaroni, P., Giannopoulos, I., Navratil, G., Kattenbeck, M., & Alinaghi, N. (2024). GeoAR: A calibration method for Geographic-Aware Augmented Reality. *International Journal of Geographical Information Science*, 38(9), 1800–1826. <https://doi.org/10.1080/13658816.2024.2355326>

- Hart, L., Basil, D. D., & Oba, T. (2021). Assessment of Adjustments Methods in Traverse Networks for Positioning. *Nigerian Journal of Environmental Sciences and Technology*, 5(2), 354–364.
<https://doi.org/10.36263/nijest.2021.02.0283>
- Harvey, B. R. (2006). *Practical least squares and statistics for surveyors* (3. ed). School of Surveying and Spatial Information Systems, University of New South Wales.
- Ijrmets. (t.t.). *International Research Journal of Modernization in Engineering Technology & Science*.
- Moser, V., Barišić, I., Rajle, D., & Dimter, S. (t.t.). Comparison of different survey methods data accuracy for road design and construction.
- Novriza, F., & Agusmaniza, R. (2020). PEMETAAN TOPOGRAFI MENGGUNAKAN TOTAL STATION PADA KOMPLEK SEKOLAH TERPADU TEUKU UMAR ACEH BARAT. *VOCATECH: Vocational Education and Technology Journal*, 2(1). <https://doi.org/10.38038/vocatech.v2i1.42>
- Oranyelu, O. (2023). The Comparison of Traverses Adjusted by Non-Rigorous and Rigorous Methods of Adjustment. <https://doi.org/10.32388/4V74WT>
- Panduan Praktikum IUT 3. (t.t.).
- Purevjav, E., & Orosoo, K. (2024a). Results of the Terrestrial Laser Scanning Survey in the Underground Mining of the Oyu Tolgoi Project to Determine Cross Penetrating Length and Volumes. *Environmental and Earth Sciences*. <https://doi.org/10.20944/preprints202403.1583.v2>
- Purevjav, E., & Orosoo, K. (2024b). Results of the Terrestrial Laser Scanning Survey in the Underground Mining of the Oyu Tolgoi Project to Determine Cross Penetrating Length and Volumes. *Environmental and Earth Sciences*. <https://doi.org/10.20944/preprints202403.1583.v2>
- Purevjav, E., & Orosoo, K. (2024c). Results of the Terrestrial Laser Scanning Survey in the Underground Mining of the Oyu Tolgoi Project to Determine Cross Penetrating Length and Volumes. *Environmental and Earth Sciences*. <https://doi.org/10.20944/preprints202403.1583.v2>
- Rassarandi, F. D., Gustin, O., & Putra, P. (2021a). Perbandingan Hasil Koordinat Kerangka Pemetaan Menggunakan Metode Bowditch Poligon Tertutup Dengan Metode Adjustment Triangulated Quadrilateral. *Jurnal Teknologi dan Riset Terapan (JATRA)*, 3(2), 37–43.
<https://doi.org/10.30871/jatra.v3i2.2990>
- Rassarandi, F. D., Gustin, O., & Putra, P. (2021b). Perbandingan Hasil Koordinat Kerangka Pemetaan Menggunakan Metode Bowditch Poligon Tertutup Dengan Metode Adjustment Triangulated Quadrilateral. *Jurnal Teknologi dan Riset Terapan (JATRA)*, 3(2), 37–43.
<https://doi.org/10.30871/jatra.v3i2.2990>
- Reyes-Aviles, F., Gloor, T., & Arth, C. (2025). Automatic Model-Based Stationing: Robust Total Station Localization Without Known Control Points. *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, 111(1), 35.
<https://doi.org/10.1007/s10846-025-02224-5>
- Scientific Investigations Report (Scientific Investigations Report). (2024). [Scientific Investigations Report].
- Sestras, P. (2021). Methodological and On-Site Applied Construction Layout Plan with Batter Boards Stake-Out Methods Comparison: A Case Study of Romania. *Applied Sciences*, 11(10), 4331.
<https://doi.org/10.3390/app11104331>
- Sushant Aryal & Purna Bahadur Saud. (2024). Field Survey and Mapping Project-01.
<https://doi.org/10.13140/RG.2.2.19523.17440>
- Vaidis, M., Giguère, P., Pomerleau, F., & Kubelka, V. (2021). Accurate outdoor ground truth based on total stations (No. arXiv:2104.14396). arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2104.14396>
- Zhang, J., Wang, J., Ma, W., Deng, Y., Pan, J., Yi, B., & Wang, C. (2025). Improving individual tree crown volume estimation using high-accuracy boundary fitting based on stratified polar coordinate conversion with airborne laser scanning data. *Geo-Spatial Information Science*, 1–13.
<https://doi.org/10.1080/10095020.2025.2533476>
- Zhou, J., Shi, B., Liu, G., & Ju, S. (2021a). Accuracy analysis of dam deformation monitoring and correction of refraction with robotic total station. *PLOS ONE*, 16(5), e0251281.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0251281>
- Zhou, J., Shi, B., Liu, G., & Ju, S. (2021b). Accuracy analysis of dam deformation monitoring and correction of refraction with robotic total station. *PLOS ONE*, 16(5), e0251281.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0251281>