

ILMU UKUR TANAH

**Oleh:
IDI SUTARDI**

**BANDUNG
2007**

KATA PENGANTAR

Ilmu Ukur Tanah ini disajikan untuk Para Mahasiswa Program Pendidikan Diploma DIII, Jurusan Geologi, Jurusan Tambang mengingat tugas-tugasnya yang selalu berhubungan dengan kegiatan di lapangan dan peta-peta yang terkait dengan penyelidikannya.

Oleh karena itu dengan mempelajari Mata Pelajaran Ilmu Ukur Tanah ini diharapkan Para Mahasiswa dapat dengan mudah mengenal keadaan medan, baik medan yang bersifat buatan alam maupun medan yang bersifat buatan manusia. Sekaligus juga dapat mengaplikasikan/menerapkan ilmu yang telah di dapat di sekolah, sehingga memperlancar tugas-tugasnya di lapangan, baik dalam penentuan lokasi setiap titik pada peta maupun penentuan posisi setiap titik di lapangan.

Dengan data yang cukup akurat tentunya akan menghasilkan suatu peta yang dapat dipertanggungjawabkan tingkat ketelitiannya.

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
I. PENDAHULUAN	1
II. KOMPAS GEOLOGI	2
A. Cara Pengontrolan	4
B. Cara membaca	5
C. Kegunaannya	8
Jalur ukuran tegak lurus strike	11
Jalur ukuran tidak tegak lurus strike	12
III. PENGUKURAN WATERPAS	15
Pengukuran waterpas tak terikat	15
Pengukuran waterpas terikat	15
Alat ukur waterpas	21
IV. KOORDINAT TITIK	22
4.1. Menentukan azimut	22
4.2. Menentukan jarak datar	22
4.3. Menghitung koordinat titik	23
V. PENGUKURAN POLIGON	24
5.1. Tujuan dari pengukuran poligon	24
5.2. Gunanya pengukuran poligon	24
5.3. Bentuk pengukuran poligon	
a. Bentuk poligon tertutup	24
b. Bentuk poligon terbuka	24
Alat Ukur Theodolit	41
VI. PENGUKURAN SITUASI	43
Alat Ukur Theodolit Kompas	46
Metoda pengukuran dengan magnet	47
Gambar peta topografi	52
VII. PENGUKURAN TITIK TETAP	53
1. Cara Mengikat Pengukuran Ke Belakang	53
2. Cara Mengikat Pengukuran Ke Muka	53
VIII. MENGHITUNG LUAS DAN VOLUME	62
Cara Simpson	62
Cara 1/3 Simpson	62
Cara 3/8 Simpson	62
Cara System Koordinat	63
Peta Situasi Tanah	64
Perhitungan volume pada daerah berbentuk kontur :	66
1. Metoda rata-rata luas antara dua kontur	66
2. Metoda perbedaan antara luas dua kontur terhadap ketinggian dasar	67

IX. TRANSFORMASI KOORDINAT	69
Transformasi Koordinat Toposentrik:	69
Proyeksi polyeder	69
Proyeksi Universe Transverse Mercator	74
Transformasi Koordinat Global Positioning System :	82
Transformasi Geosentrik	82

DAFTAR ISI PERLU ADA PENYESUAIAN

I. PENDAHULUAN

Diktat Ilmu Ukur Tanah ini disajikan untuk menambah pengetahuan Para Peserta Program S1 Jurusan Geologi dalam memperlancar tugas-tugas di lapangan dan di kantor, baik dalam penentuan posisi di lapangan, pengeplotan posisi di peta dasar, pembuatan kerangka dasar peta geologi, pembuatan peta topografi dan pembuatan peta sejenisnya.

Di dalam diktat ini akan dibahas mengenai koordinat titik, cara pengukuran poligon, cara pengukuran situasi, menghitung luas dan cara menghitung volume.

Koordinat dapat memberi gambaran tentang letak lokasi tertentu di peta dan di lapangan; sedangkan pengukuran polygoon merupakan kerangka dasar bagi pembuatan peta, baik peta topografi, peta tambang, peta pengairan, peta kehutanan dan jenis-jenis peta lainnya.

Pengukuran situasi adalah pengukuran untuk memperoleh secara detail mengenai keadaan fisik bumi, yaitu yang meliputi: gunung, punggung, bukit-bukit, lembah, sungai, sawah, kebun, batas wilayah, jalan kereta api jalan raya, batas pantai d.l.l.

Biasanya pengukuran situasi yang dilakukan secara detail ini guna kepentingan pembuatan peta topografi, atau untuk pembuatan peta-peta teknis yang diperlukan untuk jenis proyek tertentu.

Pembuatan titik tetap adalah sebagai landasan untuk menentukan azimut awal dan azimut akhir, harga koordinat serta ketinggian dari muka air laut atau dari muka bidang datum pada daerah pengukuran. Hal ini dilakukan apabila pada daerah pengukuran tidak terdapat titik tetap/titik triangulasi.

Transformasi koordinat adalah untuk menentukan jenis proyeksi yang diperlukan, baik pada bidang datum atau bidang proyeksi.

Perhitungan luas dan volume berdasarkan metoda tertentu sesuai dengan ketelitian yang diperlukan.

Diharapkan setelah mempelajari materi pelajaran ini, Para Peserta Program S1 dapat melakukan pengukuran pemetaan, mengolah data lapangan dan membuat peta.

II. KOMPAS GEOLOGI

Pada umumnya Kompas Geologi adalah sama, walaupun bentuknya berbeda-beda. Bagian-bagian yang paling utama pada Kompas Geologi ialah : bulatan bidang datar, sebagai alat pembacaan azimut/arah lapisan batuan, jarum magnet sebagai alat penunjuk untuk menentukan besarnya azimut, klinometer untuk menunjukkan besarnya sudut miring lapisan batuan.

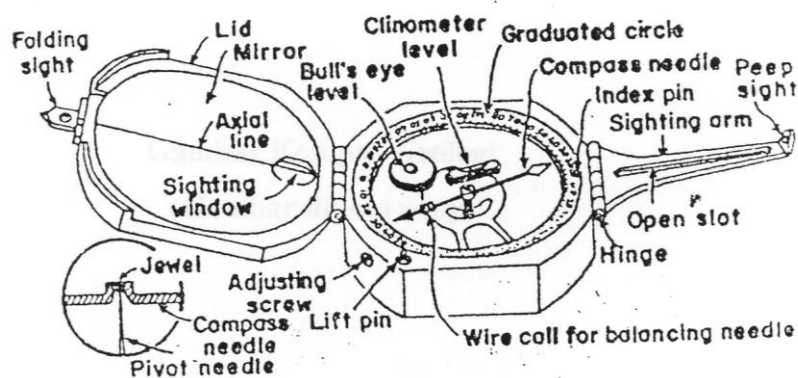
Ditinjau pada cara pembacaan azimutnya Kompas Geologi itu ada 2 (dua) macam :

1. Pembacaan azimut timur;
2. Pembacaan azimut barat.
1. Pembacaan azimut timur.

Yang dimaksud dengan pembacaan azimut timur ialah apabila pembagian skala pembacaan pada lingkaran datar membesarnya pembagian angkanya dimulai dari kanan ke kiri (lihat gambar 2).

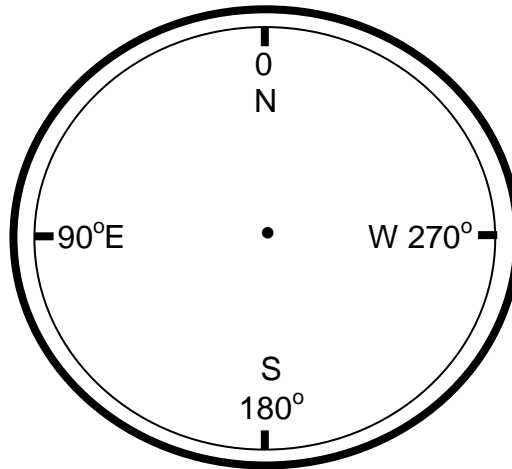
2. Pembacaan azimut barat

Pembacaan azimat Barat ialah apabila pembagian skala pembacaan pada lingkaran datar membesarnya pembagian angkanya dimulai dari kiri ke kanan (lihat gambar 3).



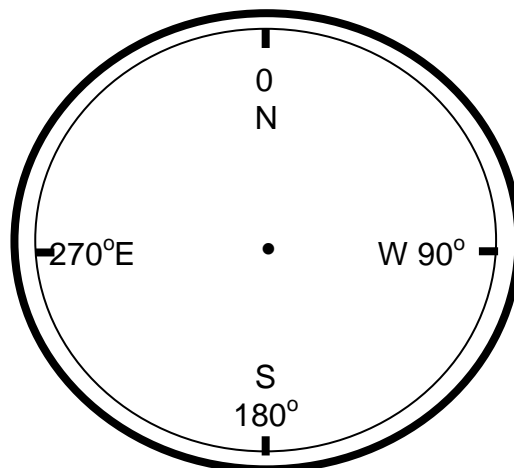
Gambar: Kompas Geologi

AZIMUT TIMUR



GAMBAR 2. Besaran angka pada kompas azimuth timur

AZIMUTH BARAT



GAMBAR 3. Besaran angka pada kompas azimuth barat

Adapula kompas yang pembacaan lingkarannya datarnya dibagi dalam kwadran (lihat gambar 4).

A. Cara Pengontrolan

Sebelum kompas dipergunakan di lapangan terlebih dahulu perlu diteliti kebenarannya. Yang perlu diteliti antara lain :

1. Inklinasi

Inklinasi adalah sudut yang dibentuk oleh bidang datar dan jarum magnet. Artinya disini bahwa jarum magnet kedudukannya tidak seimbang.

Untuk ini digeser gelang pemberatnya yang ada pada jarum magnet, sehingga kedudukan jarum magnet dalam keadaan horizontal.

2. Deklinasi

Deklinasi adalah sudut yang dibentuk oleh arah Utara Bumi dengan arah Utara Magnet. Oleh karena itu untuk mengetahui deklinasi di suatu wilayah perlu melihat pada peta topografi yang biasanya selalu ditulis dibagian bawah lembar peta. Atau kalau sekiranya tidak diketahui deklinasinya pada wilayah/daerah itu perlu diadakan pengamatan matahari.

Umpama diketahui pada daerah itu deklinasi antara Utara Bumi dan Utara Magnet adalah 10° ke arah Timur. Maka apabila alat ini ingin dijadikan Utara Bumi, angka 0 pada lingkaran datar diputar ke arah Barat, sehingga indeks pin menunjuk kepada angka 350° (alat ini adalah azimuth Timur).

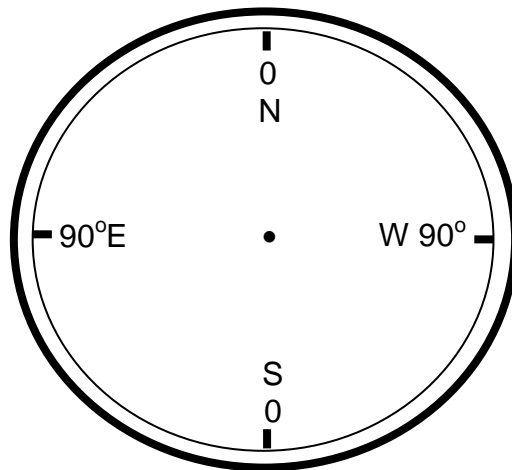
3. Cek Kelancaran Putaran Jarum Magnet

Untuk ini perlu kompas diletakan pada meja yang datar dan terhindar dari pengaruh besi yang dapat mengganggu jalannya jarum magnet. Sekarang baca jarum magnet utara berapa azimuthnya. Putar lingkaran 180° , kemudian kunci jarum magnet. Kembalikan kompas pada kedudukan pertama. Buka jarum magnet kuncinya. Baca sekarang azimuthnya. Kalau pembacaan kedua sama dengan pembacaan pertama, maka putaran jarum magnet baik. Kalau tidak sama maka hal ini mungkin jarum magnet tumpul. Hal ini perlu diruncingkan. Atau kemungkinan terlalu runcing, dan ini juga perlu sedikit ditumpulkan sampai putaran jarum magnet baik.

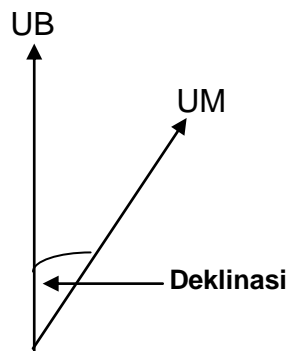
B. Cara Membaca

Kompas dengan lingkaran pembagian 360° .

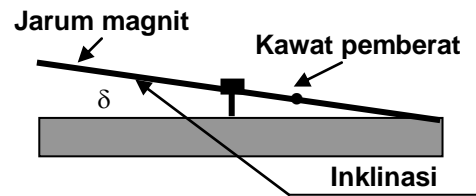
Telah disebutkan dimuka bahwa cara pembacaan itu ada azimuth Timur dan azimuth Barat.



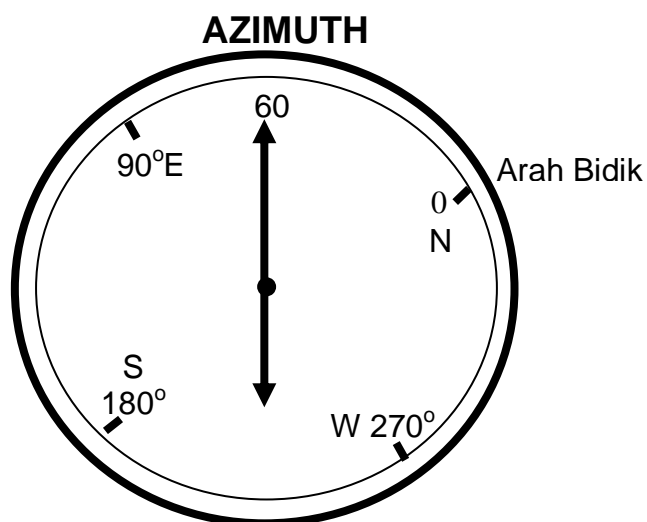
GAMBAR 4. Besaran angka pada azimuth bearing



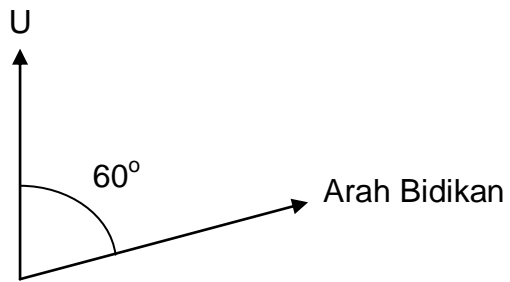
Gambar 6. Kedudukan utara bumi dan utara magnet



Gambar 5. Kedudukan jarum dengan bidang datar

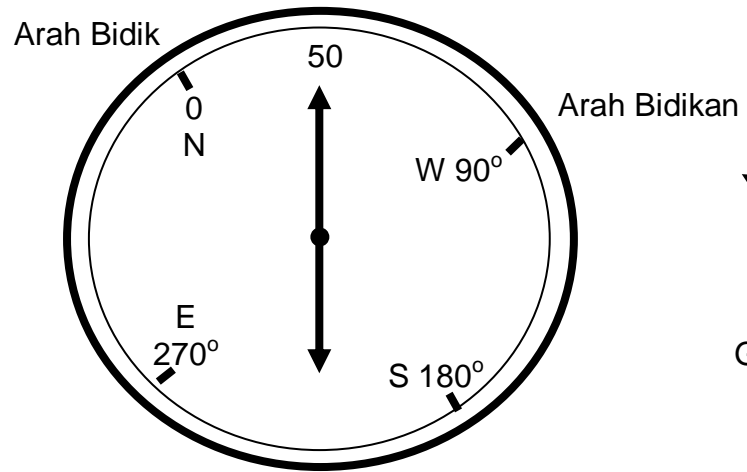


Gambar 7. Pembacaan jarum magnet pada kompas

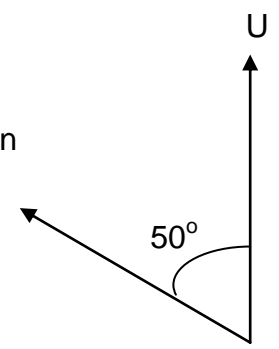


Gambar 8. Posisi garis bidik di peta /di bumi

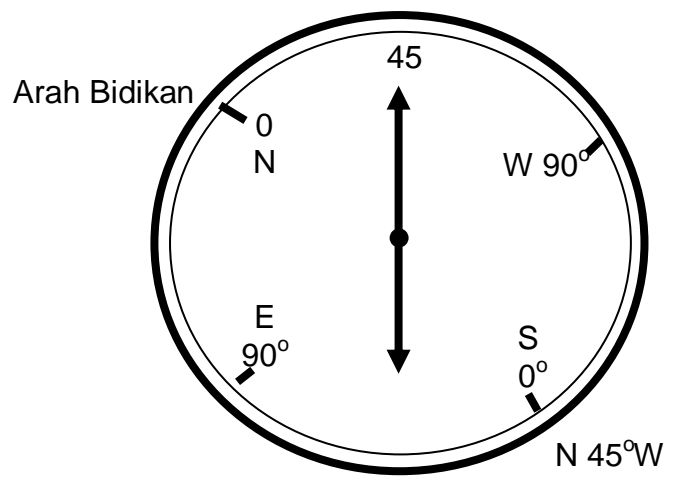
AZIMUTH BARAT



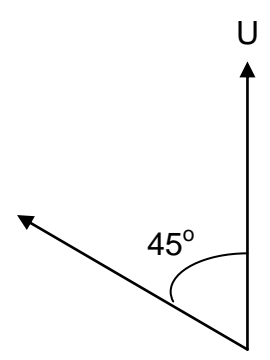
Gambar 9. Pembacaan jarum magnet pada kompas



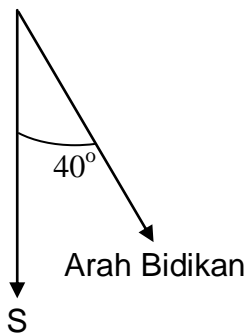
Gambar 10. Posisi garis bidik di peta/di bumi



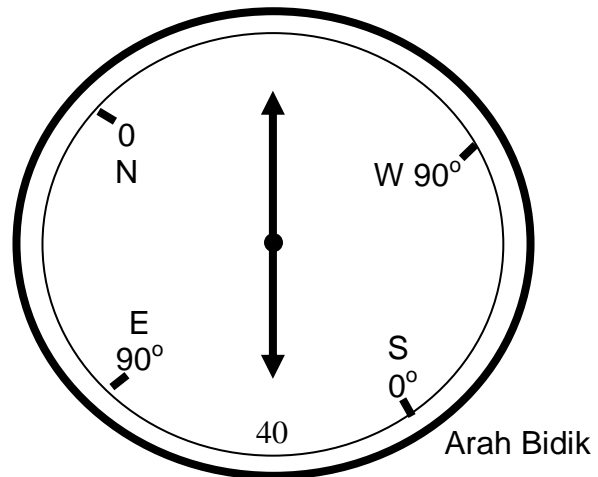
Gambar 11. Pembacaan jarum magnet pada kompas



Gambar 12. Posisi garis bidik di peta/di bumi



Gambar 13. Posisi garis bidik di peta/di bumi



Gambar 14. Pembacaan jarum magnet pada kompas

S 40°E

Sebelum pergi ke lapangan hendaknya diketahui lebih dahulu mana jarum Utara dan mana jarum Selatan. Biasanya memang dibedakan antara jarum magnet utara dan jarum magnet selatan, yaitu dengan diberi tanda tertentu. Namun kalau tidak diketahui sebelumnya tanda tersebut akan membingungkan di lapangan.

Dalam membaca azimuth selalu dimulai dari 0 (utara) ke arah bidikan. Pada saat membaca, bukan arah bidikan yang dibaca, tapi pada jarum magnet utara, berapa angka yang ditunjuk oleh jarum magnet utara itu pada sekala lingkaran datar. Kalau membaca pada arah bidikan biasanya angka akan tetap menunjukkan 0 (N); karena berputar pada kompas ini bukan jarum magnetnya tapi lingkarannya. Perlu diingat bahwa, pada saat membidik ke arah suatu obyek selalu angka 0 (N) ada dihadapan kita. Cara membaca azimuth pada lingkaran yang dibagi 4 kwadran, akan nampak bahwa, pembacaan azimuth disini ada 2 macam yaitu pembacaan azimuth timur dan azimuth barat. Karena pada kompas ini ada harga 0 pada N dan harga 0 pada S, maka garis Utara magnet dan garis selatan magnet berfungsi sebagai penentu besarnya sudut atau azimuth.

C. Kegunaannya

Kegunaan kompas geologi ini dapat dipergunakan sebagai berikut :

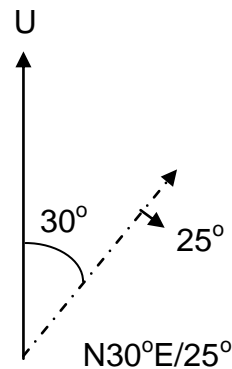
1. Penunjuk arah dari setiap lintasan yang dilalui;

2. Sebagai penunjuk arah lapisan batuan;
3. Untuk mengetahui sudut kemiringan lapisan batuan dan kemiringan tanah.

Dalam hal ini yang digunakan bukan jarum magnitnya tapi jarum kilometer.

Cara pembacaan untuk pengukuran azimuth/arah dari lapisan batuan dan sudut kemiringan ditulis seperti berikut :

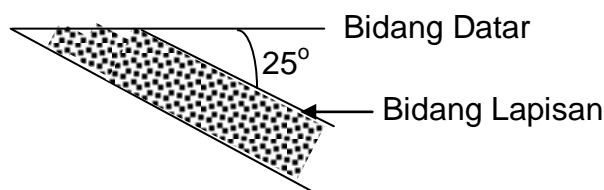
$N30^{\circ}E/25^{\circ}$, artinya arah lapisan azimuthnya 30° dan kemiringan lapisan batuan sudut miringnya 25° .



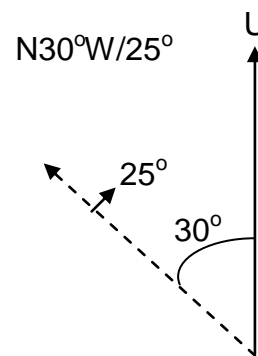
Gambar 15. Posisi strike dan dip di peta/di bumi



Gambar 15a. Simbol strike dan dip di peta



Gambar 16. Posisi bidang datar dan bidang lapisan

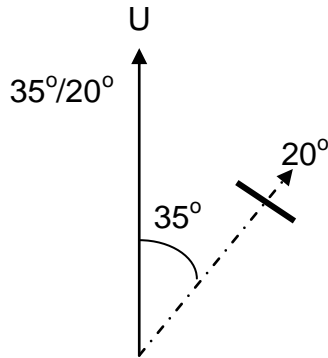


Gambar 17. Posisi strike dan dip di peta/di bumi

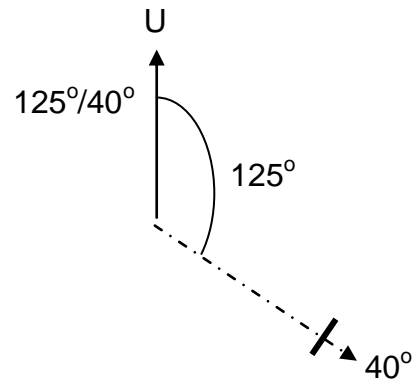
Adapula pengukuran arah lapisan sudut miringnya dilakukan dengan cara mengukur dari arah kemiringan lapisan. Cara penulisannya ialah : $35^{\circ}/20^{\circ}$ (diketahui kompas azimuth timur).

Untuk menentukan posisi kemiringan dibuat pada gambarnya berputar searah jarum jam terhadap arah lapisan.

Untuk mengetahui arah lapisan /azimutnya ialah: $360^\circ + 35^\circ - 90^\circ = 305^\circ$



Gambar 18. Posisi dip dan strike di peta/di bumi



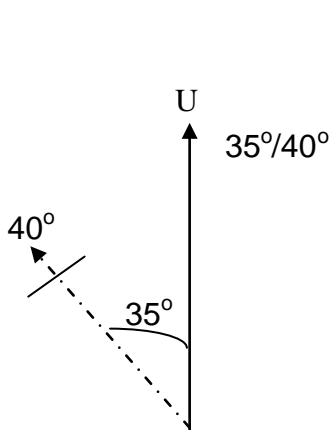
Gambar 19. Posisi dip dan strike di peta /di bumi

Arah lapisan/azimuthnya ialah: $125^\circ - 90^\circ = 35^\circ$

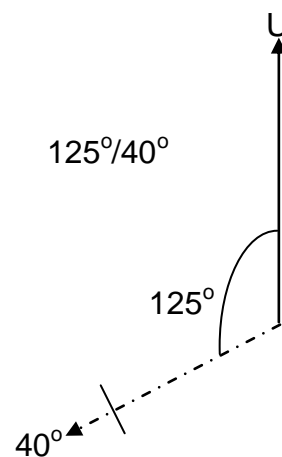
Cara pengukuran lapisan batuan yang tersebut di atas mempergunakan kompas geologi yang berazimuth timur.

Untuk pengukuran yang mempergunakan kompas geologi yang berazimuth barat digambarkan seperti berikut :

Untuk mengetahui arah lapisan dari batuan tersebut ialah: $35^\circ + 90^\circ = 125^\circ$ (lihat gambar 20).



Gambar 20. Posisi strike dan dip dipeta/di bumi

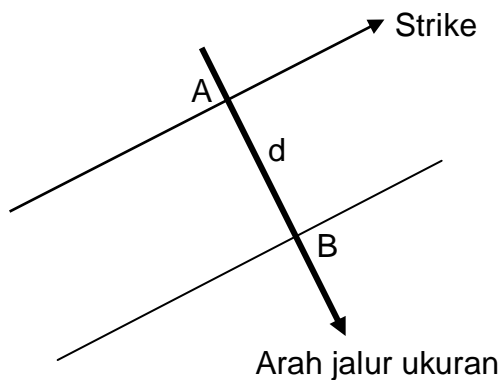


Gambar 21. Posisi strike dan dip dipeta/di bumi

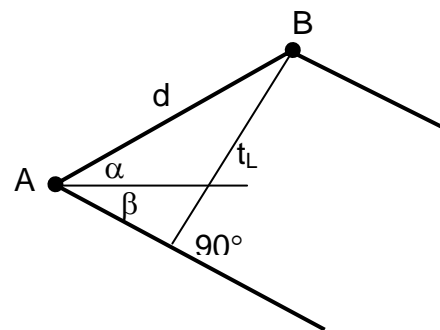
Untuk mengetahui arah lapisan dari batuan tersebut ialah: $125^\circ + 90^\circ = 215^\circ$ (lihat gambar 21).

Untuk cara ini dalam penggambarannya dapat dilakukan sebagai berikut : Setelah arah kemiringan lapisan dari batuan itu digambar, maka untuk menggambarkan arah lapisannya dibuat garis tegak lurus dengan arah kemiringan lapisan. Untuk mengetahui tebal lapisan dapat dilakukan seperti pada gambar 22, dimana jalur ukuran tegak lurus arah lapisan (strike).

Jalur ukuran tegak lurus strike



Gambar 22. Singkapan batuan tampak atas



Gambar 22a Kedudukan struktur lapisan batuan

Keterangan:

- d = Jarak singkapan lapisan
- α = Kemiringan dari singkapan/kemiringan tanah
- β = Kemiringan lapisan batuan
- t = Tebal lapisan batuan yang dicari

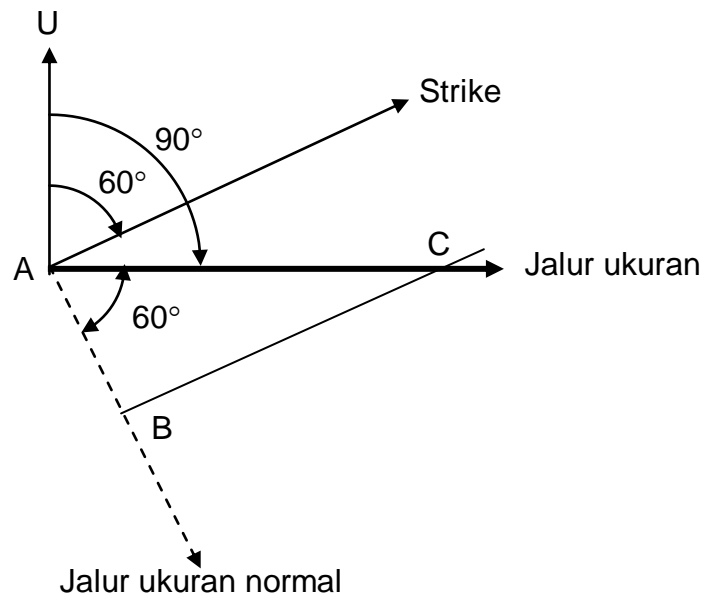
Tebal lapisan dapat dihitung dengan persamaan:

$$t_L = \sin (\alpha + \beta) \cdot d$$

Contoh : $\alpha = 20^0$; $\beta = 35^0$; $d = 60,00$ m

$$\begin{aligned} t_L &= d \cdot \sin (\alpha + \beta) = 60 \cdot \sin (20^0 + 35^0) \\ &= 60 \cdot \sin 55^0 = 49,149 \text{ m} \end{aligned}$$

Jalur ukuran tidak tegak lurus strike



Gambar 23. Singkapan tampak atas

Keterangan: Strike // B→C

Diketahui: A→C = 114,615 m (panjang singkapan)

$\alpha_h = 10^\circ 18' 51''$ (slope tanah/singkapan)

$\beta = 35^\circ$ (kemiringan lapisan batuan)

Strike = 60° (N 60° E)

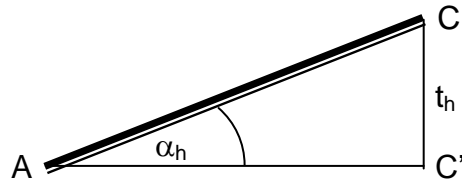
A→B \perp strike

Dari data hasil pengukuran di atas akan dihitung:

1. Sudut kemiringan normal tanah
2. Tebal lapisan singkapan batuan

Penyelesaian:

Buat gambar penampang jalur ukuran AC (lihat gambar 23a)



Gambar 23a. Penampang jalur ukuran A→C

$$A \rightarrow C' \perp C \rightarrow C'$$

Hitung:

1. Jarak A→C'
2. Tinggi C→C' (t_h)

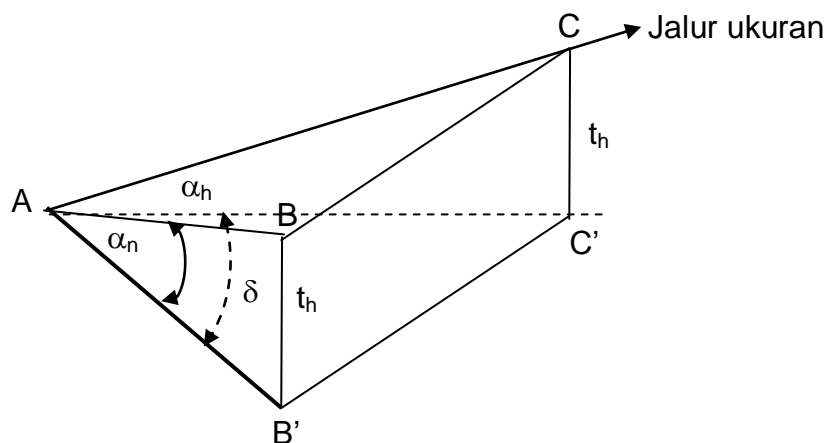
Penyelesaian:

1. Jarak A→C' dapat dihitung dengan persamaan:

$$A \rightarrow C' = (A \rightarrow C) \times \cos \alpha = 114,615 \times \cos 10^\circ 18' 51'' = 112,763 \text{ m}$$

2. Tinggi C→C' dapat dihitung dengan persamaan:

$$t_h = (A \rightarrow C) \times \sin \alpha_h = 114,615 \times \sin 10^\circ 18' 51'' = 20,521 \text{ m}$$



Gambar 23b. Penampang tiga dimensi topografi jalur ukuran

Keterangan:

$$A \rightarrow B' \perp B \rightarrow B' ; A \rightarrow B \perp B \rightarrow C ; A \rightarrow B' \perp B \rightarrow C'$$

$$\delta = 60^\circ \text{ (Sudut } B'AC')$$

Dari gambar 23b, akan dihitung:

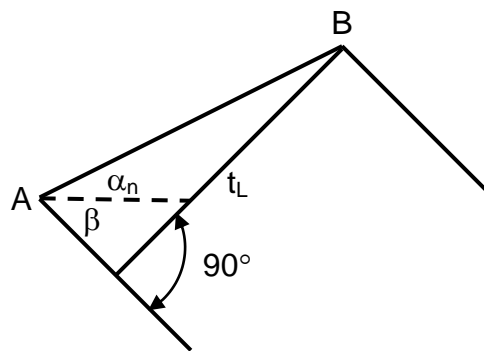
1. Jarak $A \rightarrow B'$
2. α_n (sudut normal kemiringan tanah)

Penyelesaian:

1. $A \rightarrow B' = (A \rightarrow C') \times \cos 60^\circ$
 $= 112,763 \times \cos 60^\circ = 56,382 \text{ m}$
2. $\text{tg} \alpha_n = t_n : (A \rightarrow B') = 20,521 : 56,382 = 0,363963676$
 $\alpha_n = 20^\circ$

Pada gambar 23c akan dihitung tebal lapisan batuan (t_L)

Penyelesaian:



Gambar 23c. Penampang jalur ukuran tegak lurus strike

$$A \rightarrow B = t_n : \sin \alpha = 20,521 : \sin 20^\circ = 60 \text{ m}$$

$$t_L = (A \rightarrow B) \times \sin(\alpha_n + \beta)$$

$$= 60 \times \sin(20^\circ + 35^\circ) = 49,149 \text{ m}$$

III. PENGUKURAN WATERPAS

1. Tujuan dari pengukuran waterpas :

Menetapkan ketinggian titik-titik pada jalur penampang topografi yang diukur..

Yang diukur adalah : a. Panjang jalur penampang topografi antar titik ukur
b. Beda tinggi antar titik ukur

2. Gunannya Pengukuran waterpas adalah :

- Untuk membuat kerangka peta penampang dari peta penampang
- Pengukuran titik-titik ketinggian pada daerah tertentu
- Pengukuran ketinggian peta penampang topografi pada daerah lubang bukaan (daerah pertambangan, terowongan jalan kereta api), peta penampang topografi jalur irigasi, jalan kereta api, jalan raya dan lain sebagainya. .

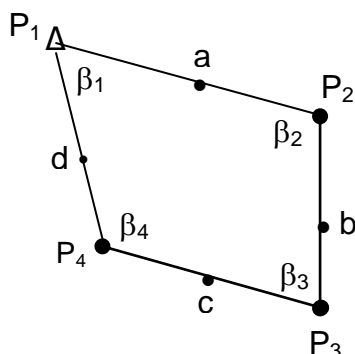
3. Bentuk Pengukuran Waterpas.

Bentuk pengukuran waterpas ada 2 macam :

- 3.1. Bentuk pengukuran waterpas tertutup
- 3.2. Bentuk pengukuran waterpas terbuka

3.1. Bentuk Pengukuran Waterpas Tertutup

Pada pengukuran waterpas tertutup, titik awal akan menjadi titik akhir pengukuran (lihat gambar 3.1).



Gambar 3.1. Bentuk pengukuran waterpas tertutup

Keterangan:

P_1 = Titik awal dan akhir pengukuran

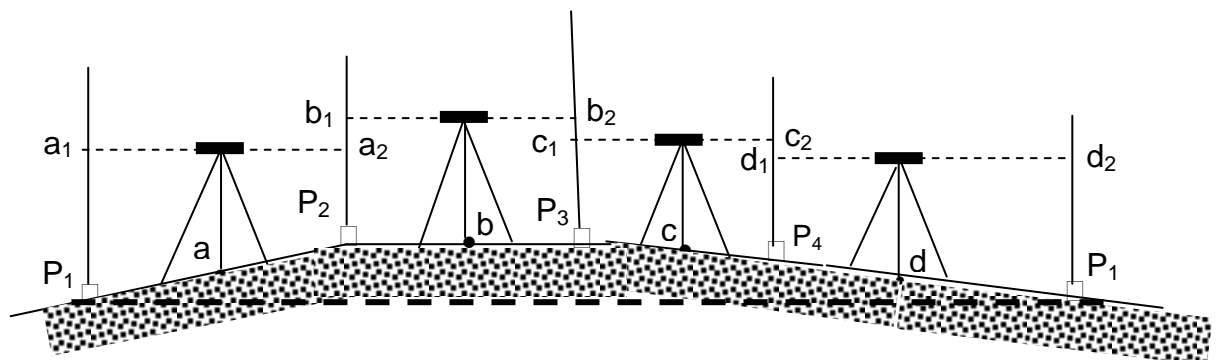
$\beta_1 \rightarrow \beta_4$ = Sudut titik ukur poligon

• $P_1 \rightarrow P_4$ = Titik ukur polygon

• $a \rightarrow d$ = Titik tempat berdiri alat ukur

Δ = Titik triangulasi (diketahui koordinat dan ketinggiannya dari muka air laut)

— = Garis ukur poligon



Gambar 3.1a. Bentuk penampang pengukuran waterpas tertutup

Keterangan:

P_1 = Titik awal dan akhir pengukuran

• $P_1 \rightarrow P_4$ = Titik ukur polygon

• $a \rightarrow d$ = Titik tempat berdiri alat ukur

$a_1 \rightarrow d_2$ = Pembacaan benang tengah pada rambu ukur

Biasanya pengukuran waterpas tertutup ini dilakukan pada titik-titik pengukuran polygon yang sudah diukur, untuk menentukan ketinggian titik ukur dalam rangka untuk pembuatan peta:

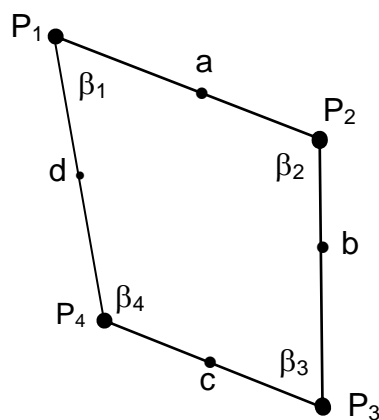
- Pemetaan daerah waduk/danau,
- Pemetaan daerah pertambangan;
- Pemetaan daerah kompleks perumahan,
- Pemetaan daerah pengairan dan lain sebagainya.

Bentuk Pengukuran Waterpas Tertutup ada 2 bagian :

- 1). Bagian pengukuran waterpas tertutup tak terikat titik tetap
- 2). Bagian pengukuran waterpas tertutup terikat titik tetap

1). Bagian Pengukuran Waterpas Tertutup Tak Terikat Titik Tetap

Pada pengukuran waterpas tertutup tak terikat titik tetap, titik awal akan menjadi titik akhir pengukuran dan kesalahan beda tinggi hasil pengukuran dapat diketahui. Karena awal pengukuran dan akhir pengukuran tidak diikatkan pada titik tetap, maka ketinggian setiap titik ukur dari permukaan air laut tak dapat ditentukan (lihat gambar 3.2)



Gambar 3.2. Bagian pengukuran waterpas tertutup tak terikat titik tetap

Keterangan:

P_1 = Titik awal dan akhir pengukuran

$\beta_1 \rightarrow \beta_4$ = Sudut titik ukur poligon

• $P_1 \rightarrow P_4$ = Titik ukur polygon

• $a \rightarrow d$ = Titik tempat berdiri alat ukur

— = Garis ukur poligon

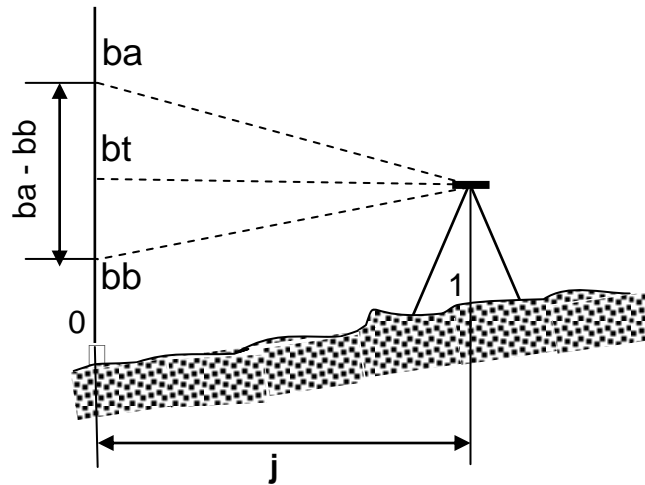
Yang diukur pada pengukuran waterpas tak terikat titik tetap adalah

a. Jarak antartitik ukur

Jarak antartitik ukur dapat dicari dengan persamaan : $j = (ba - bb) \times 100$

Keterangan:

ba = benang atas, bb = benang bawah, 100 = konstanta



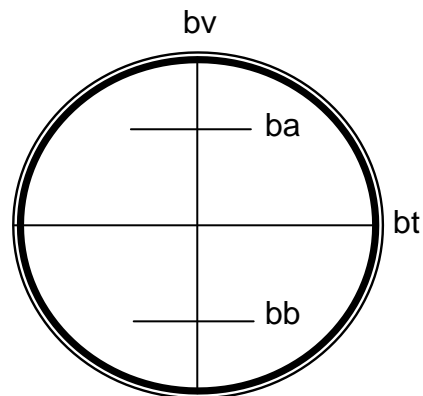
Gambar 3.3. Pembacaan benang jarak pada bak ukur

Keterangan:

ba = benang atas; bb = benang bawah

bt = benang tengah; ba → bb = jarak pada rambu ukur

j = jarak dari titik 0 → 1 (jarak horizontal di lapangan)



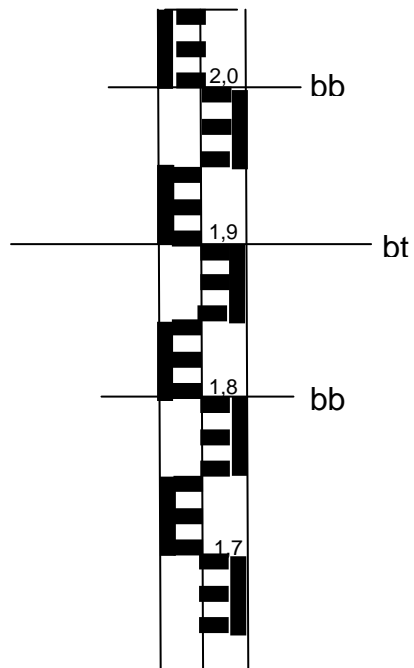
Gambar 3.4. Gambar benang diaphragma dalam teropong

Keterangan :

ba, bb = benang jarak (untuk menentukan jarak)

bt = benang tengah horizontal (untuk menentukan garis bidik beda tinggi)

bv = benang tengah vertical (untuk menentukan garis bidik horizontal)

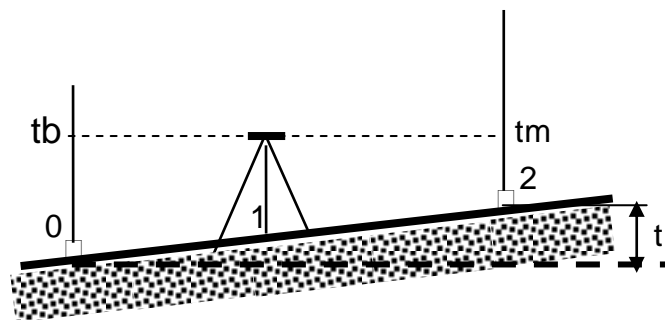


Gambar 3.5. Kedudukan benang diapragma pada bak ukur

$$J = (b_a - b_b) \times 100 = (2 - 1,8) \times 100 = 20 \text{ m}$$

b. Beda tinggi antar titik ukur

Beda tinggi antartitik ukur dihitung dengan persamaan: $t = t_b - t_m$



Gambar 3.6. Pengukuran beda tinggi

Keterangan: t_b = benang tengah belakang

t_m = benang tengah muka

t = beda tinggi antara titik 0 → 2

Untuk mengetahui kebenaran/kesalahan hasil pengukuran beda tinggi pada pengukuran waterpas tertutup, persamaannya sebagai berikut:

- 1). Kalau benar $\Rightarrow h = (\sum t+) + (\sum t-) = 0$
- 2). Kalau salah $\Rightarrow h_p \neq h \neq (\sum t+) + (\sum t-) \neq 0$
- 3). Kesalahan beda tinggi $\Rightarrow e = h_p - h$

Keterangan

$\sum t+$ = Jumlah beda tinggi positif

$\sum t-$ = Jumlah beda tinggi negatif

h = Hitungan beda tinggi antara titik awal dan akhir pengukuran

h_p = Perhitungan beda tinggi antara titik awal dan akhir pengukuran

e = Kesalahan beda tinggi antara titik awal dan akhir pengukuran

Untuk memudahkan dalam pembuatan peta penampang, sebaiknya pada titik awal pengukuran ditentukan harga ketinggian local, dan usahakan harga keyinggian local ini dengan harga minimum.

Contoh.

Dari data hasil pengukuran waterpas tertutup tak terikat titik tetap pada tabel 3.1 di bawah ini akan dihitung :

1. Jarak antartitik ukur

Jarak antartitik ukur dihitung dengan persamaan: **$j = (ba - bb) \times 100$**

Pembacaan benang pada rambu ukur dikatakan benar apabila :

$$\mathbf{bt = \frac{1}{2}(ba + bb)}$$

Tabel 3.1. Catatan data pengukuran waterpas tertutup tak terikat titik tetap pada titik ukur poligon

Titik		Pembacaan benang						Jarak		Beda tinggi		Tinggi dari muka air laut
Berdiri	Tinjau	Belakang			Muka			Belakang	Muka	Positif	Negatif	
		ba	bt	bb	ba	bt	bb					
	P0	1,251	1,220	1,189								
a												
	P1	1,422	1,335	1,245	1,411	1,382	1,351					
b												
	P2	1,452	1,414	1,376	1,589	1,518	1,448					
C												
	P3	1,884	1,730		1,564	1,492	1,421					
d												
	P0			1,572	1,382	1,300	1,223					

Dari data hasil pengukuran pada tabel 3.1, maka jarak dari:

$$J_{a \rightarrow P0} = (1,251 - 1,189) \times 100 = 0,062 \times 100 = 6,200 \text{ m}$$

$$J_{a \rightarrow P1} = (1,411 - 1,351) \times 100 = 0,060 \times 100 = 6,000 \text{ m}$$

$$J_{b \rightarrow P1} = (1,422 - 1,245) \times 100 = 0,177 \times 100 = 17,100 \text{ m}$$

$$J_{b \rightarrow P2} = (1,589 - 1,448) \times 100 = 0,141 \times 100 = 14,100 \text{ m}$$

$$J_{c \rightarrow P2} = (1,452 - 1,376) \times 100 = 0,076 \times 100 = 7,600 \text{ m}$$

$$J_{c \rightarrow P3} = (1,564 - 1,421) \times 100 = 0,143 \times 100 = 14,300 \text{ m}$$

$$J_{d \rightarrow P3} = (1,884 - 1,572) \times 100 = 0,312 \times 100 = 31,200 \text{ m}$$

$$J_{c \rightarrow P0} = (1,382 - 1,223) \times 100 = 0,159 \times 100 = 15,900 \text{ m}$$

2. Beda tinggi antartitik ukur

Beda tinggi antartitik ukur dihitung dengan persamaan: $t = t_b - t_m$

Dari data hasil pengukuran pada tabel 3.1, maka beda tinggi dari:

$$P0 \rightarrow P1 (t_1) = 1,220 - 1,382 = -0,162 \text{ m}$$

$$P1 \rightarrow P2 (t_2) = 1,335 - 1,518 = -0,183 \text{ m}$$

$$P2 \rightarrow P3 (t_3) = 1,414 - 1,492 = -0,078 \text{ m}$$

$$P3 \rightarrow P0 (t_4) = 1,730 - 1,300 = +0,430 \text{ m}$$

$$\Sigma t_+ = 0,430 \text{ m}$$

$$\Sigma t_- = t_1 + t_2 + t_3 = -0,162 - 0,183 - 0,078 \text{ m} = -0,423 \text{ m}$$

$$h_P = (\Sigma t_+) + (\Sigma t_-) = 0,430 - 0,423 = +0,007 \text{ m}$$

Tabel 3.2. Pengisian hasil perhitungan jarak dan beda tinggi pada blanko ukur

Titik		Pembacaan benang						Jarak		Beda tinggi		Ketinggian lokal
Berdiri	Tinjau	Belakang			Muka			Belakang	Muka	Positif	Negatif	
		ba	bt	bb	ba	bt	bb					
	P0	1,251	1,220	1,189								
a								6,200	6,000		0,162	
	P1	1,422	1,335	1,245	1,411	1,382	1,351					
b								17,700	14,100		0,183	
	P2	1,452	1,414	1,376	1,589	1,518	1,448					
c								7,600	14,300		0,078	
	P3	1,884	1,730		1,564	1,492	1,421					
d								31,200	15,900	0,430		
	P0			1,572	1,382	1,300	1,223					
			5,699			5,692		62,700	50,300	0,430	0,423	
			5,699					62,700		0,430		
			5,692					50,300		0,423		
			0,007					113,000		0,007		

Karena pengukuran waterpas tertutup, maka beda tinggi antara titik awal dan akhir pengukuran kalau benar $\Rightarrow h = h_P = 0$

Kesalahan pengukuran (e) = $h_P - h = 0,007 - 0 = 0,007 \text{ m}$

3. Perhitungan koreksi kesalahan beda tinggi

Dari hasil perhitungan beda tinggi pada tabel 3.2, ada kesalahan

(e) = + 0,007 m.

Koreksi kesalahan (e) = - 0,007 m

$\sum t = (\sum t_+) + (\sum t_-) = 0,430 + 423 = 0,853$ m (jumlah total).

Koreksi kesalahan tiap m beda tinggi (k) = $- e/\sum t$

$k = - e/\sum t = - 0,007/0,853 = - 0,008206$ m

Koreksi beda tinggi tiap titik ukur (k') = $k \times t$

t = beda tinggi antartitik ukur

Koreksi tinggi pada patok:

$P1 \Rightarrow (k'_1) = t_1 \times k = 0,162 \times -0,008206 = - 0,002$ m

$P2 \Rightarrow (k'_2) = t_2 \times k = 0,183 \times -0,008206 = - 0,002$ m

$P3 \Rightarrow (k'_3) = t_3 \times k = 0,078 \times -0,008206 = 0,000$ m

$P0 \Rightarrow (k'_0) = t_0 \times k = 0,430 \times -0,008206 = - 0,003$ m

Beda tinggi antartitik ukur setelah dikoreksi (t') = $t + k'$

$t'_1 = t_1 + k'_1 = -0,162 - 0,002 = -0,164$ m

$t'_2 = t_2 + k'_2 = -0,183 - 0,002 = -0,185$ m

$t'_3 = t_3 + k'_3 = -0,078 - 0,000 = -0,078$ m

$t'_0 = t_0 + k'_0 = 0,430 - 0,003 = 0,427$ m

$h_P = t'_1 + t'_2 + t'_3 + t'_0 = -0,164 - 0,185 - 0,078 + 0,427 = 0,000$ m

$h = h_P$ (hasil hitungan dan perhitungan sama)

4. Menghitung ketinggian titik ukur terhadap titik lokal.

Ketinggian titik ukur terhadap titik lokal persamaannya adalah:

$$H_n = H_{n-1} + t'_n$$

Keterangan:

H_n = Ketinggian titik ukur yang dicari

t'_n = Beda tinggi antar titik ukur

H_{n-1} = Titik ukur yang telah ditentukan harga ketinggiannya (ketinggian local).

Ditentukan ketinggian local titik P0 (H_0) = 114,000 m.

Perhitungan ketinggian titik-titik ukur setelah dikoreksi:

Titik P1 $\Rightarrow H_1 = H_0 + t'_1 = 114,000 - 0,164 = 113,836$ m

Titik P2 $\Rightarrow H_2 = H_1 + t'_2 = 113,836 - 0,185 = 113,651$ m

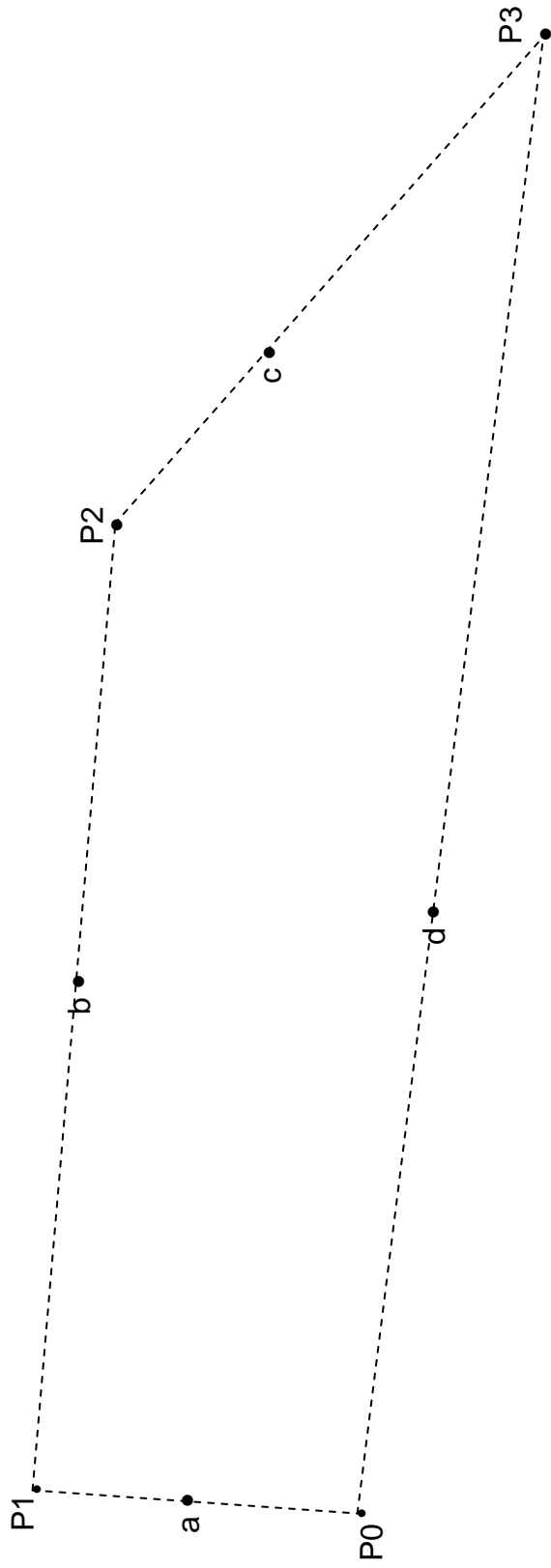
$$\text{Titik P3} \Rightarrow H_3 = H_2 + t'_3 = 113,651 - 0,078 = 113,573 \text{ m}$$

$$\text{Titik P0} \Rightarrow H_0 = H_3 + t'_0 = 113,573 + 0,427 = 114,000 \text{ m}$$

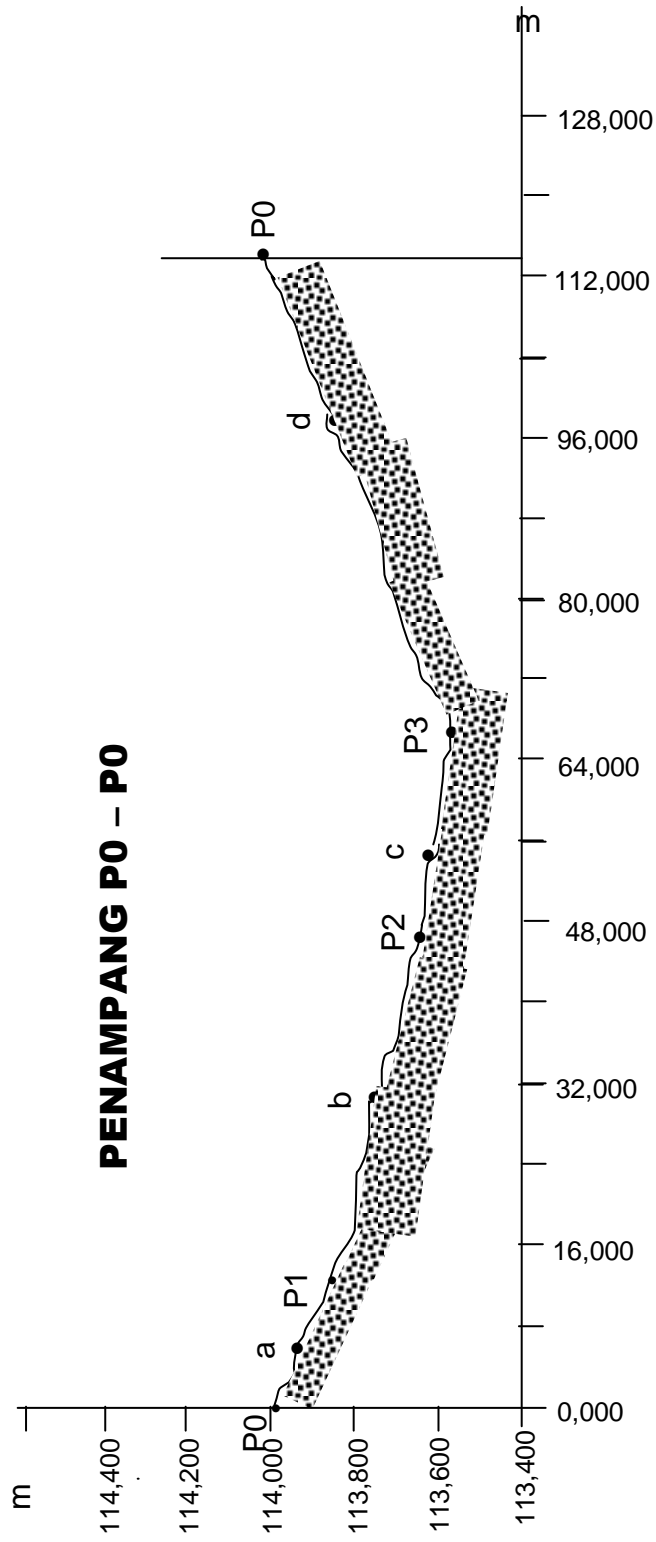
Cara pengisian jarak, beda tinggi dan ketinggian local pada blanko ukur lihat pada tabel 3.3.

Tabel 3.3. Pengisian hasil perhitungan jarak, beda tinggi dan ketinggian local setelah dikoreksi pada blanko ukur

Titik		Pembacaan benang						Jarak		Beda tinggi		Ketinggian lokal
Berdiri	Tinjau	Belakang			Muka			Belakang	Muka	Positif	Negatif	
		ba	bt	bb	ba	bt	bb					
	P0	1,251	1,220	1,189								114,000
a								6,200	6,000		0,164	
	P1	1,422	1,335	1,245	1,411	1,382	1,351					113,836
b								17,700	14,100		0,185	
	P2	1,452	1,414	1,376	1,589	1,518	1,448					113,851
C								7,600	14,300		0,078	
	P3	1,884	1,730		1,564	1,492	1,421					113,573
d								31,200	15,900	0,427		
	P0			1,572	1,382	1,300	1,223					114,000
								62,700	50,300	0,427	0,427	
								62,700		0,427	Awal	114,000
								50,300		-0,427	Akhir	114,000
								113,000	$h_p =$	0,000	$h_0 =$	0,000



Gambar 3.7. Pengukuran waterpas pada polygon
Skala 1 : 250



PENAMPANG P0 - P0

Gambar 3.8. Penampang jalur poligon

Skala : horizontal 1:800

Skala : vertical 1:20

Dari hasil pengukuran tersebut di atas apakah perlu diulang atau tidak, maka di bawah ini diberikan batas toleransi kesalahan (Soetomo Wongsitjitra, Ilmu Ukur Tanah, Kanisius, th. 1980):

Pengukuran pulang-pergi:

Pengukuran yang tidak diikatkan pada titik tetap, maka toleransi kesalahan adalah:

$k_1 = \pm \{2,0(S_{km})^{1/2}\}$ mm, untuk pengukuran tingkat pertama

$k_2 = \pm \{3,0(S_{km})^{1/2}\}$ mm, untuk pengukuran tingkat dua

$k_3 = \pm \{6,0(S_{km})^{1/2}\}$ mm, untuk pengukuran tingkat tiga

Pengukuran yang diikatkan pada titik tetap:

Pengukuran yang diikatkan pada awal dan akhir pengukuran pada titik tetap, toleransi kesalahan adalah:

$k_1' = \pm \{2,0 \pm 2,0 (S_{km})^{1/2}\}$ mm, untuk pengukuran tingkat pertama

$k_2' = \pm \{2,0 \pm 0,3 (S_{km})^{1/2}\}$ mm, untuk pengukuran tingkat dua

$k_3' = \pm \{2,0 \pm 6,0(S_{km})^{1/2}\}$ mm, untuk pengukuran tingkat tiga

Untuk pengukuran waterpas tertutup tak terikat tetap, kita ambil pada pengukuran pulang – pergi dengan toleransi tingkat tiga :

$k_3 = \pm \{6,0(S_{km})^{1/2}\}$ mm

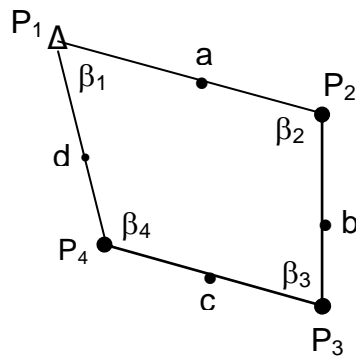
Diketahui : $e = 0,007$ m = 7 mm; $j = 113$ m = 0,113 km

$k_3 = \pm \{6,0(S_{km})^{1/2}\}$ mm = $\{6,0(0113)^{1/2}\}$ mm = 2,017 mm

$e > k_3$, maka pengukuran perlu diulang.

2). Bagian Pengukuran Waterpas Tertutup Terikat Titik Tetap

Pada pengukuran waterpas tertutup terikat titik tetap, titik awal akan menjadi titik akhir pengukuran dan kesalahan beda tinggi hasil pengukuran dapat diketahui. Karena awal pengukuran dan akhir pengukuran diikatkan pada titik tetap, maka ketinggian setiap titik ukur dari permukaan air laut dapat ditentukan (lihat gambar 3.9).



Gambar 3.9. Bentuk pengukuran waterpas tertutup

Keterangan:

P_1 = Titik awal dan akhir pengukuran

$\beta_1 \rightarrow \beta_4$ = Sudut titik ukur poligon

• $P_1 \rightarrow P_4$ = Titik ukur polygon

• $a \rightarrow d$ = Titik tempat berdiri alat ukur

— = Garis ukur poligon

Δ = Titik triangulasi

Yang diukur pada pengukuran waterpas terikat titik tetap adalah

a. Jarak antartitik ukur

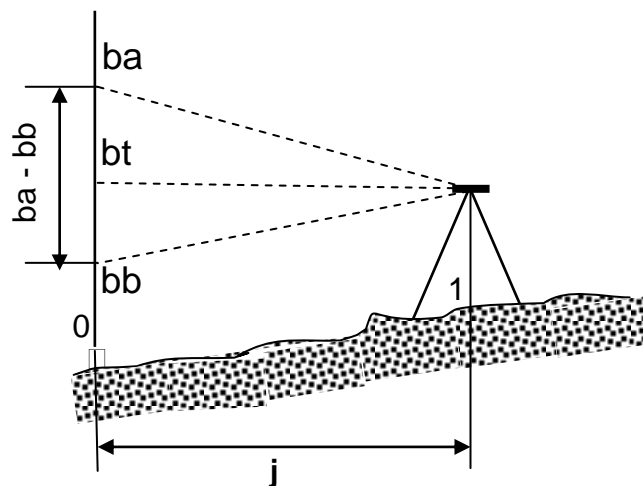
Jarak antartitik ukur dapat dicari dengan persamaan : $j = (ba - bb) \times 100$

Keterangan:

ba = benang atas,

bb = benang bawah,

100 = konstanta



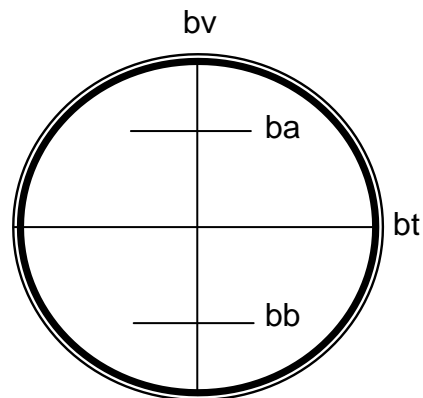
Gambar 3.10. Pembacaan benang jarak pada bak ukur

Keterangan:

ba = benang atas; bb = benang bawah

bt = benang tengah; ba → bb = jarak pada rambu ukur

j = jarak dari titik 0 → 1 (jarak horizontal di lapangan)



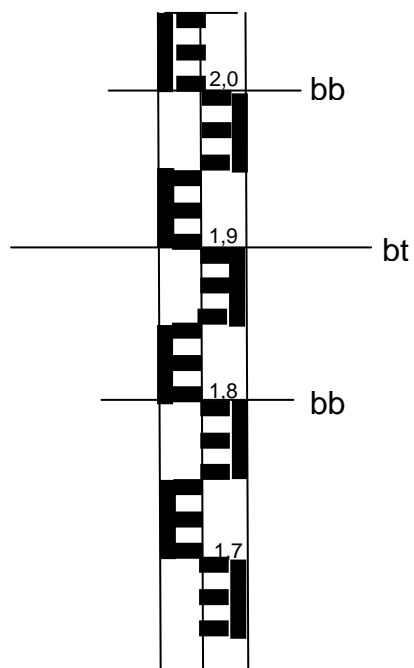
Gambar 3.11. Gambar benang diapragma dalam teropong

Keterangan :

ba, bb = benang jarak (untuk menentukan jarak)

bt = benang tengah horizontal (untuk menentukan garis bidik beda tinggi)

bv = benang tengah vertical (untuk menentukan garis bidik horizontal)

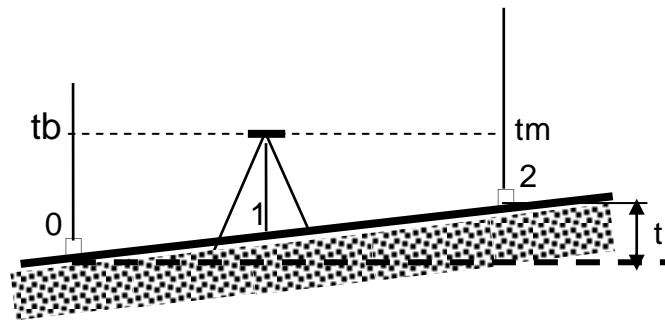


Gambar 3.12. Kedudukan benang diapragma pada bak ukur

$$J = (b_a - b_b) \times 100 = (2 - 1,8) \times 100 = 20 \text{ m}$$

b. Beda tinggi antar titik ukur

Beda tinggi antartitik ukur dihitung dengan persamaan: $t = t_b - t_m$



Gambar 3.13. Pengukuran beda tinggi

Keterangan: t_b = benang tengah belakang

t_m = benang tengah muka

t = beda tinggi antara titik 0 → 2

Untuk mengetahui kebenaran/kesalahan hasil pengukuran beda tinggi, persamaannya sebagai berikut

- 1). Kalau benar $\Rightarrow h = (\sum t_+) + (\sum t_-) = 0$
- 2). Kalau salah $\Rightarrow h_p \neq h \neq (\sum t_+) + (\sum t_-) \neq 0$
- 3). Kesalahan beda tinggi $\Rightarrow e = h_p - h$

$\sum t_+$ = Jumlah beda tinggi positif

$\sum t_-$ = Jumlah beda tinggi negatif

h = Hitungan beda tinggi antara titik awal dan akhir pengukuran

h_p = Perhitungan beda tinggi antara titik awal dan akhir pengukuran

e = Kesalahan beda tinggi antara titik awal dan akhir pengukuran

Untuk memudahkan dalam pembuatan peta penampang, sebaiknya pada titik awal pengukuran ditentukan harga ketinggian yang bulat terhadap ketinggian dari permukaan air laut.

Contoh.

Dari data hasil pengukuran waterpas tertutup terikat titik tetap pada tabel 3.4 di bawah ini akan dihitung :

1. Jarak antartitik ukur

Jarak antartitik ukur dihitung dengan persamaan: $j = (ba-bb) \times 100$

Pembacaan benang pada rambu ukur dikatakan benar apabila :

$$bt = \frac{1}{2}(ba + bb)$$

Keterangan: ba = benang atas; bt = benang tengah

bb = benang bawah

100 = konstanta

Tabel 3.4. Catatan data pengukuran waterpas tertutup terikat titik tetap pada titik ukur poligon

Titik		Pembacaan benang						Jarak		Beda tinggi		Tinggi dari muka air luat
Berdiri	Tinjau	Belakang			Muka			Belakang	Muka	Positif	Negatif	
		ba	bt	bb	ba	bt	bb					
	P0	1,251	1,220	1,189								
a												
	P1	1,422	1,335	1,245	1,411	1,382	1,351					
b												
	P2	1,452	1,414	1,376	1,589	1,518	1,448					
c												
	P3	1,884	1,730		1,564	1,492	1,421					
d												
	P0			1,572	1,382	1,300	1,223					

Dari data hasil pengukuran pada tabel 3.4, maka jarak dari:

$$J_{a \rightarrow P0} = (1,251 - 1,189) \times 100 = 0,062 \times 100 = 6,200 \text{ m}$$

$$J_{a \rightarrow P1} = (1,411 - 1,351) \times 100 = 0,060 \times 100 = 6,000 \text{ m}$$

$$J_{b \rightarrow P1} = (1,422 - 1,245) \times 100 = 0,177 \times 100 = 17,700 \text{ m}$$

$$J_{b \rightarrow P2} = (1,589 - 1,448) \times 100 = 0,141 \times 100 = 14,100 \text{ m}$$

$$J_{c \rightarrow P2} = (1,452 - 1,376) \times 100 = 0,076 \times 100 = 7,600 \text{ m}$$

$$J_{C \rightarrow P3} = (1,564 - 1,421) \times 100 = 0,143 \times 100 = 14,300 \text{ m}$$

$$J_{D \rightarrow P3} = (1,884 - 1,572) \times 100 = 0,312 \times 100 = 31,200 \text{ m}$$

$$J_{C \rightarrow P0} = (1,382 - 1,223) \times 100 = 0,159 \times 100 = 15,900 \text{ m}$$

2. Beda tinggi antartitik ukur

Beda tinggi antartitik ukur dihitung dengan persamaan: $t = t_b - t_m$

Keterangan: t_b = benang tengah belakang

t_m = benang tengah muka

Dari data hasil pengukuran pada tabel 3.4, maka beda tinggi dari:

$$P0 \rightarrow P1 (t_1) = 1,220 - 1,382 = -0,162 \text{ m}$$

$$P1 \rightarrow P2 (t_2) = 1,335 - 1,518 = -0,183 \text{ m}$$

$$P2 \rightarrow P3 (t_3) = 1,414 - 1,492 = -0,078 \text{ m}$$

$$P3 \rightarrow P0 (t_4) = 1,730 - 1,300 = +0,430 \text{ m}$$

$$\Sigma t_+ = 0,430 \text{ m}$$

$$\Sigma t_- = t_1 + t_2 + t_3 = -0,162 - 0,183 - 0,078 \text{ m} = -0,423 \text{ m}$$

$$h_P = (\Sigma t_+) + (\Sigma t_-) = 0,430 - 0,423 = +0,007$$

Tabel 3.5. Pengisian hasil perhitungan jarak dan beda tinggi pada blanko ukur

Titik		Pembacaan benang						Jarak		Beda tinggi		Ketinggian dari muka air laut
Berdiri	Tinjau	Belakang			Muka			Belakang	Muka	Positif	Negatif	
		ba	bt	bb	ba	bt	bb					
	P0	1,251	1,220	1,189								714,000
a								6,200	6,000		0,162	
	P1	1,422	1,335	1,245	1,411	1,382	1,351					
b								17,700	14,100		0,183	
	P2	1,452	1,414	1,376	1,589	1,518	1,448					
C								7,600	14,300		0,078	
	P3	1,884	1,730		1,564	1,492	1,421					
d								31,200	15,900	0,430		
	P0			1,572	1,382	1,300	1,223					714,000
			5,699			5,692		62,700	50,300	0,430	0,423	
			5,699					62,700		+0,430		
			5,692					50,300		-0,423		
			0,007					113,000		+0,007		

Karena pengukuran waterpas tertutup, maka beda tinggi antara titik awal dan akhir pengukuran kalau benar $\Rightarrow h = h_p = 0$

Kesalahan pengukuran (e) = $h_p - h = 0,007 - 0 = 0,007$ m

3. Perhitungan koreksi kesalahan beda tinggi

Dari hasil perhitungan beda tinggi pada tabel 3.5, ada kesalahan (e) = + 0,007 m.

Koreksi kesalahan (e) = - 0,007 m

$\sum t = (\sum t_+) + (\sum t_-) = 0,430 + 423 = 0,853$ m (jumlah total).

Koreksi kesalahan tiap m beda tinggi (k) = $- e / \sum t$

$k = - e / \sum t = - 0,007 / 0,853 = - 0,008206$ m

Koreksi beda tinggi tiap titik ukur (k') = $k \times t$

t = beda tinggi antartitik ukur

Koreksi tinggi pada patok:

$P1 \Rightarrow (k'_1) = t_1 \times k = 0,162 \times -0,008206 = - 0,002$ m

$P2 \Rightarrow (k'_2) = t_2 \times k = 0,183 \times -0,008206 = - 0,002$ m

$P3 \Rightarrow (k'_3) = t_3 \times k = 0,078 \times -0,008206 = 0,000$ m

$P0 \Rightarrow (k'_0) = t_0 \times k = 0,430 \times -0,008206 = - 0,003$ m

Beda tinggi antartitik ukur setelah dikoreksi (t') = $t + k'$

$t'_1 = t_1 + k'_1 = -0,162 - 0,002 = -0,164$ m

$t'_2 = t_2 + k'_2 = -0,183 - 0,002 = -0,185$ m

$t'_3 = t_3 + k'_3 = -0,078 - 0,000 = -0,078$ m

$t'_0 = t_0 + k'_0 = 0,430 - 0,003 = +0,427$ m

$h_p = t'_1 + t'_2 + t'_3 + t'_0 = -0,164 - 0,185 - 0,078 + 0,427 = 0,000$ m

$h = h_p$ (hasil hitungan dan perhitungan sama)

5. Menghitung ketinggian titik ukur terhadap permukaan air laut

Ketinggian titik ukur terhadap titik permukaan air laut persamaannya adalah:

$$H_n = H_{n-1} + t'_n$$

Keterangan:

H_n = Ketinggian titik ukur yang dicari

. t'_n = Beda tinggi antar titik ukur

H_{n-1} = Titik ukur yang telah ditentukan harga ketinggiannya dari permukaan air laut

Diketahui ketinggian titik P0 (H_0) = 714,000 m.

Perhitungan ketinggian titik-titik ukur setelah dikoreksi:

Titik P1 $\Rightarrow H_1 = H_0 + t'_1 = 714,000 - 0,164 = 713,836$ m

Titik P2 $\Rightarrow H_2 = H_1 + t'_2 = 713,836 - 0,185 = 713,651$ m

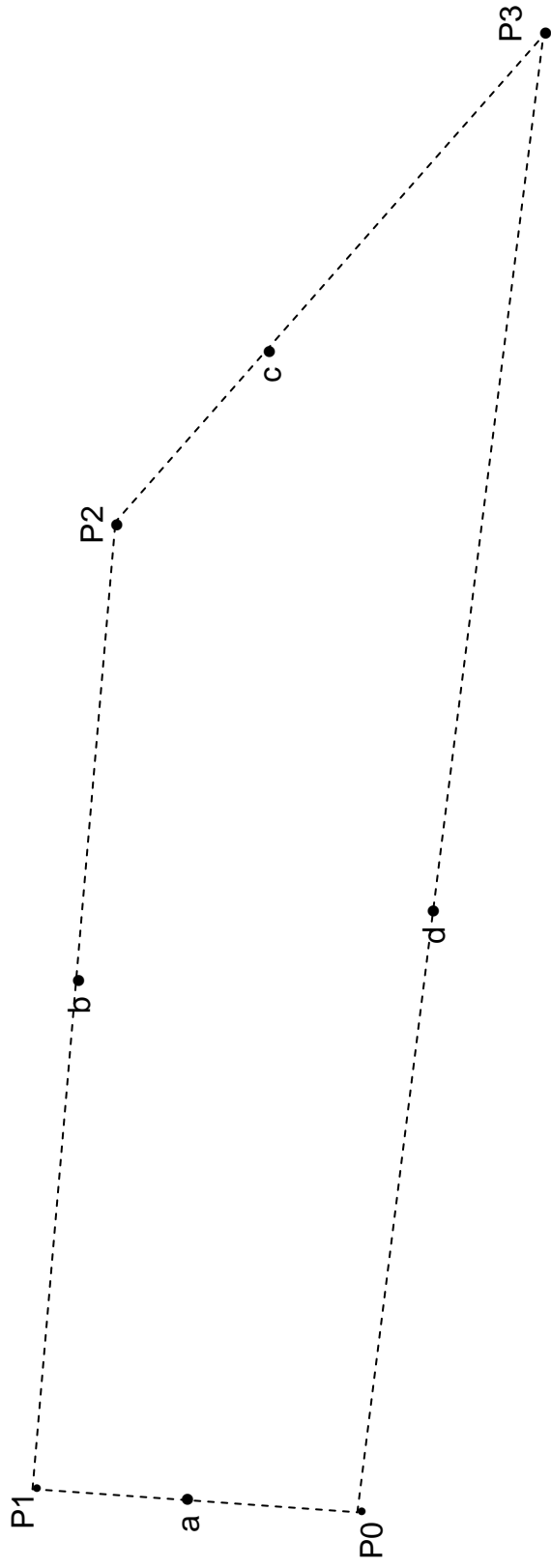
Titik P3 $\Rightarrow H_3 = H_2 + t'_3 = 713,651 - 0,078 = 713,573$ m

Titik P0 $\Rightarrow H_0 = H_3 + t'_0 = 713,573 + 0,427 = 714,000$ m

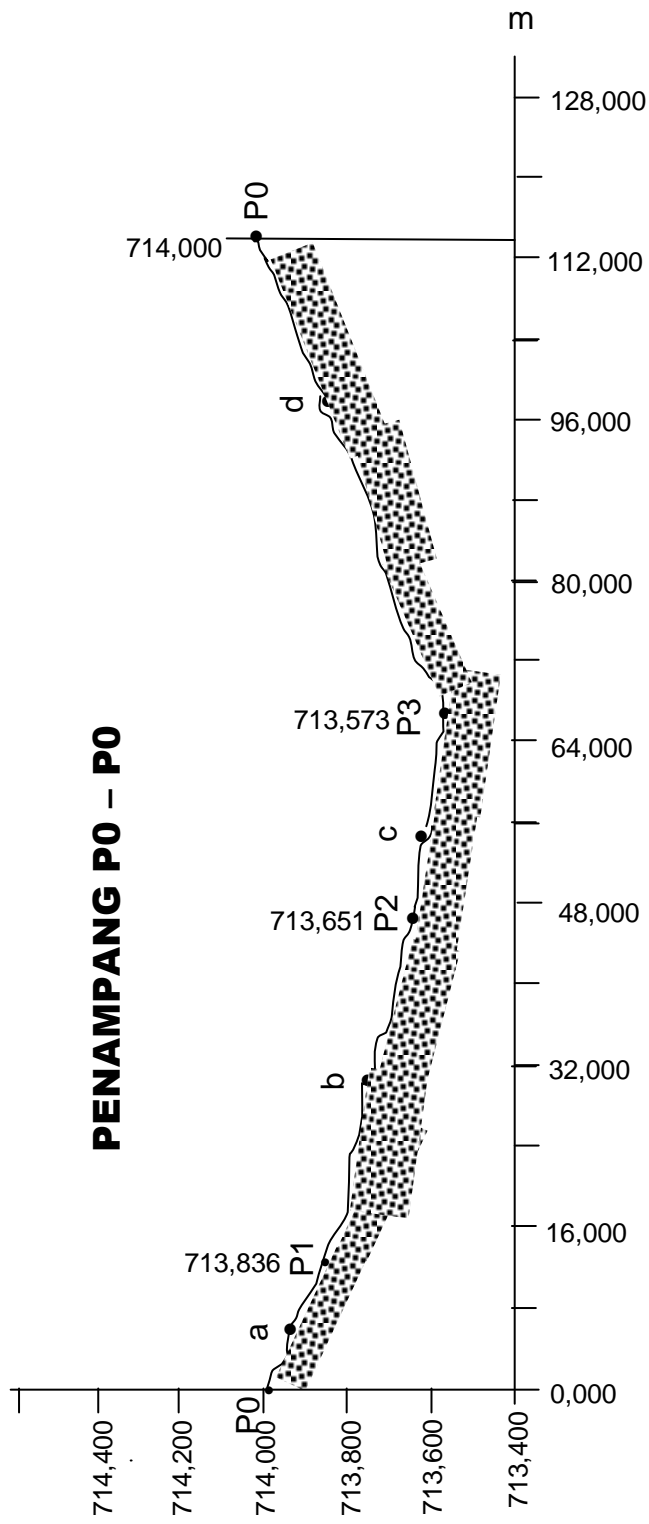
Cara pengisian jarak, beda tinggi dan ketinggian dari permukaan air laut pada blanko ukur lihat pada tabel 3.6.

Tabel 3.6. Pengisian hasil perhitungan jarak, beda tinggi dan ketinggian dari permukaan air laut setelah dikoreksi pada blanko ukur

Titik		Pembacaan benang						Jarak		Beda tinggi		Ketinggian dari muka air laut
Berdiri	Tinjau	Belakang			Muka			Belakang	Muka	Positif	Negatif	
		ba	bt	bb	ba	bt	bb					
	P0	1,251	1,220	1,189								714,000
a								6,200	6,000		0,164	
	P1	1,422	1,335	1,245	1,411	1,382	1,351					713,836
b								17,700	14,100		0,185	
	P2	1,452	1,414	1,376	1,589	1,518	1,448					713,851
c								7,600	14,300		0,078	
	P3	1,884	1,730		1,564	1,492	1,421					713,573
d								31,200	15,900	0,427		
	P0			1,572	1,382	1,300	1,223					714,000
								62,700	50,300	0,427	0,427	
								62,700		-0,427	Awal	714,000
								50,300		0,427	Akhir	714,000
								113,000	$h_P =$	0,000	$h =$	0,000



Gambar 3.14. Pengukuran waterpas pada polygon
Skala 1 : 250



Gambar 3.15. Penampang jalur poligon

Skala : horizontal 1:800

Skala : vertical 1:20

Dari hasil pengukuran tersebut di atas apakah perlu diulang atau tidak, maka di bawah ini diberikan batas toleransi kesalahan (Soetomo Wongsitjtro, Ilmu Ukur Tanah, Kanisius, th. 1980):

Pengukuran pulang-pergi:

Pengukuran yang tidak diikatkan pada titik tetap, maka toleransi kesalahan adalah:

$$k_1 = \pm \{ 2,0(S_{km})^{1/2} \} \text{ mm, untuk pengukuran tingkat pertama}$$

$$k_2 = \pm \{ 3,0(S_{km})^{1/2} \} \text{ mm, untuk pengukuran tingkat dua}$$

$$k_3 = \pm \{ 6,0(S_{km})^{1/2} \} \text{ mm, untuk pengukuran tingkat tiga}$$

Pengukuran yang diikatkan pada titik tetap:

Pengukuran yang diikatkan pada awal dan akhir pengukuran pada titik tetap, toleransi kesalahan adalah:

$$k_1' = \pm \{ 2,0 \pm 2,0 (S_{km})^{1/2} \} \text{ mm, untuk pengukuran tingkat pertama}$$

$$k_2' = \pm \{ 2,0 \pm 0,3 (S_{km})^{1/2} \} \text{ mm, untuk pengukuran tingkat dua}$$

$$k_3' = \pm \{ 2,0 \pm 6,0(S_{km})^{1/2} \} \text{ mm, untuk pengukuran tingkat tiga}$$

Untuk pengukuran waterpas tertutup terikat tetap, kita ambil pada pengukuran pulang – pergi dengan toleransi tingkat tiga :

$$k_3 = \pm \{ 6,0(S_{km})^{1/2} \} \text{ mm}$$

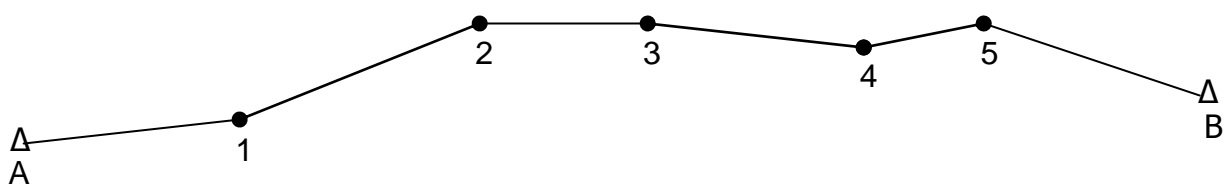
Diketahui : e = 0,007 m = 7 mm; j = 113 m = 0,113 km

$$k_3 = \pm \{ 6,0(S_{km})^{1/2} \} \text{ mm} = \{ 6,0(0,113)^{1/2} \} \text{ mm} = 2,017 \text{ mm}$$

e > k₃, maka pengukuran perlu diulang.

3.2. Bentuk Pengukuran Waterpas Terbuka

Pada pengukuran waterpas terbuka, titik awal tidak menjadi titik akhir pengukuran (lihat gambar 3.16)



Gambar 3.16. Pengukuran waterpas terbuka tampak atas

Biasanya pengukuran waterpas terbuka ini dilakukan pada titik-titik pengukuran polygon terbuka yang sudah diukur, untuk menentukan ketinggian titik ukur dalam rangka untuk pembuatan peta:

- Pemetaan daerah saluran irigasi;
- Pemetaan daerah terowongan;
- Pemetaan daerah lubang bukaan pertambangan;
- Pemetaan daerah rel jalan kereta api dan lain sebagainya.

Keterangan:

A = Titik awal pengukuran

B = Titik akhir pengukuran

• 2; 4 = Titik ukur polygon terbuka

• 1, 3, 5 = Titik tempat berdiri alat ukur

Δ = Titik tetap/rtitik triangulasi

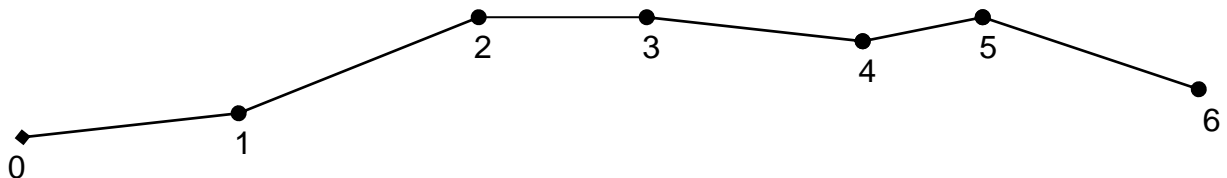
Bentuk Pengukuran Waterpas Terbuka ada 2 bagian :

- 1). Bagian pengukuran waterpas terbuka tak terikat titik tetap
- 2). Bagian pengukuran waterpas terbuka terikat titik tetap

1). Bagian Pengukuran Waterpas Terbuka Tak Terikat Titik Tetap

Pada pengukuran waterpas terbuka tak terikat titik tetap, titik awal tidak menjadi titik akhir pengukuran dan kesalahan beda tinggi hasil pengukuran tidak dapat diketahui.

Karena awal dan akhir pengukuran tidak diikatkan pada titik tetap, maka kesalahan beda tinggi dan ketinggian setiap titik ukur dari permukaan air laut tak dapat ditentukan (lihat gambar 3.17)



Gambar 3.17. Pengukuran waterpas terbuka tak terikat titik tetap tampak atas

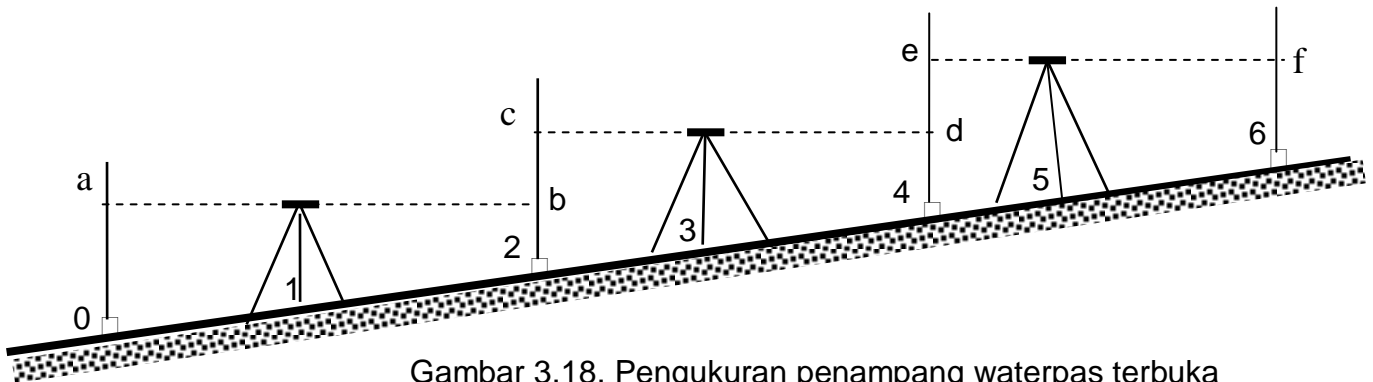
Keterangan:

0 = Titik awal pengukuran

6 = Titik akhir pengukuran

• 1; 3; 5 = Titik tempat berdiri alat ukur

— = Garis ukur polygon terbuka



Gambar 3.18. Pengukuran penampang waterpas terbuka tak terikat titik tetap

Yang diukur pada pengukuran waterpas terbuka tak terikat titik tetap adalah

a. Jarak antartitik ukur

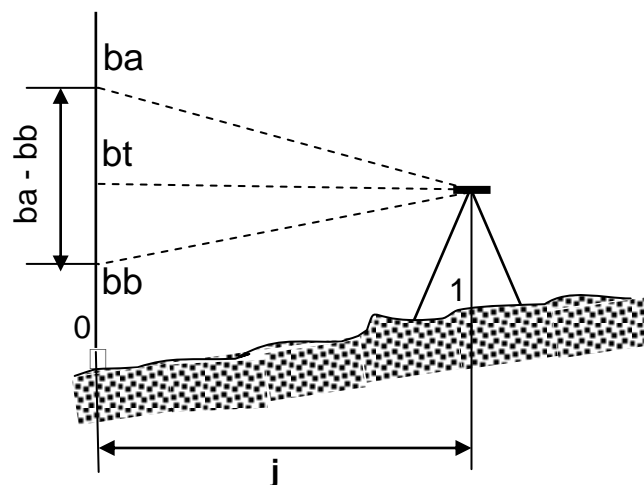
Jarak antartitik ukur dapat dicari dengan persamaan : $j = (ba - bb) \times 100$

Keterangan:

ba = benang atas,

bb = benang bawah,

100 = konstanta



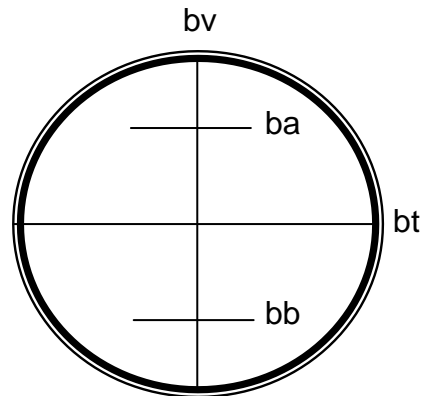
Gambar 3.19. Pembacaan benang jarak pada bak ukur

Keterangan:

ba = benang atas; bb = benang bawah

bt = benang tengah; ba → bb = jarak pada rambu ukur

j = jarak dari titik 0 → 1 (jarak horizontal di lapangan)



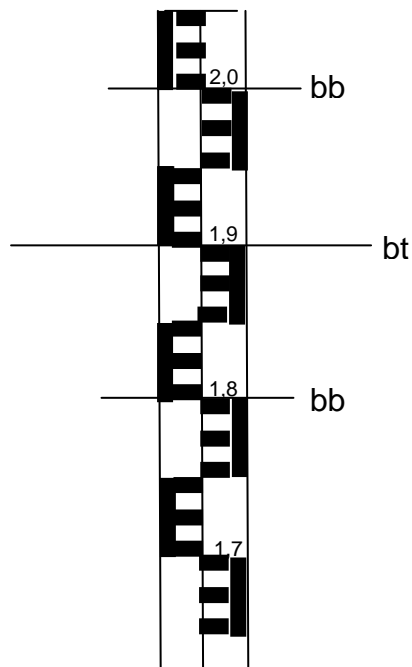
Gambar 3.20. Gambar benang diapragma dalam teropong

Keterangan :

ba, bb = benang jarak (untuk menentukan jarak)

bt = benang tengah horizontal (untuk menentukan garis bidik beda tinggi)

bv = benang tengah vertical (untuk menentukan garis bidik horizontal)

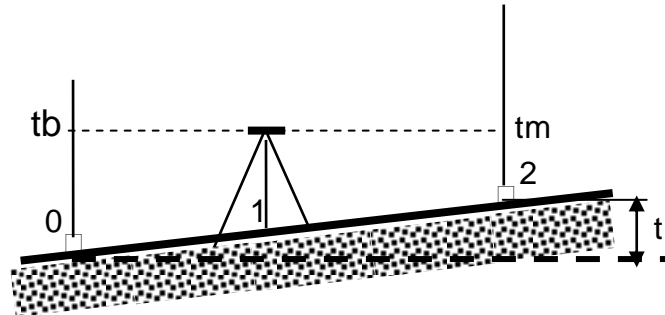


Gambar 3.21. Kedudukan benang diapragma pada bak ukur

$$J = (ba - bb) \times 100 = (2 - 1,8) \times 100 = 20 \text{ m}$$

b. Beda tinggi antar titik ukur

Beda tinggi antartitik ukur dihitung dengan persamaan: $t = t_b - t_m$



Gambar 3.22. Pengukuran beda tinggi

Keterangan: t_b = benang tengah belakang

t_m = benang tengah muka

t = beda tinggi antara titik 0 \rightarrow 2

Untuk mengetahui kebenaran/kesalahan hasil pengukuran beda tinggi, persamaannya sebagai berikut

1). Kalau benar $\Rightarrow h = H_{AKHIR} - H_{AWAL} = (\sum t_+) + (\sum t_-) = h_p$

2). Kalau salah $\Rightarrow h_p \neq h \neq (\sum t_+) + (\sum t_-)$

3). Kesalahan beda tinggi $\Rightarrow e = h_p - h$

$\sum t_+$ = Jumlah beda tinggi positif

$\sum t_-$ = Jumlah beda tinggi negatif

h = Hitungan beda tinggi antara titik awal dan akhir pengukuran

h_p = Perhitungan beda tinggi antara titik awal dan akhir pengukuran

e = Kesalahan beda tinggi antara titik awal dan akhir pengukuran

Untuk memudahkan dalam pembuatan peta penampang, sebaiknya pada titik awal pengukuran ditentukan harga minimum dan bulat dari ketinggian local.

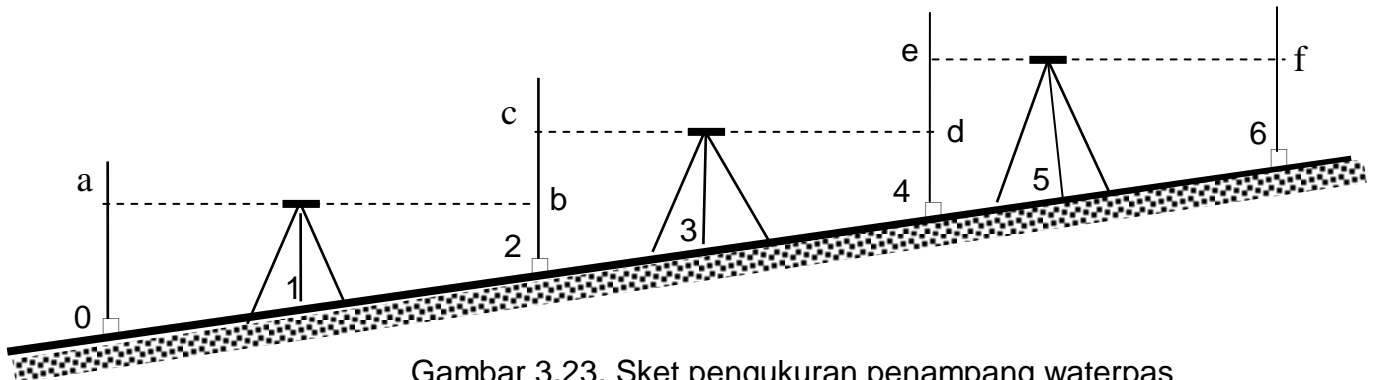
Contoh.

Dari data hasil pengukuran waterpas terbuka tak terikat titik tetap pada tabel

3.7. di bawah ini akan dihitung :

Tabel 3.7. Catatan data hasil pengukuran waterpas tak terikat pada blanko
ukur

Titik		Pembacaan Benang						Jarak		Beda Tinggi		Tinggi dari Laut
		Belakang			Muka							
Berdiri	Tinjau	ba	bt	bb	ba	bt	bb	Belakang	Muka	+	-	
1	0	1,400	1,100	0,800								
	2	1,800	1,400	1,000	1,200	1,000	0,800					
	3											
	4	1,400	1,050	0,700	1,300	0,800	0,300					
	5	6				1,200	0,850	0,500				



Gambar 3.23. Sket pengukuran penampang waterpas terbuka tak terikat titik tetap

1. Jarak antartitik ukur

Jarak antartitik ukur dihitung dengan persamaan: $j = (ba - bb) \times 100$

Pembacaan benang pada rambu ukur dikatakan benar apabila :

$$bt = \frac{1}{2}(ba + bb)$$

Keterangan: ba = benang atas; bt = benang tengah

bb = benang bawah; 100 = konstanta

Dari data hasil pengukuran pada tabel 3.7, maka jarak dari:

$$J_{0 \rightarrow 1} = (1,400 - 0,800) \times 100 = 0,600 \times 100 = 60,000 \text{ m}$$

$$J_{1 \rightarrow 2} = (1,200 - 0,800) \times 100 = 0,400 \times 100 = 40,000 \text{ m}$$

$$J_{2 \rightarrow 3} = (1,800 - 1,000) \times 100 = 0,800 \times 100 = 80,000 \text{ m}$$

$$J_{3 \rightarrow 4} = (1,300 - 0,300) \times 100 = 1,000 \times 100 = 100,000 \text{ m}$$

$$J_{4 \rightarrow 5} = (1,400 - 0,700) \times 100 = 0,700 \times 100 = 70,000 \text{ m}$$

$$J_{5 \rightarrow 6} = (1,200 - 0,500) \times 100 = 0,700 \times 100 = 70,000 \text{ m}$$

2. Beda tinggi antartitik ukur

Beda tinggi antartitik dihitung dengan persamaan: $t = t_b - t_m$

Keterangan: t_b = benang tengah belakang

t_m = benang tengah muka

Dari data hasil pengukuran pada tabel 3.7, maka beda tinggi dari:

$$0 \rightarrow 2 (t_1) = 1,100 - 1,000 = 0,100 \text{ m}$$

$$2 \rightarrow 4 (t_2) = 1,400 - 0,800 = 0,600 \text{ m}$$

$$4 \rightarrow 6 (t_3) = 1,050 - 0,850 = 0,200 \text{ m}$$

Tabel 3.8. Pengisian hasil perhitungan jarak dan beda tinggi pada blanko ukur

Titik		Pembacaan Benang						Jarak		Beda Tinggi		Tinggi dari Laut/lokal
		Belakang			Muka					+	-	
Berdiri	Tinjau	ba	bt	bb	ba	bt	bb	Belakang	Muka			
1	0	1,400	1,100	0,800				60,000				
3	2	1,800	1,400	1,000	1,200	1,000	0,800	80,000	40,000	0,100		
5	4	1,400	1,050	0,700	1,300	0,800	0,300	70,000	100,000	0,600		
	6				1,200	0,850	0,500		70,000	0,200		
			3,550			2,650		210,000	210,000	0,900	0,000	
			3,550					210,000		0,900		
			2,650					210,000		0,000		
			0,900					420,000		0,900		

3. Perhitungan koreksi kesalahan beda tinggi

Dari hasil perhitungan beda tinggi pada tabel 3.8. antara titik 0→6 adalah:

$$h_p = (\sum t_+) + (\sum t_-) = t_1 + t_2 + t_3 \\ = 0,900 + 0,000 = 0,100 + 0,600 + 0,200 = 0,900 \text{ m}$$

Ternyata dari pengukuran waterpas terbuka tak terikat titik teta ini perhitungan kesalahan beda tinggi tidak bisa dikontrol, oleh karena perhitungan ketinggian setiap titik ukur hanya berdasarkan beda tinggi yang langsung didapat dari hasil pengukuran (beda tinggi tidak perlu dikoreksi). Penjelasan lebih lanjut lihat pada perhitungan ketinggian titik ukur di bawah.

4. Menghitung ketinggian titik ukur terhadap ketinggian local.

Ketinggian titik ukur terhadap ketinggian local persamaannya adalah:

$$H_n = H_{n-1} + t_n$$

Keterangan:

H_n = Ketinggian titik ukur yang dicari

t_n = Beda tinggi antar titik ukur

H_{n-1} = Titik ukur yang telah ditentukan harga ketinggian local.

Ditentukan ketinggian local titik 0 (H_0) = 700,000 m.

Perhitungan ketinggian titik-titik ukur::

$$\text{Titik 1} \Rightarrow H_1 = H_0 + t_1 = 700,000 + 0,100 = 700,100 \text{ m}$$

$$\text{Titik 2} \Rightarrow H_2 = H_1 + t_2 = 700,100 + 0,600 = 700,700 \text{ m}$$

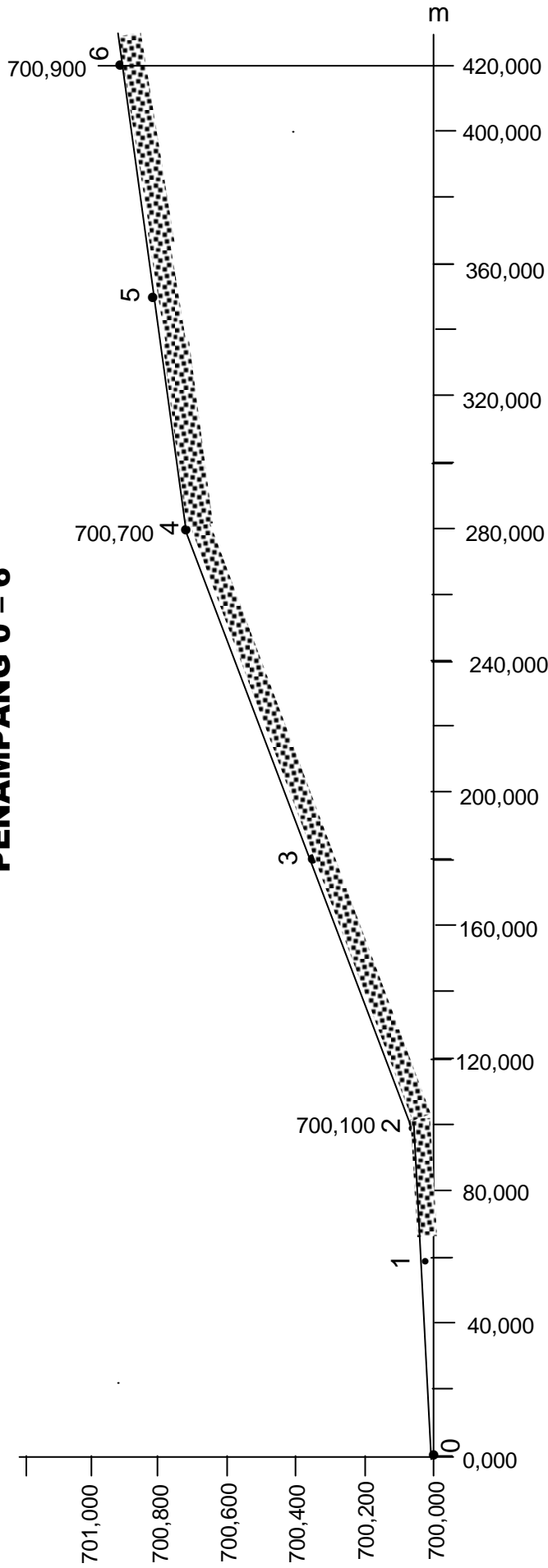
$$\text{Titik 3} \Rightarrow H_3 = H_2 + t_3 = 700,700 + 0,200 = 700,900 \text{ m}$$

Cara pengisian jarak, beda tinggi dan ketinggian local pada blanko ukur lihat pada tabel 3.9.

Tabel 3.9. Pengisian hasil perhitungan jarak, beda tinggi dan ketinggian local pada blanko ukur

Titik		Pembacaan Benang						Jarak		Beda Tinggi		Tinggi dari lokal
		Belakang			Muka					+	-	
Berdiri	Tinjau	ba	bt	bb	ba	bt	bb	Belakang	Muka			
1	0	1,400	1,100	0,800				60,000				700,000
3	2	1,800	1,400	1,000	1,200	1,000	0,800	80,000	40,000	0,100		700,100
5	4	1,400	1,050	0,700	1,300	0,800	0,300	70,000	100,000	0,600		700,700
	6				1,200	0,850	0,500		70,000	0,200		700,900
			3,550			2,650		210,000	210,000	0,900	0,000	
			3,550					210,000		0,900		
			2,650					210,000		0,000		
			0,900					420,000		0,900		

PENAMPANG 0 - 6



Gambar 3.24. Penampang jalur poligon

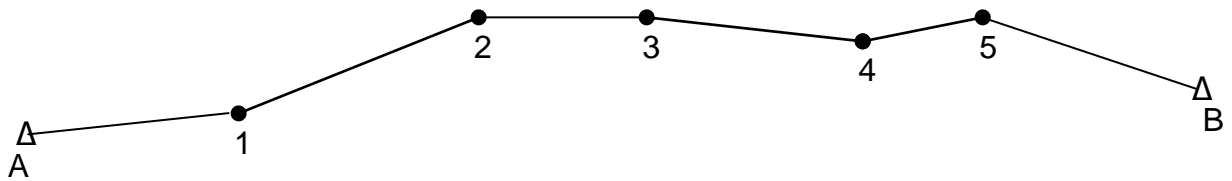
Skala : horizontal 1:2000

Skala : vertical 1:20

2). Bagian Pengukuran Waterpas Terbuka Terikat Titik Tetap

Pada pengukuran waterpas terbuka terikat titik tetap, titik awal tidak menjadi titik akhir pengukuran dan kesalahan beda tinggi hasil pengukuran dapat diketahui.

Karena awal dan akhir pengukuran diikatkan pada titik tetap, maka ketinggian setiap titik ukur dari permukaan air laut dapat ditentukan (lihat gambar 3.25)



Gambar 3.25. Pengukuran waterpas terbuka terikat titik tetap tampak atas

Keterangan:

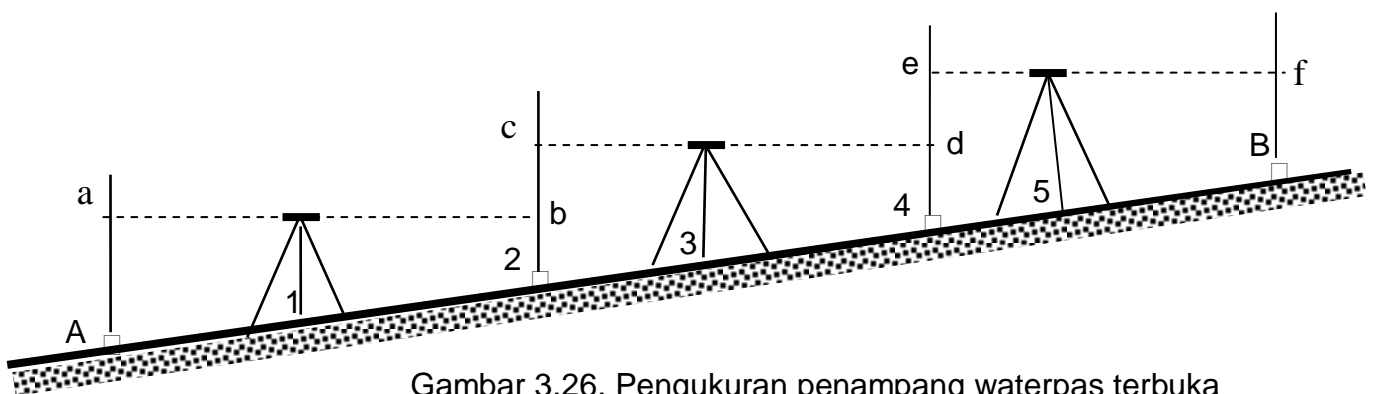
A = Titik awal pengukuran

B = Titik akhir pengukuran

• 1; 3; 5 = Titik tempat berdiri alat ukur

— = Garis ukur polygon terbuka

Δ = Titik tetap



Gambar 3.26. Pengukuran penampang waterpas terbuka terikat titik tetap

Yang diukur pada pengukuran waterpas terbuka tak terikat titik tetap adalah

a. Jarak antartitik ukur

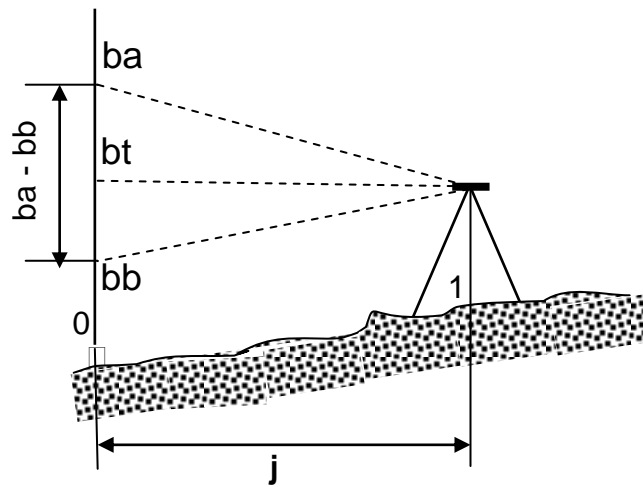
Jarak antartitik ukur dapat dicari dengan persamaan : $j = (ba - bb) \times 100$

Keterangan:

ba = benang atas,

bb = benang bawah,

100 = kosntanta



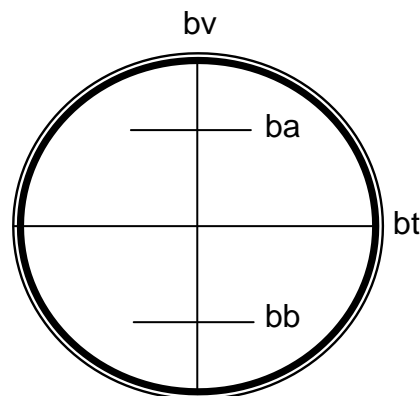
Gambar 3.27. Pembacaan benang jarak pada bak ukur

Keterangan:

ba = benang atas; bb = benang bawah

bt = benang tengah; ba → bb = jarak pada rambu ukur

j = jarak dari titik 0 → 1 (jarak horizontal di lapangan)



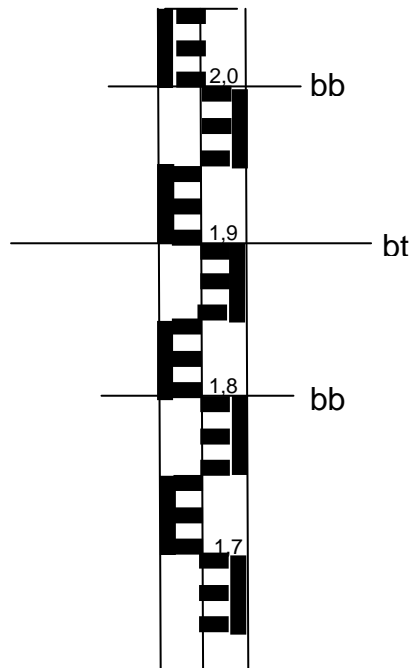
Gambar 3.28. Gambar benang diaphragma dalam teropong

Keterangan :

ba, bb = benang jarak (untuk menentukan jarak)

bt = benang tengah horizontal (untuk menentukan garis bidik beda tinggi)

bv = benang tengah vertical (untuk menentukan garis bidik horizontal)

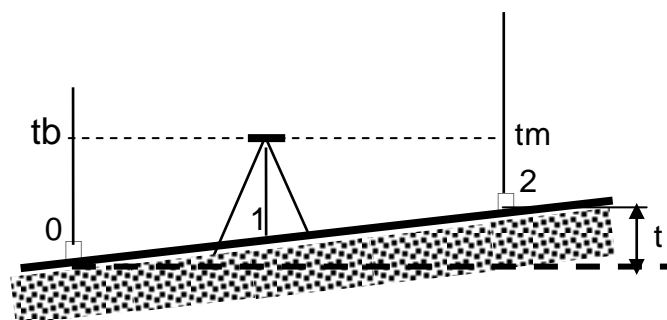


Gambar 3.29. Kedudukan benang diapragma pada bak ukur

$$J = (ba - bb) \times 100 = (2 - 1,8) \times 100 = 20 \text{ m}$$

b. Beda tinggi antar titik ukur

Beda tinggi antartitik ukur dihitung dengan persamaan: $t = t_b - t_m$



Gambar 3.30. Pengukuran beda tinggi

Keterangan: t_b = benang tengah belakang

t_m = benang tengah muka

t = beda tinggi antara titik 0 \rightarrow 2

Untuk mengetahui kebenaran/kesalahan hasil pengukuran beda tinggi, persamaannya sebagai berikut

1). Kalau benar $\Rightarrow h = H_{AKHIR} - H_{AWAL} = (\sum t+) + (\sum t-) = h_p$

2). Kalau salah $\Rightarrow h_p \neq h \neq (\sum t+) + (\sum t-)$

3). Kesalahan beda tinggi $\Rightarrow e = h_p - h$

$\sum t+$ = Jumlah beda tinggi positif

$\sum t-$ = Jumlah beda tinggi negatif

h = Hitungan beda tinggi antara titik awal dan akhir pengukuran

h_p = Perhitungan beda tinggi antara titik awal dan akhir pengukuran

e = Kesalahan beda tinggi antara titik awal dan akhir pengukuran

Untuk memudahkan dalam pembuatan peta penampang, sebaiknya pada titik awal pengukuran ditentukan harga minimum dan bulat dari ketinggian permukaan air laut.

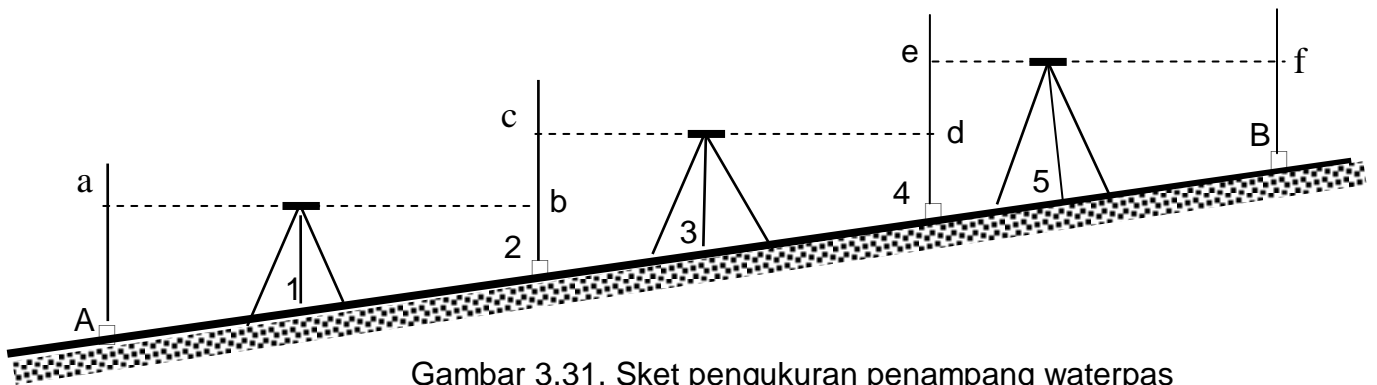
Contoh.

Dari data hasil pengukuran waterpas terbuka terikat titik tetap pada tabel

3.10. di bawah ini akan dihitung :

Tabel 3.10. Catatan data hasil pengukuran waterpas terikat pada blanko Ukur

Titik		Pembacaan Benang						Jarak		Beda Tinggi		Tinggi dari Laut
		Belakang			Muka					+	-	
Berdiri	Tinjau	ba	bt	bb	ba	bt	bb	Belakang	Muka			
1 3 5	A	1,400	1,100	0,800								
	2	1,800	1,400	1,000	1,200	1,000	0,800					
	4	1,400	1,050	0,700	1,300	0,800	0,300					
	B				1,200	0,850	0,500					



Gambar 3.31. Sket pengukuran penampang waterpas terbuka tak terikat titik tetap

1. Jarak antartitik ukur

Jarak antartitik ukur dihitung dengan persamaan: $j = (ba - bb) \times 100$

Pembacaan benang pada rambu ukur dikatakan benar apabila :

$$bt = \frac{1}{2}(ba + bb)$$

Keterangan: ba = benang atas; bt = benang tengah

bb = benang bawah; 100 = konstanta

Dari data hasil pengukuran pada tabel 3.10, maka jarak dari:

$$J_{0 \rightarrow 1} = (1,400 - 0,800) \times 100 = 0,600 \times 100 = 60,000 \text{ m}$$

$$J_{1 \rightarrow 2} = (1,200 - 0,800) \times 100 = 0,400 \times 100 = 40,000 \text{ m}$$

$$J_{2 \rightarrow 3} = (1,800 - 1,000) \times 100 = 0,800 \times 100 = 80,000 \text{ m}$$

$$J_{3 \rightarrow 4} = (1,300 - 0,300) \times 100 = 1,000 \times 100 = 100,000 \text{ m}$$

$$J_{4 \rightarrow 5} = (1,400 - 0,700) \times 100 = 0,700 \times 100 = 70,000 \text{ m}$$

$$J_{5 \rightarrow 6} = (1,200 - 0,500) \times 100 = 0,700 \times 100 = 70,000 \text{ m}$$

2. Beda tinggi antartitik ukur

Beda tinggi antartitik dihitung dengan persamaan: $t = t_b - t_m$

Keterangan: t_b = benang tengah belakang

t_m = benang tengah muka

Dari data hasil pengukuran pada tabel 3.10, maka beda tinggi dari:

$$A \rightarrow 2 (t_1) = 1,100 - 1,000 = 0,100 \text{ m}$$

$$2 \rightarrow 4 (t_2) = 1,400 - 0,800 = 0,600 \text{ m}$$

$$4 \rightarrow B (t_3) = 1,050 - 0,850 = 0,200 \text{ m}$$

Tabel 3.11. Pengisian hasil perhitungan jarak dan beda tinggi pada blanko ukur

Titik		Pembacaan Benang						Jarak		Beda Tinggi		Tinggi dari muka air laut	
		Belakang			Muka					+	-		
Berdiri	Tinjau	ba	bt	bb	ba	bt	bb	Belakang	Muka				
1	A	1,400	1,100	0,800				60,000				700,000	
	2	1,800	1,400	1,000	1,200	1,000	0,800	80,000	40,000	0,100			
	3	4	1,400	1,050	0,700	1,300	0,800	0,300	70,000	100,000	0,600		
	5										0,200		
	B				1,200	0,850	0,500		70,000				700,905
								210,000	210,000	0,900	0,000		
								210,000		0,900		700,905	
								210,000		0,905		700,000	
								420,000		-0,005		0,905	

3. Perhitungan koreksi kesalahan beda tinggi

Dari hasil perhitungan beda tinggi pada tabel 3.11, ada kesalahan (e) = - 0,005 m.

Koreksi kesalahan (e) = + 0,005 m

$\sum t = (\sum t_+) + (\sum t_-) = 0,900 + 0,000 = 0,900$ m (jumlah total).

Koreksi kesalahan tiap m beda tinggi (k) = $e / \sum t$

$k = e / \sum t = 0,005 / 0,900 = + 0,00555$ m

Koreksi beda tinggi tiap titik ukur (k') = $k \times t$

t = beda tinggi antartitik ukur

Koreksi tinggi pada patok:

$$2 \Rightarrow (k'_1) = t_1 \times k = 0,100 \times 0,00555 = 0,001 \text{ m}$$

$$4 \Rightarrow (k'_2) = t_2 \times k = 0,600 \times 0,00555 = 0,003 \text{ m}$$

$$B \Rightarrow (k'_3) = t_3 \times k = 0,200 \times 0,00555 = 0,001 \text{ m}$$

Beda tinggi antartitik ukur setelah dikoreksi (t') = $t + k'$

$$t'_1 = t_1 + k'_1 = 0,100 + 0,001 = + 0,101 \text{ m}$$

$$t'_2 = t_2 + k'_2 = 0,600 + 0,003 = + 0,603 \text{ m}$$

$$t'_3 = t_3 + k'_3 = 0,200 + 0,001 = +0,201 \text{ m}$$

$$h_P = t'_1 + t'_2 + t'_3 + t'_0 = 0,101 + 0,603 + 0,201 = 0,905 \text{ m}$$

$$h = H_B - H_A = 700,905 - 700,000 = 0,905$$

$h = h_P$ (hasil hitungan dan perhitungan sama)

H_A = ketinggian titik A dari permukaan air laut

H_B = ketinggian titik B dari permukaan air laut

6. Menghitung ketinggian titik ukur terhadap permukaan air laut

Ketinggian titik ukur terhadap titik permukaan air laut persamaannya adalah:

$$H_n = H_{n-1} + t'_n$$

Keterangan:

H_n = Ketinggian titik ukur yang dicari

• t'_n = Beda tinggi antar titik ukur

H_{n-1} = Titik ukur yang telah ditentukan harga ketinggiannya dari permukaan air laut

Diketahui ketinggian titik : A (H_A) = 700,000 m.

B (H_B) = 700,905 m.

Perhitungan ketinggian titik-titik ukur setelah dikoreksi:

$$\text{Titik 2} \Rightarrow H_2 = H_A + t'_1 = 700,000 + 0,101 = 700,101 \text{ m}$$

$$\text{Titik 4} \Rightarrow H_4 = H_2 + t'_2 = 700,101 + 0,603 = 700,704 \text{ m}$$

$$\text{Titik B} \Rightarrow H_B = H_4 + t'_3 = 700,704 + 0,201 = 700,905$$

Cara pengisian jarak, beda tinggi dan ketinggian dari permukaan air laut pada blanko ukur lihat pada tabel 3.12.

Tabel 3.12. Pengisian hasil perhitungan jarak, beda tinggi dan ketinggian dari muka air laut

Titik		Pembacaan Benang						Jarak		Beda Tinggi		Tinggi dari Laut
		Belakang			Muka							
Berdiri	Tinjau	ba	bt	bb	ba	bt	bb	Belakang	Muka	+	-	
1	A	1,400	1,100	0,800				60,000				700,000
2		1,800	1,400	1,000	1,200	1,000	0,800	80,000	40,000	0,101		700.101
3		1,400	1,050	0,700	1,300	0,800	0,300	70,000	100,000	0,603		700,704
4										0,201		
5	B				1,200	0,850	0,500		70,000			700,905
								210,000	210,000	0,905	0,000	0,905
								210,000		0,905		700,905
								210,000		0,000		700,000
								420,000		0,905		0,905

Dari hasil pengukuran tersebut di atas apakah perlu diulang atau tidak, maka di bawah ini diberikan batas toleransi kesalahan (Soetomo Wongsitjitra, Ilmu Ukur Tanah, Kanisius, th. 1980):

Pengukuran pulang-pergi:

Pengukuran yang tidak diikatkan pada titik tetap, maka toleransi kesalahan adalah:

$$k_1 = \pm \{2,0(S_{km})^{1/2}\} \text{ mm, untuk pengukuran tingkat pertama}$$

$$k_2 = \pm \{3,0(S_{km})^{1/2}\} \text{ mm, untuk pengukuran tingkat dua}$$

$$k_3 = \pm \{6,0(S_{km})^{1/2}\} \text{ mm, untuk pengukuran tingkat tiga}$$

Pengukuran yang diikatkan pada titik tetap:

Pengukuran yang diikatkan pada awal dan akhir pengukuran pada titik tetap, toleransi kesalahan adalah:

$$k_1' = \pm \{2,0 \pm 2,0 (S_{km})^{1/2}\} \text{ mm, untuk pengukuran tingkat pertama}$$

$$k_2' = \pm \{2,0 \pm 0,3 (S_{km})^{1/2}\} \text{ mm, untuk pengukuran tingkat dua}$$

$$k_3' = \pm \{2,0 \pm 6,0(S_{km})^{1/2}\} \text{ mm, untuk pengukuran tingkat tiga}$$

Untuk pengukuran waterpas terbuka terikat titik tetap, kita ambil pada pengukuran yang diikatkan pada titik tetap dengan pengukuran tingkat tiga.

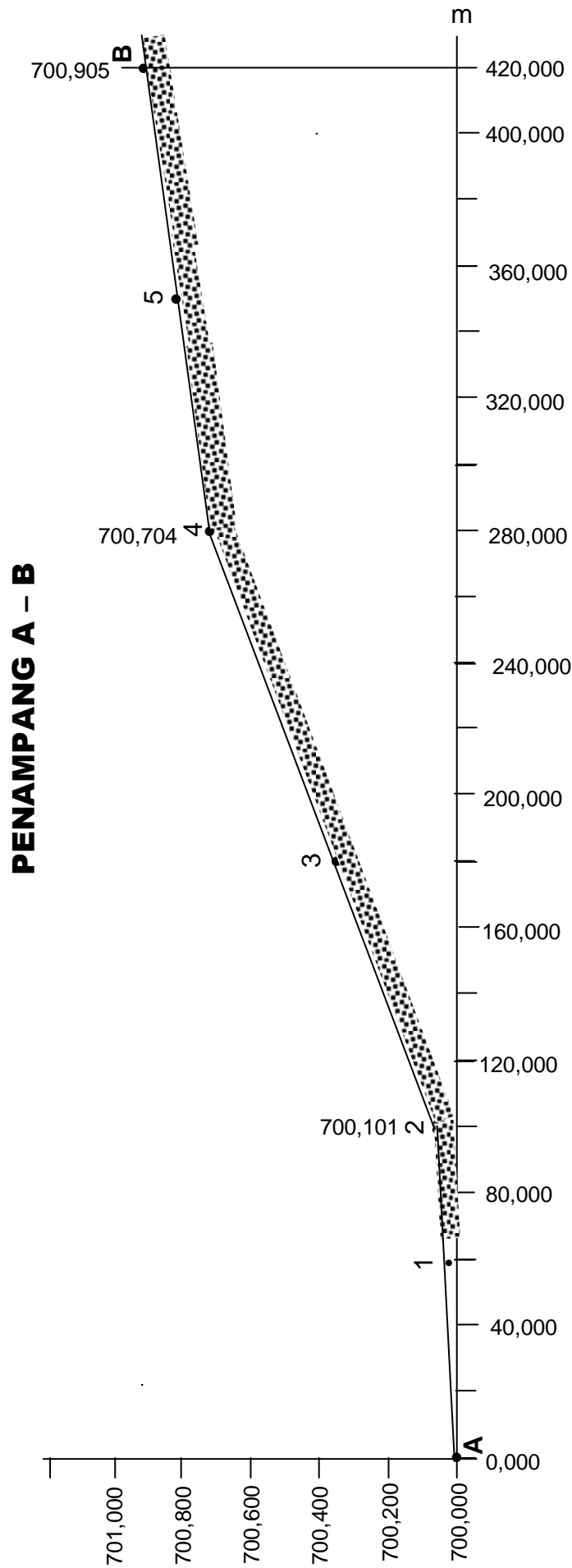
$$k_3 = \pm \{2,0 \pm 6,0(S_{km})^{1/2}\} \text{ mm}$$

Diketahui : $e = + 0,005 \text{ m} = 5 \text{ mm}$; $j = 420 \text{ m} = 0,420 \text{ km}$

$$k_3 = \pm \{2,0 \pm 6,0(S_{km})^{1/2}\} \text{ mm}$$

$$= \{2,0 + 6,0(0,420)^{1/2}\} \text{ mm} = 5,888 \text{ mm}$$

$e < k_3$, maka pengukuran tidak perlu diulang.

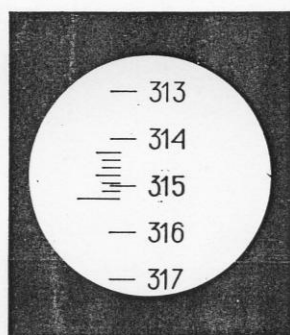
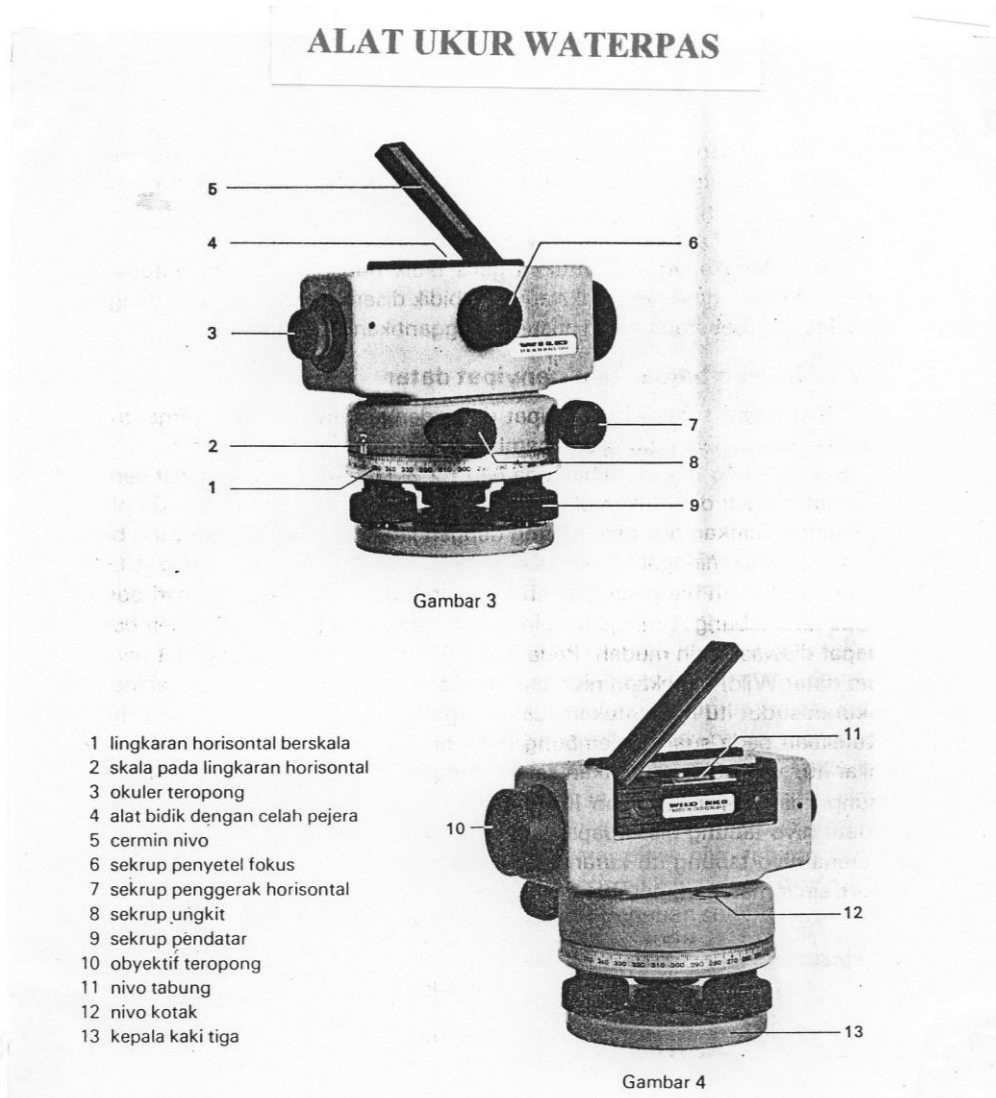


Gambar 3.31. Penampang jalur poligon

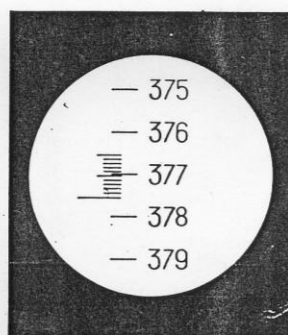
Skala : horizontal 1:2000

Skala : vertical 1:20

Gambar 3.32. Gambar Alat ukur water



Pembacaan 315° 17' (360°)

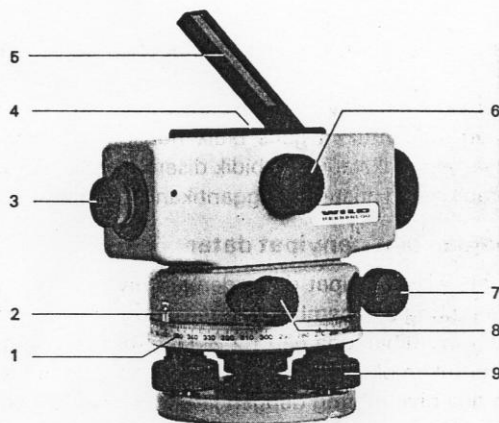


Pembacaan 377.53⁹ (400⁹)



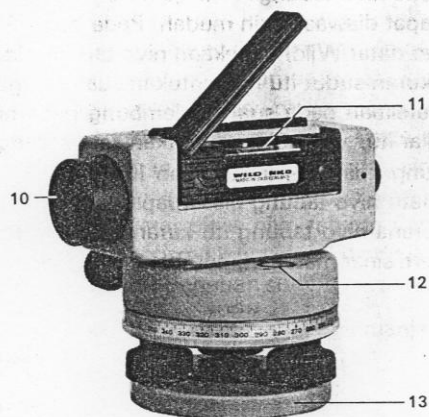
A

ALAT UKUR WATERPAS

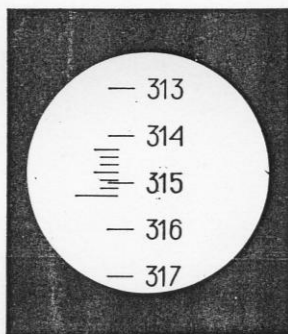


Gambar 3

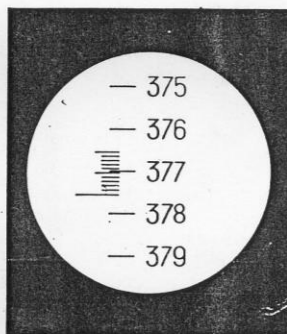
- 1 lingkaran horizontal berskala
- 2 skala pada lingkaran horizontal
- 3 okuler teropong
- 4 alat bidik dengan celah pejera
- 5 cermin nivo
- 6 sekrup penyetel fokus
- 7 sekrup penggerak horizontal
- 8 sekrup ungit
- 9 sekrup pendatar



Gambar 4



Pembacaan $315^{\circ} 17'$ (360°)



Pembacaan 377.53° (400°)



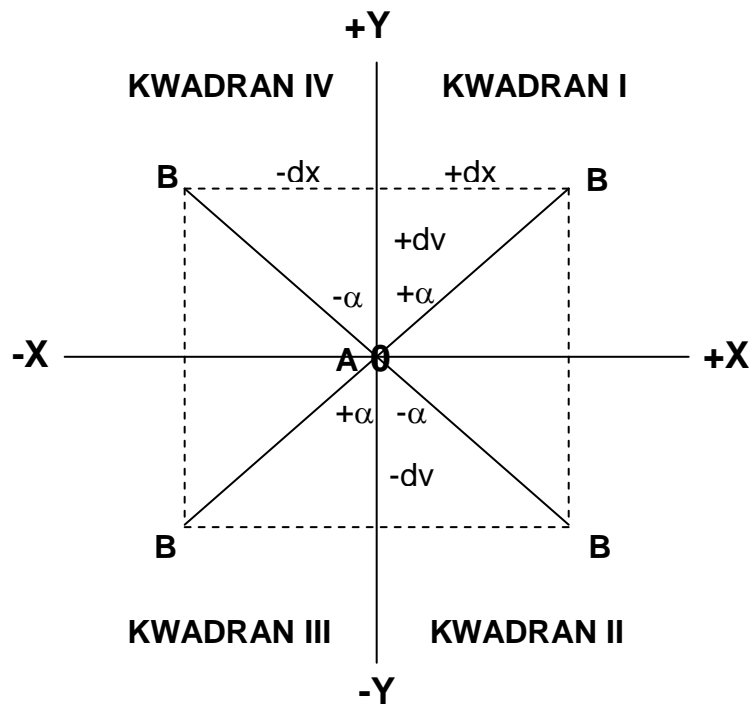
IV. KOORDINAT TITIK

Untuk menyatakan koordinat titik di atas permukaan bumi dinyatakan dengan koordinat geografi (λ, φ).

Greenwich dinyatakan Meredian 0, sedangkan Equator dinyatakan lintang 0.

Di dalam peta setiap titik letaknya dihitung dari dua salib sumbu yang saling tegak lurus; yang horisontal disebut **sumbu X** dan yang tegak disebut **sumbu Y**. Perpotongan dari dua salib sumbu itu diberi angka 0

Sumbu X yang ada di sebelah kanan sumbu tegak diberi tanda positif (+) dan yang di sebelah kiri diberi tanda negative (-). Sedangkan sumbu Y yang di sebelah atas sumbu X diberi tanda positif (+) dan sumbu Y ada di sebelah bawah sumbu X diberi tanda negative (-).



Gambar 4.1. Kedudukan azimuth garis pada kwadran

Keterangan: α = Kedudukan sudut yang dibentuk oleh sumbu Y dan garis bidik A→B

a. Menghitung azimut

Ada dua macam besaran sudut yaitu :

1. Sudut sexagesimal, dinyatakan dalam derajat, menit, sekon ($^{\circ}$, $'$, $''$).

$$1^{\circ} = 60' ; 1' = 60'' \Rightarrow \text{satu lingkaran dibagi 360 bagian}$$

2. Centesimal, dinyatakan dalam grade, centigrade, centicentigrade

(gr, c, cc); $1^{gr} = 100^{\circ}$; $1^{\circ} = 100^{cc}$ \Rightarrow satu lingkaran dibagi 400 bagian

Pada gambar 4.1, memperlihatkan kedudukan azimuth garis A→B pada masing-masing kwadran.

Untuk menghitung azimuth garis pada masing-masing kwadran berlaku persamaan sebagai berikut:

$$\text{tg}\alpha_{A \rightarrow B} = (X_B - X_A)/(Y_A - Y_B)$$

Keterangan:

$\alpha_{A \rightarrow B}$ = Azimut garis A→B

X_A, Y_A = Koordinat titi A

X_B, Y_B = Koordinat titik B

Pada kwadran I : $\alpha = \alpha_{AB}$;

Pada kwadran II : $\alpha_{AB} = 180 + \alpha$;

Pada kwadran III : $\alpha_{AB} = 180^{\circ} + \alpha$

Pada kwadran IV : $\alpha_{AB} = 360^{\circ} + \alpha$

Tabel 4.1. Kedudukan dalam kwadran

Azimut ($\alpha_{A \rightarrow B}$)	K w a d r a n			
	I	II	III	IV
$\sin(\alpha_{A \rightarrow B})$	(+)	(+)	(-)	(-)
$\cos(\alpha_{A \rightarrow B})$	(+)	(-)	(-)	(+)
$\text{tg}(\alpha_{A \rightarrow B})$	(+)	(-)	(+)	(-)

Contoh 1.

Diketahui koordinat titik:

A : $X_A = 1000$ m; $Y_A = 1000$ m

B : $X_B = 2000$ m; $Y_B = 2000$ m

Ditanyakan Azimut A→B (α_{AB})

Penyelesaian:

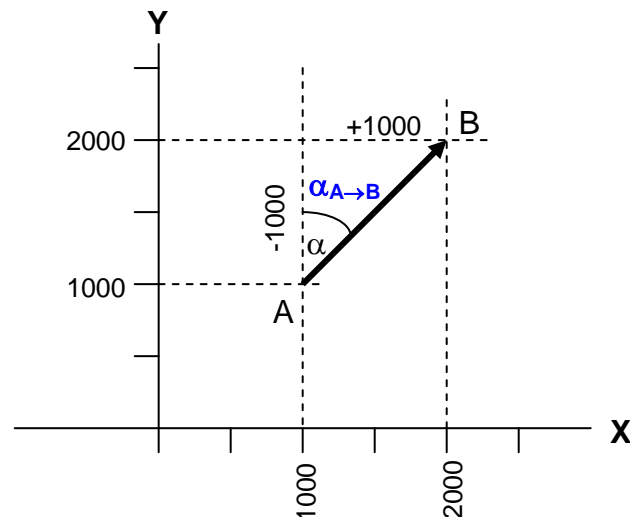
$$dx = X_B - X_A = 2000 - 1000 = 1000 \text{ m}$$

$$dy = Y_B - Y_A = 2000 - 1000 = 1000 \text{ m}$$

$$\text{tg}\alpha_{A \rightarrow B} = dx/dy = 1000/1000 = +1$$

$dx = +$ dan $dy = + \Rightarrow$ maka arah jurusan garis $A \rightarrow B$ ada di kwadran I

$$\alpha_i = 45^\circ \Rightarrow \alpha_{AB} = \alpha_i = 45^\circ$$



Gambar 4.2. Kedudukan garis $A \rightarrow B$ pada kwadran I

Keterangan: α = sudut hasil perhitungan

$$\alpha_{AB} = \text{Azimut garis } A \rightarrow B$$

$$\alpha = \alpha_{A \rightarrow B}$$

Contoh 2.

Diketahui koordinat titik:

$$A : X_A = 1000 \text{ m}; \quad Y_A = -1000 \text{ m}$$

$$B : X_B = 2000 \text{ m}; \quad Y_B = -2000 \text{ m}$$

Ditanyakan Azimut $A \rightarrow B$ (α_{AB})

Penyelesaian:

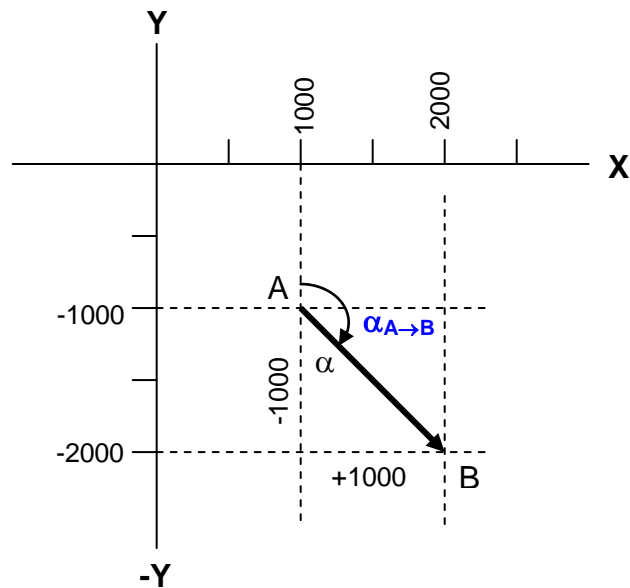
$$dx = X_B - X_A = 2000 - 1000 = 1000 \text{ m}$$

$$dy = Y_B - Y_A = -2000 - (-1000) = -1000 \text{ m}$$

$$\text{tg}\alpha_{A \rightarrow B} = dx/dy = 1000/-1000 = -1$$

$dx = +$ dan $dy = - \Rightarrow$ maka arah jurusan garis $A \rightarrow B$ ada di kwadran II

$$\alpha_i = -45^\circ \Rightarrow \alpha_{AB} = 180^\circ + \alpha_i = 180^\circ + (-45^\circ) = 135^\circ$$



Gambar 4.3. Kedudukan garis A→B pada kwadran II

Contoh 3.

Diketahui koordinat titik:

A : $X_A = -1000$ m; $Y_A = -1000$ m

B : $X_B = -2000$ m; $Y_B = -2000$ m

Ditanyakan Azimut A→B (α_{AB})

Penyelesaian:

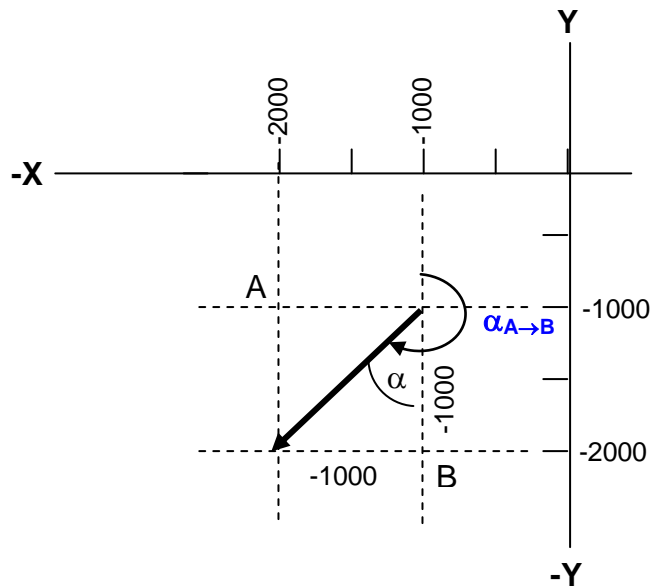
$$dx = X_B - X_A = -2000 - (-1000) = -1000 \text{ m}$$

$$dy = Y_B - Y_A = -2000 - (-1000) = -1000 \text{ m}$$

$$\text{tg} \alpha_{A \rightarrow B} = dx/dy = -1000/-1000 = +1$$

$dx = -$ dan $dy = - \Rightarrow$ maka arah jurusan garis A→B ada di kwadran III

$$\alpha_i = +45^\circ \Rightarrow \alpha_{AB} = 180^\circ + \alpha_i = 180^\circ + (+45^\circ) = 225^\circ$$



Gambar 4.4. Kedudukan garis A→B pada kwadran III

Contoh 4.

Diketahui koordinat titik:

A : $X_A = -1000$ m; $Y_A = +1000$ m

B : $X_B = -2000$ m; $Y_B = +2000$ m

Ditanyakan Azimut A→B (α_{AB})

Penyelesaian:

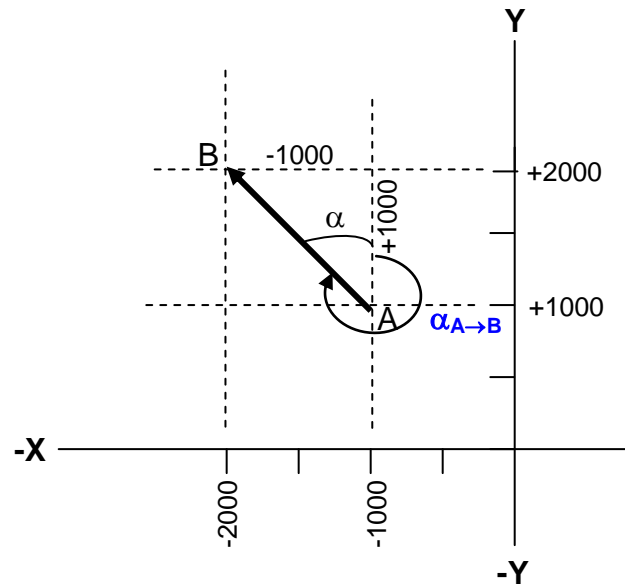
$$dx = X_B - X_A = -2000 - (-1000) = -1000 \text{ m}$$

$$dy = Y_B - Y_A = +2000 - (1000) = +1000 \text{ m}$$

$$\text{tg} \alpha_{A \rightarrow B} = dx/dy = -1000/+1000 = -1$$

$dx = -$ dan $dy = + \Rightarrow$ maka arah jurusan garis A→B ada di kwadran IV

$$\alpha_{;} = -45^\circ \Rightarrow \alpha_{AB} = 360^\circ + \alpha_{;} = 180^\circ + (-45^\circ) = 315^\circ$$



Gambar 4.5. Kedudukan garis $A \rightarrow B$ pada kwadran IV

b. Menghitung jarak

Menghitung jarak antara dua titik yang telah diketahui koordinatnya, berlaku rumus sebagai berikut:

- 1). $J = (X_n - X_{n-1})/\sin\alpha_{;n}$
- 2). $J = (Y_n - Y_{n-1})/\cos\alpha_{;n}$
- 3). $J = ((X_n - X_{n-1})^2 + (Y_n - Y_{n-1})^2)^{1/2}$

Keterangan:

n = Jumlah bilangan titik dari titik awal

Contoh 1.

Diketahui koordinat titik:

A : $X_A = 1000$ m; $Y_A = 1000$ m

B : $X_B = 2000$ m; $Y_B = 2000$ m

Ditanyakan jarak $A \rightarrow B$ ($j_{A \rightarrow B}$)

Penyelesaian:

$dx = X_B - X_A = 2000 - 1000 = 1000$ m

$dy = Y_B - Y_A = 2000 - 1000 = 1000$ m

$$\operatorname{tg} \alpha_{A \rightarrow B} = dx/dy = 1000/1000 = +1$$

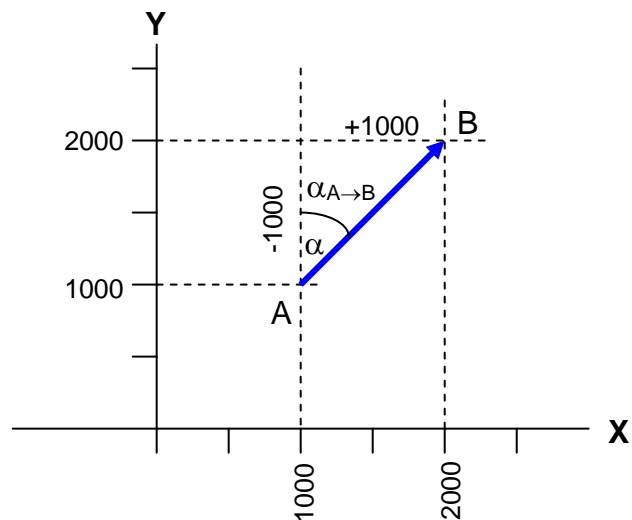
$dx = +$ dan $dy = + \Rightarrow$ maka arah jurusan garis $A \rightarrow B$ ada di kwadran I

$$\alpha_i = 45^\circ \Rightarrow \alpha_{A \rightarrow B} = \alpha_i = 45^\circ$$

$$1). J = dx/\sin \alpha_{A \rightarrow B} = 1000/\sin 45^\circ = 1414,213562 \text{ m}$$

$$2). J = dy/\cos \alpha_{A \rightarrow B} = 1000/\cos 45^\circ = 1414,213562 \text{ m}$$

$$3). J = ((X_B - X_A)^2 + (Y_B - Y_A)^2)^{1/2} \\ = ((2000 - 1000)^2 + (2000 - 1000)^2)^{1/2} = 1414,213562 \text{ m}$$



Gambar 4.6. perhitungan jarak $A \rightarrow B$ pada kwadran I

Contoh 2.

Diketahui koordinat titik:

$$A : X_A = 1000 \text{ m}; \quad Y_A = -1000 \text{ m}$$

$$B : X_B = 2000 \text{ m}; \quad Y_B = -2000 \text{ m}$$

Ditanyakan jarak $A \rightarrow B$ ($j_{A \rightarrow B}$)

Penyelesaian:

$$dx = X_B - X_A = 2000 - 1000 = 1000 \text{ m}$$

$$dy = Y_B - Y_A = -2000 - (-1000) = -1000 \text{ m}$$

$$\operatorname{tg} \alpha_{A \rightarrow B} = dx/dy = 1000/-1000 = -1$$

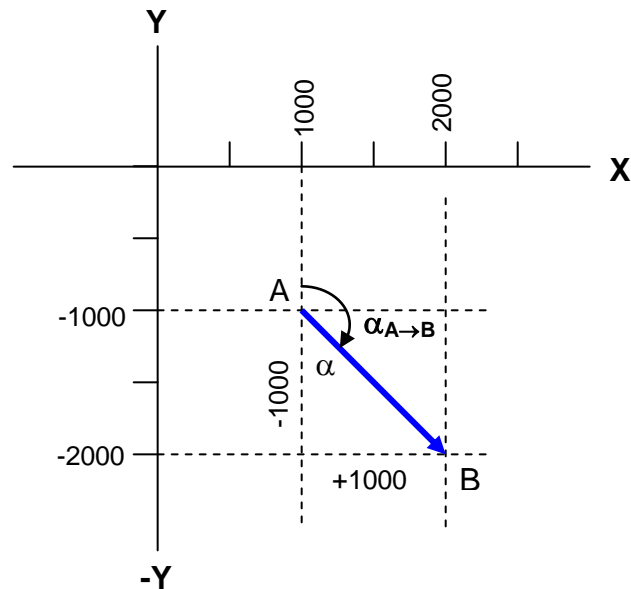
$dx = +$ dan $dy = - \Rightarrow$ maka arah jurusan garis $A \rightarrow B$ ada di kwadran II

$$\alpha_i = -45^\circ \Rightarrow \alpha_{A \rightarrow B} = 180^\circ + \alpha_i = 180^\circ + (-45^\circ) = 135^\circ$$

$$1). J = dx/\sin \alpha_{A \rightarrow B} = 1000/\sin 135^\circ = 1414,213562 \text{ m}$$

$$2). J = dy/\cos\alpha_{A\rightarrow B} = -1000/\cos 135^\circ = 1414,213562 \text{ m}$$

$$3). J = ((X_B - X_A)^2 + (Y_B - Y_A)^2)^{1/2} \\ = ((2000 - 1000)^2 + ((-2000 - (-1000))^2)^{1/2} = 1414,213562 \text{ m}$$



Gambar 4.7. Perhitungan jarak A→B pada kwadran II

Contoh 3.

Diketahui koordinat titik:

$$A : X_A = -1000 \text{ m}; Y_A = -1000 \text{ m}$$

$$B : X_B = -2000 \text{ m}; Y_B = -2000 \text{ m}$$

Ditanyakan jarak A→B ($j_{A\rightarrow B}$)

Penyelesaian:

$$dx = X_B - X_A = -2000 - (-1000) = -1000 \text{ m}$$

$$dy = Y_B - Y_A = -2000 - (-1000) = -1000 \text{ m}$$

$$\text{tg}\alpha_{A\rightarrow B} = dx/dy = -1000/-1000 = +1$$

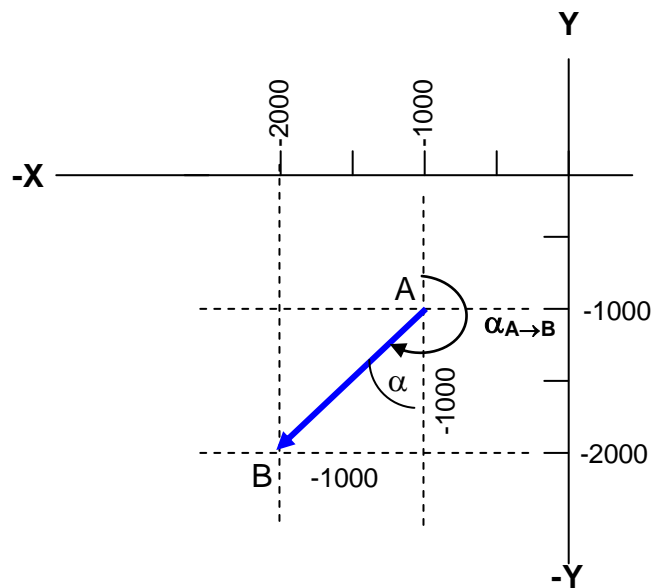
$dx = +$ dan $dy = - \Rightarrow$ maka arah jurusan garis A→B ada di kwadran III

$$\alpha; = + 45^\circ \Rightarrow \alpha_{A\rightarrow B} = 180^\circ + \alpha; = 180^\circ + 45^\circ = 225^\circ$$

$$1). J = dx/\sin\alpha_{A\rightarrow B} = -1000/\sin 225^\circ = 1414,213562 \text{ m}$$

$$2). J = dy/\cos\alpha_{A\rightarrow B} = -1000/\cos 225^\circ = 1414,213562 \text{ m}$$

$$3). J = ((-2000-(-1000))^2 + (-2000-(-1000))^2)^{1/2} = 1414,213562 \text{ m}$$



Gambar 4.8. Perhitungan jarak A→B pada kwadran III

Contoh 4.

Diketahui koordinat titik:

$$A : X_A = -1000 \text{ m}; Y_A = +1000 \text{ m}$$

$$B : X_B = -2000 \text{ m}; Y_B = +2000 \text{ m}$$

Ditanyakan jarak A→B ($j_{A \rightarrow B}$)

Penyelesaian:

$$dx = X_B - X_A = -2000 - (-1000) = -1000 \text{ m}$$

$$dy = Y_B - Y_A = +2000 - 1000 = +1000 \text{ m}$$

$$\text{tg} \alpha_{A \rightarrow B} = dx/dy = -1000/+1000 = -1$$

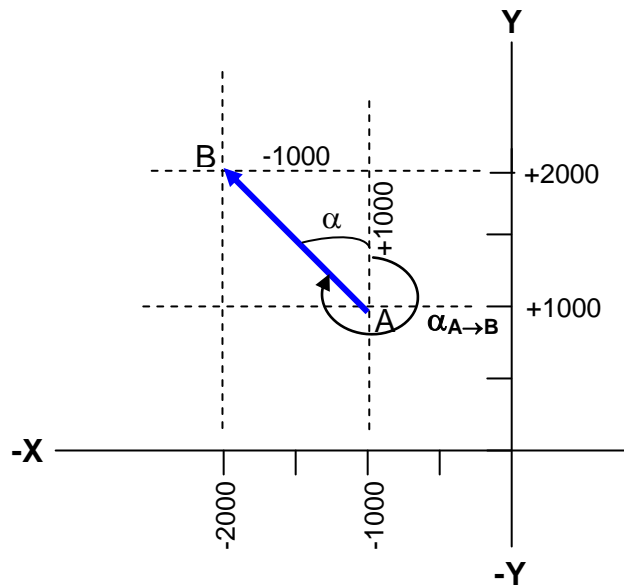
$dx = -$ dan $dy = + \Rightarrow$ maka arah jurusan garis A→B ada di kwadran IV

$$\alpha_i = -45^\circ \Rightarrow \alpha_{A \rightarrow B} = 360^\circ + \alpha_i = 360^\circ - 45^\circ = 315^\circ$$

$$1). J = dx/\sin \alpha_{A \rightarrow B} = -1000/\sin 315^\circ = 1414,213562 \text{ m}$$

$$2). J = dy/\cos \alpha_{A \rightarrow B} = +1000/\cos 315^\circ = 1414,213562 \text{ m}$$

$$3). J = ((-2000 - (-1000))^2 + (2000 - 1000)^2)^{1/2} = 1414,213562 \text{ m}$$

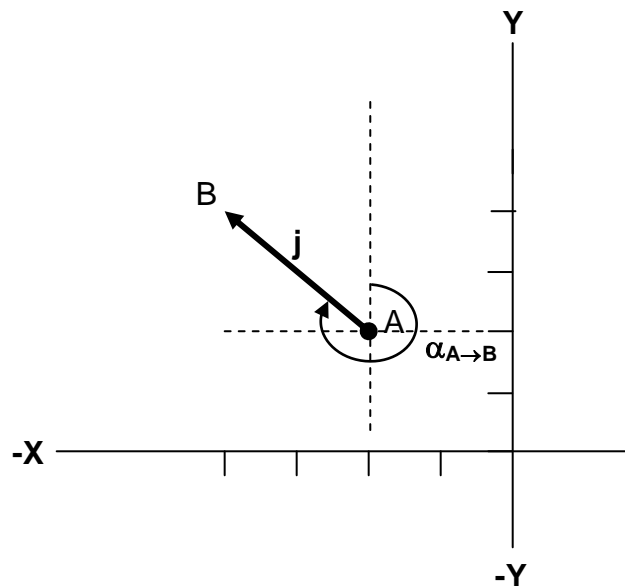


Gambar 4.9. Perhitungan jarak A→B pada kwadran IV

c. Menghitung koordinat titik.

Koordinat suatu titik dapat dihitung apabila titik tersebut :

- Diikatkan pada suatu titik yang diketahui koordinatnya
- Jarak antara dua titik diukur
- Azimut antara dua titik diketahui (lihat gambar 4.10)



Gambar 4.10. Gambar pengukuran titik A→B

Keterangan:

● — ● = Jarak garis A→B yang diukur

$\alpha_{A \rightarrow B}$ = Azimut garis A→B

A = Titik yang telah diketahui koordinatnya

B = Titik yang dihitung koordinatnya

Untuk menghitung koordinat titik B terhadap titik A, persamaannya adalah:

$$X_B = X_A + j_{A \rightarrow B} \times \sin \alpha_{A \rightarrow B}$$

$$Y_B = Y_A + j_{A \rightarrow B} \times \cos \alpha_{A \rightarrow B}$$

Contoh.

Diketahui koordinat titik A : $X_A = -100$ m; $Y_A = +100$ m

Jarak A→B ($j_{A \rightarrow B}$) = 150 m; $\alpha_{A \rightarrow B} = 315^\circ$

Ditanya koordinat titik B.

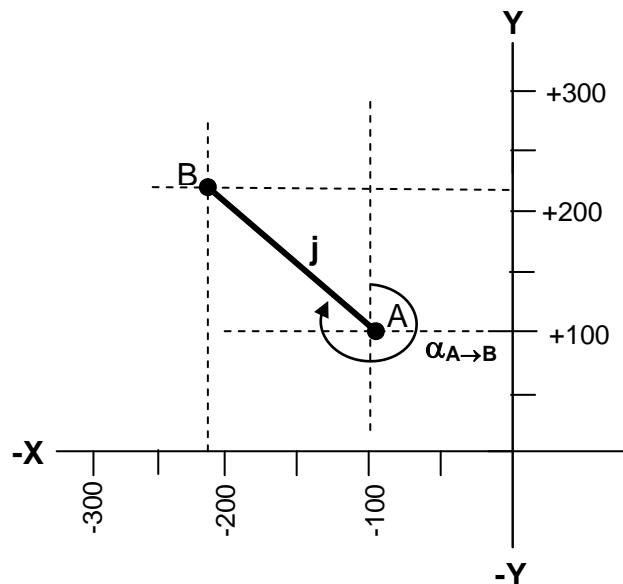
Penyelesaian:

$$X_B = X_A + j_{A \rightarrow B} \times \sin \alpha_{A \rightarrow B}$$

$$= -100 + 150 \times \sin 315^\circ = -206,066 \text{ m}$$

$$Y_B = Y_A + j_{A \rightarrow B} \times \cos \alpha_{A \rightarrow B}$$

$$= 100 + 150 \times \cos 315^\circ = 206,066 \text{ m}$$



Gambar 4.11. Gambar penentuan lokasi titik A dan B

V. PENGUKURAN POLYGOON

1. Tujuan dari pengukuran polygoon :

Menetapkan koordinat dari titik-titik sudut yang diukur.

Yang diukur adalah : a. Panjang sisi – sisi polygoon

b. Besar sudut titik-titik ukur polygon

c. Besar sudut miring titik-titik ukur polygon

2. Gunannya Pengukuran Polygoon adalah :

a. Untuk membuat kerangka peta dari pada peta

b. Pengukuran titik-titik tetap pada daerah tertentu

c. Pengukuran-pengukuran:

- lubang bukaan pada daerah pertambangan,
- jalan raya, jalan kereta api,
- saluran irigasi,
- terowongan, dll

3. Bentuk Pengukuran Polygoon

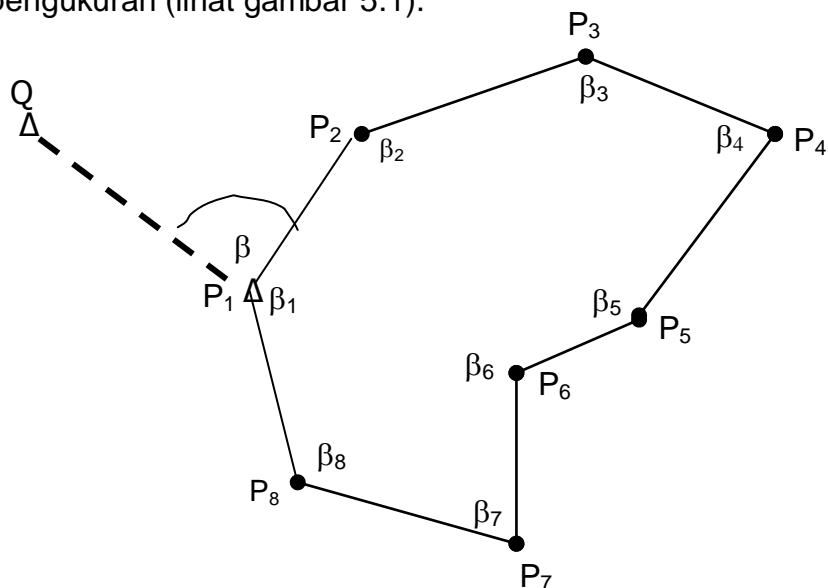
Bentuk pengukuran polygoon ada 2 macam :

3.1. Bentuk polygoon tertutup

3.2. Bentuk polygoon terbuka

3.1. Bentuk polygoon tertutup

Pada pengukuran polygoon tertutup, titik awal akan menjadi titik akhi pengukuran (lihat gambar 5.1).



Gambar 5.1. Bentuk pengukuran tertutup

Keterangan:

P_1 = Titik awal dan akhir pengukuran

$\beta_1 \rightarrow \beta_8$ = Sudut titik ukur poligon

• = Titik ukur poligon

$P_1 \text{ — } \rightarrow Q$ = Garis bidik azimuth awal

Δ = Titik triangulasi (diketahui koordinat dan ketinggiannya dari muka air laut

— = Garis ukur poligon

3.1. Bentuk polygon tertutup ada 2 bagian :

- 1). Bagian polygon tertutup tak terikat titik tetap
- 2). Bagian polygon tertutup terikat titik tetap

1). Bagian polygon tertutup tak terikat titik tetap

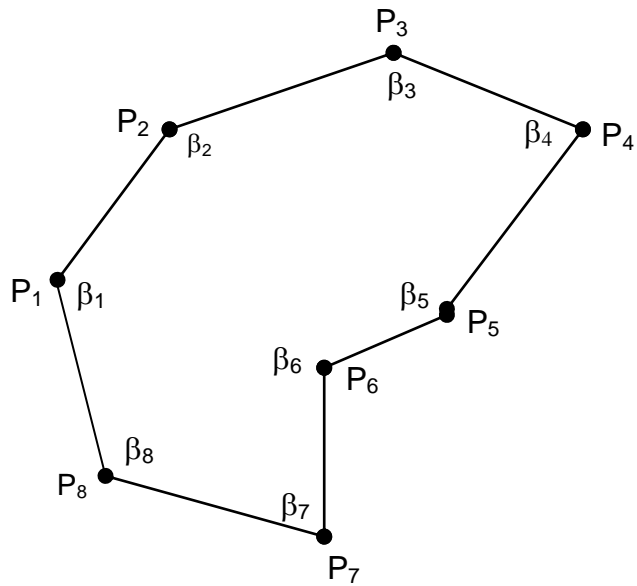
Pada pengukuran polygon tertutup tak terikat titik tetap, titik awal akan menjadi titik akhir pengukuran namun koordinat dan ketinggiannya setiap titik ukur dari permukaan air laut tidak bisa ditentukan (lihat gambar 5.2).

Dalam perhitungan dan penggambarannya tidak diperlukan perhitungan - perhitungan dan ketentuan yang berlaku dalam pembuatan peta, seperti :

- a. Tidak ditentukan bidang datumnya (elipsoide, geode)
- b. Tidak ditentukan bidang proyeksinya (Universe Transverse Mercator, kerucut)
- c. Tidak ditentukan sistim koordinatnya
- d. Tidak ditentukan utara bumi, utara grid dan utara magnet

Dalam penggambaran petanya cukup dilakukan:

- Skala peta ditentukan
- Jarak sisi-sisi polygon
- Besar sudut-sudut titik ukur poligon



Gambar 5.2. Pengukuran poligon tertutup tak terikat titik tetap

Keterangan:

P_1 = Titik awal dan akhir pengukuran

$\beta_1 \rightarrow \beta_8$ = Sudut titik ukur poligon

• = Titik ukur poligon

— = Garis ukur polygon

Yang diukur pada polygon tertutup tak terikat titik tetap adalah :

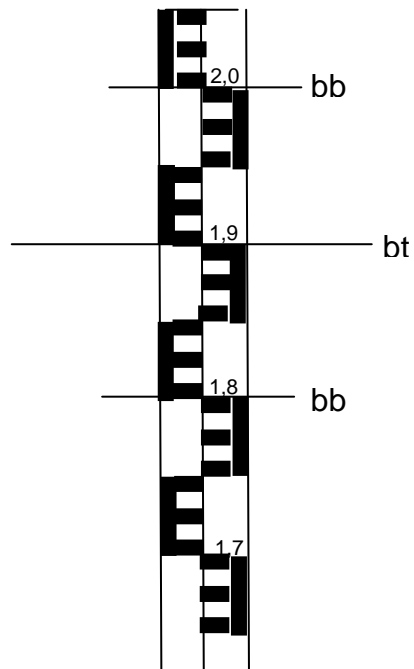
- Panjang sisi – sisi polygoon
- Besar sudut miring antar dua titik ukur
- Besar sudut titik-titik ukur polygoon

Dari hasil pengukuran yang dihitung adalah:

1. Perhitungan jarak

- Jarak optis dihitung dengan persamaan:

$$J_o = (b_a - b_b) \times 100$$



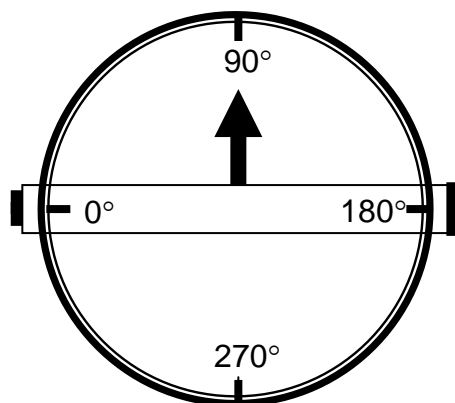
Gambar 5.5. Kedudukan benang diapragma pada bak ukur

$$J = (ba - bb) \times 100 = (2 - 1,8) \times 100 = 20 \text{ m}$$

2. Perhitungan sudut miring

- Sudut miring zenith.

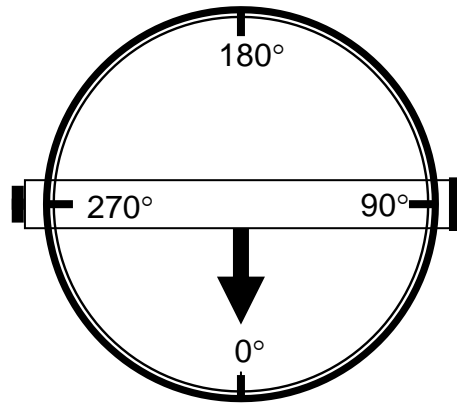
Sudut miring zenith dihitung dari bidang vertical 90



Gambar 5.6. Bagan lingkaran vertical/sudut miring zenit

- Sudut miring nadir.

Sudut miring nadir dihitung dari bidang vertical = 0°



Gambar 5.7. Bagan lingkaran vertical/sudut miring nadir

- Sudut miring nadir ke sudut miring zenit

Sudut miring nadir ke sudut miring zenith, persamaannya :^o

$$\alpha_Z = 90^\circ - \alpha_N$$

Keterangan: α_Z = sudut zenith; α_N = sudut nadir

90° = konstanta

- Sudut miring zenit ke sudut miring nadir

Sudut miring zenit ke sudut miring nadir, persamaannya :^o

$$\alpha_N = 90^\circ - \alpha_Z$$

3. Perhitungan jarak normal dan datar dengan sudut miring nadir:

- Jarak normal dapat dihitung dengan persamaan:

Pada rambu ukur: $j_n = (b_a - b_b) \times \cos\alpha$

Pada permukaan tanah : $j_n = (b_a - b_b) \times \cos\alpha \times 100$

- Jarak datar dihitung dengan persamaan:

$$j_d = j_n \times \cos\alpha = j_o \times (\cos\alpha)^2$$

4. Perhitungan jarak normal dan datar dengan sudut miring zenit:

- Jarak normal dapat dihitung dengan persamaan:

Pada rambu ukur: $j_n = (b_a - b_b) \times \sin\alpha$

Pada permukaan tanah : $j_n = (b_a - b_b) \times \sin\alpha \times 100$

- Jarak datar dihitung dengan persamaan:

$$j_d = j_n \times \sin\alpha = j_o \times (\sin\alpha)^2$$

Untuk mengetahui kebenaran/kesalahan hasil pengukuran beda tinggi, persamaannya sebagai berikut

1). Kalau benar $\Rightarrow h = H_{AKHIR} - H_{AWAL} = (\sum t+) + (\sum t-) = h_P = 0$

2). Kalau salah $\Rightarrow h_P \neq h \neq (\sum t+) + (\sum t-) \neq 0$

3). Kesalahan beda tinggi $\Rightarrow e = h_P - h$

$\sum t+$ = Jumlah beda tinggi positif

$\sum t-$ = Jumlah beda tinggi negatif

h = Hitungan beda tinggi antara titik awal dan akhir pengukuran

h_P = Perhitungan beda tinggi antara titik awal dan akhir pengukuran

e = Kesalahan beda tinggi antara titik awal dan akhir pengukuran

6. Perhitungan koreksi kesalahan beda tinggi

- $\sum t = (\sum t+) + (\sum t-) \Rightarrow$ (jumlah total)
- Koreksi kesalahan tiap m beda tinggi (k) = $e/\sum t$
- Koreksi beda tinggi tiap titik ukur (k') = $k \times t$
 t = beda tinggi antartitik ukur
- Beda tinggi antartitik ukur setelah dikoreksi (t') = $t + k'$

7. Menghitung ketinggian titik ukur terhadap ketinggian lokal

Ketinggian titik ukur terhadap titik permukaan air laut persamaannya

adalah: $H_n = H_{n-1} + t'_n$

Keterangan:

H_n = Ketinggian titik ukur yang dicari

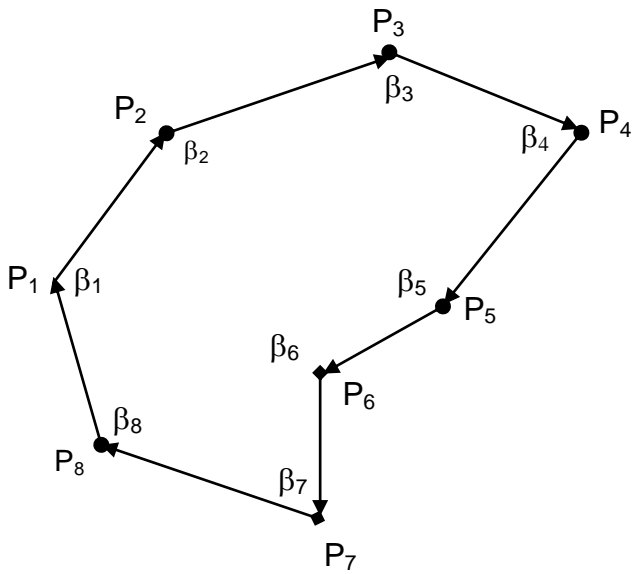
t'_n = Beda tinggi antar titik ukur

H_{n-1} = Titik ukur yang telah ditentukan harga ketinggiannya dari permukaan air laut

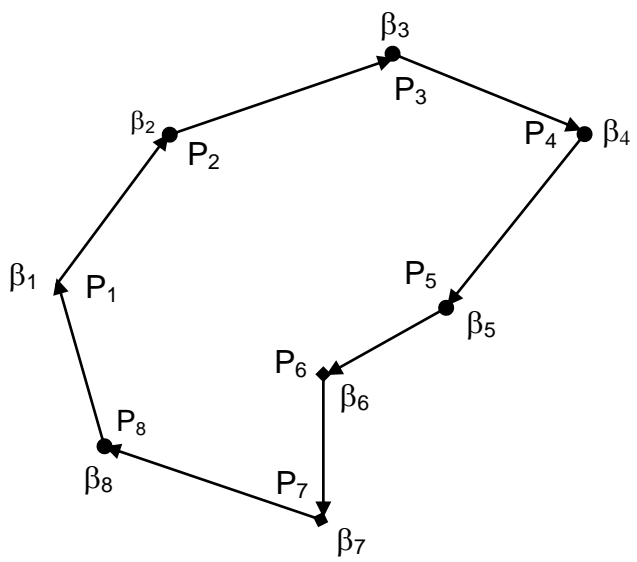
8. Perhitungan sudut horizontal

Untuk mengetahui kebenaran hasil pengukuran sudut horizontal persamaannya sebagai berikut:

- Sudut dalam $\Rightarrow \sum \beta = (n - 2) \times 180^\circ$
- Sudut luar $\Rightarrow \sum \beta = (n + 2) \times 180^\circ$



Gambar 5.10. Penentuan sudut dalam pada poligon tertutup tak terikat titik tetap



Gambar 5.11. Penentuan sudut luar pada poligon tertutup tak terikat titik tetap

Keterangan:

$\sum\beta$ = Jumlah sudut dalam/luar titik ukur polygon

n = Jumlah titik ukur polygon

2 = Konstanta

180° = Konstanta

◄→ = Jalannya jalur ukuran

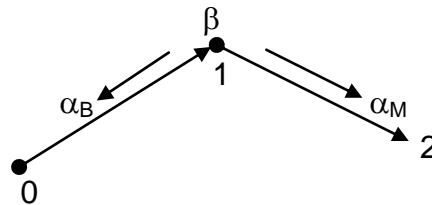
9. Menghitung besar sudut tiap titik ukur

Perhitungan besar sudut horizontal pada setiap titik ukur dapat dilakukan dengan cara sebagai berikut:

- **Perhitungan sudut disebelah kiri jalur ukuran**

Sudut disebelah kiri jalur persamaannya adalah:

$$\beta = \alpha_M - \alpha_B$$



Gambar 5.12. Kedudukan sudut di kiri jalur ukuran

Keterangan:

β = Besar sudut tiap titik ukur

α_M = Pembacaan sudut jurusan ke depan

α_B = Pembacaan sudut jurusan ke belakang

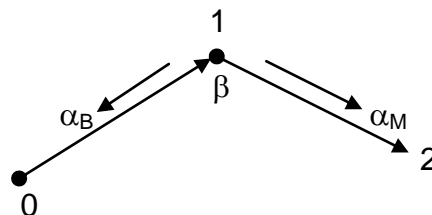
●→ = Arah jalur ukuran

→ = Arah pembacaan sudut jurusan

- **Perhitungan sudut disebelah kanan jalur ukuran**

Sudut disebelah kanan jalur persamaannya adalah:

$$\beta = \alpha_B - \alpha_M$$



Gambar 5.13. Kedudukan sudut di kanan jalur ukuran

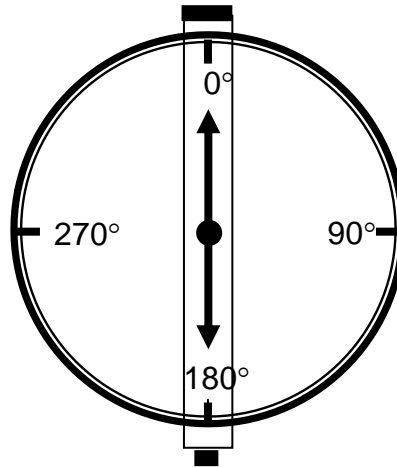
Keterangan:

β = Besar sudut tiap titik ukur

α_M = Pembacaan sudut jurusan ke depan

α_B = Pembacaan sudut jurusan ke belakang

- → = Arah jalur ukuran
- = Arah pembacaan sudut jurusan



Gambar 5.14. Bagan lingkaran sudut horisontal

Catatan:

- Kedudukan lingkaran horizontal tidak bergerak
- Kedudukan teropong dapat bergerak ke posisi titik bidik

Contoh.

Dari data hasil pengukuran polygon tertutup tak terikat titik tetap pada tabel 5.1. di bawah ini akan dihitung :

1. Perhitungan jarak

- Jarak optis dihitung dengan persamaan:

$$J_o = (b_a - b_b) \times 100$$

$$J_{o_1} = (1,800 - 1,200) \times 100 = 60 \text{ m}$$

$$J_{o_2} = (2,400 - 1,400) \times 100 = 100 \text{ m}$$

$$J_{o_3} = (1,700 - 0,500) \times 100 = 120 \text{ m}$$

$$J_{o_4} = (1,200 - 0,400) \times 100 = 80 \text{ m}$$

$$J_{o_5} = (2,020 - 0,380) \times 100 = 164 \text{ m}$$

- Jarak datar dihitung dengan persamaan:

$$J_d = J_o \times (\sin \alpha)^2$$

$$J_{d_1} = J_{o_1} \times (\sin \alpha)^2 = 60 \times (\sin 97^\circ 30')^2 = 58,98 \text{ m}$$

$$J_{d_2} = J_{o_2} \times (\sin \alpha)^2 = 100 \times (\sin 93^\circ)^2 = 99,73 \text{ m}$$

$$Jd_3 = Jo_3 \times (\sin\alpha)^2 = 120 \times (\sin 85^\circ)^2 = 119,09 \text{ m}$$

$$Jd_4 = Jo_4 \times (\sin\alpha)^2 = 80 \times (\sin 84^\circ)^2 = 79,12 \text{ m}$$

$$Jd_5 = Jo_5 \times (\sin\alpha)^2 = 164 \times (\sin 92^\circ)^2 = 163,80 \text{ m}$$

2. Perhitungan beda tinggi antar titik ukur

Beda tinggi antartitik ukur dihitung dengan persamaan:

$$t = Jo \times \sin\alpha \times \cos\alpha$$

$$t_1 = Jo_1 \times \sin\alpha \times \cos\alpha = 60 \times \sin 97^\circ 30' \times \cos 97^\circ 30' = -7,764 \text{ m}$$

$$t_2 = Jo_2 \times \sin\alpha \times \cos\alpha = 100 \times \sin 93^\circ \times \cos 93^\circ = -5,226 \text{ m}$$

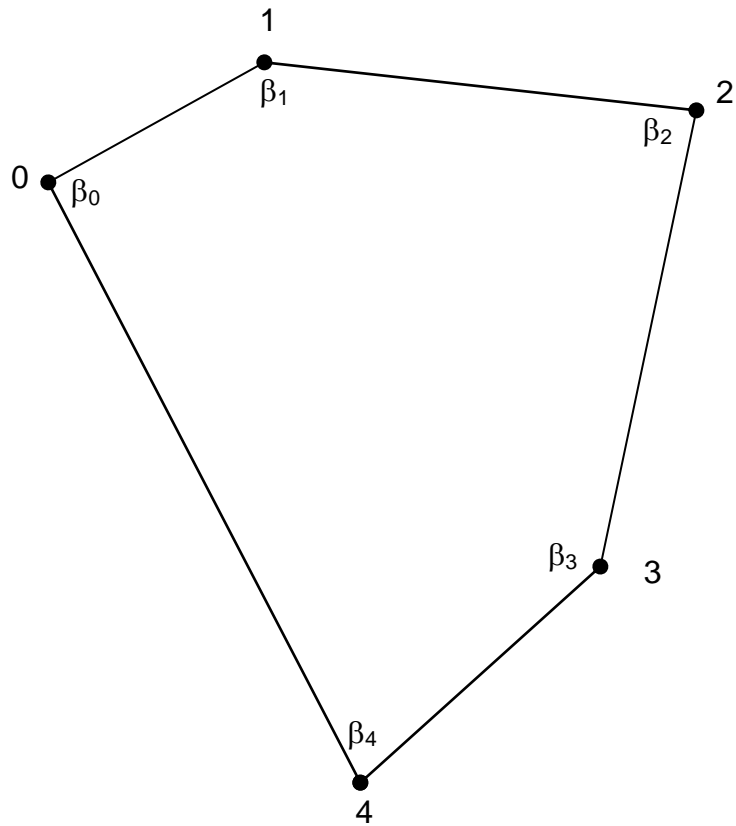
$$t_3 = Jo_3 \times \sin\alpha \times \cos\alpha = 120 \times \sin 85^\circ \times \cos 85^\circ = 10,418 \text{ m}$$

$$t_4 = Jo_4 \times \sin\alpha \times \cos\alpha = 80 \times \sin 84^\circ \times \cos 84^\circ = 8,316 \text{ m}$$

$$t_5 = Jo_5 \times \sin\alpha \times \cos\alpha = 164 \times \sin 92^\circ \times \cos 92^\circ = -5,720 \text{ m}$$

Tabel 5.1. Catatan data hasil pengukuran polygon tertutup tak terikat titik tetap

No. orang	No. Tinjau Berdiri	Pembacaan benang				Sudut	Jarak		Sudut miring	Selisih tinggi		Koreksi (-)	Tinggi atas laut
		Tengah belakang	Tengah muka	Atas	Bawah		Optis	Datar		+	-		
	0											800,000	
	0	A			350°								
	0	1	1,500	1,800	1,200	80°			97°30'				
	1	0	1,700	2,000	1,400	230°			82°30'				
	1	2		1,700	1,400	95°			93°'				
	2	1	1,100	1,600	0,600	150°			87°				
	2	3		1,100	0,500	55°			85°				
	3	2	0,800	1,400	0,200	20°			95°				
	3	4		0,800	0,400	250°			84°				
	4	3	1,200	1,600	0,800	40°48'			96°				
	4	0		1,200	0,380	320°			92°				
	0	4	1,500	2,400	0,760	260°2'			88°				
	0	1		1,580	1,280	160°48'			97°30'				



Gambar 5.15. Sket lapangan polygon tertutup tak terikat titik tetap

3. Perhitungan koreksi kesalahan beda tinggi

Dari hasil perhitungan beda tinggi pada tabel 5.1, diketahui:

$$(\sum t_+) = 10,418 + 8,316 = 18,734 \text{ m}$$

$$(\sum t_-) = 7,764 + 5,20 = 18,710 \text{ m}$$

Karena polygon tertutup maka : $h = h_p = 0$

$$\text{Dari hasil pengukuran } h_p = (\sum t_+) - (\sum t_-) = 18,734 - 18,710 = +0,024 \text{ m}$$

$$\text{Kesalahan (e)} = h_p - h = 0,024 - 0 = 0,024 \text{ m}$$

$$\text{Koreksi kesalahan (e)} = - 0,024 \text{ m}$$

$$\sum t = 18,734 + 18,710 = 37,444 \text{ m (jumlah total).}$$

$$\text{Koreksi kesalahan tiap m beda tinggi (k)} = - e / \sum t$$

$$k = - e / \sum t = - 0,024 / 37,444 = - 0,00064 \text{ m}$$

$$\text{Koreksi beda tinggi tiap titik ukur (k')} = k \times t$$

t = beda tinggi antartitik ukur

Koreksi tinggi pada tiap patok titik ukur:

$$0 \Rightarrow (k'_0) = t_0 \times k = 7,764 \times -0,00064 = -0,005 \text{ m}$$

$$1 \Rightarrow (k'_1) = t_1 \times k = 5,226 \times -0,00064 = -0,003 \text{ m}$$

$$2 \Rightarrow (k'_2) = t_2 \times k = 10,418 \times -0,00064 = -0,007 \text{ m}$$

$$3 \Rightarrow (k'_3) = t_3 \times k = 8,316 \times -0,00064 = -0,005 \text{ m}$$

$$4 \Rightarrow (k'_4) = t_4 \times k = 5,720 \times -0,00064 = -0,004 \text{ m}$$

4. Perhitungan beda tinggi setelah dikoreksi

Beda tinggi antartitik ukur setelah dikoreksi (t') = $t + k'$

$$t'_0 = t_0 + k'_0 = -7,764 - 0,005 = -7,769 \text{ m}$$

$$t'_1 = t_1 + k'_1 = -5,226 - 0,003 = -5,229 \text{ m}$$

$$t'_2 = t_2 + k'_2 = 10,418 - 0,007 = 10,411 \text{ m}$$

$$t'_3 = t_3 + k'_3 = 8,316 - 0,005 = 8,311 \text{ m}$$

$$t'_4 = t_4 + k'_4 = -5,720 - 0,004 = -5,724 \text{ m}$$

$$h_P = t'_0 + t'_1 + t'_2 + t'_3 + t'_4$$

$$= -7,769 - 5,229 + 10,411 + 8,311 - 5,724 = 0,000 \text{ m}$$

$h = h_P$ (hasil hitungan dan perhitungan sama)

7. Perhitungan ketinggian local

Untuk mempermudah dalam pembuatan peta penampang topografi, sebaiknya pada pengukuran polygon tertutup tak terikat titik tetap ini, ditentukan harga ketinggian local titik awal pengukuran dengan harga minimum dan bulat.

Ditentukan harga ketinggian local titik 0 (H_0) = 800,000 m.

Ketinggian titik ukur terhadap ketinggian local persamaannya adalah:

$$H_n = H_{n-1} + t'_n$$

Keterangan:

H_n = Ketinggian titik ukur yang dicari

t'_n = Beda tinggi antar titik ukur

H_{n-1} = Titik ukur yang telah ditentukan harga ketinggian lokalnya.

Perhitungan ketinggian local untuk titik-titik ukur:

$$\text{Titik 1} \Rightarrow H_1 = H_0 + t'_0 = 800,000 - 7,769 = 792,231 \text{ m}$$

$$\text{Titik 2} \Rightarrow H_2 = H_1 + t'_1 = 792,231 - 5,229 = 787,002 \text{ m}$$

$$\text{Titik 3} \Rightarrow H_3 = H_2 + t'_2 = 787,002 + 10,411 = 797,413 \text{ m}$$

$$\text{Titik 4} \Rightarrow H_4 = H_3 + t'_3 = 797,413 + 8,311 = 805,724 \text{ m}$$

$$\text{Titik 0} \Rightarrow H_0 = H_4 + t'_4 = 805,724 - 5,724 = 800,000 \text{ m}$$

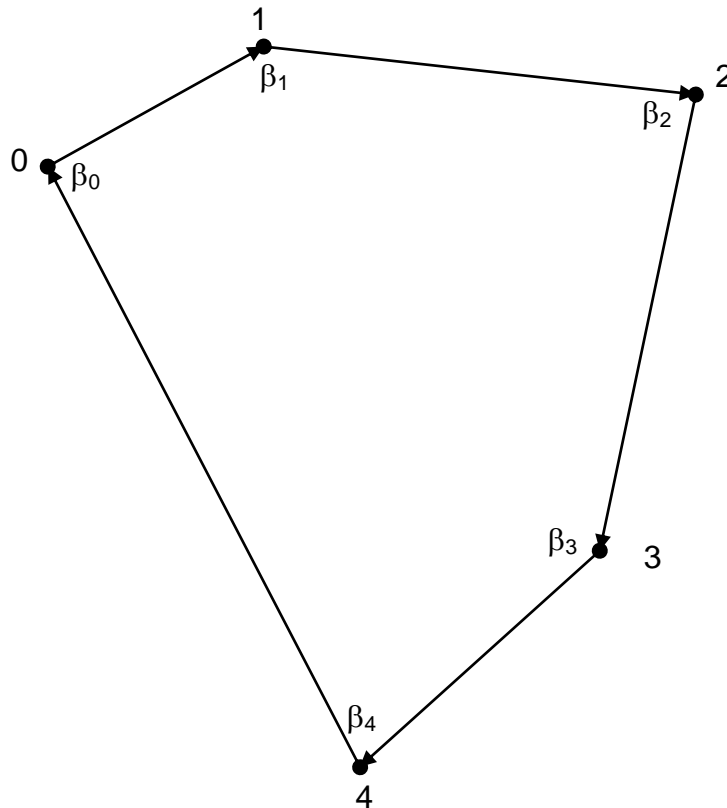
Cara pengisian jarak optis, jarak datar, beda tinggi dan ketinggian lokal pada blanko ukur lihat pada tabel 5.2.

Tabel 5.2. Catatan data hasil pengukuran polygon tertutup tak terikat titik tetap

No. natokk	Pembacaan benang				Sudut	Jarak		Sudut miring	Selisih tinggi		Koreksi (-)	Ketinggian lokall
	Tengah belakang	Tengah muka	Atas	Bawah		Optis	Datar		+	-		
0												800,000
0	A				350°							
0	1	1,500	1,800	1,200	80°	60	58,98	97°30'	7,764	0,005	792,231	
1	0	1,700	2,000	1,400	230°	60		82°30'				
1	2		1,700	1,400	95°	100	99,73	93°	5,226	0,003	787,002	
2	1	1,100	1,600	0,600	150°	100		87°				
2	3		1,100	0,500	55°	120	119,09	85°	10,418	0,007	797,413	
3	2	0,800	1,400	0,200	20°	120		95°				
3	4		0,800	0,400	250°	80	79,12	84°	8,316	0,005	805,724	
4	3	1,200	1,600	0,800	40°48'	80		96°				
4	0		1,200	0,380	320°	164	163,80	92°	5,720	0,004	800,000	
0	4	1,500	2,400	0,760	260°2'	164		88°				
0	1		1,580	1,280	160°48'	60		97°30'				

8. Perhitungan sudut horisontal

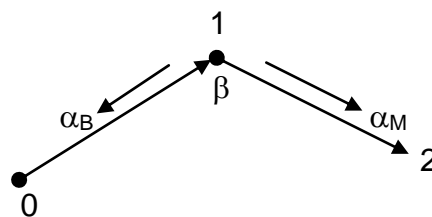
Pada gambar 5.16, akan dihitung besarnya sudut horizontal dari masing-masing titik ukur:



Gambar 5.16. Sket sudut dalam pada polygon tertutup tak terikat titik tetap

- Perhitungan sudut di sebelah kanan jalur ukuran dengan persamaan:

$$\beta = \alpha_B - \alpha_M$$



Gambar 5.17. Kedudukan sudut di kanan jalur ukuran

Keterangan:

β = Besar sudut tiap titik ukur

α_M = Pembacaan sudut jurusan ke depan

α_B = Pembacaan sudut jurusan ke belakang

●→ = Arah jalur ukuran

→ = Arah pembacaan sudut jurusan

Pada gambar 5.16, sudut dalam ada di sebelah kanan jalur ukuran, maka besarnya sudut sudut tersebut adalah :

$$\beta_1 = \alpha_{B1} - \alpha_{M1} = 230^\circ - 95^\circ = 135^\circ$$

$$\beta_2 = \alpha_{B2} - \alpha_{M2} = 150^\circ - 55^\circ = 95^\circ$$

$$\begin{aligned}\beta_3 &= \alpha_{B3} - \alpha_{M3} = 20^\circ - 250^\circ = -230^\circ \\ &= -230^\circ + 360^\circ = 130^\circ\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\beta_4 &= \alpha_{B4} - \alpha_{M4} = 40^\circ 48' - 320^\circ = -279^\circ 12' \\ &= -279^\circ 12' + 360^\circ = 80^\circ 48'\end{aligned}$$

$$\beta_0 = \alpha_{B0} - \alpha_{M0} = 260^\circ 02' - 160^\circ 48' = 99^\circ 14'$$

Catatan: Apabila besar $\beta < 0$, maka β harus ditambah 360°

• Perhitungan koreksi sudut

➤ Koreksi kesalahan sudut tiap $1^\circ(k)$ dihitung dengan persamaan:

$$k = e/\Sigma\beta$$

➤ Koreksi kesalahan sudut tiap titik ukur (k') dihitung dengan persamaan: $k' = \beta \pm k \times \beta$

Keterangan:

k = koreksi sudut tiap 1°

e = kesalahan sudut

$\Sigma\beta$ = jumlah total sudut

β = besar sudut tiap titik ukur

Jumlah sudut hasil pengukuran:

$$\begin{aligned}\Sigma\beta &= \beta_1 + \beta_2 + \beta_3 + \beta_4 + \beta_0 \\ &= 135^\circ + 95^\circ + 130^\circ + 80^\circ 48' + 99^\circ 14' = 540^\circ 02' = h_p\end{aligned}$$

Jumlah sudut hasil hitungan:

$$h = (n - 2) \times 180^\circ = (5 - 2) \times 180^\circ = 540^\circ$$

Kesalahan sudut hasil pengukuran:

$$e = h_p - h = 540^\circ 02' - 540^\circ = 0^\circ 2'$$

Koreksi kesalahan e = $-0^\circ 2'$

➤ Koreksi kesalahan sudut tiap $1^\circ(k)$ dihitung dengan persamaan:

$$k = e/\Sigma\beta = -0^\circ 2'/540^\circ 02' = 0,22221''$$

- Koreksi kesalahan sudut tiap titik ukur (k') dihitung dengan persamaan: $k' = k \times \beta$

$$k'_1 = \beta_1 \times k_1 = 135^\circ \times 0,22221'' = - 0^\circ 0' 30''$$

$$k'_2 = \beta_2 \times k_2 = 95^\circ \times 0,22221'' = - 0^\circ 0' 21''$$

$$k'_3 = \beta_3 \times k_3 = 130^\circ \times 0,22221'' = - 0^\circ 0' 29''$$

$$k'_4 = \beta_4 \times k_4 = 80^\circ 48' \times 0,22221'' = - 0^\circ 0' 18''$$

$$k'_0 = \beta_0 \times k_0 = 99^\circ 14' \times 0,22221'' = - 0^\circ 0' 22''$$

9. Perhitungan sudut horizontal setelah dikoreksi

- Perhitungan besar sudut setelah dikoreksi persamaannya adalah:

$$\beta_k = \beta + k'$$

$$\beta_{k1} = \beta_1 + k'_1 = 135^\circ - 0^\circ 0' 30'' = 134^\circ 59' 30''$$

$$\beta_{k2} = \beta_2 + k'_2 = 95^\circ - 0^\circ 0' 21'' = 94^\circ 59' 39''$$

$$\beta_{k3} = \beta_3 + k'_3 = 130^\circ - 0^\circ 0' 29'' = 129^\circ 59' 31''$$

$$\beta_{k4} = \beta_4 + k'_4 = 80^\circ 48' - 0^\circ 0' 18'' = 80^\circ 47' 42''$$

$$\beta_{k0} = \beta_0 + k'_0 = 99^\circ 14' - 0^\circ 0' 22'' = 99^\circ 13' 38''$$

- Perhitungan jumlah sudut hasil pengukuran setelah dikoreksi persamaannya adalah: $\sum \beta_k = (n - 2) \times 180^\circ$

$$\sum \beta_k = \beta_{k1} + \beta_{k2} + \beta_{k3} + \beta_{k4} + \beta_{k0}$$

$$= 134^\circ 59' 30'' + 94^\circ 59' 39'' + 129^\circ 59' 31'' + 80^\circ 47' 42''$$

$$+ 99^\circ 13' 38'' = 540^\circ$$

Dalam perhitungan sudut pada polygon tertutup, biasanya yang dihitung sudut dalam, karena jumlah sudutnya lebih kecil dari jumlah sudut luar, dan juga memudahkan pengontrolan bentuk gambar dengan bentuk daerah pengukuran. Dari hasil pengukuran polygon tertutup tak terikat titik tetap di atas perlu diulang atau tidak dapat dikontrol dengan toleransi seperti di bawah ini:

- Toleransi kesalahan beda tinggi persamaannya:

$$v = [\{ 0,3 \times (L/100)^{1/2} \}^2 + 4,5]^{1/2}$$

Dari hasil pengukuran kesalahan beda tinggi (e) = 0,024 m

$$\sum j = 58,98 + 99,73 + 119,09 + 79,12 + 163,80 = 520,72 \text{ m}$$

$$v = [\{ 0,3 \times (L/100)^{1/2} \}^2 + 4,5]^{1/2}$$

$$= [\{ 0,3 \times (520,72/100)^{1/2} \}^2 + 4,5]^{1/2} = 2,229 \text{ m}$$

$e < v \Rightarrow$ maka pengukuran tidak perlu diulang.

- Toleransi kesalahan sudut, persamaannya:

$$v = 1,5' (n)^{1/2}$$

Dari hasil pengukuran kesalahan sudut horizontal (e) = 2'

Jumlah titik ukur = 5 buah titik

$$v = 1,5' (n)^{1/2} = 1,5' (5)^{1/2} = 3,354$$

$e < v \Rightarrow$ maka pengukuran tidak perlu diulang.

Keterangan:

1,5' = konstanta

n = jumlah titik sudut ukur

0,3; 100; 4,5 = konstanta

L = jarak datar

***Rumus tersebut diambil dari: Foutengrenzen, Topografische Diens Batavia
Hendruk, 1949***

Catatan: Apabila perhitungan sudut dalam telah dikoreksi, maka koreksi perhitungan sudut luar tidak diperlukan, demikian juga sebaliknya untuk sudut dalam.

Persamaan perhitungan sudut luar pada tiap titik ukur adalah: $\beta_L = 360^\circ - \beta_D$

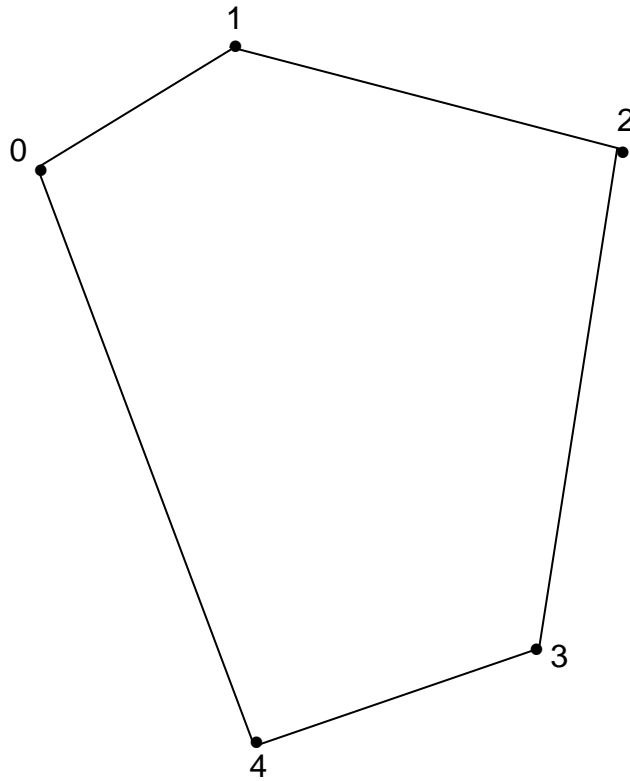
Persamaan perhitungan sudut dalam pada tiap titik ukur adalah: $\beta_D = 360^\circ - \beta_L$

Keterangan:

β_L = besar sudut luar

360° = konstanta

β_D = besar sudut dalam



Skala 1: 2000

Gambar 5.18. Peta poligon tak terikat titik tetap

2). Bagian polygon tertutup terikat titik tetap

Pada pengukuran polygoon tertutup terikat titik tetap, titik awal akan menjadi titik akhir pengukuran.

Koordinat dan ketinggian setiap titik ukur dari permukaan air laut bisa ditentukan (lihat gambar 5.18).

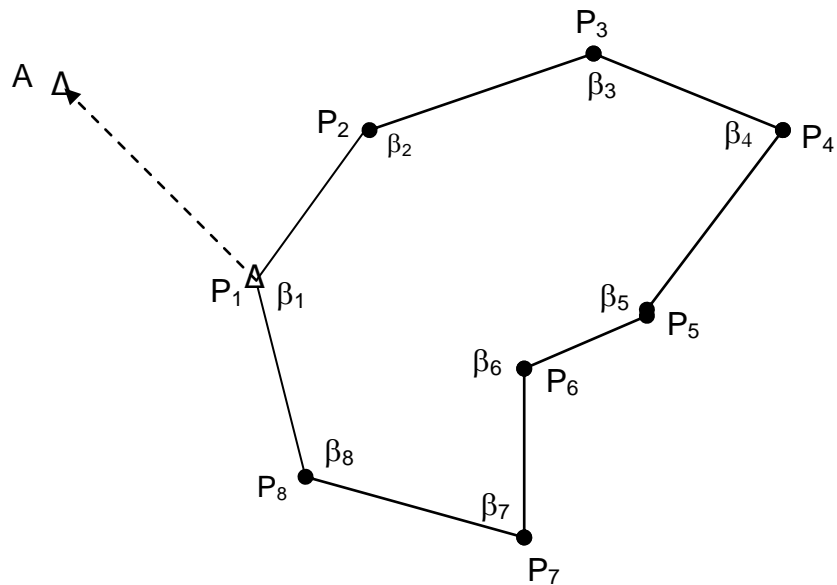
Dalam perhitungan dan penggambarannya diperlukan perhitungan - perhitungan dan ketentuan yang berlaku dalam pembuatan peta, seperti :

- a. Ditentukan bidang datumnya (elipsoide, geode)
- b. Ditentukan bidang proyeksinya (Universe Transverse Mercator, Kerucut)
- c. Ditentukan sistim koordinatnya
- d. Ditentukan azimuth garis polygon
- e. Ditentukan azimuth garis utara bumi, magnit, grid dan deklinasi magnit
- f. Ditentukan skala peta

Dalam penggambaran petanya dilakukan dengan cara:

1. Titik ukur polygon diplot dengan sistim koordinat

2. Digambar berdasarkan jarak dan azimuth (kurang teliti).



Gambar 5.19. Pengukuran poligon tertutup terikat titik tetap

Keterangan:

P_1 = Titik awal dan akhir pengukuran

$\beta_1 \rightarrow \beta_8$ = Sudut titik ukur poligon

• = Titik ukur poligon

— = Garis ukur polygon

Δ = Titik triangulasi

Yang diukur pada polygon tertutup terikat titik tetap adalah :

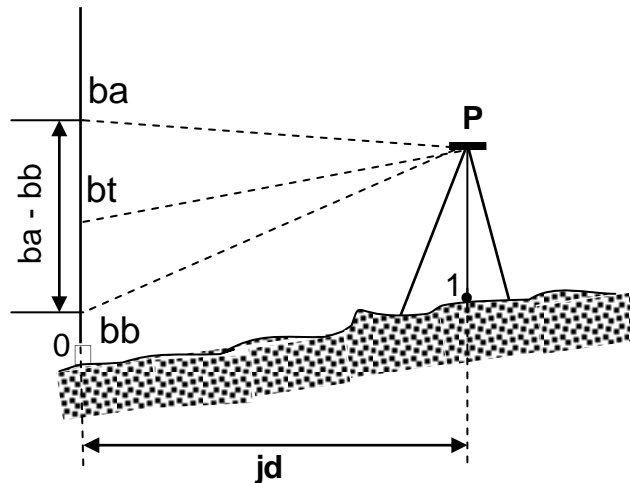
- Azimut garis pengikatan pengukuran
- Panjang sisi – sisi polygon
- Besar sudut miring antar dua titik ukur
- Besar sudut titik-titik ukur polygon

Dari hasil pengukuran yang dihitung adalah:

1. Perhitungan jarak

- Jarak optis dihitung dengan persamaan:

$$J_o = (b_a - b_b) \times 100$$



Gambar 5.20. Pembacaan benang jarak pada bak ukur

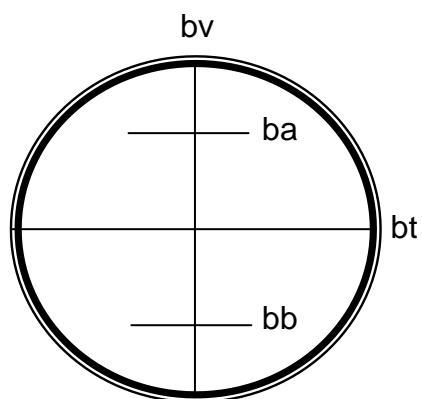
Keterangan:

ba = benang atas; bb = benang bawah;

bt = benang tengah 100 = konstanta

jd = jarak datar (akan dibahas lebih lanjut)

ba – bb = jarak optis pada rambu ukur



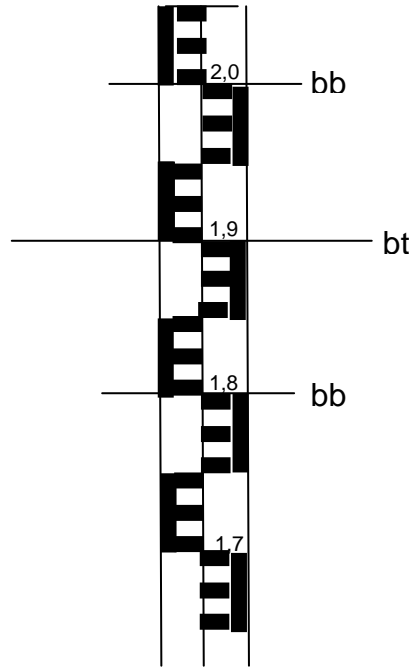
Gambar 5.21. Gambar benang diaphragma dalam teropong

Keterangan :

ba, bb = benang jarak (untuk menentukan jarak)

bt = benang tengah horizontal (untuk menentukan garis bidik beda tinggi)

bv = benang tengah vertical (untuk menentukan garis bidik sudut horizontal)



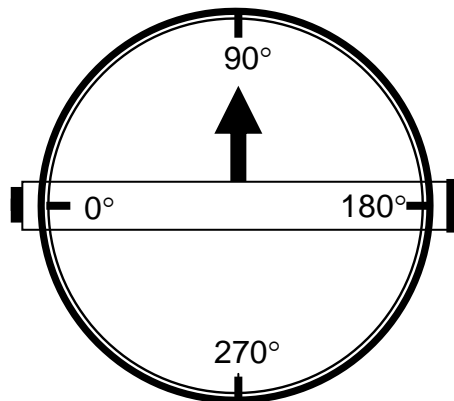
Gambar 5.22. Kedudukan benang diapragma pada bak ukur

$$J = (ba - bb) \times 100 = (2 - 1,8) \times 100 = 20 \text{ m}$$

2. Perhitungan sudut miring

- Sudut miring zenith.

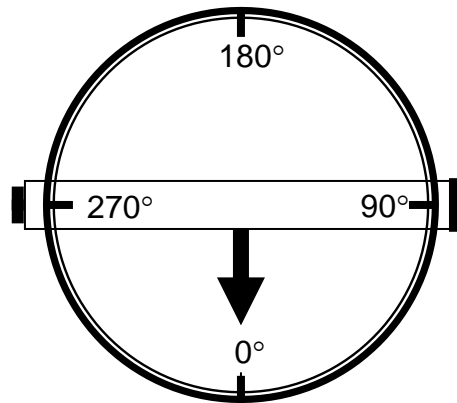
Sudut miring zenith dihitung dari bidang vertical 90



Gambar 5.23. Bagan lingkaran vertical/sudut miring zenith

- Sudut miring nadir.

Sudut miring nadir dihitung dari bidang vertical = 0°



Gambar 5.24. Bagan lingkaran vertical/sudut miring nadir

- Sudut miring nadir ke sudut miring zenit
Sudut miring nadir ke sudut miring zenith, persamaannya :^o

$$\alpha_Z = 90^\circ - \alpha_N$$

Keterangan: α_Z = sudut zenith; α_N = sudut nadir

$$90^\circ = \text{konstanta}$$

- Sudut miring zenit ke sudut miring nadir
Sudut miring zenit ke sudut miring nadir, persamaannya :^o

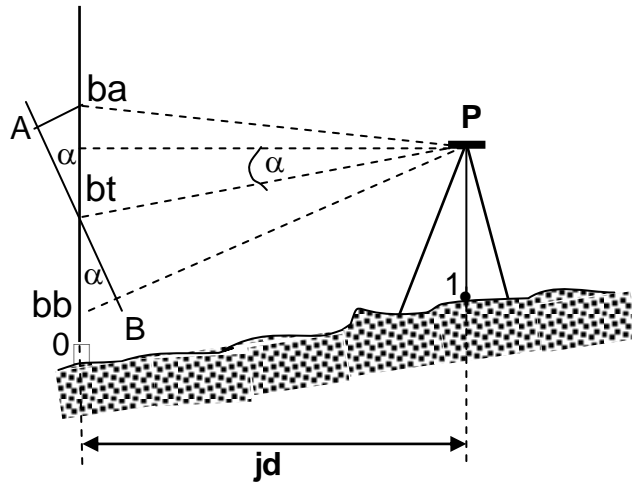
$$\alpha_N = 90^\circ - \alpha_Z$$

3. Perhitungan jarak normal dan datar dengan sudut miring nadir:

- Jarak normal dapat dihitung dengan persamaan:
Pada rambu ukur: $j_n = (b_a - b_b) \times \cos\alpha$
Pada permukaan tanah : $j_n = (b_a - b_b) \times \cos\alpha \times 100$
- Jarak datar dihitung dengan persamaan:
 $j_d = j_n \times \cos\alpha = j_o \times (\cos\alpha)^2$

4. Perhitungan jarak normal dan datar dengan sudut miring zenit:

- Jarak normal dapat dihitung dengan persamaan:
Pada rambu ukur: $j_n = (b_a - b_b) \times \sin\alpha$
Pada permukaan tanah : $j_n = (b_a - b_b) \times \sin\alpha \times 100$
- Jarak datar dihitung dengan persamaan:
 $j_d = j_n \times \sin\alpha = j_o \times (\sin\alpha)^2$



Gambar 5.25. Bagan jarak optis dan jarak di permukaan tanah

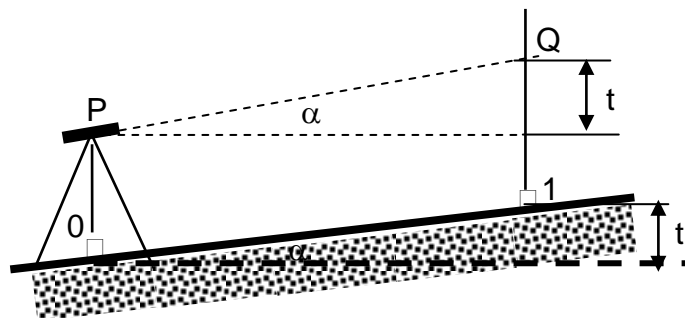
Keterangan:

α = sudut miring; $A \rightarrow ba \perp A \rightarrow B$; $B \rightarrow bb \perp A \rightarrow B$; $P \rightarrow bt \perp A \rightarrow B$.
 $0 \rightarrow bt = 1 \rightarrow P$; $A \rightarrow B$ = jarak normal pada rambu ukur;
 $0 \rightarrow 1 = P \rightarrow bt$ = jarak normal (j_n) pada permukaan tanah

5. Perhitungan beda tinggi antar titik ukur

Beda tinggi antartitik ukur dihitung dengan persamaan:

$$t = j_o \times \sin \alpha \times \cos \alpha$$



Gambar 5.26. Pengukuran beda tinggi

Keterangan: t = beda tinggi antara titik $0 \rightarrow 1$

α = sudut miring

$P \rightarrow 0 = Q \rightarrow 1$

Untuk mengetahui kebenaran/kesalahan hasil pengukuran beda tinggi, persamaannya sebagai berikut

1). Kalau benar $\Rightarrow h = H_{AKHIR} - H_{AWAL} = (\sum t+) + (\sum t-) = h_P = 0$

2). Kalau salah $\Rightarrow h_P \neq h \neq (\sum t+) + (\sum t-) \neq 0$

3). Kesalahan beda tinggi $\Rightarrow e = h_P - h$

$\sum t+$ = Jumlah beda tinggi positif

$\sum t-$ = Jumlah beda tinggi negatif

h = Hitungan beda tinggi antara titik awal dan akhir pengukuran

h_P = Perhitungan beda tinggi antara titik awal dan akhir pengukuran

e = Kesalahan beda tinggi antara titik awal dan akhir pengukuran

6. Perhitungan koreksi kesalahan beda tinggi

- $\sum t = (\sum t+) + (\sum t-) \Rightarrow$ (jumlah total)
- Koreksi kesalahan tiap m beda tinggi (k) = $e/\sum t$
- Koreksi beda tinggi tiap titik ukur (k') = $k \times t$
 t = beda tinggi antartitik ukur
- Beda tinggi antartitik ukur setelah dikoreksi (t') = $t + k'$

7. Menghitung ketinggian titik ukur terhadap permukaan air laut

Ketinggian titik ukur terhadap titik permukaan air laut persamaannya

adalah: $H_n = H_{n-1} + t'_n$

Keterangan:

H_n = Ketinggian titik ukur yang dicari

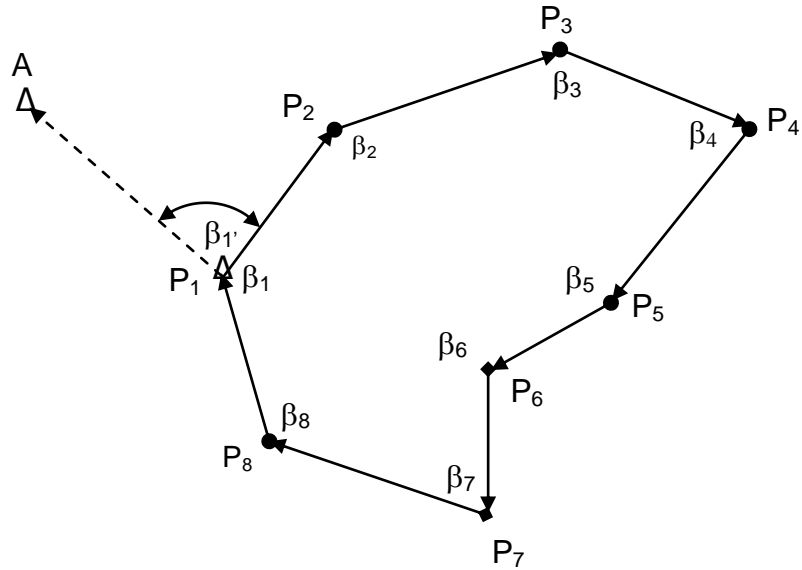
t'_n = Beda tinggi antar titik ukur

H_{n-1} = Titik ukur yang telah ditentukan harga ketinggiannya dari permukaan air laut

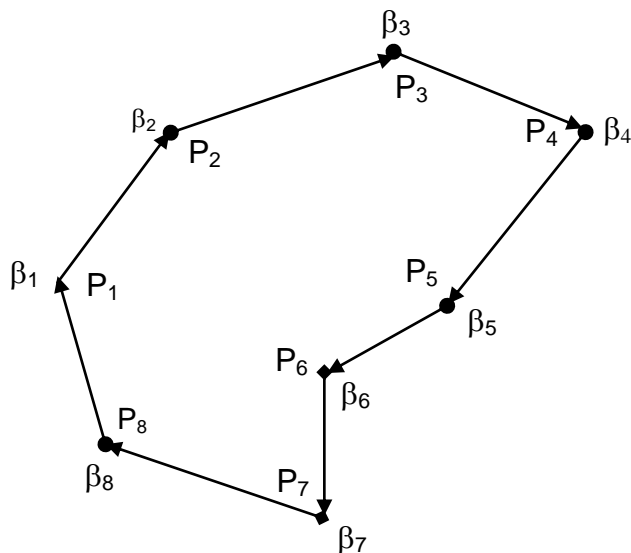
8. Perhitungan sudut horizontal

Untuk mengetahui kebenaran hasil pengukuran sudut horizontal persamaannya sebagai berikut:

- Sudut dalam $\Rightarrow \sum \beta = (n - 2) \times 180^\circ$
- Sudut luar $\Rightarrow \sum \beta = (n + 2) \times 180^\circ$



Gambar 5.27. Penentuan sudut dalam pada poligon tertutup terikat titik tetap



Gambar 5.28. Penentuan sudut luar pada poligon tertutup terikat titik tetap

Keterangan:

$\sum\beta$ = Jumlah sudut dalam/luar titik ukur polygon

n = Jumlah titik ukur polygon

2 = Konstanta

180° = Konstanta

$\blacklozenge \rightarrow$ = Jalannya jalur ukuran

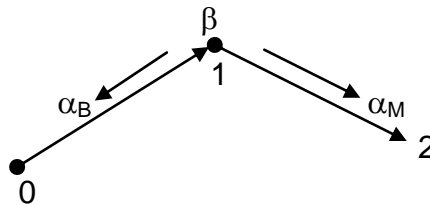
9. Menghitung besar sudut tiap titik ukur

Perhitungan besar sudut horizontal pada setiap titik ukur dapat dilakukan dengan cara sebagai berikut:

- **Perhitungan sudut disebelah kiri jalur ukuran**

Sudut disebelah kiri jalur persamaannya adalah:

$$\beta = \alpha_M - \alpha_B$$



Gambar 5.29. Kedudukan sudut di kiri jalur ukuran

Keterangan:

β = Besar sudut tiap titik ukur

α_M = Pembacaan sudut jurusan ke depan

α_B = Pembacaan sudut jurusan ke belakang

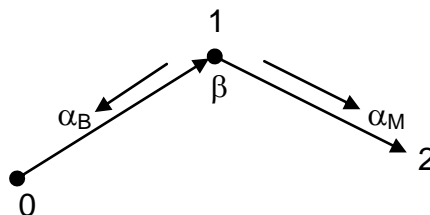
●→ = Arah jalur ukuran

→ = Arah pembacaan sudut jurusan

- **Perhitungan sudut disebelah kanan jalur ukuran**

Sudut disebelah kanan jalur persamaannya adalah:

$$\beta = \alpha_B - \alpha_M$$



Gambar 5.30. Kedudukan sudut di kanan jalur ukuran

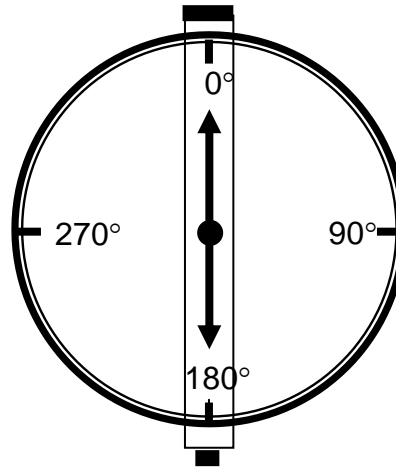
Keterangan:

β = Besar sudut tiap titik ukur

α_M = Pembacaan sudut jurusan ke depan

α_B = Pembacaan sudut jurusan ke belakang

- → = Arah jalur ukuran
- = Arah pembacaan sudut jurusan



Gambar 5.31. Bagan lingkaran sudut horisontal

Catatan:

- Kedudukan lingkaran horizontal tidak bergerak
- Kedudukan teropong dapat bergerak ke posisi titik bidik

10. Perhitungan azimuth awal pengikatan pengukuran dan azimuth sisi-sisi polygon.

- Perhitungan azimuth awal pengikatan pengukuran

Diketahui koordinat titik A dan titik P₁

Perhitungan azimuth awal dihitung dengan persamaan:

$$\text{tg} \alpha_{P_1 \rightarrow A} = (X_A - X_{P_1}) / (Y_A - Y_{P_1}), \text{ (lihat gambar 5.27)}$$

$\alpha_{P_1 \rightarrow A} \Rightarrow$ diketahui

- Perhitungan azimuth sisi –sisi polygon

Untuk memudahkan perhitungan azimuth setiap sisi polygon, sebaiknya ditentukan dahulu salah satu sisi polygon sebagai azimuth awal dari sisi polygon itu sendiri, misal pada gambar 5.27 adalah sisi P₁ → P₂ ($\alpha_{P_1 \rightarrow P_2}$)

($\alpha_{P_1 \rightarrow P_2}$) dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$(\alpha_{P_1 \rightarrow P_2}) = \alpha_{P_1 \rightarrow A} + \beta_1'$$

Maka azimuth sisi-sisi polygon lainnya dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$(\alpha_{P2 \rightarrow P3}) = \alpha_{P2 \rightarrow P1} - \beta_2 ; \quad (\alpha_{P3 \rightarrow P4}) = \alpha_{P2 \rightarrow P1} - \beta_3$$

$$(\alpha_{P4 \rightarrow P5}) = \alpha_{P4 \rightarrow P3} - \beta_4 ; \quad (\alpha_{P5 \rightarrow P6}) = \alpha_{P5 \rightarrow P4} - \beta_5$$

$$(\alpha_{P6 \rightarrow P7}) = \alpha_{P6 \rightarrow P5} - \beta_6 \quad (\alpha_{P7 \rightarrow P8}) = \alpha_{P7 \rightarrow P6} - \beta_7$$

$$(\alpha_{P8 \rightarrow P1}) = \alpha_{P8 \rightarrow P7} - \beta_8 \quad (\alpha_{P1 \rightarrow P2}) = \alpha_{P1 \rightarrow P8} - \beta_1$$

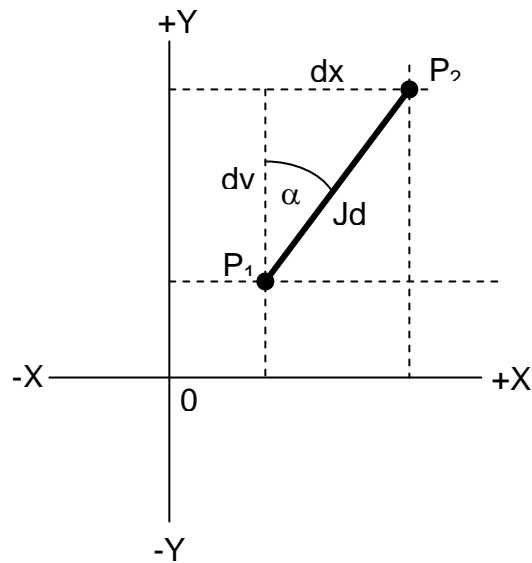
Catatan: Dalam perhitungan ini diambil sudut dalam, dan merupakan sudut kanan dari arah jalur pengukuran (lihat gambar 5.27)

11. Perhitungan absis dan ordinat

- Perhitungan absis

Absis dapat dihitung dengan persamaan :

$$dx = Jd \times \sin \alpha$$



Gambar 5.32. Kedudukan absis dan ordinat

- Perhitungan ordinat

Ordinat dapat dihitung dengan persamaan :

$$dy = Jd \times \cos \alpha$$

Keterangan:

α = Azimut; Jd = Jarak datar;

dx = absis; dy = Ordinat

Kalau hasil pengukuran benar:

$$\sum(dx+) + (dx-) = X_{AKHIR} - X_{AWAL}$$

$$\sum(dy+) + (dy-) = Y_{AKHIR} - Y_{AWAL}$$

Karena polygon tertutup, maka: $X_{AKHIR} - X_{AWAL} = h_X = 0$

$$Y_{AKHIR} - Y_{AWAL} = h_Y = 0$$

Keterangan:

h_X = hasil hitungan absis

h_Y = hasil hitungan ordinat

- Kesalahan pengukuran

Kalau hasil pengukuran salah persamaannya:

$$h_{XP} = \sum(dx+) + (dx-) \neq 0$$

$$h_{YP} = \sum(dy+) + (dy-) \neq 0$$

$$e_X = h_{XP} - h_X ; e_Y = h_{YP} - h_Y$$

Keterangan:

e_X = kesalahan hasil pengukuran absis

e_Y = kesalahan hasil pengukuran ordinat

h_{XP} = selisih hasil pengukuran absis akhir dan absis awal

h_{YP} = selisih hasil pengukuran ordinat akhir dan ordinat awal

- Koreksi kesalahan

➤ Koreksi kesalahan jarak sisi polygon tiap meter untuk absis,
persamaannya: $k_X = e_X / \sum Jd$

➤ Koreksi kesalahan jarak tiap sisi polygon untuk absis, persamaannya :

$$k'_X = k_X \times Jd$$

➤ Koreksi kesalahan jarak sisi polygon tiap meter untuk ordinat,

persamaannya : $k_Y = e_Y / \sum Jd$

➤ Koreksi kesalahan jarak tiap sisi polygon untuk ordinat,

persamaannya : $k'_Y = k_Y \times Jd$

Keterangan:

ΣJd = jumlah jarak datar

12. Perhitungan koordinat

Perhitungan koordinat pada gambar 5.27, dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$X_{P2} = X_{P1} + Jd_1 \times \sin \alpha_{P1 \rightarrow P2}; \quad Y_{P2} = Y_{P1} + Jd_1 \times \cos \alpha_{P1 \rightarrow P2}$$

$$X_{P3} = X_{P2} + Jd_2 \times \sin \alpha_{P2 \rightarrow P3}; \quad Y_{P3} = Y_{P2} + Jd_2 \times \cos \alpha_{P2 \rightarrow P3}$$

$$X_{P4} = X_{P3} + Jd_3 \times \sin \alpha_{P3 \rightarrow P4}; \quad Y_{P4} = Y_{P3} + Jd_3 \times \cos \alpha_{P3 \rightarrow P4}$$

$$X_{P5} = X_{P4} + Jd_4 \times \sin \alpha_{P4 \rightarrow P5}; \quad Y_{P5} = Y_{P4} + Jd_4 \times \cos \alpha_{P4 \rightarrow P5}$$

$$X_{P6} = X_{P5} + Jd_5 \times \sin \alpha_{P5 \rightarrow P6}; \quad Y_{P6} = Y_{P5} + Jd_5 \times \cos \alpha_{P5 \rightarrow P6}$$

$$X_{P7} = X_{P6} + Jd_6 \times \sin \alpha_{P6 \rightarrow P7}; \quad Y_{P7} = Y_{P6} + Jd_6 \times \cos \alpha_{P6 \rightarrow P7}$$

$$X_{P8} = X_{P7} + Jd_7 \times \sin \alpha_{P7 \rightarrow P8}; \quad Y_{P8} = Y_{P7} + Jd_7 \times \cos \alpha_{P7 \rightarrow P8}$$

$$X_{P1} = X_{P8} + Jd_8 \times \sin \alpha_{P8 \rightarrow P1}; \quad Y_{P1} = Y_{P8} + Jd_8 \times \cos \alpha_{P8 \rightarrow P1}$$

13. Toleransi kesalahan koordinat

Dari hasil pengukuran polygon tertutup terikat titik tetap di atas perlu diulang atau tidak dapat dikontrol dengan toleransi seperti di bawah ini:

Toleransi kesalahan koordinat dapat dihitung dengan persamaan

$$v = [(0,0007L)^2 + \{0,02(L)^{1/2}\}^2 + 2]^{1/2} = ((\Delta x)^2 + (\Delta y)^2)^{1/2}$$

Rumus tersebut diambil dari: Foutengrenzen, Topografische Diens Batavia Hendruk, 1949

Keterangan:

L = jarak datar

Δx = selisih hasil perhitungan absis akhir dan awal pengukuran

Δy = selisih hasil perhitungan ordinat akhir dan awal pengukuran

0,0007; 0,02; dan 2 = konstanta

Contoh.

Dari data hasil pengukuran polygon tertutup terikat titik tetap pada tabel 5.3. di bawah ini akan dihitung :

2. Perhitungan jarak

- Jarak optis dihitung dengan persamaan:

$$J_o = (b_a - b_b) \times 100$$

$$J_{o1} = (1,800 - 1,200) \times 100 = 60 \text{ m}$$

$$Jo_2 = (2,400 - 1,400) \times 100 = 100 \text{ m}$$

$$Jo_3 = (1,700 - 0,500) \times 100 = 120 \text{ m}$$

$$Jo_4 = (1,200 - 0,400) \times 100 = 80 \text{ m}$$

$$Jo_5 = (2,020 - 0,380) \times 100 = 164 \text{ m}$$

- Jarak datar dihitung dengan persamaan:

$$\mathbf{Jd = Jo \times (\sin\alpha)^2}$$

$$Jd_1 = Jo_1 \times (\sin\alpha)^2 = 60 \times (\sin 97^\circ 30')^2 = 58,98 \text{ m}$$

$$Jd_2 = Jo_2 \times (\sin\alpha)^2 = 100 \times (\sin 93^\circ)^2 = 99,73 \text{ m}$$

$$Jd_3 = Jo_3 \times (\sin\alpha)^2 = 120 \times (\sin 85^\circ)^2 = 119,09 \text{ m}$$

$$Jd_4 = Jo_4 \times (\sin\alpha)^2 = 80 \times (\sin 84^\circ)^2 = 79,12 \text{ m}$$

$$Jd_5 = Jo_5 \times (\sin\alpha)^2 = 164 \times (\sin 92^\circ)^2 = 163,80 \text{ m}$$

2. Perhitungan beda tinggi antar titik ukur

Beda tinggi antartitik ukur dihitung dengan persamaan:

$$\mathbf{t = Jo \times \sin\alpha \times \cos\alpha}$$

$$t_1 = Jo_1 \times \sin\alpha \times \cos\alpha = 60 \times \sin 97^\circ 30' \times \cos 97^\circ 30' = -7,764 \text{ m}$$

$$t_2 = Jo_2 \times \sin\alpha \times \cos\alpha = 100 \times \sin 93^\circ \times \cos 93^\circ = -5,226 \text{ m}$$

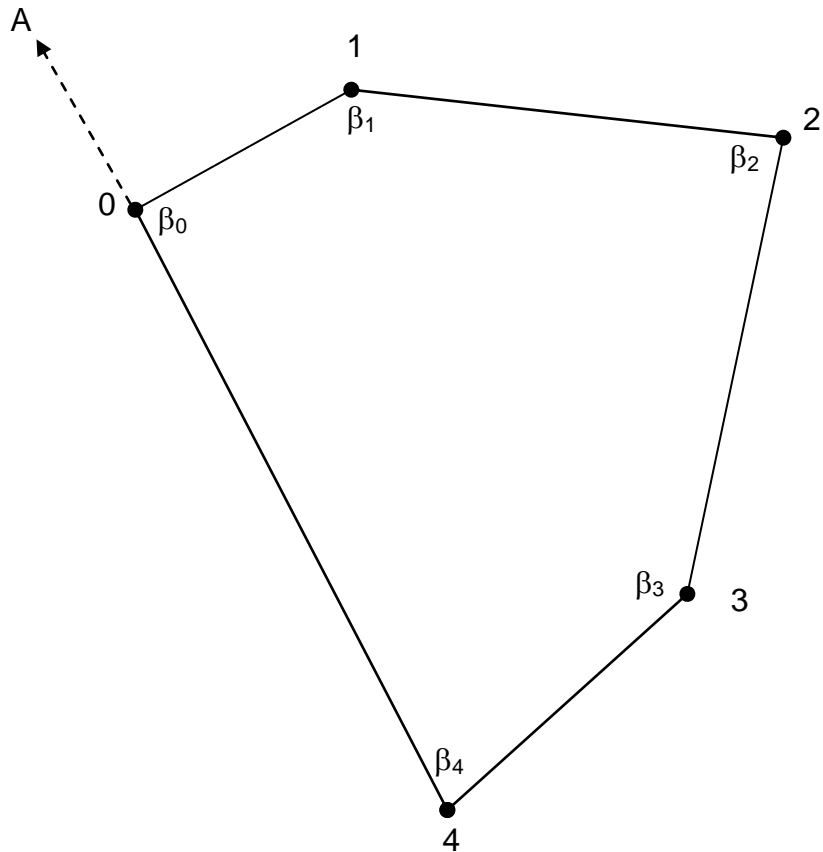
$$t_3 = Jo_3 \times \sin\alpha \times \cos\alpha = 120 \times \sin 85^\circ \times \cos 85^\circ = 10,418 \text{ m}$$

$$t_4 = Jo_4 \times \sin\alpha \times \cos\alpha = 80 \times \sin 84^\circ \times \cos 84^\circ = 8,316 \text{ m}$$

$$t_5 = Jo_5 \times \sin\alpha \times \cos\alpha = 164 \times \sin 92^\circ \times \cos 92^\circ = -5,720 \text{ m}$$

Tabel 5.3. Catatan data hasil pengukuran polygon tertutup terikat titik tetap

No. orang berdiri	No. Tinjau	Pembacaan benang				Sudut	Jarak		Sudut miring	Selisih tinggi		Koreksi (-)	Tinggi atas laut
		Tengah belakang	Tengah muka	Atas	Bawah		Optis	Datar		+	-		
0												2250,000	
0	A				350°								
0	1		1,500	1,800	80°			97°30'					
1	A	1,700		2,000	230°			82°30'					
1	2		1,700	2,400	95°			93°'					
2	1	1,100		1,600	150°			87°					
2	3		1,100	1,700	55°			85°					
3	2	0,800		1,400	20°			95°					
3	4		0,800	1,200	250°			84°					
4	3	1,200		1,600	40°48'			96°					
4	0		1,200	2,020	320°			92°					
0	4	1,500		2,400	260°2'			88°					
0	1		1,580	1,880	160°48'			97°30'					



Gambar 5.32. Sket lapangan polygon tertutup terikat titik tetap

3. Perhitungan koreksi kesalahan beda tinggi

Dari hasil perhitungan beda tinggi pada tabel 5.3, diketahui:

$$(\sum t+) = 10,418 + 8,316 = 18,734 \text{ m}$$

$$(\sum t-) = 7,764 + 5,20 = 18,710 \text{ m}$$

Karena polygon tertutup maka : $h = h_p = 0$

$$\text{Dari hasil pengukuran } h_p = (\sum t+) + (\sum t-) = 18,734 - 18,710 = +0,024 \text{ m}$$

$$\text{Kesalahan (e) } = h_p - h = 0,024 - 0 = 0,024 \text{ m}$$

$$\text{Koreksi kesalahan (e) } = - 0,024 \text{ m}$$

$$\sum t = 18,734 + 18,710 = 37,444 \text{ m (jumlah total).}$$

$$\text{Koreksi kesalahan tiap m beda tinggi (k) } = - e / \sum t$$

$$k = - e / \sum t = - 0,024 / 37,444 = - 0,00064 \text{ m}$$

$$\text{Koreksi beda tinggi tiap titik ukur (k')} = k \times t$$

t = beda tinggi antartitik ukur

Koreksi tinggi pada patok:

$$0 \Rightarrow (k'_0) = t_0 \times k = 7,764 \times -0,00064 = -0,005 \text{ m}$$

$$1 \Rightarrow (k'_1) = t_1 \times k = 5,226 \times -0,00064 = -0,003 \text{ m}$$

$$2 \Rightarrow (k'_2) = t_2 \times k = 10,418 \times -0,00064 = -0,007 \text{ m}$$

$$3 \Rightarrow (k'_3) = t_3 \times k = 8,316 \times -0,00064 = -0,005 \text{ m}$$

$$4 \Rightarrow (k'_4) = t_4 \times k = 5,720 \times -0,00064 = -0,004 \text{ m}$$

4. Perhitungan beda tinggi setelah dikoreksi

Beda tinggi antartitik ukur setelah dikoreksi (t') = $t + k'$

$$t'_0 = t_0 + k'_0 = -7,764 - 0,005 = -7,769 \text{ m}$$

$$t'_1 = t_1 + k'_1 = -5,226 - 0,003 = -5,229 \text{ m}$$

$$t'_2 = t_2 + k'_2 = 10,418 - 0,007 = 10,411 \text{ m}$$

$$t'_3 = t_3 + k'_3 = 8,316 - 0,005 = 8,311 \text{ m}$$

$$t'_4 = t_4 + k'_4 = -5,720 - 0,004 = -5,724 \text{ m}$$

$$h_P = t'_0 + t'_1 + t'_2 + t'_3 + t'_4$$

$$= -7,769 - 5,229 + 10,411 + 8,311 - 5,724 = 0,000 \text{ m}$$

$h = h_P$ (hasil hitungan dan perhitungan sama)

5. Perhitungan ketinggian titik ukur dari permukaan air laut

Ditentukan harga ketinggian titik ukur: $H_0 = 2250,000 \text{ m}$.

Ketinggian titik ukur terhadap ketinggian muka air laut persamaannya adalah:

$$H_n = H_{n-1} + t'_n$$

Keterangan:

H_n = Ketinggian titik ukur yang dicari

t'_n = Beda tinggi antar titik ukur

H_{n-1} = Titik ukur yang telah ditentukan harga ketinggian dari muka air laut

Perhitungan ketinggiannya untuk titik-titik ukur:

$$\text{Titik 1} \Rightarrow H_1 = H_0 + t'_0 = 2250,000 - 7,769 = 2242,231 \text{ m}$$

$$\text{Titik 2} \Rightarrow H_2 = H_1 + t'_1 = 2242,231 - 5,229 = 2237,002 \text{ m}$$

$$\text{Titik 3} \Rightarrow H_3 = H_2 + t'_2 = 2237,002 + 10,411 = 2247,413 \text{ m}$$

$$\text{Titik 4} \Rightarrow H_4 = H_3 + t'_3 = 2247,413 + 8,311 = 2255,724 \text{ m}$$

$$\text{Titik 0} \Rightarrow H_0 = H_4 + t'_4 = 2255,724 - 5,724 = 2250,000 \text{ m}$$

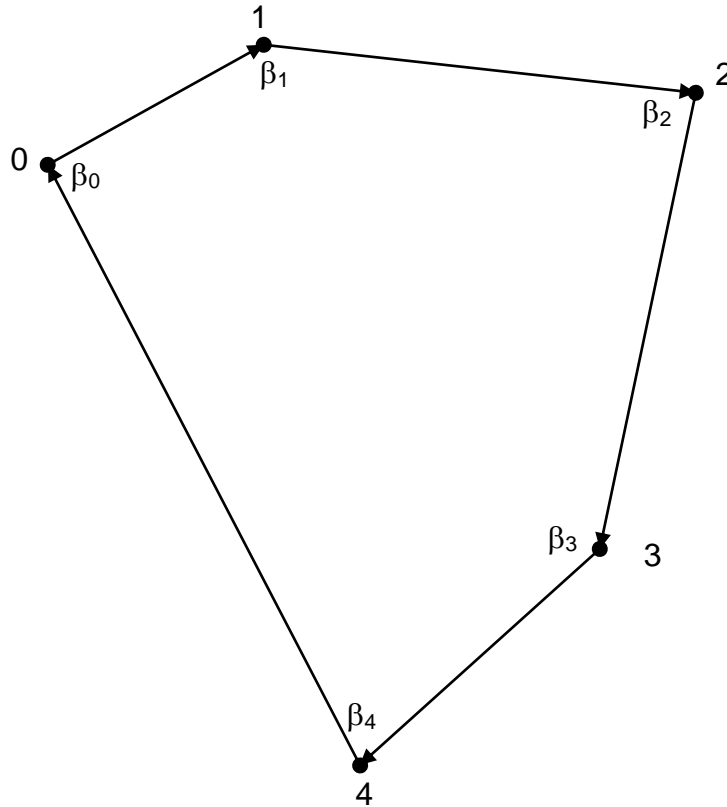
Cara pengisian jarak optis, jarak datar, beda tinggi dan ketinggian dari permukaan air laut pada blanko ukur lihat pada tabel 5.4.

Tabel 5.4. Cara pengisian hasil perhitungan pada blanko ukur

No. patokk	Tinjau Berdiri	Pembacaan benang				Sudut	Jarak		Sudut miring	Selisih tinggi		Koreksi (-)	Ketinggian lokall
		Tengah belakang	Tengah muka	Atas	Bawah		Optis	Datar		+	-		
0												2250,000	
0	A				350°								
0	1		1,500	1,800	1,200	80°	60	58,98	97°30'		7,764	0,005	2242,231
1	0	1,700		2,000	1,400	230°	60		82°30'				
1	2		1,700	2,400	1,400	95°	100	99,73	93°		5,226	0,003	2237,002
2	1	1,100		1,600	0,600	150°	100		87°				
2	3		1,100	1,700	0,500	55°	120	119,09	85°	10,418		0,007	2247,413
3	2	0,800		1,400	0,200	20°	120		95°				
3	4		0,800	1,200	0,400	250°	80	79,12	84°	8,316		0,005	2255,724
4	3	1,200		1,600	0,800	40°48'	80		96°				
4	0		1,200	2,020	0,380	320°	164	163,80	92°		5,720	0,004	2250,000
0	4	1,500		2,400	0,760	260°2'	164		88°				
0	1		1,580	1,880	1,280	160°48'	60		97°30'				

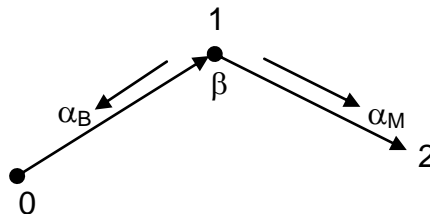
10. Perhitungan sudut horisontal

Pada gambar 5.33, akan dihitung besarnya sudut horisontal dari masing-masing titik ukur:



Gambar 5.33. Sket sudut dalam pada polygon tertutup tak terikat titik tetap

- Perhitungan sudut di sebelah kanan jalur ukuran dengan persamaan:
$$\beta = \alpha_B - \alpha_M$$



Gambar 5.34. Kedudukan sudut di kanan jalur ukuran

Keterangan:

β = Besar sudut tiap titik ukur

α_M = Pembacaan sudut jurusan ke depan

α_B = Pembacaan sudut jurusan ke belakang

●→ = Arah jalur ukuran

→ = Arah pembacaan sudut jurusan

Pada gambar 5.33, sudut dalam ada di sebelah kanan jalur ukuran, maka besarnya sudut tersebut adalah :

$$\beta_1 = \alpha_{B1} - \alpha_{M1} = 230^\circ - 95^\circ = 135^\circ$$

$$\beta_2 = \alpha_{B2} - \alpha_{M2} = 150^\circ - 55^\circ = 95^\circ$$

$$\begin{aligned}\beta_3 &= \alpha_{B3} - \alpha_{M3} = 20^\circ - 250^\circ = -230^\circ \\ &= -230^\circ + 360^\circ = 130^\circ\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\beta_4 &= \alpha_{B4} - \alpha_{M4} = 40^\circ 48' - 320^\circ = -279^\circ 12' \\ &= -279^\circ 12' + 360^\circ = 80^\circ 48'\end{aligned}$$

$$\beta_0 = \alpha_{B0} - \alpha_{M0} = 260^\circ 02' - 160^\circ 48' = 99^\circ 14'$$

Catatan: Apabila besar $\beta < 0$, maka β harus ditambah 360°

- Perhitungan koreksi sudut
 - > Koreksi kesalahan sudut tiap $1^\circ(k)$ dihitung dengan persamaan:
 $k = e/\Sigma\beta$
 - > Koreksi kesalahan sudut tiap titik ukur (k') dihitung dengan persamaan: $k' = \beta \pm k \times \beta$

Keterangan:

k = koreksi sudut tiap 1°

e = kesalahan sudut

$\Sigma\beta$ = jumlah total sudut

β = besar sudut tiap titik ukur

Jumlah sudut hasil pengukuran:

$$\begin{aligned}\Sigma\beta &= \beta_1 + \beta_2 + \beta_3 + \beta_4 + \beta_0 \\ &= 135^\circ + 95^\circ + 130^\circ + 80^\circ 48' + 99^\circ 14' = 540^\circ 02' = h_p\end{aligned}$$

Jumlah sudut hasil hitungan:

$$h = (n - 2) \times 180^\circ = (5 - 2) \times 180^\circ = 540^\circ$$

Kesalahan sudut hasil pengukuran:

$$e = h_p - h = 540^\circ 02' - 540^\circ = 0^\circ 2'$$

Koreksi kesalahan $e = -0^\circ 2'$

- > Koreksi kesalahan sudut tiap $1^\circ(k)$ dihitung dengan persamaan:

$$k = e/\sum\beta = - 0^\circ 2'540''02' = 0,22221''$$

- > Koreksi kesalahan sudut tiap titik ukur (k') dihitung dengan persamaan: $k' = k \times \beta$

$$k'_1 = \beta_1 \times k_1 = 135^\circ \times 0,22221'' = - 0^\circ 0'30''$$

$$k'_2 = \beta_2 \times k_2 = 95^\circ \times 0,22221'' = - 0^\circ 0'21''$$

$$k'_3 = \beta_3 \times k_3 = 130^\circ \times 0,22221'' = - 0^\circ 0'29''$$

$$k'_4 = \beta_4 \times k_4 = 80^\circ 48' \times 0,22221'' = - 0^\circ 0'18''$$

$$k'_0 = \beta_0 \times k_0 = 99^\circ 14' \times 0,22221'' = - 0^\circ 0'22''$$

11. Perhitungan sudut horizontal setelah dikoreksi

- Perhitungan besar sudut setelah dikoreksi persamaannya adalah:

$$\beta_K = \beta + k'$$

$$\beta_{K1} = \beta_1 + k'_1 = 135^\circ - 0^\circ 0'30'' = 134^\circ 59'30''$$

$$\beta_{K2} = \beta_2 + k'_2 = 95^\circ - 0^\circ 0'21'' = 94^\circ 59'39''$$

$$\beta_{K3} = \beta_3 + k'_3 = 130^\circ - 0^\circ 0'29'' = 129^\circ 59'31''$$

$$\beta_{K4} = \beta_4 + k'_4 = 80^\circ 48' - 0^\circ 0'18'' = 80^\circ 47'42''$$

$$\beta_{K0} = \beta_0 + k'_0 = 99^\circ 14' - 0^\circ 0'22'' = 99^\circ 13'38''$$

- Perhitungan jumlah sudut hasil pengukuran setelah dikoreksi persamaannya adalah: $\sum\beta_K = (n - 2) \times 180^\circ$

$$\sum\beta_K = \beta_{K1} + \beta_{K2} + \beta_{K3} + \beta_{K4} + \beta_{K0}$$

$$= 134^\circ 59'30'' + 94^\circ 59'39'' + 129^\circ 59'31'' + 80^\circ 47'42''$$

$$+ 99^\circ 13'38'' = 540^\circ$$

Dalam perhitungan sudut pada polygon tertutup, biasanya yang dihitung sudut dalam, karena jumlah sudutnya lebih kecil dari jumlah sudut luar, dan juga memudahkan pengontrolan bentuk gambar dengan bentuk daerah pengukuran. Dari hasil pengukuran polygon tertutup tak terikat titik tetap di atas perlu diulang atau tidak dapat dikontrol dengan toleransi seperti di bawah ini:

- Toleransi kesalahan beda tinggi persamaannya:

$$v = [\{0,3 \times (L/100)^{1/2}\}^2 + 4,5]^{1/2}$$

Dari hasil pengukuran kesalahan beda tinggi (e) = 0,024 m

$$\sum j = 58,98 + 99,73 + 119,09 + 79,12 + 163,80 = 520,72 \text{ m}$$

$$v = [\{0,3 \times (L/100)^{1/2}\}^2 + 4,5]^{1/2}$$

$$= \left[\left\{ 0,3 \times (520,72/100) \right\}^2 + 4,5 \right]^{1/2} = 2,229 \text{ m}$$

$e < v \Rightarrow$ maka pengukuran tidak perlu diulang.

- Toleransi kesalahan sudut, persamaannya:

$$v = 1,5' (n)^{1/2}$$

Dari hasil pengukuran kesalahan sudut horizontal (e) = 2'

Jumlah titik ukur 5 titik

$$v = 1,5' (n)^{1/2} = 1,5' (5)^{1/2} = 3,354$$

$e < v \Rightarrow$ maka pengukuran tidak perlu diulang.

Keterangan:

1,5' = konstanta

n = jumlah titik sudut ukur

0,3; 100; 4,5 = konstanta

L = jarak datar

Rumus tersebut diambil dari: Foutengrenzen, Topografische Diens Batavia Hendruk, 1949

Catatan: Apabila perhitungan sudut dalam telah dikoreksi, maka koreksi perhitungan sudut luar tidak diperlukan, demikian juga sudut dalam.

Persamaan perhitungan sudut luar pada tiap titik ukur adalah: $\beta_L = 360^\circ - \beta_D$

Persamaan perhitungan sudut dalam pada tiap titik ukur adalah: $\beta_D = 360^\circ - \beta_L$

Keterangan:

β_L = besar sudut luar

360° = konstanta

β_D = besar sudut dalam

12. Perhitungan azimuth sisi-sisi polygon

Telah diketahui bahwa sudut dalam dari hasil pengukuran setelah dikoreksi adalah:

$$\beta_0 = 99^\circ 13'38'' \quad \beta_1 = 134^\circ 59'30'' \quad \beta_2 = 94^\circ 59'39''$$

$$\beta_3 = 129^\circ 59'31'' \quad \beta_4 = 80^\circ 47'42''$$

Diketahui koordinat titik:

$$O : X_0 = 3000,000 \text{ m}; \quad Y_0 = 3000,000 \text{ m}$$

$$A : X_A = 2000,000 \text{ m}; \quad Y_A = 4732,051 \text{ m}$$

$$\beta_P = 90^\circ \Rightarrow \text{dihitung dari : } \beta_P = (0 \rightarrow 1) - (0 \rightarrow 1) = 80^\circ - 350^\circ = -270^\circ$$

$$\beta_P = -270^\circ + 360^\circ = 90^\circ$$

Keterangan:

---▶ = azimuth garis pengikat pada polygon

●▶ = azimuth garis awal pada polygon

β_P = Sudut pengikat pengukuran

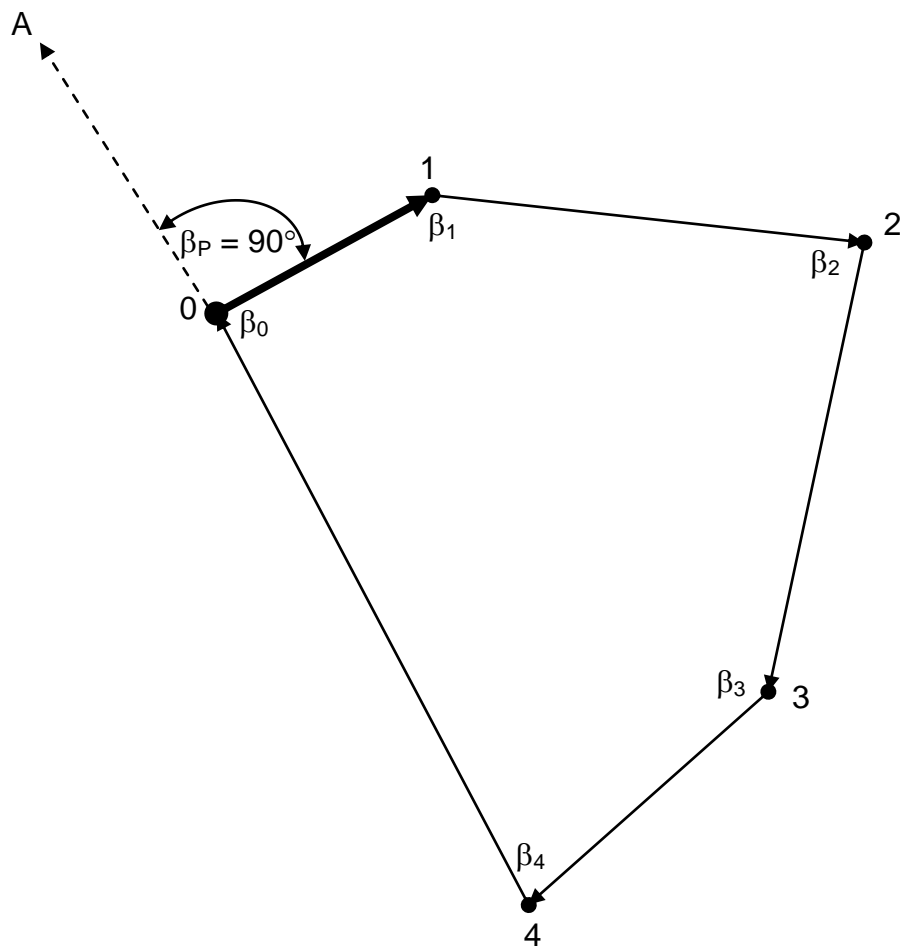
Azimuth dari 0→A ($\alpha_{0\rightarrow A}$) dapat dicari dengan persamaan:

$$\text{tg}(\alpha_{0\rightarrow A}) = (X_A - X_0)/(Y_A - Y_0)$$

$$= (2000,000 - 3000,000)/(4732,051 - 3000,000)$$

$$= -1000,000/1732,051 = -0,5773502 \text{ (kwadaran IV)}$$

$$\text{Maka } \Rightarrow \alpha_{0\rightarrow A} = 330^\circ$$



Gambar 5.35. Sket sudut dalam dan azimuth pada polygon tertutup terikat titik tetap

Untuk memudahkan perhitungan azimuth sisi-sisi polygon, ditentukan sisi polygon 0→1 sebagai azimuth awal dari sisi polygon, dengan persamaan sebagai berikut:

$$\alpha_{0 \rightarrow 1} = \alpha_{0 \rightarrow A} + \beta_P = 330^\circ + 90^\circ = 420^\circ$$

$\alpha_{0 \rightarrow 1} > 360^\circ$, maka $\Rightarrow \alpha_{0 \rightarrow 1} = 420^\circ - 360^\circ = 60^\circ \Rightarrow$ ditentukan azimuth awal

Maka azimuth sisi polygon lainnya dengan sudut dalam ada disebelah kanan jalur ukuran, dapat dihitung sebagai berikut

$$\alpha_{1 \rightarrow 2} = \alpha_{1 \rightarrow 0} - \beta_1 = (60^\circ + 180^\circ) - 134^\circ 59' 30'' = 105^\circ 00' 30''$$

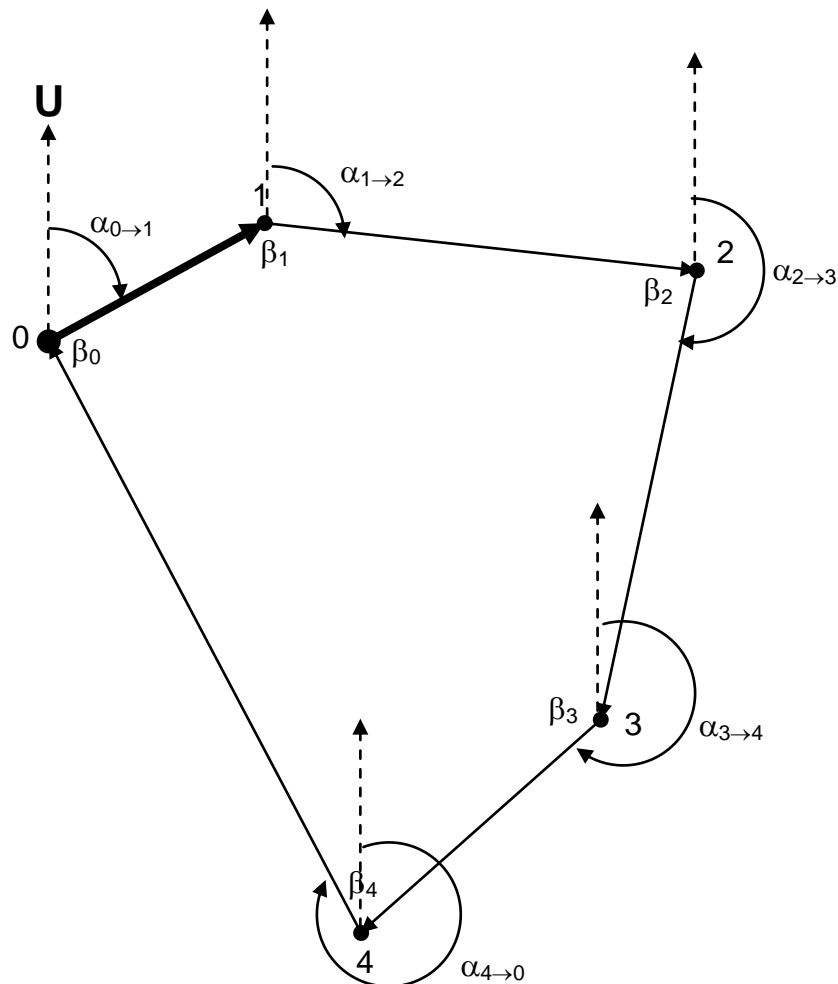
$$\alpha_{2 \rightarrow 3} = \alpha_{2 \rightarrow 1} - \beta_2 = (105^\circ 00' 30'' + 180^\circ) - 94^\circ 59' 39'' = 190^\circ 0' 51''$$

$$\alpha_{3 \rightarrow 4} = \alpha_{3 \rightarrow 2} - \beta_3 = (190^\circ 0' 51'' + 180^\circ) - 129^\circ 59' 31'' = 240^\circ 1' 20''$$

$$\alpha_{4 \rightarrow 0} = \alpha_{4 \rightarrow 3} - \beta_4 = (240^\circ 1' 20'' + 180^\circ) - 80^\circ 47' 42'' = 339^\circ 13' 38''$$

$$\alpha_{0 \rightarrow 1} = \alpha_{0 \rightarrow 4} - \beta_0 = (339^\circ 13' 38'' + 180^\circ) - 99^\circ 13' 38'' = 420^\circ$$

$\alpha_{0 \rightarrow 1} > 360^\circ \Rightarrow \alpha_{0 \rightarrow 1} = 420^\circ - 360^\circ = 60^\circ \Rightarrow$ azimuth akhir = azimuth awal



Gambar 5.36. Sket posisi azimuth sisi polygon

13. Perhitungan absis dan ordinat

Perhitungan absis dan ordinat seperti pada gambar polygon 5.35, dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

- **Perhitungan absis**

$$dx_1 = J_1 \times \sin\alpha_{0 \rightarrow 1} = 58,98 \times \sin 60^\circ = 51,078 \text{ m}$$

$$dx_2 = J_2 \times \sin\alpha_{1 \rightarrow 2} = 99,73 \times \sin 105^\circ 00' 30'' = 96,328 \text{ m}$$

$$dx_3 = J_3 \times \sin\alpha_{2 \rightarrow 3} = 119,09 \times \sin 190^\circ 0' 51'' = -20,709 \text{ m}$$

$$dx_4 = J_4 \times \sin\alpha_{3 \rightarrow 4} = 79,12 \times \sin 240^\circ 1' 20'' = -68,535 \text{ m}$$

$$dx_5 = J_5 \times \sin\alpha_{4 \rightarrow 0} = 163,80 \times \sin 339^\circ 13' 38'' = -58,094 \text{ m}$$

$$\sum dx_+ = dx_1 + dx_2 = 51,078 + 96,328 = 147,406 \text{ m}$$

$$\sum dx_- = dx_3 + dx_4 + dx_5 = -20,709 - 68,535 - 58,094 = -147,338$$

$$e_x = (\sum dx_+) + (\sum dx_-) = 147,406 - 147,338 = 0,068 \text{ m}$$

$$\sum J = J_1 + J_2 + J_3 + J_4 + J_5$$

$$= 58,98 + 99,73 + 119,09 + 79,12 + 163,80 = 520,72 \text{ m}$$

- **Koreksi kesalahan absis**

- Koreksi kesalahan jarak sisi polygon tiap meter untuk absis, persamaannya: $k_x = e_x / \sum Jd = -0,068 / 520,72 = -0,0001305 \text{ m}$

- Koreksi kesalahan jarak tiap sisi polygon untuk absis, persamaannya :

$$k'_{1x} = k_x \times Jd_1$$

$$k'_{1x} = k_{1x} \times Jd_1 = -0,0001305 \times 58,98 = -0,008 \text{ m}$$

$$k'_{2x} = k_{2x} \times Jd_2 = -0,0001305 \times 99,73 = -0,013 \text{ m}$$

$$k'_{3x} = k_{3x} \times Jd_3 = -0,0001305 \times 119,09 = -0,015 \text{ m}$$

$$k'_{4x} = k_{4x} \times Jd_4 = -0,0001305 \times 79,12 = -0,010 \text{ m}$$

$$k'_{5x} = k_{5x} \times Jd_5 = -0,0001305 \times 163,8 = -0,022 \text{ m}$$

- **Perhitungan absis setelah dikoreksi**

$$dx_{1K} = dx_1 + k'_{1x} = 51,078 - 0,008 = 51,070 \text{ m}$$

$$dx_{2K} = dx_2 + k'_{2x} = 96,328 - 0,013 = 96,315 \text{ m}$$

$$dx_{3K} = dx_3 + k'_{3x} = -20,709 - 0,015 = -20,724 \text{ m}$$

$$dx_{4K} = dx_4 + k'_{4x} = -68,535 - 0,010 = -68,545 \text{ m}$$

$$dx_{5K} = dx_5 + k'_{5x} = -58,094 - 0,022 = -58,116 \text{ m}$$

- **Perhitungan ordinat**

$$dy_1 = J_1 \times \cos\alpha_{0 \rightarrow 1} = 58,98 \times \cos 60^\circ = 29,490 \text{ m}$$

$$dy_2 = J_2 \times \cos\alpha_{1 \rightarrow 2} = 99,73 \times \cos 105^\circ 00' 30'' = -25,826 \text{ m}$$

$$dy_3 = J_3 \times \cos\alpha_{2 \rightarrow 3} = 119,09 \times \cos 190^\circ 0' 51'' = -117,276 \text{ m}$$

$$dy_4 = J_4 \times \cos\alpha_{3 \rightarrow 4} = 79,12 \times \cos 240^\circ 1' 20'' = -39,533 \text{ m}$$

$$dy_5 = J_5 \times \cos\alpha_{4 \rightarrow 0} = 163,80 \times \cos 339^\circ 13' 38'' = 153,152 \text{ m}$$

$$\sum dy_+ = dy_1 + dy_5 = 29,490 + 153,152 = 182,642 \text{ m}$$

$$\sum dy_- = dy_2 + dy_3 + dy_4 = -25,826 - 117,276 - 39,533 = -182,635 \text{ m}$$

$$e_y = (\sum dy_+) + (\sum dy_-) = 182,642 - 182,635 = 0,007 \text{ m}$$

$$\sum J = J_1 + J_2 + J_3 + J_4 + J_5$$

$$= 58,98 + 99,73 + 119,09 + 79,12 + 163,80 = 520,72 \text{ m}$$

- **Koreksi kesalahan ordinat**

- Koreksi kesalahan jarak sisi polygon tiap meter untuk ordinat, persamaannya :

$$k_Y = e_Y / \sum J_d = -0,007 / 520,72 = -0,0000134$$

- Koreksi kesalahan jarak tiap sisi polygon untuk ordinat, persamaannya :

$$k'_Y = k_Y \times J_d$$

$$k'_{1y} = k_{1y} \times J_{d1} = -0,0000134 \times 58,98 = -0,001 \text{ m}$$

$$k'_{2y} = k_{2y} \times J_{d2} = -0,0000134 \times 99,73 = -0,001 \text{ m}$$

$$k'_{3y} = k_{3y} \times J_{d3} = -0,0000134 \times 119,09 = -0,002 \text{ m}$$

$$k'_{4y} = k_{4y} \times J_{d4} = -0,0000134 \times 79,12 = -0,001 \text{ m}$$

$$k'_{5y} = k_{5y} \times J_{d5} = -0,0000134 \times 163,8 = -0,002 \text{ m}$$

- **Perhitungan ordinat setelah dikoreksi**

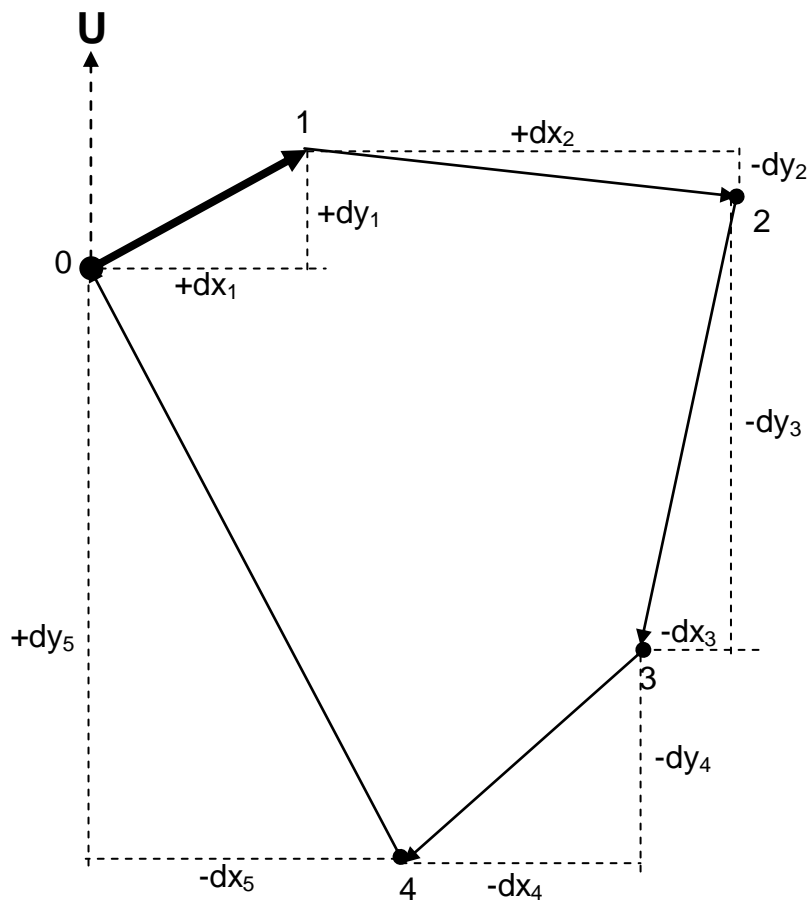
$$dy_{1K} = dy_1 + k'_{1y} = 29,490 - 0,001 = 29,489$$

$$dy_{2K} = dy_2 + k'_{2y} = -25,826 - 0,001 = -25,827 \text{ m}$$

$$dy_{3K} = dy_3 + k'_{3y} = -117,276 - 0,002 = -117,278 \text{ m}$$

$$dy_{4K} = dy_4 + k'_{4y} = -39,533 - 0,001 = -39,534 \text{ m}$$

$$dy_{5K} = dy_5 + k'_{5y} = 153,152 - 0,002 = 153,150 \text{ m}$$



Gambar 5.37. Sket posisi absis dan ordinat

14. Perhitungan koordinat

Diketahui koordinat titik 0 $\Rightarrow X_0 = 3000,000 \text{ m}; Y_0 = 3000,000 \text{ m}$

Maka koordinat titik:

$$1 \Rightarrow X_1 = X_0 + dx_{1K} = 3000,000 + 51,070 = 3051,070 \text{ m}$$

$$\Rightarrow Y_1 = Y_0 + dy_{1K} = 3000,000 + 29,489 = 3029,489 \text{ m}$$

$$2 \Rightarrow X_2 = X_1 + dx_{2K} = 3051,070 + 96,315 = 3147,385 \text{ m}$$

$$\Rightarrow Y_2 = Y_1 + dy_{2K} = 3029,489 - 25,827 = 3003,662 \text{ m}$$

$$3 \Rightarrow X_3 = X_2 + dx_{3K} = 3147,385 - 20,724 = 3126,661 \text{ m}$$

$$\Rightarrow Y_3 = Y_2 + dy_{3K} = 3003,662 - 117,278 = 2886,384 \text{ m}$$

$$4 \Rightarrow X_4 = X_3 + dx_{4K} = 3126,661 - 68,545 = 3058,116 \text{ m}$$

$$\Rightarrow Y_4 = Y_3 + dy_{4K} = 2886,384 - 39,534 = 2846,850 \text{ m}$$

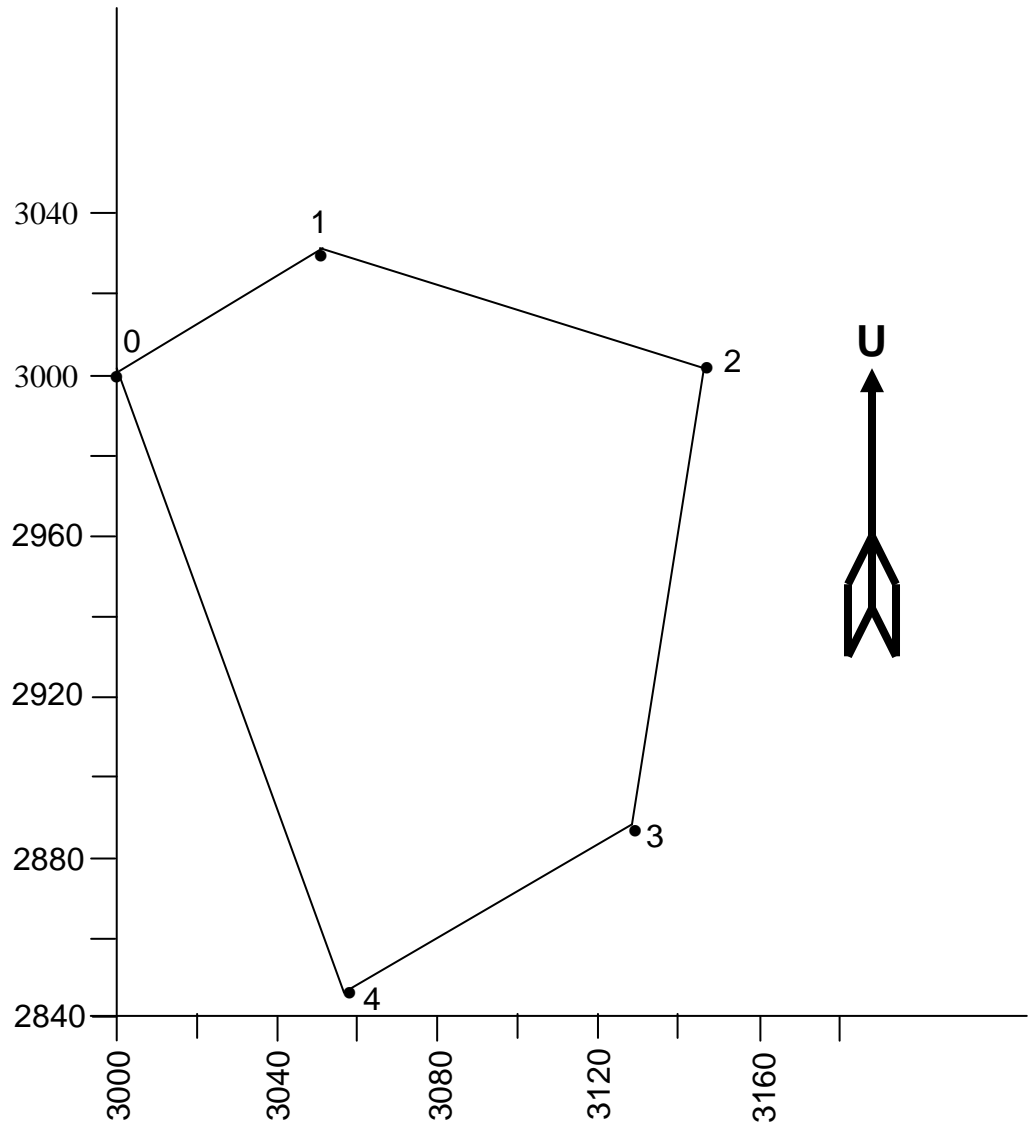
$$0 \Rightarrow X_0 = X_4 + dx_{5K} = 3058,116 - 58,116 = 3000,000 \text{ m}$$

$$\Rightarrow Y_0 = Y_4 + dy_{5K} = 2846,850 + 153,150 = 3000,000 \text{ m}$$

Cara pengisian sudut, azimuth, jarak, absis, ordinat dan koordinat lihat tabel 5.5.

Tabel 5.5. Perhitungan koordinat polygon tertutup terikat titik tetap

Titik	Sudut	Koreksi	Azimut	Jarak	dx	Koreksi	dy	Koreksi	Koordinat	
									X	Y
0									3000	3000
			60	58,98	51,078	-0,008	29,490	-0,001		
1	135	-30"							3051,070	3029,489
			105 00 30	99,73	96,328	-0,013	-25,826	-0,001		
2	95	-21"							3147,385	3003,662
			190 00 51	119,09	-20,709	-0,015	-117,276	-0,002		
3	130	-29"							3126,661	2886,384
			240 01 20	79,12	-68,535	-0,010	-39,533	-0,001		
4	80 48	-18"							3058,116	2846,850
			339 13 38	163,80	-58,094	-0,022	153,152	-0,002		
0	99 14	-22"							3000,000	3000,000
			60							
1										
	540 02	-120"		520,72	+147,406	-0,068	+182,642	-0,007		
					-147,338		-182,635			
					+0,068		+0,007			



Gambar 5.38. Peta poligon

Skala 1 : 2000

Dari hasil pengukuran polygon tertutup terikat titik tetap di atas perlu diulang atau tidak dapat dikontrol dengan toleransi seperti di bawah ini

Toleransi kesalahan koordinat dapat dihitung dengan persamaan

$$v = [(0,0007L)^2 + \{0,02(L)^{1/2}\}^2 + 2]^{1/2} = ((\Delta x)^2 + (\Delta y)^2)^{1/2}$$

Rumus tersebut diambil dari: Foutengrenzen, Topografische Diens Batavia Hendruk, 1949

Kesalahan perhitungan koordinat dari hasil pengukuran diketahui :

$$e_a = -0,068 \text{ m} = \Delta x; \quad e_o = -0,007 \text{ m} = \Delta y$$

$$e = \{ (-0,068)^2 + (-0,007)^2 \}^{1/2} = 0,068 \text{ m}$$

$$v = [(0,0007L)^2 + \{0,02(L)^{1/2}\}^2 + 2]^{1/2}$$

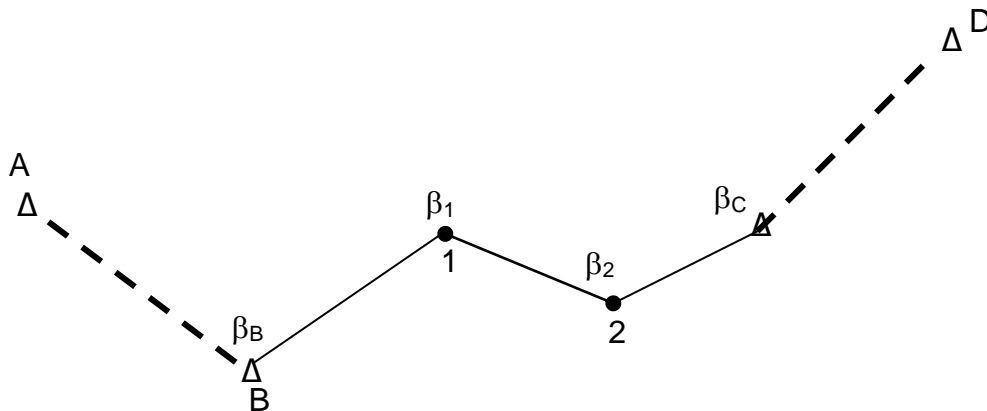
$$v = [(0,0007 \times 0,52072)^2 + \{0,02 \times (0,52072)^{1/2}\}^2 + 2]^{1/2}$$

$$v = [(1,329)^{-07} + (2,083)^{-05} + 2]^{1/2} = 1,414 \text{ m}$$

$e < v$, maka pengukuran tidak perlu diulang.

5.2. Bentuk polygon terbuka

Pada pengukuran polygoon terbuka, titik awal tidak menjadi titik akhi pengukuran (lihat gambar 5.39).



Gambar 5.39. Bentuk pengukuran polygon terbuka

Keterangan:

B = Titik awal pengukuran

C = Titik akhir pengukuran

$\beta_1 \dots \rightarrow \beta_n$ = Sudut titik ukur poligon

• = Titik ukur poligon

B - - - A = Garis bidik azimuth awal

C - - - D = Garis bidik azimuth akhir

Δ = Titik triangulasi (diketahui koordinat dan ketinggiannya dari muka air laut)

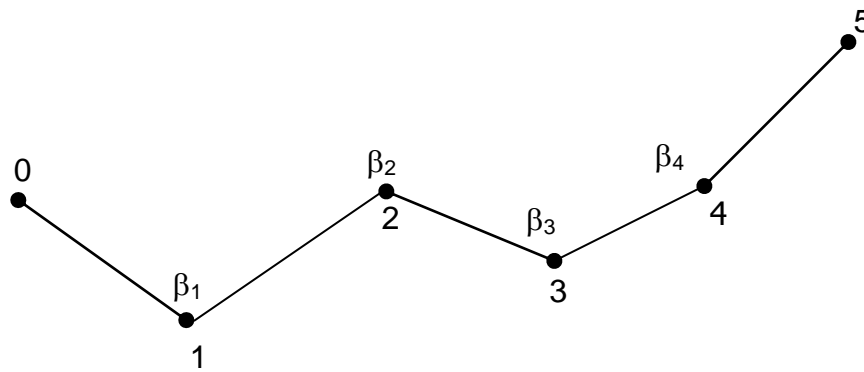
— = Garis ukur poligon

Bentuk polygon terbuka ada 3 bagian :

- 1). Bagian polygon terbuka tak terikat titik tetap
- 2). Bagian polygon terbuka terikat titik tetap
- 3). Bagian polygon terbuka terikat titik tetap sempurna

1). Bagian polygon terbuka tak terikat titik tetap

Pada pengukuran polygoon terbuka tak terikat titik tetap, titik awal tidak menjadi titik akhir pengukuran (lihat gambar 5.40)



Gambar 5.40. Bentuk pengukuran polygon terbuka tak terikat titik tetap

Dalam perhitungan dan penggambarannya tidak diperlukan perhitungan – perhitungan dengan ketentuan yang berlaku dalam pembuatan peta, seperti :

- Harus ditentukan bidang datumnya (elipsoide, geode)
- Harus ditentukan bidang proyeksinya (Universe Transverse Mercator, Kerucut)
- Harus ditentukan sistim koordinatnya
- Harus ditentukan azimuth garis polygon
- Harus ditentukan azimuth garis utara bumi, magnit, grid dan deklinasi magnit

Dalam penggambaran petanya cukup dilakukan dengan cara:

- Ditentukan skalanya
- Digambar besar sudut-sudut setiap titik ukur polygon
- Digambar masing-masing jarak dari setiap sisi polygon.

Yang diukur pada polygon terbuka tak terikat titik tetap adalah :

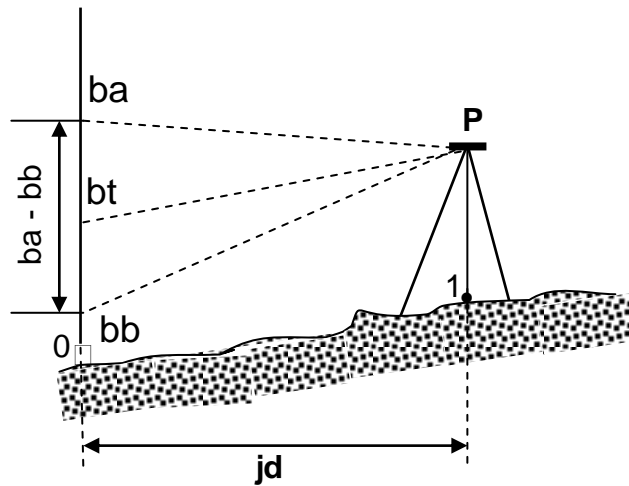
- Panjang sisi – sisi polygoon
- Besar sudut miring antar dua titik ukur
- Besar sudut titik-titik ukur polygon

Dari hasil pengukuran yang dihitung adalah:

1. Perhitungan jarak

- Jarak optis dihitung dengan persamaan:

$$J_o = (ba - bb) \times 100$$



Gambar 5.41. Pembacaan benang jarak pada bak ukur

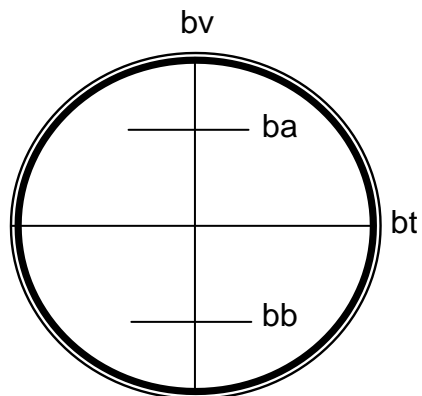
Keterangan:

ba = benang atas; bb = benang bawah;

bt = benang tengah 100 = konstanta

jd = jarak datar (akan dibahas lebih lanjut)

ba – bb = jarak optis pada rambu ukur



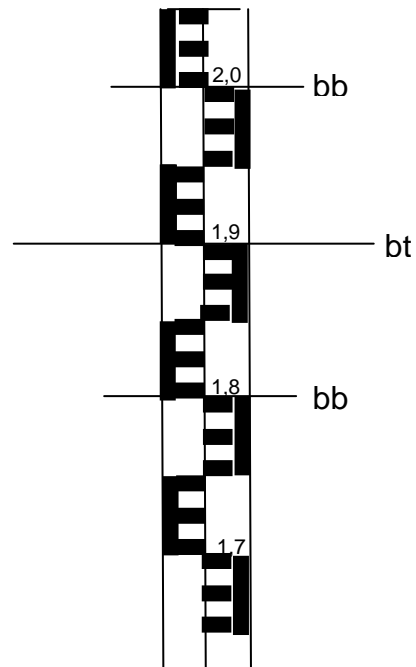
Gambar 5.42. Gambar benang diaphragma dalam teropong

Keterangan :

ba, bb = benang jarak (untuk menentukan jarak)

bt = benang tengah horizontal (untuk menentukan garis bidik beda tinggi)

bv = benang tengah vertical (untuk menentukan garis bidik sudut horizontal)



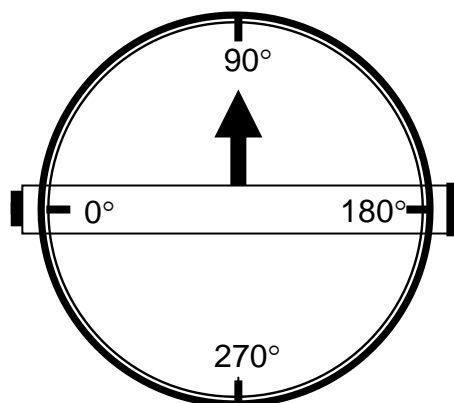
Gambar 5.43. Kedudukan benang diapragma pada bak ukur

$$J = (ba - bb) \times 100 = (2 - 1,8) \times 100 = 20 \text{ m}$$

2. Perhitungan sudut miring

- Sudut miring zenith.

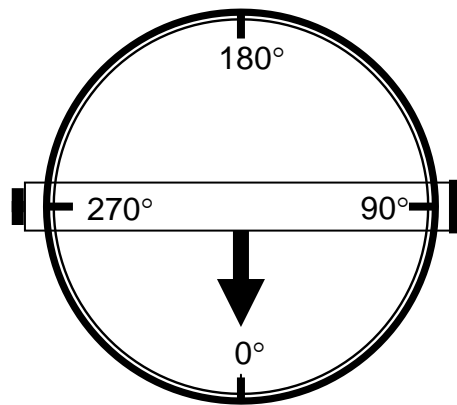
Sudut miring zenith dihitung dari bidang vertical 90



Gambar 5.44. Bagan lingkaran vertical/sudut miring zenit

- Sudut miring nadir.

Sudut miring nadir dihitung dari bidang vertical = 0°



Gambar 5.45. Bagan lingkaran vertical/sudut miring nadir

- Sudut miring nadir ke sudut miring zenit

Sudut miring nadir ke sudut miring zenith, persamaannya : $^\circ$

$$\alpha_Z = 90^\circ - \alpha_N$$

Keterangan: α_Z = sudut zenith; α_N = sudut nadir

$$90^\circ = \text{konstanta}$$

- Sudut miring zenit ke sudut miring nadir

Sudut miring zenit ke sudut miring nadir, persamaannya : $^\circ$

$$\alpha_N = 90^\circ - \alpha_Z$$

3. Perhitungan jarak normal dan datar dengan sudut miring nadir:

- Jarak normal dapat dihitung dengan persamaan:

Pada rambu ukur: $j_n = (b_a - b_b) \times \cos\alpha$

Pada permukaan tanah : $j_n = (b_a - b_b) \times \cos\alpha \times 100$

- Jarak datar dihitung dengan persamaan:

$$j_d = j_n \times \cos\alpha = j_o \times (\cos\alpha)^2$$

4. Perhitungan jarak normal dan datar dengan sudut miring zenit:

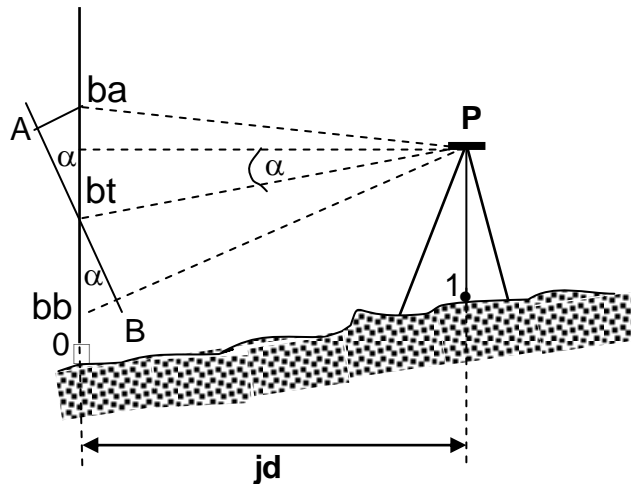
- Jarak normal dapat dihitung dengan persamaan:

Pada rambu ukur: $j_n = (b_a - b_b) \times \sin\alpha$

Pada permukaan tanah : $j_n = (b_a - b_b) \times \sin \alpha \times 100$

- Jarak datar dihitung dengan persamaan:

$$j_d = j_n \times \sin \alpha = j_o \times (\sin \alpha)^2$$



Gambar 5.46. Bagan jarak optis dan jarak di permukaan tanah

Keterangan:

α = sudut miring; $A \rightarrow b_a \perp A \rightarrow B$; $B \rightarrow b_b \perp A \rightarrow B$; $P \rightarrow b_t \perp A \rightarrow B$.

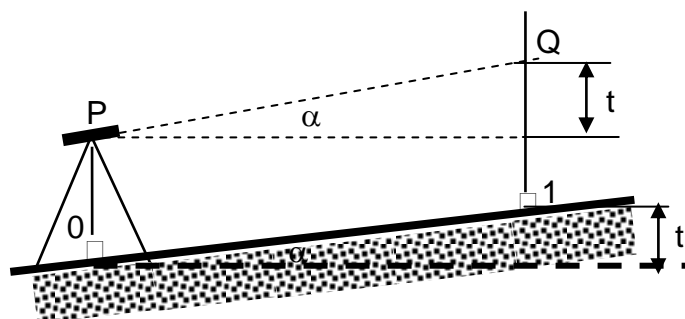
$0 \rightarrow b_t = 1 \rightarrow P$; $A \rightarrow B$ = jarak normal pada rambu ukur;

$0 \rightarrow 1 = P \rightarrow b_t$ = jarak normal (j_n) pada permukaan tanah

5. Perhitungan beda tinggi antar titik ukur

Beda tinggi antartitik ukur dihitung dengan persamaan:

$$t = j_o \times \sin \alpha \times \cos \alpha$$



Gambar 5.47. Pengukuran beda tinggi

Keterangan: t = beda tinggi antara titik $0 \rightarrow 1$

α = sudut miring

$P \rightarrow 0 = Q \rightarrow 1$

6. Menghitung ketinggian titik ukur terhadap titik lokal

Ketinggian titik ukur terhadap titik lokal persamaannya

adalah: $H_n = H_{n-1} + t$

Keterangan:

H_n = Ketinggian titik ukur yang dicari

t = Beda tinggi antar titik ukur

H_{n-1} = Titik ukur yang telah ditentukan harga ketinggian lokalnya

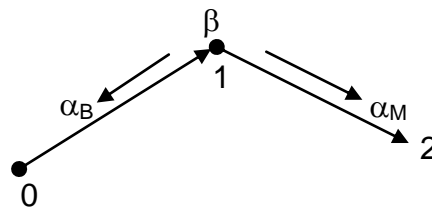
7. Menghitung besar sudut tiap titik ukur

Perhitungan besar sudut horizontal pada setiap titik ukur dapat dilakukan dengan cara sebagai berikut:

- **Perhitungan sudut disebelah kiri jalur ukuran**

Sudut disebelah kiri jalur persamaannya adalah:

$$\beta = \alpha_M - \alpha_B$$



Gambar 5.48. Kedudukan sudut di kiri jalur ukuran

Keterangan:

β = Besar sudut tiap titik ukur

α_M = Pembacaan sudut jurusan ke depan

α_B = Pembacaan sudut jurusan ke belakang

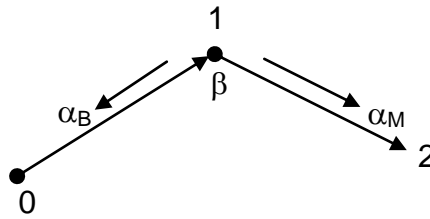
● → = Arah jalur ukuran

→ = Arah pembacaan sudut jurusan

- **Perhitungan sudut disebelah kanan jalur ukuran**

Sudut disebelah kanan jalur persamaannya adalah:

$$\beta = \alpha_B - \alpha_M$$



Gambar 5.49. Kedudukan sudut di kanan jalur ukuran

Keterangan:

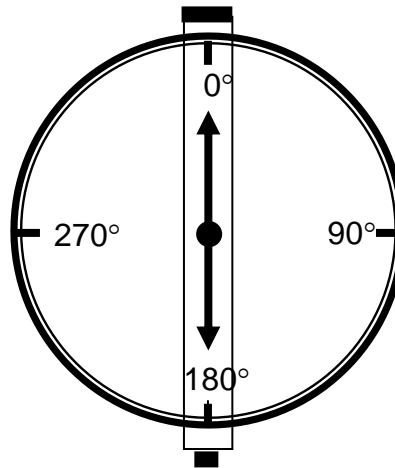
β = Besar sudut tiap titik ukur

α_M = Pembacaan sudut jurusan ke depan

α_B = Pembacaan sudut jurusan ke belakang

●→ = Arah jalur ukuran

→ = Arah pembacaan sudut jurusan



Gambar 5.50. Bagan lingkaran sudut horisontal

Catatan:

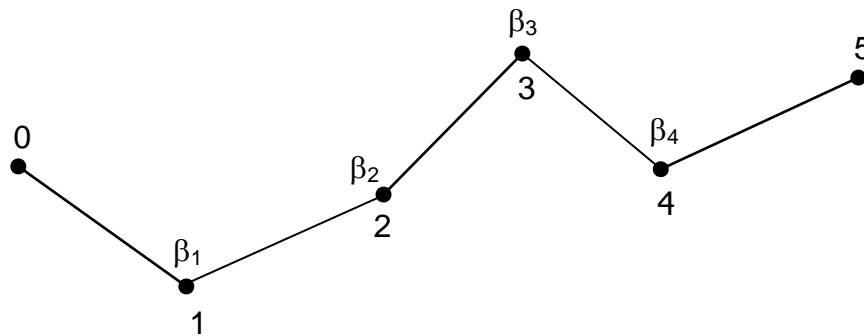
- Kedudukan lingkaran horizontal tidak bergerak
- Kedudukan teropong dapat bergerak ke posisi titik bidik

Contoh.

Dari data hasil pengukuran polygon terbuka tak terikat titik tetap pada tabel 5.6. di bawah ini akan dihitung :

Tabel 5.6. Catatan data hasil pengukuran polygon tertutup terikat titik tetap

No. Batok	No. Tinjau Berdiri	Pembacaan benang				Sudut	Jarak		Sudut miring	Selisih tinggi		Koreksi (-)	Tinggi lokal
		Tengah belakang	Tengah muka	Atas	Bawah		Optis	Datar		+	-		
	0											800,000	
	1	1,400		1,800	1,000	20°			79°40'				
	1		1,400	1,850	0,950	140°			84°45'				
	2	1,550		2,000	1,2100	350°			95°15'				
	2		1,550	1,950	1,150	140°			74°15'				
	3	0,800		1,200	0,400	340°			105°45'				
	3		0,800	1,225	0,375	250°			94°20'				
	4	1,025		1,450	0,600	200°			85°40'				
	4		1,025	1,475	0,575	320°			81°50'				



Gambar 5.51. Sket bentuk pengukuran polygon terbuka tak terikat titik tetap

1. Perhitungan jarak

- Jarak optis dihitung dengan persamaan:

$$J_o = (b_a - b_b) \times 100$$

$$J_{o_1} = (1,800 - 1,000) \times 100 = 80 \text{ m}$$

$$J_{o_2} = (,850 - 0,950) \times 100 = 90 \text{ m}$$

$$J_{o_3} = (1,950 - 1,150) \times 100 = 80 \text{ m}$$

$$J_{o_4} = (1,225 - 0,375) \times 100 = 85 \text{ m}$$

$$J_{o_5} = (1,475 - 0,575) \times 100 = 90 \text{ m}$$

- Jarak datar dihitung dengan persamaan:

$$J_d = J_o \times (\sin \alpha)^2$$

$$J_{d_1} = J_{o_1} \times (\sin \alpha)^2 = 80 \times (\sin 79^\circ 40')^2 = 77,426 \text{ m}$$

$$J_{d_2} = J_{o_2} \times (\sin \alpha)^2 = 90 \times (\sin 84^\circ 45')^2 = 89,246 \text{ m}$$

$$J_{d_3} = J_{o_3} \times (\sin \alpha)^2 = 80 \times (\sin 74^\circ 15')^2 = 74,106 \text{ m}$$

$$J_{d_4} = J_{o_4} \times (\sin \alpha)^2 = 85 \times (\sin 85^\circ 40')^2 = 84,515 \text{ m}$$

$$J_{d_5} = J_{o_5} \times (\sin \alpha)^2 = 90 \times (\sin 81^\circ 50')^2 = 88,184 \text{ m}$$

2. Perhitungan beda tinggi antar titik ukur

Beda tinggi antartitik ukur dihitung dengan persamaan:

$$t = J_o \times \sin \alpha \times \cos \alpha$$

$$t_1 = J_{o_1} \times \sin \alpha \times \cos \alpha = -80 \times \sin 79^\circ 40' \times \cos 77^\circ 40' = -14,117 \text{ m}$$

$$t_2 = J_{o_2} \times \sin \alpha \times \cos \alpha = 90 \times \sin 84^\circ 45' \times \cos 84^\circ 45' = 8,200 \text{ m}$$

$$t_3 = J_{o_3} \times \sin \alpha \times \cos \alpha = 80 \times \sin 74^\circ 15' \times \cos 74^\circ 15' = 20,900 \text{ m}$$

$$t_4 = J_{o_4} \times \sin \alpha \times \cos \alpha = 85 \times \sin 94^\circ 20' \times \cos 94^\circ 20' = -6,404 \text{ m}$$

$$t_5 = J_{o_5} \times \sin \alpha \times \cos \alpha = 90 \times \sin 81^\circ 50' \times \cos 81^\circ 50' = 12,655 \text{ m}$$

3. Menghitung ketinggian titik ukur terhadap ketinggian lokal

Ketinggian titik ukur terhadap titik permukaan air laut persamaannya

adalah: $H_n = H_{n-1} + t$

Keterangan:

H_n = Ketinggian titik ukur yang dicari

t = Beda tinggi antar titik ukur

H_{n-1} = Titik ukur yang telah ditentukan harga ketinggian lokalnya ut

Diketahui ketinggian titik local 0 (H_0) = 800,000 m

$$H_1 = H_0 + t_1 = 0,000 - 14,117 = -14,117 \text{ m}$$

$$H_2 = H_1 + t_2 = -14,117 + 8,200 = -5,917 \text{ m}$$

$$H_3 = H_2 + t_3 = -5,917 + 20,900 = 14,983 \text{ m}$$

$$H_4 = H_3 + t_4 = 14,983 - 6,404 = 8,579 \text{ m}$$

$$H_5 = H_4 + t_5 = 8,579 + 12,655 = 21,234 \text{ m}$$

4. Menghitung sudut horisontal

Dari data hasil pengukuran pada tabel 5.6, akan dihitung sudut di sebelah kiri dari jalur ukuran seperti gambar 5.52, dengan persamaan sebagai berikut:

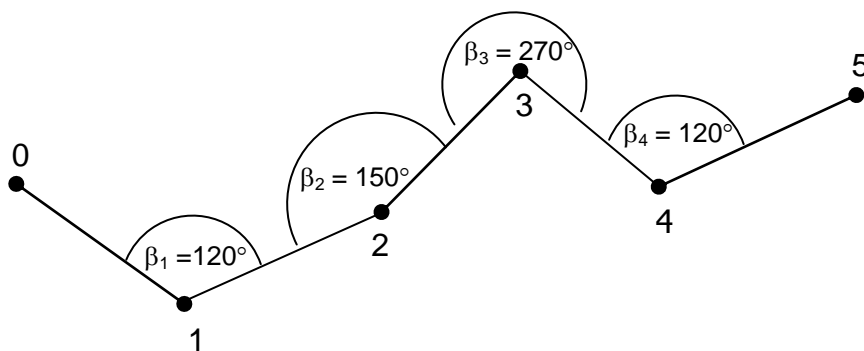
$$\beta = \beta_M - \beta_B$$

$$\beta_1 = \beta_{M1} - \beta_{B1} = 140^\circ - 20^\circ = 120^\circ$$

$$\beta_2 = \beta_{M2} - \beta_{B2} = 140^\circ - 350^\circ = -210^\circ = -210^\circ + 360^\circ = 150^\circ$$

$$\beta_3 = \beta_{M3} - \beta_{B3} = 250^\circ - 340^\circ = -90^\circ = -90^\circ + 360^\circ = 270^\circ$$

$$\beta_4 = \beta_{M4} - \beta_{B4} = 320^\circ - 200^\circ = 120^\circ$$



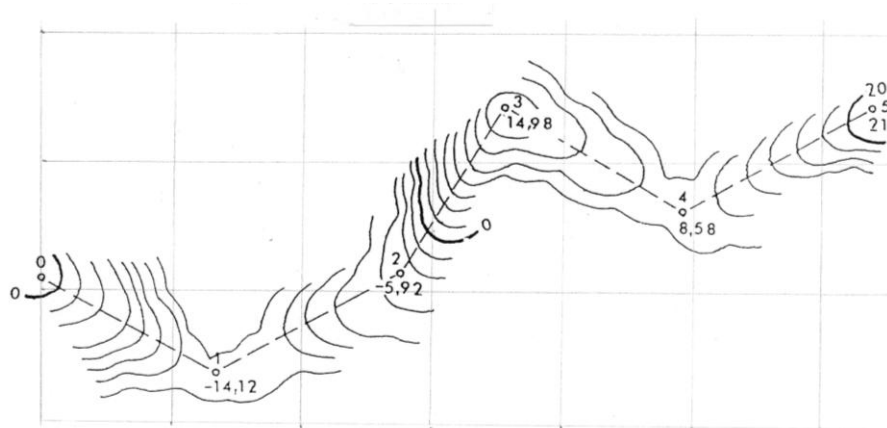
Gambar 5.52. Sket posisi sudut di sebelah kiri jalur ukuran

Tabel 5.7. Cara mengisi jarak, beda tinggi dan ketinggian lokal

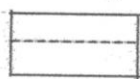
No. patok	Tinjau Berdiri	Pembacaan benang				Sudut	Jarak		Sudut miring	Selisih tinggi		Koreksi (-)	Tinggi lokal
		Tengah belakang	Tengah muka	Atas	Bawah		Optis	Datar		+	-		
0												0,000	
1	0	1,400		1,800	1,000	20°	80,000	77,426	79°40'		14,117	-14,117	
1	2		1,400	1,850	0,950	140°	90,000	89,246	84°45'	8,200		-5,917	
2	1	1,550		2,000	1,2100	350°			95°15'				
2	3		1,550	1,950	1,150	140°	80,000	74,106	74°15'	20,900		14,983	
3	2	0,800		1,200	0,400	340°			105°45'				
3	4		0,800	1,225	0,375	250°	85,000	84,515	94°20'		6,404	8,579	
4	3	1,025		1,450	0,600	200°			85°40'				
4	5		1,025	1,475	0,575	320°	90,000	88,184	81°50'	12,655		21,234	

Gambar 5.53. Peta topografi polygon terbuka tak terikat

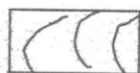
Skala 1:2500



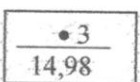
Keterangan:



Garis ukur



Interval kontur a 2 m



Nomor titik ukur dan ketinggian lokal bebas

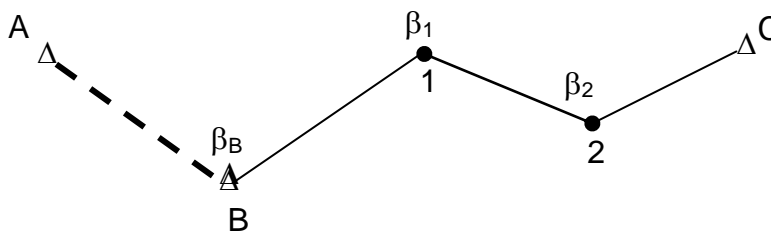
Catatan:

Pada pengukuran polygon terbuka tak terikat titik tetap yang tidak bisa dikontrol kesalahannya adalah:

1. Hasil perhitungan sudut horizontal
2. Hasil perhitungan beda tinggi

2). Bagian polygon terbuka terikat titik tetap

Pada pengukuran polygoon terbuka terikat titik tetap, titik awal tidak menjadi titik akhir pengukuran (lihat gambar 5.54)



Gambar 5.54. Bentuk pengukuran polygon terbuka terikat titik tetap

Dalam perhitungan dan penggambarannya diperlukan perhitungan – perhitungan dengan ketentuan yang berlaku dalam pembuatan peta, seperti :

- Harus ditentukan bidang datumnya (elipsoide, geode)
- Harus ditentukan bidang proyeksinya (Universe Transverse Mercator, Kerucut)
- Harus ditentukan sistim koordinatnya
- Harus ditentukan azimuth garis polygon
- Harus ditentukan azimuth garis utara bumi, magnit, grid dan deklinasi magnit

Dalam penggambaran petanya dilakukan dengan cara:

- Ditentukan skalanya
- Titik-titik ukur diplot pada peta dengan sistim koordinat
- Ketinggian titik ukur ditentukan dari permukaan air laut
- Harga garis kontur ditentukan sesuai dengan kaedah peta atau untuk peta teknis disesuaikan dengan ketelitian yang diperlukan.

Yang diukur pada polygon terbuka terikat titik tetap adalah :

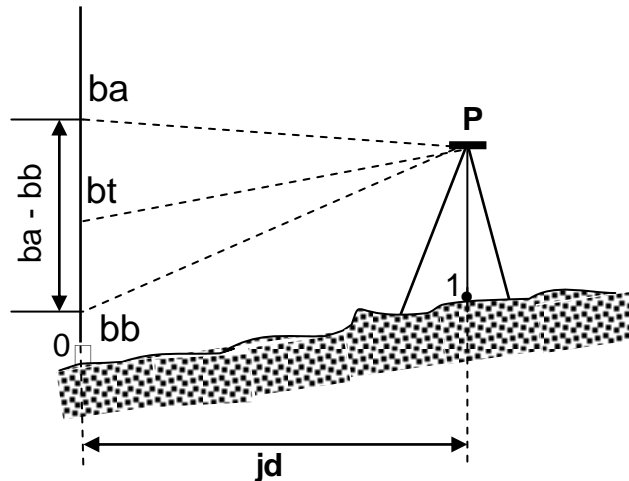
- Azimut awal pengukuran
- Panjang sisi – sisi polygoon
- Besar sudut miring antar dua titik ukur
- Besar sudut titik-titik ukur polygon

Dari hasil pengukuran yang dihitung adalah:

1. Perhitungan jarak

- Jarak optis dihitung dengan persamaan:

$$Jo = (ba - bb) \times 100$$



Gambar 5.55. Pembacaan benang jarak pada bak ukur

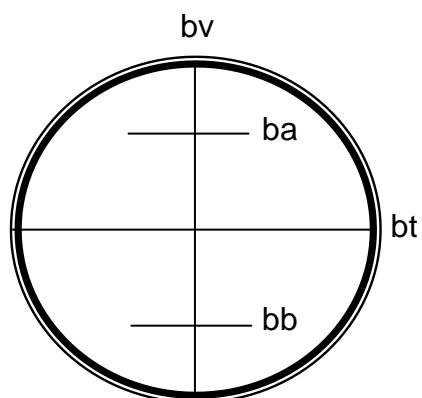
Keterangan:

ba = benang atas; bb = benang bawah;

bt = benang tengah 100 = konstanta

jd = jarak datar (akan dibahas lebih lanjut)

ba – bb = jarak optis pada rambu ukur



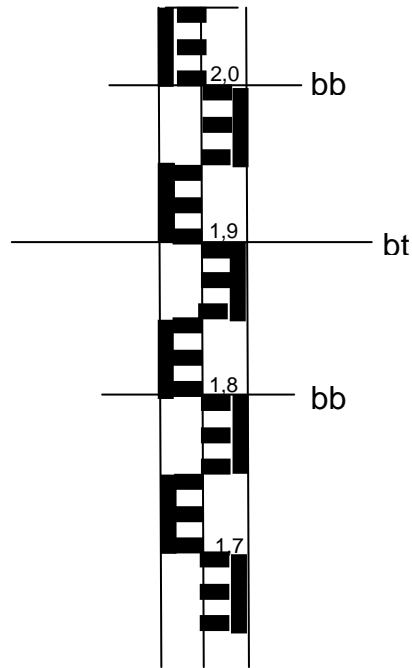
Gambar 5.56. Gambar benang diaphragma dalam teropong

Keterangan :

ba, bb = benang jarak (untuk menentukan jarak)

bt = benang tengah horizontal (untuk menentukan garis bidik beda tinggi)

bv = benang tengah vertical (untuk menentukan garis bidik sudut horizontal)



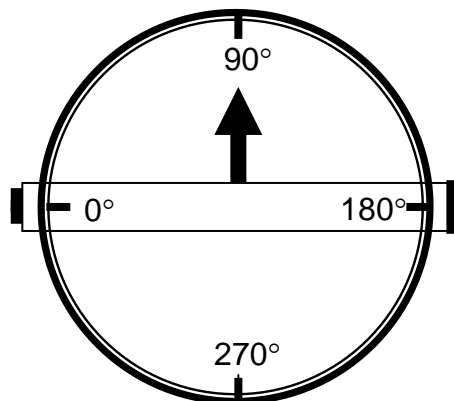
Gambar 5.57. Kedudukan benang diaprigma pada bak ukur

$$J = (ba - bb) \times 100 = (2 - 1,8) \times 100 = 20 \text{ m}$$

2. Perhitungan sudut miring

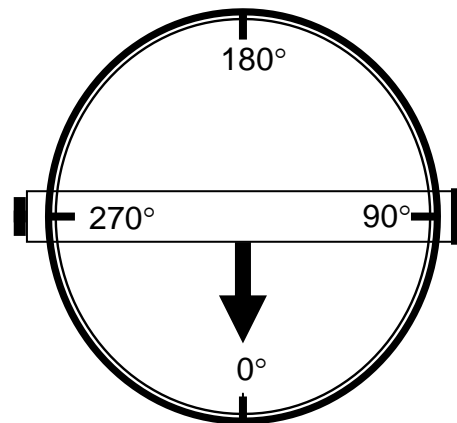
- Sudut miring zenith.

Sudut miring zenith dihitung dari bidang vertical 90



Gambar 5.58. Bagan lingkaran vertical/sudut miring zenith

- Sudut miring nadir.
Sudut miring nadir dihitung dari bidang vertical = 0°



Gambar 5.59. Bagan lingkaran vertical/sudut miring nadir

- Sudut miring nadir ke sudut miring zenit
Sudut miring nadir ke sudut miring zenith, persamaannya : $^\circ$

$$\alpha_Z = 90^\circ - \alpha_N$$

Keterangan: α_Z = sudut zenith; α_N = sudut nadir

90° = konstanta

- Sudut miring zenit ke sudut miring nadir
Sudut miring zenit ke sudut miring nadir, persamaannya : $^\circ$

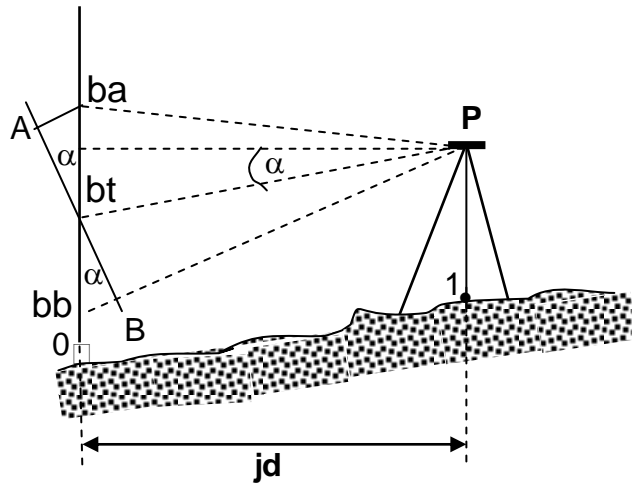
$$\alpha_N = 90^\circ - \alpha_Z$$

3. Perhitungan jarak normal dan datar dengan sudut miring nadir:

- Jarak normal dapat dihitung dengan persamaan:
Pada rambu ukur: $j_n = (b_a - b_b) \times \cos \alpha$
Pada permukaan tanah : $j_n = (b_a - b_b) \times \cos \alpha \times 100$
- Jarak datar dihitung dengan persamaan:
 $j_d = j_n \times \cos \alpha = j_o \times (\cos \alpha)^2$

4. Perhitungan jarak normal dan datar dengan sudut miring zenit:

- Jarak normal dapat dihitung dengan persamaan:
 Pada rambu ukur: $j_n = (ba - bb) \times \sin\alpha$
 Pada permukaan tanah : $j_n = (ba - bb) \times \sin\alpha \times 100$
- Jarak datar dihitung dengan persamaan:
 $jd = j_n \times \sin\alpha = jo \times (\sin\alpha)^2$



Gambar 5.60. Bagan jarak optis dan jarak di permukaan tanah

Keterangan:

α = sudut miring; $A \rightarrow ba \perp A \rightarrow B$; $B \rightarrow bb \perp A \rightarrow B$; $P \rightarrow bt \perp A \rightarrow B$.

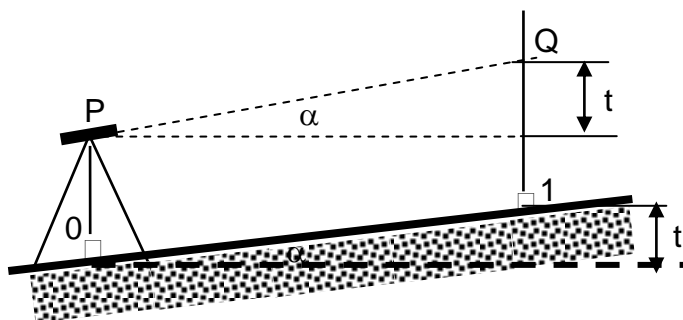
$0 \rightarrow bt = 1 \rightarrow P$; $A \rightarrow B$ = jarak normal pada rambu ukur;

$0 \rightarrow 1 = P \rightarrow bt$ = jarak normal (j_n) pada permukaan tanah

5. Perhitungan beda tinggi antar titik ukur

Beda tinggi antartitik ukur dihitung dengan persamaan:

$$t = jo \times \sin\alpha \times \cos\alpha$$



Gambar 5.61. Pengukuran beda tinggi

Keterangan: t = beda tinggi antara titik $0 \rightarrow 1$

α = sudut miring

$P \rightarrow 0 = Q \rightarrow 1$

6. Menghitung ketinggian titik ukur terhadap permukaan air laut

Ketinggian titik ukur terhadap titik lokal persamaannya

adalah: $H_n = H_{n-1} + t$

Keterangan:

H_n = Ketinggian titik ukur yang dicari

t = Beda tinggi antar titik ukur

H_{n-1} = Titik ukur yang telah ditentukan harga ketinggian lokalnya

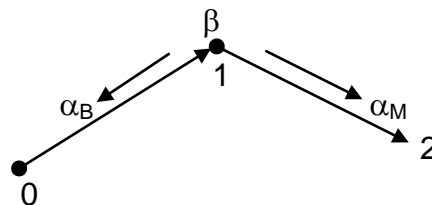
7. Menghitung besar sudut tiap titik ukur

Perhitungan besar sudut horizontal pada setiap titik ukur dapat dilakukan dengan cara sebagai berikut:

- **Perhitungan sudut disebelah kiri jalur ukuran**

Sudut disebelah kiri jalur persamaannya adalah:

$$\beta = \alpha_M - \alpha_B$$



Gambar 5.62. Kedudukan sudut di kiri jalur ukuran

Keterangan:

β = Besar sudut tiap titik ukur

α_M = Pembacaan sudut jurusan ke depan

α_B = Pembacaan sudut jurusan ke belakang

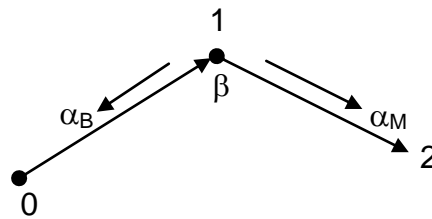
● → = Arah jalur ukuran

→ = Arah pembacaan sudut jurusan

- **Perhitungan sudut disebelah kanan jalur ukuran**

Sudut disebelah kanan jalur persamaannya adalah:

$$\beta = \alpha_B - \alpha_M$$



Gambar 5.63. Kedudukan sudut di kanan jalur ukuran

Keterangan:

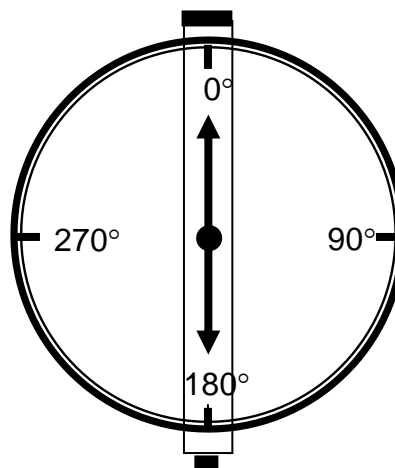
β = Besar sudut tiap titik ukur

α_M = Pembacaan sudut jurusan ke depan

α_B = Pembacaan sudut jurusan ke belakang

●→ = Arah jalur ukuran

→ = Arah pembacaan sudut jurusan



Gambar 5.64. Bagan lingkaran sudut horisontal

Catatan:

- Kedudukan lingkaran horizontal tidak bergerak
- Kedudukan teropong dapat bergerak ke posisi titik bidik

8. Perhitungan azimuth awal pengikatan pengukuran dan azimuth sis-sisi polygon.

Perhitungan azimuth awal pengikatan pengukuran

Diketahui koordinat titik A dan titik B.

Perhitungan azimuth awal dihitung dengan persamaan:

$$\text{tg}\alpha_{B \rightarrow A} = (X_A - X_B)/(Y_A - Y_B), \text{ (lihat gambar 5.54)}$$

$\alpha_{B \rightarrow A} \Rightarrow$ diketahui

Maka azimuth sisi-sisi polygon lainnya dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$(\alpha_{B \rightarrow 1}) = \alpha_{B \rightarrow A} + \beta_B ; \quad (\alpha_{1 \rightarrow 2}) = \alpha_{1 \rightarrow B} + \beta_1$$

$$(\alpha_{2 \rightarrow C}) = \alpha_{2 \rightarrow 1} + \beta_C;$$

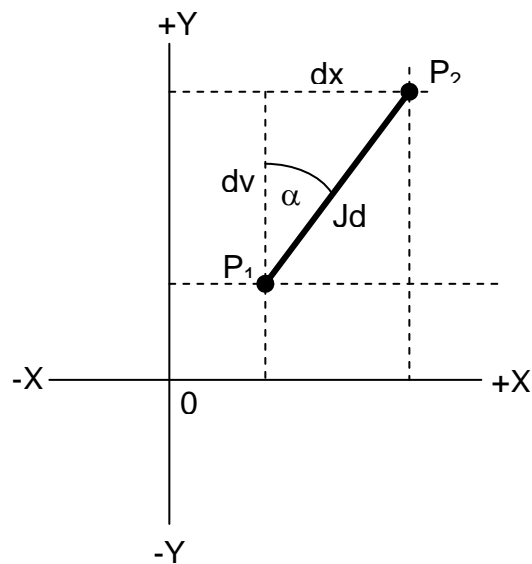
Catatan: Dalam perhitungan ini diambil sudut kiri dari arah jalur pengukuran

9. Perhitungan absis dan ordinat

a. Perhitungan absis

Absis dapat dihitung dengan persamaan :

$$dx = Jd \times \sin\alpha$$



Gambar 5.65. Kedudukan absis dan ordinat

- b. Perhitungan ordinat
Ordinat dapat dihitung dengan persamaan :

$$dy = Jd \times \cos\alpha$$

Keterangan:

α = Azimut; Jd = Jarak datar;

dx = absis; dy = Ordinat

Kalau hasil pengukuran benar:

$$\sum(dx+) + (dx-) = X_{AKHIR} - X_{AWAL} = h_X$$

$$\sum(dy+) + (dy-) = Y_{AKHIR} - Y_{AWAL} = h_Y$$

Keterangan:

h_X = hasil hitungan absis

h_Y = hasil hitungan ordinat

- c. Kesalahan pengukuran
Kalau hasil pengukuran salah persamaannya:

$$h_{XP} = \sum(dx+) + (dx-) \neq h_X$$

$$h_{YP} = \sum(dy+) + (dy-) \neq h_Y$$

$$e_X = h_{XP} - h_X ; e_Y = h_{YP} - h_Y$$

Keterangan:

e_X = kesalahan hasil pengukuran absis

e_Y = kesalahan hasil pengukuran ordinat

h_{XP} = selisih hasil pengukuran absis akhir dan absis awal

h_{YP} = selisih hasil pengukuran ordinat akhir dan ordinat awal

- d. Koreksi kesalahan
- Koreksi kesalahan jarak sisi polygon tiap meter untuk absis, persamaannya: $k_X = e_X / \sum Jd$
 - Koreksi kesalahan jarak tiap sisi polygon untuk absis, persamaannya : $k'_X = k_X \times Jd$
 - Koreksi kesalahan jarak sisi polygon tiap meter untuk ordinat, persamaannya : $k_Y = e_Y / \sum Jd$
 - Koreksi kesalahan jarak tiap sisi polygon untuk ordinat, persamaannya : $k'_Y = k_Y \times Jd$

Keterangan:

$\sum Jd$ = jumlah jarak datar

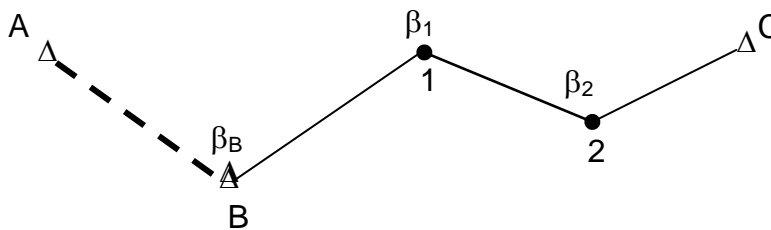
10. Perhitungan koordinat

Perhitungan koordinat pada gambar 5.66, dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$X_1 = X_B + Jd_1 \times \sin \alpha_{B \rightarrow 1}; \quad Y_1 = Y_B + Jd_1 \times \cos \alpha_{B \rightarrow 1}$$

$$X_2 = X_1 + Jd_2 \times \sin \alpha_{1 \rightarrow 2}; \quad Y_2 = Y_1 + Jd_2 \times \cos \alpha_{1 \rightarrow 2}$$

$$X_C = X_2 + Jd_3 \times \sin \alpha_{2 \rightarrow C}; \quad Y_C = Y_2 + Jd_3 \times \cos \alpha_{2 \rightarrow C}$$



Gambar 5.66. Bentuk pengukuran polygon terbuka terikat titik tetap

11. Toleransi kesalahan koordinat

Dari hasil pengukuran polygon terbuka terikat titik tetap di atas perlu diulang atau tidak dapat dikontrol dengan toleransi seperti di bawah ini:

Toleransi kesalahan koordinat dapat dihitung dengan persamaan

$$v = [(0,0007L)^2 + \{0,02(L)^{1/2}\}^2 + 2]^{1/2} = ((\Delta x)^2 + (\Delta y)^2)^{1/2}$$

Rumus tersebut diambil dari: Foutengrenzen, Topografische Diens Batavia Hendruk, 1949

Keterangan:

L = jarak datar

Δx = selisih hasil perhitungan absis akhir dan awal pengukuran

Δy = selisih hasil perhitungan ordinat akhir dan awal pengukuran

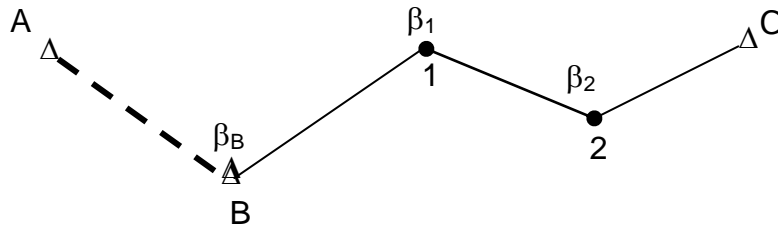
0,0007; 0,02; dan 2 = konstanta

Contoh.

Dari data hasil pengukuran polygon terbuka terikat titik tetap pada tabel 5.8. di bawah ini akan dihitung :

Tabel 5.9. Catatan data hasil pengukuran polygon terbuka terikat titik tetap

No. Berkas	No. Tinjau	Pembacaan benang				Sudut	Jarak		Sudut miring	Selisih tinggi		Koreksi (-)	Tinggi lokal
		Tengah belakang	Tengah muka	Atas	Bawah		Optis	Datar		+	-		
B												1600,000	
B	A					350°							
B	1		0,995	1,500	0,490	90°			95°20'				
1	B	1,195		1,700	0,690	200°			84°40'				
1	2		1,195	1,815	0,575	80°			79°50'				
2	1	1,180		1,800	0,560	340°			100°10'				
2	C		1,180	1,590	0,770	100°			81°50'			1623,700	



Gambar 5.67. Sket bentuk pengukuran polygon terbuka terikat titik tetap

1. Perhitungan jarak

- Jarak optis dihitung dengan persamaan:

$$J_o = (b_a - b_b) \times 100$$

$$J_{o_1} = (1,500 - 0,490) \times 100 = 101 \text{ m}$$

$$J_{o_2} = (1,815 - 0,575) \times 100 = 124 \text{ m}$$

$$J_{o_3} = (1,590 - 0,770) \times 100 = 82 \text{ m}$$

- Jarak datar dihitung dengan persamaan:

$$J_d = J_o \times (\sin \alpha)^2$$

$$J_{d_1} = J_{o_1} \times (\sin \alpha)^2 = 101 \times (\sin 95^\circ 20')^2 = 100,12 \text{ m}$$

$$J_{d_2} = J_{o_2} \times (\sin \alpha)^2 = 124 \times (\sin 79^\circ 50')^2 = 120,14 \text{ m}$$

$$J_{d_3} = J_{o_3} \times (\sin \alpha)^2 = 82 \times (\sin 81^\circ 50')^2 = 80,34 \text{ m}$$

2. Perhitungan beda tinggi antar titik ukur

Beda tinggi antartitik ukur dihitung dengan persamaan:

$$t = J_o \times \sin \alpha \times \cos \alpha$$

$$t_1 = J_{o_1} \times \sin \alpha \times \cos \alpha = 101 \times \sin 95^\circ 20' \times \cos 95^\circ 20' = -9,347 \text{ m}$$

$$t_2 = J_{o_2} \times \sin \alpha \times \cos \alpha = 124 \times \sin 79^\circ 50' \times \cos 79^\circ 50' = 21,544 \text{ m}$$

$$t_3 = J_{o_3} \times \sin \alpha \times \cos \alpha = 82 \times \sin 81^\circ 50' \times \cos 81^\circ 50' = 11,530 \text{ m}$$

Untuk mengetahui kebenaran/kesalahan hasil pengukuran beda tinggi, persamaannya sebagai berikut

1). Kalau benar $\Rightarrow h = H_{AKHIR} - H_{AWAL} = (\sum t+) + (\sum t-) = h_P$

2). Kalau salah $\Rightarrow h \neq \{h_P = (\sum t+) + (\sum t-)\}$

3). Kesalahan beda tinggi $\Rightarrow e = h_P - h$

$$\sum t+ = \text{Jumlah beda tinggi positif}$$

Σt^- = Jumlah beda tinggi negatif

h = Hitungan beda tinggi antara titik awal dan akhir pengukuran

h_P = Perhitungan beda tinggi antara titik awal dan akhir pengukuran

e = Kesalahan beda tinggi hasil hitungan dan pengukuran

Diketahui ketinggian titik dari permukaan air laut:

Titik B (H_B) = 1600 m. Titik C (H_C) = 1623,700 m

$h = H_C - H_B = 1623,700 - 1600 = 23,700$ m

$(\Sigma t^+) = 21,544 + 11,530 = 33,074$ m

$(\Sigma t^-) = 9,347$ m

$\Sigma t = (\Sigma t^+) + (\Sigma t^-) = 33,074 + 9,347 = 42,421$ m

$h_P = (\Sigma t^+) - (\Sigma t^-) = 33,074 - 9,347 = 23,727$ m

$e = h_P - h = 23,727 - 23,700 = 0,027$ m

3. Perhitungan koreksi kesalahan beda tinggi

- $\Sigma t = (\Sigma t^+) + (\Sigma t^-) = 42,421 \Rightarrow$ (jumlah total)
- Koreksi kesalahan tiap m beda tinggi (k) = $-e/\Sigma t$
 $(k) = -e/\Sigma t = -0,027/42,421 = -0,00064$ m
- Koreksi beda tinggi tiap titik ukur (k') = $k \times t$
 $(k'_1) = k \times t_1 = 9,347 \times -0,00064 = -0,006$ m
 $(k'_2) = k \times t_2 = 21,544 \times -0,00064 = -0,014$ m
 $(k'_3) = k \times t_3 = 11,530 \times -0,00064 = -0,007$ m
- Beda tinggi antartitik ukur setelah dikoreksi (t') = $t + k'$
 $(t'_1) = (k'_1) + t_1 = -0,006 + 9,347 = 9,341$ m
 $(t'_2) = (k'_2) + t_2 = 21,544 - 0,014 = 21,530$ m
 $(t'_3) = (k'_3) + t_3 = 11,530 - 0,007 = 11,523$ m

4. Menghitung ketinggian titik ukur terhadap permukaan air laut

Ketinggian titik ukur terhadap titik permukaan air laut persamaannya

adalah: $H_n = H_{n-1} + t$

Keterangan:

H_n = Ketinggian titik ukur yang dicari

t = Beda tinggi antar titik ukur

H_{n-1} = Titik ukur yang telah ditentukan harga ketinggian dari permukaan air laut.

Harga ketinggian titik ukur 1; 2 dan C dari permukaan air laut adalah:

$$H_1 = H_B + (t'_1) = 1600 - 9,353 = 1590,647 \text{ m}$$

$$H_2 = H_1 + (t'_2) = 1590,647 + 21,530 = 1612,177 \text{ m}$$

$$H_C = H_2 + (t'_3) = 1612,177 + 11,523 = 1623,700 \text{ m}$$

Tabel 5.10. Cara mengisi jarak, beda tinggi dan ketinggian muka air laut

No. patok	Tinjau	Pembacaan benang				Sudut	Jarak		Sudut miring	Selisih tinggi		Koreksi (-)	Tinggi dari muka air laut
		Tengah belakang	Tengah muka	Atas	Bawah		Optis	Datar		+	-		
B												1600,000	
B	A				350°								
B	1		0,995	1,500	0,490	90°	101	100,120	95°20'		9,353	1590,647	
1	B	1,195		1,700	0,690	200°	101		84°40'				
1	2		1,195	1,815	0,575	80°	124	120,140	79°50'	21,530		1612,177	
2	1	1,180		1,800	0,560	340°	124		100°10'				
2	C		1,180	1,590	0,770	100°	82	80,340	81°50'	11,523		1623,700	

5. Menghitung sudut horisontal

Dari data hasil pengukuran pada tabel 5.9, akan dihitung:

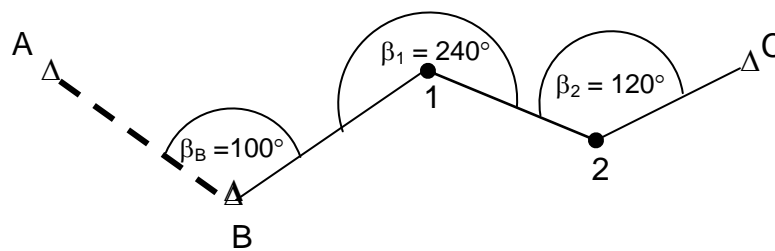
- Sudut di sebelah kiri dari jalur ukuran seperti gambar 5.68, dengan persamaan sebagai berikut:

$$\beta = \beta_M - \beta_B$$

$$\beta_B = \beta_{M1} - \beta_{B1} = 90^\circ - 350^\circ = -260^\circ = -260^\circ + 360^\circ = 100^\circ$$

$$\beta_1 = \beta_{M2} - \beta_{B2} = 80^\circ - 200^\circ = -120^\circ = -120^\circ + 360^\circ = 240^\circ$$

$$\beta_2 = \beta_{M3} - \beta_{B3} = 100^\circ - 340^\circ = -240^\circ = -240^\circ + 360^\circ = 120^\circ$$



Gambar 5.68. Sket posisi sudut di sebelah kiri arah jalur ukuran polygon terbuka terikat

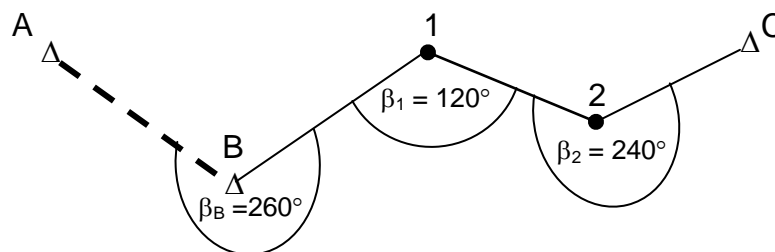
- Sudut di sebelah kanan dari jalur ukuran seperti gambar 5.69, dengan persamaan sebagai berikut:

$$\beta = \beta_M - \beta_B$$

$$\beta_B = \beta_{B1} - \beta_{M1} = 350^\circ - 90^\circ = 260^\circ$$

$$\beta_1 = \beta_{B2} - \beta_{M2} = 200^\circ - 80^\circ = 120^\circ$$

$$\beta_2 = \beta_{B3} - \beta_{M3} = 340^\circ - 100^\circ = 240^\circ$$



Gambar 5.69. Sket posisi sudut di sebelah kanan arah jalur ukuran polygon terbuka terikat

Catatan: Kesalahan sudut horizontal tidak bisa dikontrol, karena akhir pengukuran tidak diikatkan pada garis polygon yang telah ditentukan azimuthnya, seperti pada awal pengukuran.

6. Menghitung azimuth sisi-sisi polygon

Pada gambar 5.68 akan dihitung azimuth dari sisi-sisi poligonnya dengan persamaan sebagai berikut:

- Sudut di sebelah kiri jalur ukuran:

Diketahui koordinat titik: A \Rightarrow $X_A = 6000$ m; $Y_A = 6000$ m

B \Rightarrow $X_B = 8000$ m; $Y_B = 4000$ m

$$\text{tg}\alpha_{B \rightarrow A} = (X_A - X_B) / (Y_A - Y_B)$$

$$= (6000 - 8000) / (6000 - 4000) = -2000 / 2000 = -1 \text{ (kw IV)}$$

$$\alpha_{B \rightarrow A} = 315^\circ \Rightarrow \alpha_{A \rightarrow B} = \alpha_{B \rightarrow A} - 180^\circ = 315^\circ - 180^\circ = 135^\circ$$

- Azimut dari B \rightarrow 1 ($\alpha_{B \rightarrow 1}$) = Azimut dari B \rightarrow A ($\alpha_{B \rightarrow A}$) + β_B

$$(\alpha_{B \rightarrow 1}) = (\alpha_{B \rightarrow A}) + \beta_B = 315^\circ + 100^\circ = 415^\circ$$

$$= 415^\circ - 360^\circ = 55^\circ$$

- Azimut dari 1 \rightarrow 2 ($\alpha_{1 \rightarrow 2}$) = Azimut dari 1 \rightarrow B ($\alpha_{1 \rightarrow B}$) + β_1

$$(\alpha_{1 \rightarrow 2}) = (\alpha_{1 \rightarrow B}) + \beta_1 = 235^\circ + 240^\circ = 475^\circ$$

$$= 475^\circ - 360^\circ = 115^\circ$$

- Azimut dari 2 \rightarrow C ($\alpha_{2 \rightarrow C}$) = Azimut dari 2 \rightarrow 1 ($\alpha_{2 \rightarrow 1}$) + β_2

$$(\alpha_{2 \rightarrow C}) = (\alpha_{2 \rightarrow 1}) + \beta_2 = 295^\circ + 120^\circ = 415^\circ$$

$$= 415^\circ - 360^\circ = 55^\circ$$

- Sudut di sebelah kanan jalur ukuran:

Diketahui koordinat titik: A \Rightarrow $X_A = 6000$ m; $Y_A = 6000$ m

B \Rightarrow $X_B = 8000$ m; $Y_B = 4000$ m

$$\text{tg}\alpha_{B \rightarrow A} = (X_A - X_B) / (Y_A - Y_B)$$

$$= (6000 - 8000) / (6000 - 4000) = -2000 / 2000 = -1 \text{ (kw IV)}$$

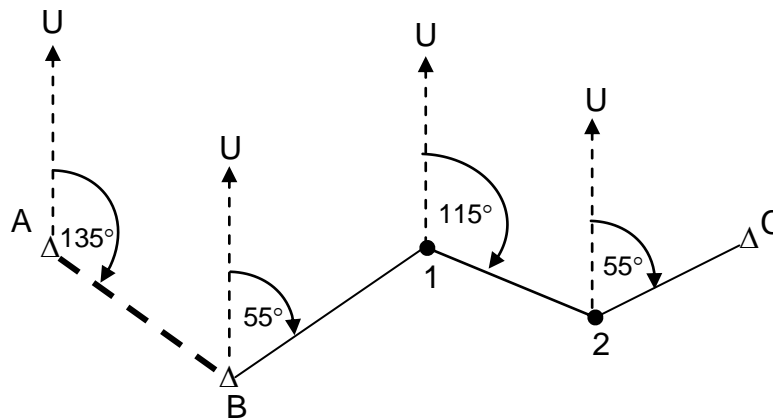
$$\alpha_{B \rightarrow A} = 315^\circ$$

- Azimut dari B \rightarrow 1 ($\alpha_{B \rightarrow 1}$) = Azimut dari B \rightarrow A ($\alpha_{B \rightarrow A}$) - β_B

$$(\alpha_{B \rightarrow 1}) = (\alpha_{B \rightarrow A}) - \beta_B = 315^\circ - 260^\circ = 55^\circ$$

Azimut dari 1 \rightarrow 2 ($\alpha_{1 \rightarrow 2}$) = Azimut dari 1 \rightarrow B ($\alpha_{1 \rightarrow B}$) - β_1

$$(\alpha_{1 \rightarrow 2}) = (\alpha_{1 \rightarrow B}) - \beta_1 = 235^\circ - 120^\circ = 115^\circ$$



Gambar 5.69a. Sket posisi azimuth pada pengukuran polygon terbuka terikat

$$\begin{aligned} \text{Azimut dari } 2 \rightarrow C (\alpha_{2 \rightarrow C}) &= \text{Azimut dari } 2 \rightarrow 1 (\alpha_{2 \rightarrow 1}) - \beta_2 \\ (\alpha_{2 \rightarrow C}) &= (\alpha_{2 \rightarrow 1}) + \beta_2 = 295^\circ - 240^\circ = 55^\circ \end{aligned}$$

7. Perhitungan absis dan ordinat

a. Perhitungan absis

Absis dapat dihitung dengan persamaan :

$$dx = Jd \times \sin \alpha$$

Diketahui koordinat titik: A $\Rightarrow X_A = 6000$ m; $Y_A = 6000$ m

B $\Rightarrow X_B = 8000$ m; $Y_B = 4000$ m

$$dx_1 = Jd_1 \times \sin \alpha_{B \rightarrow 1} = 100,12 \times \sin 55^\circ = 82,013 \text{ m}$$

$$dx_2 = Jd_2 \times \sin \alpha_{1 \rightarrow 2} = 120,14 \times \sin 115^\circ = 108,884 \text{ m}$$

$$dx_3 = Jd_3 \times \sin \alpha_{2 \rightarrow C} = 80,34 \times \sin 55^\circ = 65,811 \text{ m}$$

b. Perhitungan ordinat

Ordinat dapat dihitung dengan persamaan :

$$dy = Jd \times \cos \alpha$$

$$dy_1 = Jd_1 \times \cos \alpha_{B \rightarrow 1} = 100,12 \times \cos 55^\circ = 57,426 \text{ m}$$

$$dy_2 = Jd_2 \times \cos \alpha_{1 \rightarrow 2} = 120,14 \times \cos 115^\circ = -50,773 \text{ m}$$

$$dy_3 = Jd_3 \times \cos \alpha_{2 \rightarrow C} = 80,34 \times \cos 55^\circ = 46,081 \text{ m}$$

c. Hasil perhitungan absis dan ordinat dari hasil ukuran

$$h_{XP} = \sum dx = dx_1 + dx_2 + dx_3 = 82,013 + 108,884 + 65,811 = 256,708 \text{ m}$$

$$h_{YP} = \sum dy = dy_1 + dy_2 + dy_3 = 57,426 - 50,773 + 46,081 = 52,734 \text{ m}$$

d. Hasil hitungan absis dan ordinat dari titik tetap

$$h_X = X_{AKHIR} - X_{AWAL} = X_C - X_B = 8256 - 8000 = 256 \text{ m}$$

$$h_Y = Y_{AKHIR} - Y_{AWAL} = Y_C - Y_B = 4052 - 4000 = 52 \text{ m}$$

e. Kesalahan pengukuran absis dan ordinat

- $e_X = h_{XP} - h_X = 256,708 - 256 = 0,708 \text{ m}$

- $e_Y = h_{YP} - h_Y = 52,734 - 52 = 0,734 \text{ m}$

f. Koreksi kesalahan

- $\sum Jd = Jd_1 + Jd_2 + Jd_3 = 100,12 + 120,14 + 80,34 = 300,60 \text{ m}$

- Koreksi kesalahan: absis ($-e_X$) = $-0,708 \text{ m}$

- Koreksi kesalahan ordinat ($-e_Y$) = $-0,734 \text{ m}$

- Koreksi kesalahan jarak sisi polygon tiap meter untuk absis, persamaannya: $k_X = -e_X / \sum Jd = -0,708 / 300,60 = -0,002355 \text{ m}$

- Koreksi kesalahan jarak tiap sisi polygon untuk absis, persamaannya

$$k'_X = k_X \times Jd$$

$$k'_{1X} = k_{1X} \times Jd_1 = 100,12 \times -0,002355 = -0,236 \text{ m}$$

$$k'_{2X} = k_{2X} \times Jd_2 = 120,14 \times -0,002355 = -0,283 \text{ m}$$

$$k'_{3X} = k_{3X} \times Jd_3 = 80,34 \times -0,002355 = -0,189 \text{ m}$$

- Koreksi kesalahan jarak sisi polygon tiap meter untuk ordinat, persamaannya: $k_Y = -e_Y / \sum Jd = -0,734 / 300,60 = -0,00244178 \text{ m}$

- Koreksi kesalahan jarak tiap sisi polygon untuk ordinat, persamaannya $k'_Y = k_Y \times Jd$

$$k'_{1Y} = k_{1Y} \times Jd_1 = 100,12 \times -0,00244178 = -0,245 \text{ m}$$

$$k'_{2Y} = k_{2Y} \times Jd_2 = 120,14 \times -0,00244178 = -0,293 \text{ m}$$

$$k'_{3Y} = k_{3Y} \times Jd_3 = 80,34 \times -0,00244178 = -0,196 \text{ m}$$

g. Absis dan ordinat hasil koreksi

- $d'_x_1 = dx_1 - k'_{1X} = 82,013 - 0,236 = 81,777 \text{ m}$

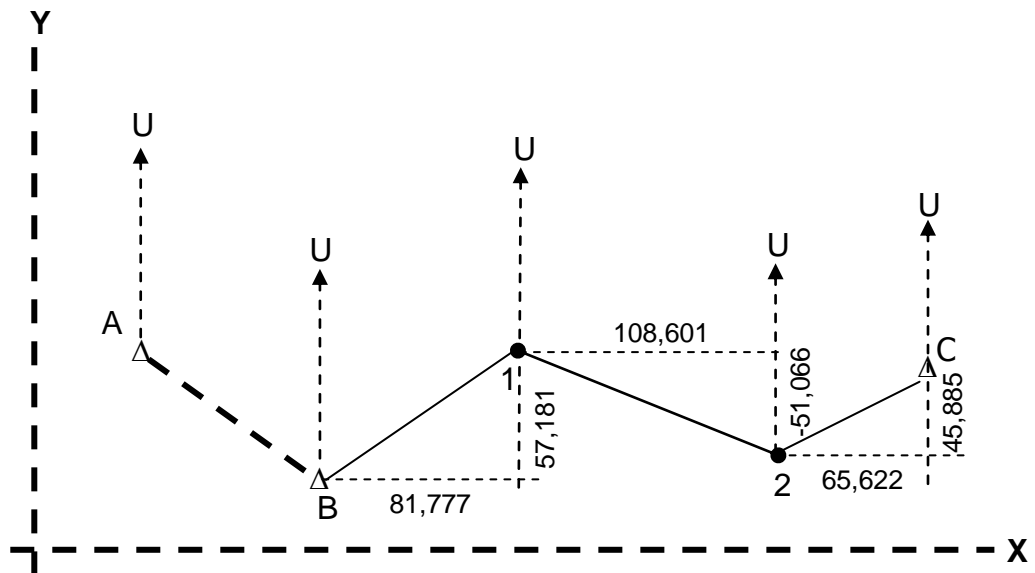
- $d'_x_2 = dx_2 - k'_{2X} = 108,884 - 0,283 = 108,601 \text{ m}$

- $d'_x_3 = dx_3 - k'_{3X} = 65,811 - 0,189 = 65,622 \text{ m}$

- $d'_y_1 = dy_1 - k'_{1Y} = 57,426 - 0,245 = 57,181 \text{ m}$

- $d'_y_2 = dy_2 - k'_{2Y} = -50,773 - 0,293 = -51,066 \text{ m}$

- $d'y_3 = dy_3 - k'_{3Y} = 46,081 - 0,196 = 45,885 \text{ m}$



Gambar 5.70. Sket posisi absis dan ordinat pada polygon terbuka terikat

8. Perhitungan koordinat

Diketahui koordinat titik : $A \Rightarrow X_A = 6000 \text{ m}; Y_A = 6000 \text{ m}$

$B \Rightarrow X_B = 8000 \text{ m}; Y_B = 4000 \text{ m}$

$C \Rightarrow X_C = 8256 \text{ m}; Y_C = 4052 \text{ m}$

Dari gambar 5.70 akan dihitung koordinat titik: 1; 2; dan C

$$1 \Rightarrow X_1 = X_B + d'x_1 = 8000 + 81,777 = 8081,777 \text{ m};$$

$$Y_1 = Y_B + d'y_1 = 4000 + 57,181 \text{ m} = 4057,181 \text{ m}$$

$$2 \Rightarrow X_2 = X_1 + d'x_2 = 8081,777 + 108,601 = 8190,378 \text{ m};$$

$$Y_2 = Y_1 + d'y_2 = 4057,181 - 51,066 \text{ m} = 4006,115 \text{ m}$$

$$C \Rightarrow X_C = X_2 + d'x_3 = 8190,378 + 65,622 = 8256 \text{ m};$$

$$Y_C = Y_2 + d'y_3 = 4006,115 + 45,885 = 4052 \text{ m}$$

9. Toleransi kesalahan koordinat

Dari hasil pengukuran polygon terbuka terikat titik tetap di atas perlu diulang atau tidak dapat dikontrol dengan toleransi seperti di bawah ini:

Toleransi kesalahan koordinat dapat dihitung dengan persamaan

$$v = [(0,0007L)^2 + \{0,02(L)^{1/2}\}^2 + 2]^{1/2} = ((\Delta x)^2 + (\Delta y)^2)^{1/2}$$

Keterangan:

L = jarak datar

Δx = selisih hasil perhitungan absis akhir dan awal pengukuran

Δy = selisih hasil perhitungan ordinat akhir dan awal pengukuran

0,0007; 0,02; dan 2 = konstanta

Rumus tersebut diambil dari: Foutengrenzen, Topografische Diens Batavia Hendruk, 1949

Kesalahan pengukuran: $e_x = \Delta x = 0,708$ m; $e_y = \Delta y = 0,734$ m

$$e = ((\Delta x)^2 + (\Delta y)^2)^{1/2} = ((0,708)^2 + (0,734)^2)^{1/2} = 1,0198 \text{ m}$$

$$v = [(0,0007L)^2 + \{0,02(L)^{1/2}\}^2 + 2]^{1/2}$$

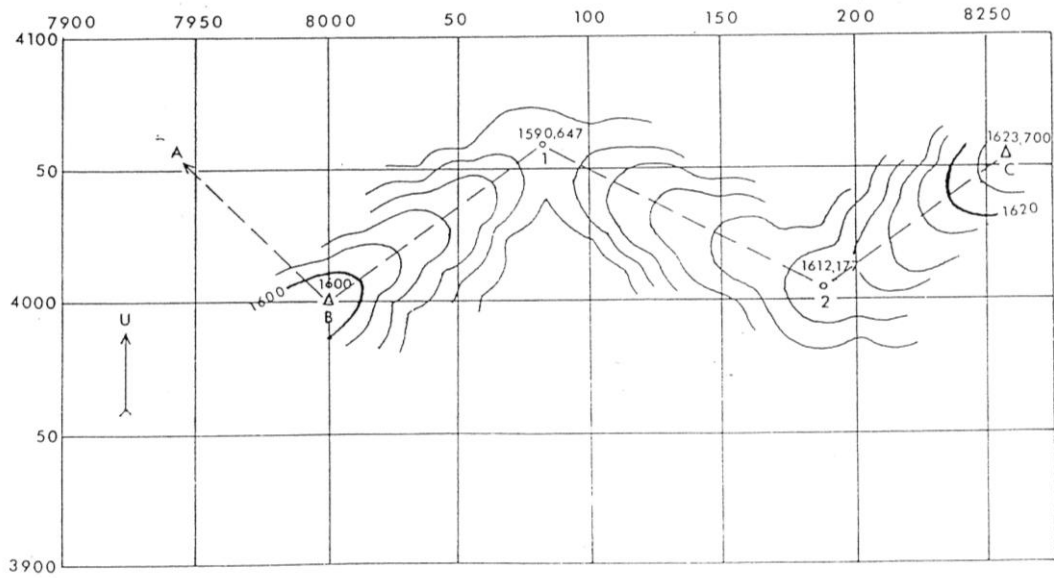
$$v = [(0,0007 \times 300,6)^2 + \{0,02(300,6)^{1/2}\}^2 + 2]^{1/2} = 1,471 \text{ m}$$

$e < v \Rightarrow$ maka pengukuran tak perlu diulang

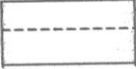
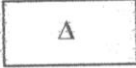

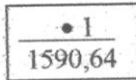
Tabel 11. Cara mengisi sudut, azimuth, absis, ordinat dan koordinat pada blanko ukur

Titik	Sudut	Kor	Azimut	Jarak	J.sin α	Kor (-)	J.cos α	Kor (-)	X	Y
A									6000	6000
			135							
B	100								8000	4000
			55	100,12	82,013	0,236	57,426	0,245		
1	240								8081,777	4057,181
			115	120,14	108,884	0,283	-50,773	0,293		
2	120								8190,378	4006,115
			55	80,34	65,811	0,189	46,081	0,196		
C									8256	4052
				300,60	256,708	0,708	52,734	0,734	256	52

PETA TOPOGRAFI
1 : 2500

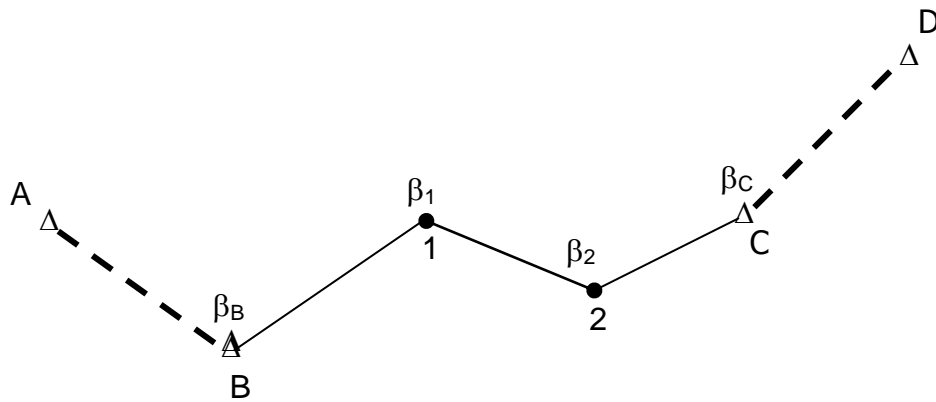


Keterangan:

-  Garis ukur
-  Titik triangulasi
-  Interval kontur a 2 m
-  Nomor titik ukur dan ketinggian dari muka air laut

3). Bagian polygon terbuka sempurna terikat titik tetap

Pada pengukuran polygoon terbuka sempurna terikat titik tetap, titik awal tidak menjadi titik akhir pengukuran (lihat gambar 5.71)



Gambar 5.71. Bentuk pengukuran polygon terbuka sempurna terikat titik tetap

Pada awal pengukuran dan akhir pengukuran diikatkan pada titik tetap dan garis bidik yang telah ditentukan azimuthnya.

Dalam perhitungan dan penggambarannya diperlukan perhitungan – perhitungan dengan ketentuan yang berlaku dalam pembuatan peta, seperti :

- Harus ditentukan bidang datumnya (elipsoide, geode)
- Harus ditentukan bidang proyeksinya (Universe Transverse Mercator, Kerucut)
- Harus ditentukan sistim koordinatnya
- Harus ditentukan azimuth garis polygon
- Harus ditentukan azimuth garis utara bumi, magnit, grid dan deklinasi magnit

Dalam penggambaran petanya dilakukan dengan cara:

- Ditentukan skalanya
- Titik-titik ukur diplot pada peta dengan sistim koordinat
- Ketinggian titik ukur ditentukan dari permukaan air laut
- Harga garis kontur ditentukan sesuai dengan kaedah peta atau untuk peta teknis disesuaikan dengan ketelitian yang diperlukan.

Yang diukur pada polygon terbuka sempurna terikat titik tetap adalah :

- Azimuth awal dan akhir pengukuran
- Panjang sisi – sisi polygoon
- Besar sudut miring antar dua titik ukur

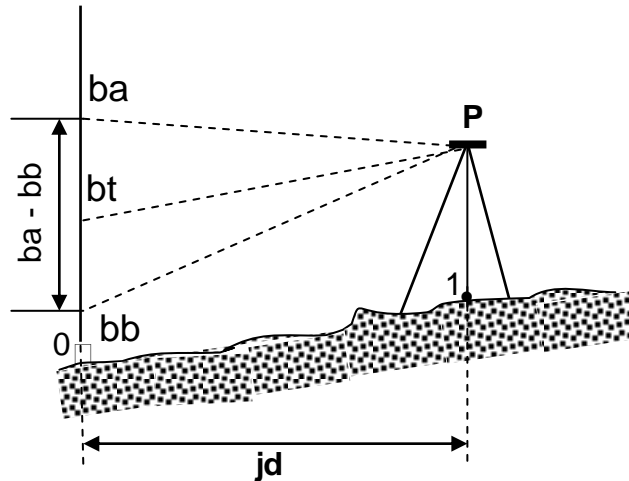
d. Besar sudut titik-titik ukur polygon

Dari hasil pengukuran yang dihitung adalah:

1. Perhitungan jarak

- Jarak optis dihitung dengan persamaan:

$$Jo = (ba - bb) \times 100$$



Gambar 5.72. Pembacaan benang jarak pada bak ukur

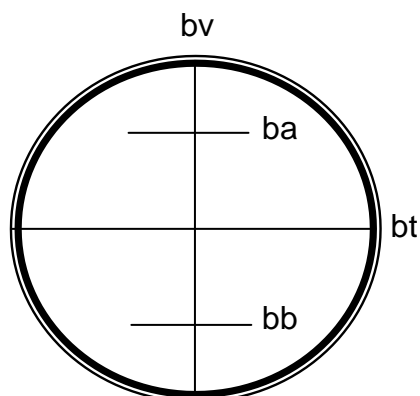
Keterangan:

ba = benang atas; bb = benang bawah;

bt = benang tengah 100 = konstanta

jd = jarak datar (akan dibahas lebih lanjut)

ba – bb = jarak optis pada rambu ukur



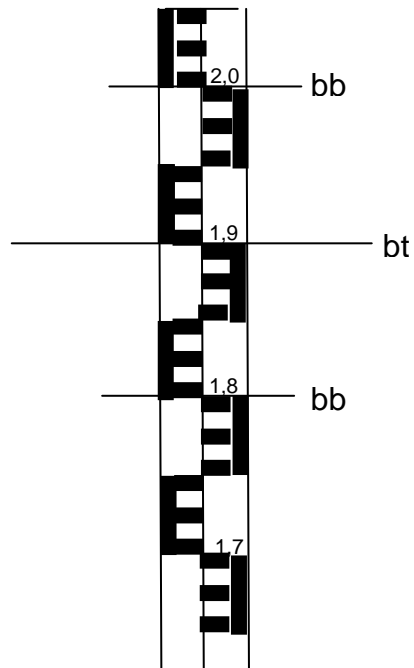
Gambar 5.73. Gambar benang diaphragma dalam teropong

Keterangan :

ba, bb = benang jarak (untuk menentukan jarak)

bt = benang tengah horizontal (untuk menentukan garis bidik beda tinggi)

bv = benang tengah vertical (untuk menentukan garis bidik sudut horizontal)



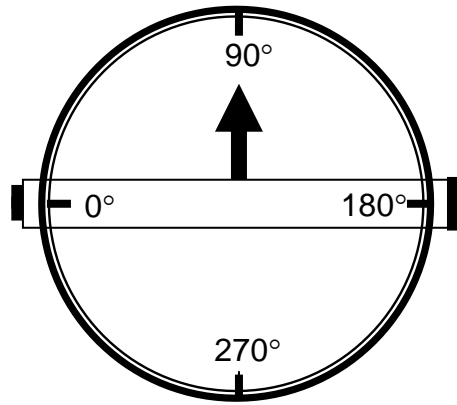
Gambar 5.74. Kedudukan benang diaprigma pada bak ukur

$$J = (ba - bb) \times 100 = (2 - 1,8) \times 100 = 20 \text{ m}$$

2. Perhitungan sudut miring

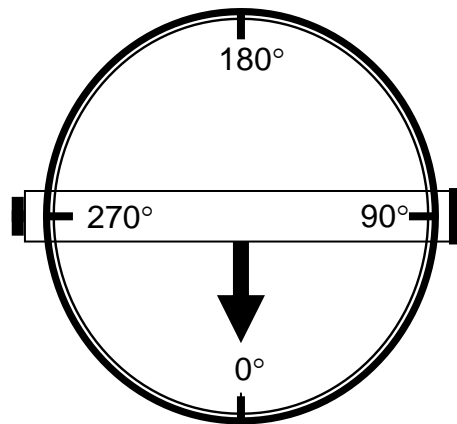
- Sudut miring zenith.

Sudut miring zenith dihitung dari bidang vertical 90



Gambar 5.75. Bagan lingkaran vertical/sudut miring zenit

- Sudut miring nadir.
Sudut miring nadir dihitung dari bidang vertical = 0°



Gambar 5.76. Bagan lingkaran vertical/sudut miring nadir

- Sudut miring nadir ke sudut miring zenit
Sudut miring nadir ke sudut miring zenith, persamaannya : $^\circ$
 $\alpha_Z = 90^\circ - \alpha_N$
Keterangan: α_Z = sudut zenith; α_N = sudut nadir
 90° = konstanta
- Sudut miring zenit ke sudut miring nadir
Sudut miring zenit ke sudut miring nadir, persamaannya : $^\circ$

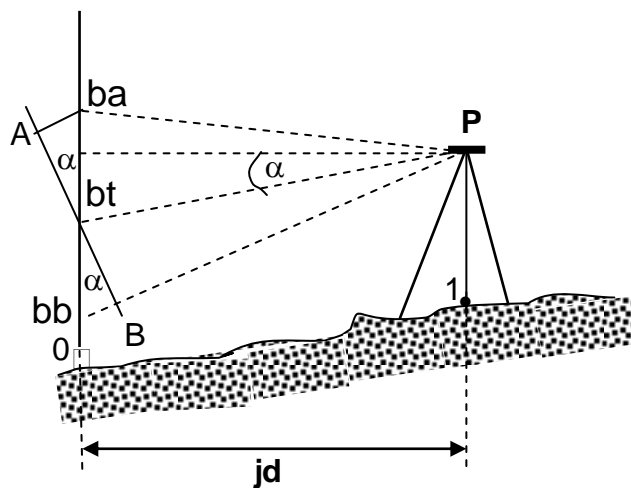
$$\alpha_N = 90^\circ - \alpha_Z$$

3. Perhitungan jarak normal dan datar dengan sudut miring nadir:

- Jarak normal dapat dihitung dengan persamaan:
 Pada rambu ukur: $j_n = (ba - bb) \times \cos\alpha$
 Pada permukaan tanah : $j_n = (ba - bb) \times \cos\alpha \times 100$
- Jarak datar dihitung dengan persamaan:
 $j_d = j_n \times \cos\alpha = j_o \times (\cos\alpha)^2$

4. Perhitungan jarak normal dan datar dengan sudut miring zenit:

- Jarak normal dapat dihitung dengan persamaan:
 Pada rambu ukur: $j_n = (ba - bb) \times \sin\alpha$
 Pada permukaan tanah : $j_n = (ba - bb) \times \sin\alpha \times 100$
- Jarak datar dihitung dengan persamaan:
 $j_d = j_n \times \sin\alpha = j_o \times (\sin\alpha)^2$



Gambar 5.77. Bagan jarak optis dan jarak di permukaan tanah

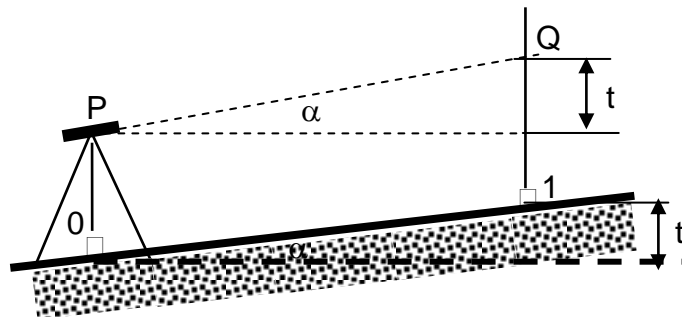
Keterangan:

α = sudut miring; $A \rightarrow ba \perp A \rightarrow B$; $B \rightarrow bb \perp A \rightarrow B$; $P \rightarrow bt \perp A \rightarrow B$.
 $0 \rightarrow bt = 1 \rightarrow P$; $A \rightarrow B$ = jarak normal pada rambu ukur;
 $0 \rightarrow 1 = P \rightarrow bt$ = jarak normal (j_n) pada permukaan tanah

5. Perhitungan beda tinggi antar titik ukur

Beda tinggi antartitik ukur dihitung dengan persamaan:

$$t = jo \times \sin\alpha \times \cos\alpha$$



Gambar 5.78. Pengukuran beda tinggi

Keterangan: t = beda tinggi antara titik $0 \rightarrow 1$

α = sudut miring

$P \rightarrow 0 = Q \rightarrow 1$

6. Menghitung ketinggian titik ukur terhadap permukaan air laut

Ketinggian titik ukur terhadap titik lokal persamaannya

adalah: $H_n = H_{n-1} + t$

Keterangan:

H_n = Ketinggian titik ukur yang dicari

t = Beda tinggi antar titik ukur

H_{n-1} = Titik ukur yang telah ditentukan harga ketinggian lokalnya

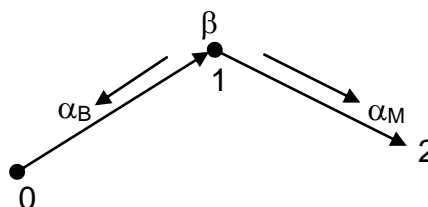
7. Menghitung besar sudut tiap titik ukur

Perhitungan besar sudut horizontal pada setiap titik ukur dapat dilakukan dengan cara sebagai berikut:

- **Perhitungan sudut disebelah kiri jalur ukuran**

Sudut disebelah kiri jalur persamaannya adalah:

$$\beta = \alpha_M - \alpha_B$$



Gambar 5.79. Kedudukan sudut di kiri jalur ukuran

Keterangan:

β = Besar sudut tiap titik ukur

α_M = Pembacaan sudut jurusan ke depan

α_B = Pembacaan sudut jurusan ke belakang

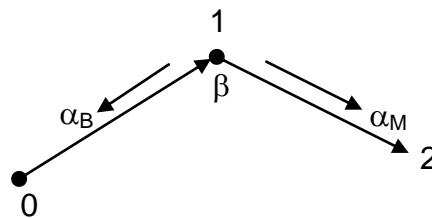
●→ = Arah jalur ukuran

→ = Arah pembacaan sudut jurusan

- **Perhitungan sudut disebelah kanan jalur ukuran**

Sudut disebelah kanan jalur persamaannya adalah:

$$\beta = \alpha_B - \alpha_M$$



Gambar 5.80. Kedudukan sudut di kanan jalur ukuran

Keterangan:

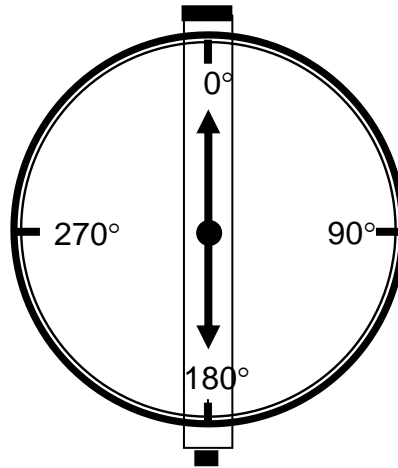
β = Besar sudut tiap titik ukur

α_M = Pembacaan sudut jurusan ke depan

α_B = Pembacaan sudut jurusan ke belakang

●→ = Arah jalur ukuran

→ = Arah pembacaan sudut jurusan



Gambar 5.81. Bagan lingkaran sudut horisontal

Catatan:

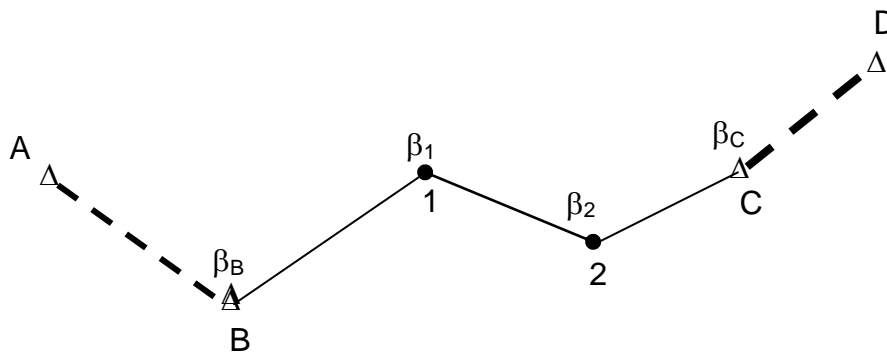
- Kedudukan lingkaran horizontal tidak bergerak
- Kedudukan teropong dapat bergerak ke posisi titik bidik

8. Perhitungan sudut hasil pengukuran

• **Perhitungan jumlah sudut hasil pengukuran**

- Perhitungan jumlah sudut di sebelah kiri jalur ukuran, dengan persamaan sebagai berikut (lihat gambar 5.82).

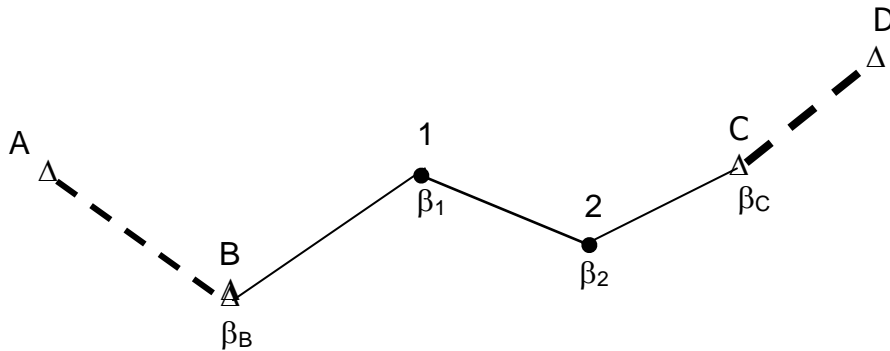
$$\Sigma\beta = \alpha_{C \rightarrow D} - \alpha_{B \rightarrow A} + (n-1) \times 180^\circ = h$$



Gambar 5.82. Posisi sudut di sebelah kiri jalur ukuran.

- Perhitungan jumlah sudut di sebelah kanan jalur ukuran, dengan persamaan sebagai berikut (lihat gambar 5.83).

$$\Sigma\beta = \alpha_{B \rightarrow A} - \alpha_{C \rightarrow D} + (n-1) \times 180^\circ = h$$



Gambar 5.83. Posisi sudut di sebelah kanan jalur ukuran

Keterangan:

$$\Sigma\beta = \Sigma\beta_B + \Sigma\beta_1 + \Sigma\beta_2 + \Sigma\beta_C$$

n = Jumlah titik sudut

1 = Konstanta

180° = Konstanta

h = Jumlah sudut hasil hitungan

9. Perhitungan koreksi sudut

- Perhitungan koreksi sudut

- Kesalahan sudut dihitung dengan persamaan:

$$e = \Sigma\beta - \{ \alpha_{C \rightarrow D} - \alpha_{B \rightarrow A} + (n-1) \times 180^\circ \} \Rightarrow \text{untuk sudut kiri}$$

$$e = \Sigma\beta - \{ \alpha_{B \rightarrow A} - \alpha_{C \rightarrow D} + (n-1) \times 180^\circ \} \Rightarrow \text{untuk sudut kanan}$$

$h_p = \Sigma\beta$ = Jumlah sudut hasil perhitungan pengukuran

$$e = h_p - h$$

- Koreksi kesalahan sudut tiap 1° (k) dihitung dengan persamaan:

$$k = e / \Sigma\beta$$

- Koreksi kesalahan sudut tiap titik ukur (k') dengan persamaan:

$$k' = \beta \pm k \times \beta$$

Keterangan:

k = koreksi sudut tiap 1°

e = kesalahan sudut

h_p = Jumlah sudut hasil pengukuran

$\sum \beta$ = jumlah total sudut

β = besar sudut tiap titik ukur

10. Perhitungan azimuth awal dan akhir pengikatan pengukuran serta azimuth sisi-sisi polygon.

Perhitungan azimuth awal dan akhir pengikatan pengukuran

Diketahui koordinat titik A, B, C dan D.

Perhitungan azimuth awal dan akhir dihitung dengan persamaan:

$$\text{tg} \alpha_{B \rightarrow A} = (X_A - X_B) / (Y_A - Y_B), \text{ (lihat gambar 5.84)}$$

$$\text{tg} \alpha_{C \rightarrow D} = (X_D - X_C) / (Y_D - Y_C), \text{ (lihat gambar 5.84)}$$

$\alpha_{B \rightarrow A} \Rightarrow$ diketahui

$\alpha_{B \rightarrow A} \Rightarrow$ diketahui

Maka azimuth sisi-sisi polygon lainnya dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$(\alpha_{B \rightarrow 1}) = \alpha_{B \rightarrow A} + \beta_B ; \quad (\alpha_{1 \rightarrow 2}) = \alpha_{1 \rightarrow B} + \beta_1$$

$$(\alpha_{2 \rightarrow C}) = \alpha_{2 \rightarrow 1} + \beta_2 ; \quad (\alpha_{C \rightarrow D}) = \alpha_{C \rightarrow 2} + \beta_C$$

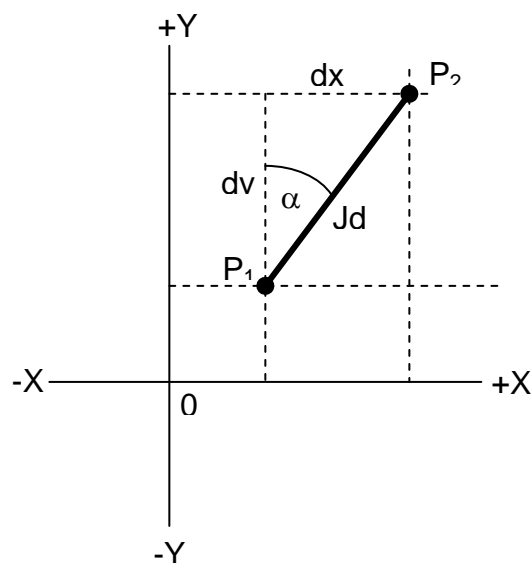
Catatan: Dalam perhitungan ini diambil sudut kiri dari arah jalur Pengukuran

11. Perhitungan absis dan ordinat

a. Perhitungan absis

Absis dapat dihitung dengan persamaan :

$$dx = Jd \times \sin$$



Gambar 5.85. Kedudukan absis dan ordinat

b. Perhitungan ordinat

Ordinat dapat dihitung dengan persamaan :

$$dy = Jd \times \cos\alpha$$

Keterangan:

α = Azimut; Jd = Jarak datar;

dx = absis; dy = Ordinat

Kalau hasil pengukuran benar:

$$\sum(dx+) + (dx-) = X_{AKHIR} - X_{AWAL} = h_X$$

$$\sum(dy+) + (dy-) = Y_{AKHIR} - Y_{AWAL} = h_Y$$

h_X = hasil hitungan absis

h_Y = hasil hitungan ordinat

c. Kesalahan pengukuran

Kalau hasil pengukuran salah persamaannya:

$$h_{XP} = \sum(dx+) + (dx-) \neq h_X \quad h_{YP} = \sum(dy+) + (dy-) \neq h_Y$$

$$e_X = h_{XP} - h_X ; \quad e_Y = h_{YP} - h_Y$$

Keterangan:

e_X = kesalahan hasil pengukuran absis

e_Y = kesalahan hasil pengukuran ordinat

h_{XP} = selisih hasil pengukuran absis akhir dan absis awal

h_{YP} = selisih hasil pengukuran ordinat akhir dan ordinat awal

d. Koreksi kesalahan

➤ Koreksi kesalahan jarak sisi polygon tiap meter untuk absis,

$$\text{persamaannya: } k_X = e_X / \sum Jd$$

➤ Koreksi kesalahan jarak tiap sisi polygon untuk absis, persamaannya :

$$k'_X = k_X \times Jd$$

➤ Koreksi kesalahan jarak sisi polygon tiap meter untuk ordinat,

$$\text{persamaannya : } k_Y = e_Y / \sum Jd$$

➤ Koreksi kesalahan jarak tiap sisi polygon untuk ordinat,

$$\text{persamaannya : } k'_Y = k_Y \times Jd$$

Keterangan:

$\sum Jd$ = jumlah jarak datar

12. Perhitungan koordinat

Perhitungan koordinat pada gambar 5.86, dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$X_1 = X_B + Jd_1 \times \sin\alpha_{B \rightarrow 1}; \quad Y_1 = Y_B + Jd_1 \times \cos\alpha_{B \rightarrow 1}$$

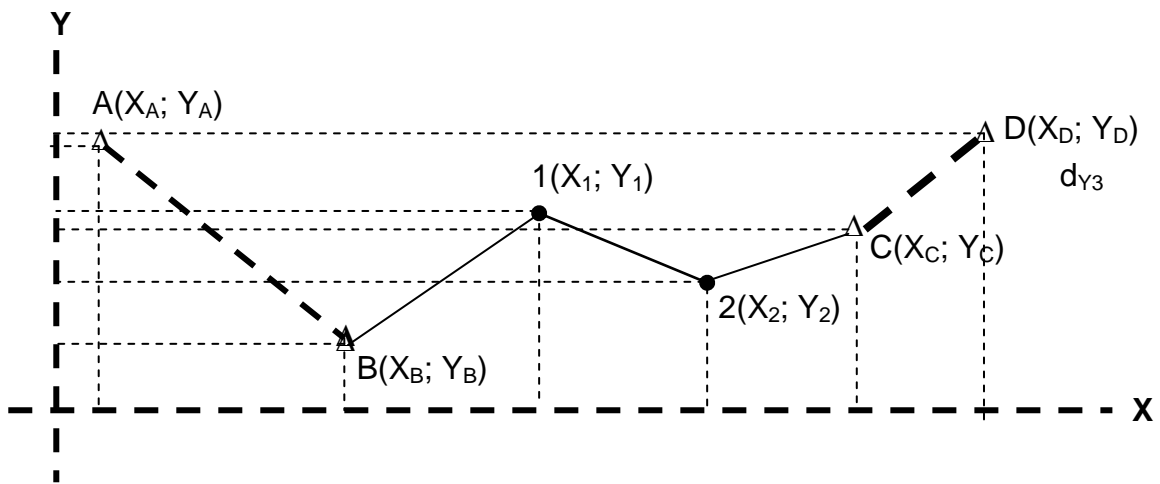
$$X_2 = X_1 + Jd_2 \times \sin\alpha_{1 \rightarrow 2}; \quad Y_2 = Y_1 + Jd_2 \times \cos\alpha_{1 \rightarrow 2}$$

$$X_C = X_2 + Jd_3 \times \sin\alpha_{2 \rightarrow C}; \quad Y_C = Y_2 + Jd_3 \times \cos\alpha_{2 \rightarrow C}$$

$$d_{X1} = Jd_1 \times \sin\alpha_{B \rightarrow 1}; \quad d_{Y1} = Jd_1 \times \cos\alpha_{B \rightarrow 1}$$

$$d_{X2} = Jd_2 \times \sin\alpha_{1 \rightarrow 2}; \quad d_{Y2} = Jd_2 \times \cos\alpha_{1 \rightarrow 2}$$

$$d_{X3} = Jd_3 \times \sin\alpha_{2 \rightarrow C}; \quad d_{Y3} = Jd_3 \times \cos\alpha_{2 \rightarrow C}$$



Gambar 5.86. Posisi koordinat pada poligon terbuka sempurna terikat titik tetap

13. Toleransi kesalahan koordinat

Dari hasil pengukuran polygon terbuka sempurna terikat titik tetap di atas perlu diulang atau tidak dapat dikontrol dengan toleransi seperti di bawah ini:

Toleransi kesalahan koordinat dapat dihitung dengan persamaan

$$v = [(0,0007L)^2 + \{0,02(L)^{1/2}\}^2 + 2]^{1/2} = ((\Delta x)^2 + (\Delta y)^2)^{1/2}$$

Rumus tersebut diambil dari: Foutengrenzen, Topografische Diens Batavia Hendruk, 1949

Keterangan:

L = jarak datar

Δx = selisih hasil perhitungan absis akhir dan awal pengukuran

Δy = selisih hasil perhitungan ordinat akhir dan awal pengukuran
0,0007; 0,02; dan 2 = konstanta

Tabel 5.12. Data hasil pengukuran polygon terbuka terikat sempurna

Berdiri	Titik	Tengah belakang	Tengah muka	Atas	Bawah	Sudut/azi mut	Jarak		Sudut miring	Selisih tinggi		Koreksi (-)	Tinggi atas laut	Keterangan lapangan
							optis	datar		+	-			
B													1600	
	A					350°								
	1		0,995	1,500	0,490	90°			95°20'					
1														
	B	1,195		1,700	0,690	200°			84°40'					
	2		1,195	1,815	0,575	80°			79°50'					
2														
	1	1,180		1,800	0,560	340°			100°10'					
	C		1,180	1,590	0,770	100°			81°50'				1623,700	
C														
	2	1,090		1,500	0,680	200°			98°10'					
	D					355°02'								

Contoh:

Dari data hasil pengukuran polygon terbuka sempurna terikat titik tetap pada tabel 5.12. akan dihitung :

1. Perhitungan jarak

- Jarak optis dihitung dengan persamaan:

$$J_o = (b_a - b_b) \times 100$$

$$J_{o_1} = (1,500 - 0,490) \times 100 = 101 \text{ m}$$

$$J_{o_2} = (1,815 - 0,676) \times 100 = 124 \text{ m}$$

$$J_{o_3} = (1,590 - 0,770) \times 100 = 82 \text{ m}$$

- Jarak datar dihitung dengan persamaan:

$$J_d = J_o \times \sin^2 \alpha$$

$$J_{d_1} = J_{o_1} \times (\sin \alpha_1)^2 = 101 \times (\sin 95^\circ 20')^2 = 100,12 \text{ m}$$

$$J_{d_2} = J_{o_2} \times (\sin \alpha_2)^2 = 124 \times (\sin 79^\circ 50')^2 = 120,14 \text{ m}$$

$$J_{d_3} = J_{o_3} \times (\sin \alpha_3)^2 = 82 \times (\sin 81^\circ 50')^2 = 89,34 \text{ m}$$

2. Perhitungan beda tinggi antar titik ukur

Beda tinggi antartitik ukur dihitung dengan persamaan:

$$t = J_o \times \sin \alpha \times \cos \alpha$$

$$t_1 = J_{o_1} \times \sin \alpha \times \cos \alpha = 101 \times \sin 95^\circ 20' \times \cos 95^\circ 20' = -9,347 \text{ m}$$

$$t_2 = J_{o_2} \times \sin \alpha \times \cos \alpha = 124 \times \sin 79^\circ 50' \times \cos 79^\circ 50' = 21,544 \text{ m}$$

$$t_3 = J_{o_3} \times \sin \alpha \times \cos \alpha = 82 \times \sin 81^\circ 50' \times \cos 81^\circ 50' = 11,530 \text{ m}$$

Untuk mengetahui kebenaran/kesalahan hasil pengukuran beda tinggi, persamaannya sebagai berikut

1). Kalau benar $\Rightarrow h = H_{AKHIR} - H_{AWAL} = (\sum t_+) + (\sum t_-) = h_P$

2). Kalau salah $\Rightarrow h \neq \{h_P = (\sum t_+) + (\sum t_-)\}$

3). Kesalahan beda tinggi $\Rightarrow e = h_P - h$

Keterangan:

$\sum t_+$ = Jumlah beda tinggi positif

$\sum t_-$ = Jumlah beda tinggi negative

h = Hitungan beda tinggi antara titik awal dan akhir pengukuran

h_P = Perhitungan beda tinggi antara titik awal dan akhir pengukuran

e = Kesalahan beda tinggi hasil hitungan dan pengukuran

Diketahui ketinggian titik dari permukaan air laut:

Titik B (H_B) = 1600 m. Titik C (H_C) = 1623,700 m

$h = H_C - H_B = 1623,700 - 1600 = 23,700$ m

$(\sum t_+) = 21,544 + 11,530 = 33,074$ m

$(\sum t_-) = 9,347$ m

$\sum t = (\sum t_+) + (\sum t_-) = 33,074 + 9,347 = 42,421$ m \Rightarrow (jumlah total)

$h_p = (\sum t_+) - (\sum t_-) = 33,074 - 9,347 = 23,727$ m

$e = h_p - h = 23,727 - 23,700 = 0,027$ m

• Koreksi kesalahan $e = -0,027$ m

• Koreksi kesalahan tiap m beda tinggi (k) = $-e/\sum t$

$(k) = -e/\sum t = -0,027/42,421 = -0,00064$ m

• Koreksi beda tinggi tiap titik ukur (k') = $k \times t$

$(k'_1) = k \times t_1 = 9,347 \times -0,00064 = -0,006$ m

$(k'_2) = k \times t_2 = 21,544 \times -0,00064 = -0,014$ m

$(k'_3) = k \times t_3 = 11,530 \times -0,00064 = -0,007$ m

• Beda tinggi antartitik ukur setelah dikoreksi (t') = $t + k'$

$(t'_1) = (k'_1) + t_1 = -0,006 + 9,347 = 9,341$ m

$(t'_2) = (k'_2) + t_2 = 21,544 - 0,014 = 21,530$ m

$(t'_3) = (k'_3) + t_3 = 11,530 - 0,007 = 11,523$ m

3. Menghitung ketinggian titik ukur terhadap permukaan air laut

Ketinggian titik ukur terhadap titik permukaan air laut persamaannya

adalah: $H_n = H_{n-1} + t$

Keterangan:

H_n = Ketinggian titik ukur yang dicari

t = Beda tinggi antar titik ukur

H_{n-1} = Titik ukur yang telah ditentukan harga ketinggian dari permukaan air laut.

Harga ketinggian titik ukur 1; 2 dan C dari permukaan air laut adalah:

$H_1 = H_B + (t'_1) = 1600 - 9,353 = 1590,647$ m

$H_2 = H_1 + (t'_2) = 1590,647 + 21,530 = 1612,177$ m

$H_C = H_2 + (t'_3) = 1612,177 + 11,523 = 1623,700$ m

Cara pengisian jarak optis, jarak datar, beda tinggi dan ketinggian dari permukaan air laut pada blanko ukur lihat tabel 5.13.

Tabel 5.13. Pengisian jarak optis, jarak datar, beda tinggi dan ketinggian dari muka air laut pada blanko ukur

Berdiri	Titik	Tengah belakang	Tengah muka	Atas	Bawah	Sudut/azimut	Jarak		Sudut miring	Selisih tinggi		Koreksi (-)	Tinggi atas laut	Keterangan lapangan
							optis	datar		+	-			
B													1600	
	A					350°								
	1		0,995	1,500	0,490	90°	101	100,12	95°20'		9,347	0,006	1590,647	
1														
	B	1,195		1,700	0,690	200°	101		84°40'					
	2		1,195	1,815	0,575	80°	124	120,14	79°50'	21,544		0,014	1612,177	
2														
	1	1,180		1,800	0,560	340°	124		100°10'					
	C		1,180	1,590	0,770	100°	82	80,34	81°50'	11,530		0,007	1623,700	
C														
	2	1,090		1,500	0,680	200°	82		98°10'					
	D					355°02'								
										33,074	9,347		1623,700	
										9,347			1600	
									h_p =	0,727		h =	0,700	

4. Menghitung sudut horisontal

Dari data hasil pengukuran pada tabel 5.12, akan dihitung:

- Sudut di sebelah kiri dari jalur ukuran seperti gambar 5.68, dengan persamaan sebagai berikut:

$$\beta = \beta_M - \beta_B$$

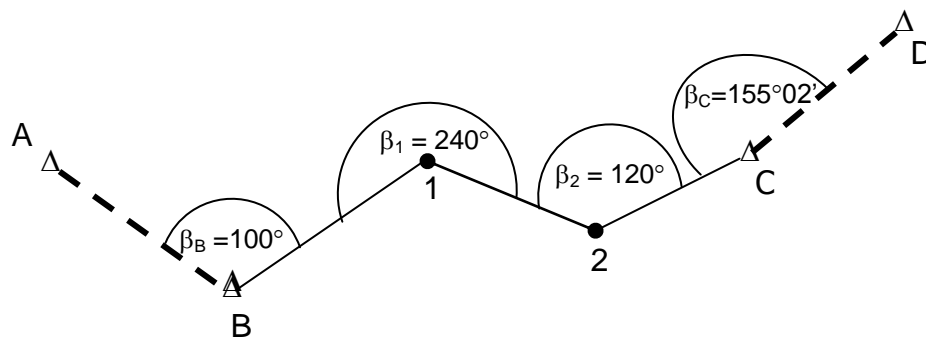
$$\beta_B = \beta_{M1} - \beta_{B1} = 90^\circ - 350^\circ = -260^\circ = -260^\circ + 360^\circ = 100^\circ$$

$$\beta_1 = \beta_{M2} - \beta_{B2} = 80^\circ - 200^\circ = -120^\circ = -120^\circ + 360^\circ = 240^\circ$$

$$\beta_2 = \beta_{M3} - \beta_{B3} = 100^\circ - 340^\circ = -240^\circ = -240^\circ + 360^\circ = 120^\circ$$

$$\beta_C = \beta_{M4} - \beta_{B4} = 355^\circ 02' - 200^\circ = 155^\circ 02'$$

$$\Sigma\beta = \beta_B + \beta_1 + \beta_2 + \beta_C = 100^\circ + 240^\circ + 120^\circ + 155^\circ 02' = 615^\circ 02'$$



Gambar 5.87. Sket posisi sudut di sebelah kiri arah jalur ukuran polygon terbuka terikat sempurna

- Sudut di sebelah kanan dari jalur ukuran seperti gambar 5.88, dengan persamaan sebagai berikut:

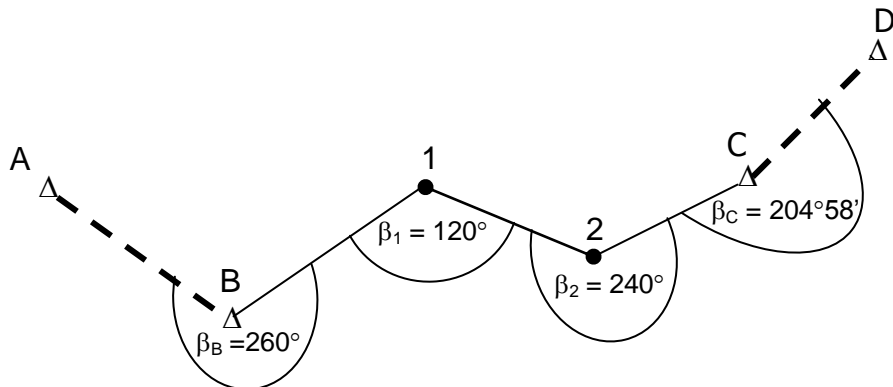
$$\beta = \beta_M - \beta_B$$

$$\beta_B = \beta_{B1} - \beta_{M1} = 350^\circ - 90^\circ = 260^\circ$$

$$\beta_1 = \beta_{B2} - \beta_{M2} = 200^\circ - 80^\circ = 120^\circ$$

$$\beta_2 = \beta_{B3} - \beta_{M3} = 340^\circ - 100^\circ = 240^\circ$$

$$\beta_C = \beta_{B4} - \beta_{M4} = 200^\circ - 355^\circ 02' + 360^\circ = 204^\circ 58'$$



Gambar 5.88. Sket posisi sudut di sebelah kanan arah jalur ukuran polygon terbuka terikat sempurna

5. Perhitungan jumlah sudut

1). Menghitung azimuth awal dan akhir

Diketahui koordinat titik:

$$A \Rightarrow X_A = 6000 \text{ m}; \quad Y_A = 6000 \text{ m}$$

$$B \Rightarrow X_B = 8000 \text{ m}; \quad Y_B = 4000 \text{ m}$$

$$C \Rightarrow X_C = 8256 \text{ m}; \quad Y_C = 4052 \text{ m}$$

$$D \Rightarrow X_D = 9256 \text{ m}; \quad Y_D = 5784 \text{ m}$$

- Azimut awal (α_{AWAL}) = $\alpha_{B \rightarrow A}$

$$\begin{aligned} \text{tg} \alpha_{B \rightarrow A} &= (X_A - X_B) / (Y_A - Y_B) = (6000 - 8000) / (6000 - 4000) \\ &= -2000 / 2000 = -1 \text{ (kwadran IV)} \end{aligned}$$

$$\alpha_{B \rightarrow A} = -45^\circ = -45^\circ + 360^\circ = 315^\circ$$

- Azimut akhir (α_{AKHIR}) = $\alpha_{C \rightarrow D}$

$$\begin{aligned} \text{tg} \alpha_{C \rightarrow D} &= (X_D - X_C) / (Y_D - Y_C) = (9256 - 8256) / (5784 - 4052) \\ &= +1000 / 1732 = +0,577367205 \text{ (kwadran I)} \end{aligned}$$

$$\alpha_{C \rightarrow D} = 30^\circ$$

2). Perhitungan jumlah sudut di sebelah kiri jalur ukuran:

- Jumlah sudut hasil perhitungan:

$$h_P = \Sigma \beta = \beta_B + \beta_1 + \beta_2 + \beta_C$$

$$= 100^\circ + 240^\circ + 120^\circ + 155^\circ 02' = 615^\circ 02'$$

- Jumlah sudut hasil hitungan:

$$h = \sum \beta = \alpha_{AKHIR} - \alpha_{AWAL} + (n - 1) \times 180^\circ$$

$$= (30^\circ - 315^\circ + 360^\circ) + (4-1) \times 180^\circ = 615^\circ$$

6. Perhitungan koreksi sudut

- Perhitungan koreksi sudut

- Kesalahan sudut dihitung dengan persamaan:

$$e = h_p - h = 615^\circ 02' - 615^\circ = 2'$$

- Koreksi kesalahan:

$$e = -2'$$

- Koreksi kesalahan sudut tiap $1^\circ(k)$ dihitung dengan persamaan:

$$k = -e/\sum \beta = -120'/615^\circ 02' = -0,195111376''$$

- Koreksi kesalahan sudut tiap titik ukur (k') dengan persamaan:

$$k_B' = k_B \times \beta_B = 100 \times -0,195111376'' = -20''$$

$$k_2' = k_2 \times \beta_2 = 100 \times -0,195111376'' = -47''$$

$$k_3' = k_3 \times \beta_3 = 100 \times -0,195111376'' = -23''$$

$$k_C' = k_C \times \beta_C = 100 \times -0,195111376'' = -30''$$

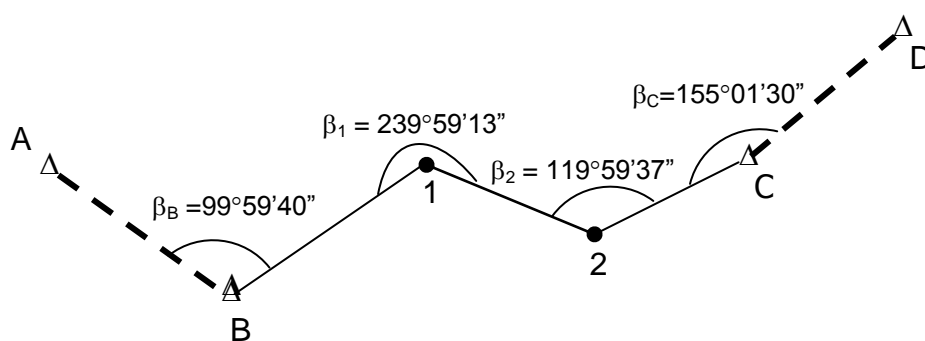
- Besar sudut tiap titik ukur setelah dikoreksi:

$$\beta_B' = \beta_B - k_B' = 100^\circ - 20'' = 99^\circ 59' 40''$$

$$\beta_2' = \beta_2 - k_2' = 240^\circ - 47'' = 239^\circ 59' 13''$$

$$\beta_3' = \beta_3 - k_3' = 120^\circ - 23'' = 119^\circ 59' 37''$$

$$\beta_C' = \beta_C - k_C' = 155^\circ 02' - 30'' = 155^\circ 01' 30''$$



Gambar 5.89. Sket posisi sudut di sebelah kiri arah jalur ukuran polygon terbuka terikat sempurna

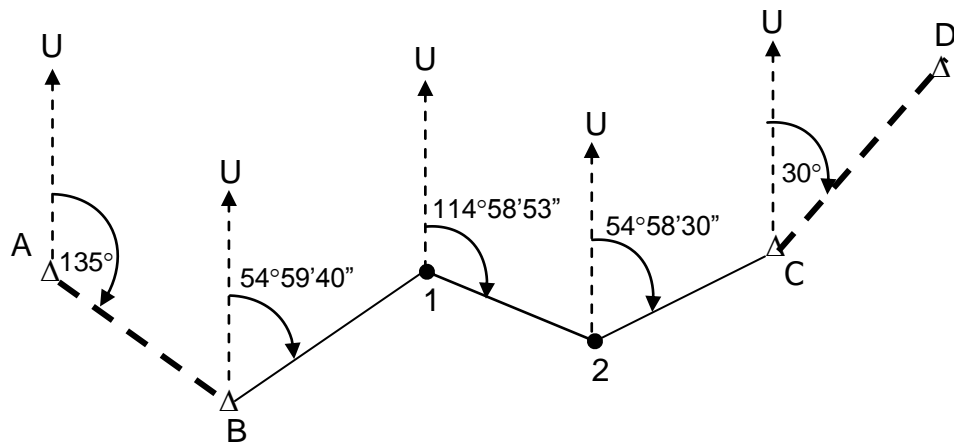
7 Menghitung azimuth sisi – sisi poligon

$$\begin{aligned}\alpha_{B \rightarrow 1} &= \alpha_{B \rightarrow A} + \beta_B' = 315^\circ + 99^\circ 59' 40'' = 404^\circ 59' 40'' \\ &= 404^\circ 59' 40'' - 360^\circ = 54^\circ 59' 40''\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\alpha_{1 \rightarrow 2} &= \alpha_{1 \rightarrow B} + \beta_1' = (54^\circ 59' 40'' + 180^\circ) + 239^\circ 59' 13'' = 474^\circ 58' 53'' \\ &= 474^\circ 58' 53'' - 360^\circ = 114^\circ 58' 53''\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\alpha_{2 \rightarrow C} &= \alpha_{2 \rightarrow 1} + \beta_2' = (114^\circ 58' 53'' + 180^\circ) + 119^\circ 59' 37'' = 414^\circ 58' 30'' \\ &= 54^\circ 58' 30''\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\alpha_{C \rightarrow D} &= \alpha_{2 \rightarrow C} + \beta_C' = (54^\circ 58' 30'' + 180^\circ) + 155^\circ 01' 30'' = 390^\circ \\ &= 390^\circ - 360^\circ = 30^\circ\end{aligned}$$



Gambar 5.90. Sket posisi azimuth pada pengukuran polygon terbuka sempurna terikat titik tetap

8. Perhitungan absis dan ordinat

a. Perhitungan absis

Absis dapat dihitung dengan persamaan :

$$dx = Jd \times \sin \alpha$$

Diketahui koordinat titik: A $\Rightarrow X_A = 6000$ m; $Y_A = 6000$ m

B $\Rightarrow X_B = 8000$ m; $Y_B = 4000$ m

$$dx_1 = Jd_1 \times \sin \alpha_{B \rightarrow 1} = 100,12 \times \sin 54^\circ 59' 40'' = 82,008 \text{ m}$$

$$dx_2 = Jd_2 \times \sin \alpha_{1 \rightarrow 2} = 120,14 \times \sin 114^\circ 58' 53'' = 108,900 \text{ m}$$

$$dx_3 = Jd_3 \times \sin \alpha_{2 \rightarrow C} = 80,34 \times \sin 54^\circ 58' 30'' = 65,790 \text{ m}$$

b. Perhitungan ordinat

Ordinat dapat dihitung dengan persamaan :

$$dy = Jd \times \cos\alpha$$

$$dy_1 = Jd_1 \times \cos\alpha_{B \rightarrow 1} = 100,12 \times \cos 54^\circ 59' 40'' = 57,434 \text{ m}$$

$$dy_2 = Jd_2 \times \cos\alpha_{1 \rightarrow 2} = 120,14 \times \cos 114^\circ 58' 53'' = -50,738 \text{ m}$$

$$dy_3 = Jd_3 \times \cos\alpha_{2 \rightarrow C} = 80,34 \times \cos 54^\circ 58' 30'' = 46,110 \text{ m}$$

c. Hasil perhitungan absis dan ordinat dari hasil ukuran

$$h_{XP} = \sum dx = dx_1 + dx_2 + dx_3 = 82,008 + 108,900 + 65,790 = 256,698 \text{ m}$$

$$h_{YP} = \sum dy = dy_1 + dy_2 + dy_3 = 57,434 - 50,738 + 46,110 = 52,806 \text{ m}$$

d. Hasil hitungan absis dan ordinat dari titik tetap

$$h_X = X_{AKHIR} - X_{AWAL} = X_C - X_B = 8256 - 8000 = 256 \text{ m}$$

$$h_Y = Y_{AKHIR} - Y_{AWAL} = Y_C - Y_B = 4052 - 4000 = 52 \text{ m}$$

e. Kesalahan pengukuran absis dan ordinat

- $e_X = h_{XP} - h_X = 256,698 - 256 = 0,698 \text{ m}$

- $e_Y = h_{YP} - h_Y = 52,806 - 52 = 0,806 \text{ m}$

f. Koreksi kesalahan

- $\sum Jd = Jd_1 + Jd_2 + Jd_3 = 100,12 + 120,14 + 80,34 = 300,60 \text{ m}$

- Koreksi kesalahan: absis ($-e_X$) = $-0,698 \text{ m}$

- Koreksi kesalahan ordinat ($-e_Y$) = $-0,806 \text{ m}$

- Koreksi kesalahan jarak sisi polygon tiap meter untuk absis, persamaannya: $k_X = -e_X / \sum Jd = -0,698 / 300,60 = -0,002322 \text{ m}$

- Koreksi kesalahan jarak tiap sisi polygon untuk absis, persamaannya

$$k'_X = k_X \times Jd$$

$$k'_{1X} = k_{1X} \times Jd_1 = 100,12 \times -0,002322 = -0,232 \text{ m}$$

$$k'_{2X} = k_{2X} \times Jd_2 = 120,14 \times -0,002322 = -0,279 \text{ m}$$

$$k'_{3X} = k_{3X} \times Jd_3 = 80,34 \times -0,002322 = -0,187 \text{ m}$$

- Koreksi kesalahan jarak sisi polygon tiap meter untuk ordinat, persamaannya: $k_Y = -e_Y / \sum Jd = -0,806 / 300,60 = -0,002681 \text{ m}$

- Koreksi kesalahan jarak tiap sisi polygon untuk ordinat, persamaannya $k'_Y = k_Y \times Jd$

$$k'_{1Y} = k_{1Y} \times Jd_1 = 100,12 \times -0,002681 = -0,269 \text{ m}$$

$$k'_{2Y} = k_{2Y} \times Jd_2 = 120,14 \times -0,002681 = -0,322 \text{ m}$$

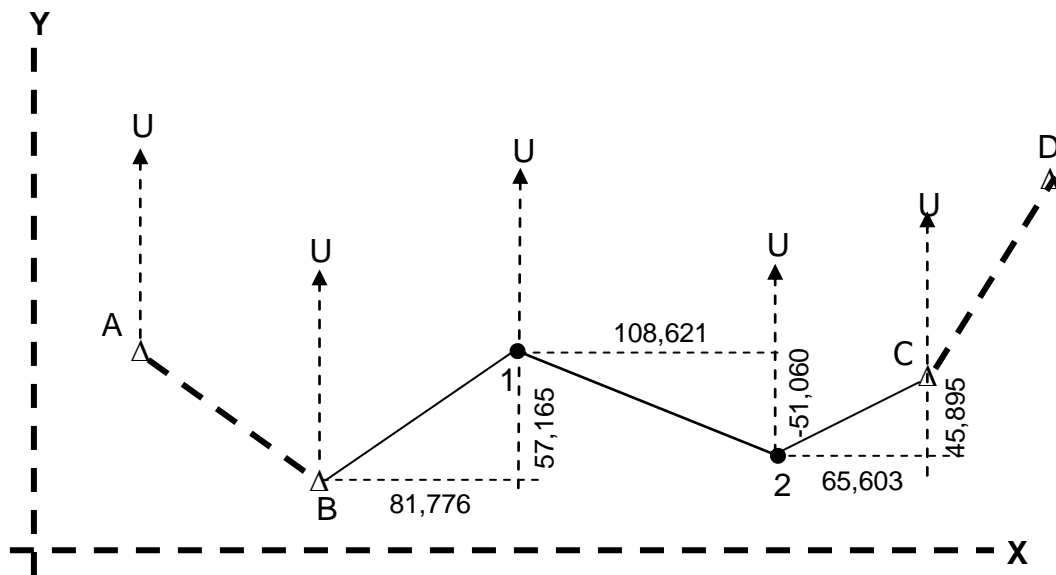
$$k'_{3Y} = k_{3Y} \times Jd_3 = 80,34 \times -0,002681 = -0,215 \text{ m}$$

g. Absis dan ordinat hasil koreksi

- $d'_x_1 = dx_1 - k'_{1X} = 82,008 - 0,232 = 81,776 \text{ m}$

- $d'_x_2 = dx_2 - k'_{2X} = 108,900 - 0,279 = 108,621 \text{ m}$

- $d'x_3 = dx_3 - k'_{3X} = 65,790 - 0,187 = 65,603 \text{ m}$
- $d'y_1 = dy_1 - k'_{1Y} = 57,434 - 0,269 = 57,165 \text{ m}$
- $d'y_2 = dy_2 - k'_{2Y} = -50,738 - 0,322 = -51,060 \text{ m}$
- $d'y_3 = dy_3 - k'_{3Y} = 46,110 - 0,215 = 45,895 \text{ m}$



Gambar 5.91. Sket posisi absis dan ordinat pada polygon terbuka terikat sempurna

9. Perhitungan koordinat

Diketahui koordinat titik : $A \Rightarrow X_A = 6000 \text{ m}; Y_A = 6000 \text{ m}$

$B \Rightarrow X_B = 8000 \text{ m}; Y_B = 4000 \text{ m}$

$C \Rightarrow X_C = 8256 \text{ m}; Y_C = 4052 \text{ m}$

Dari gambar 5.70 akan dihitung koordinat titik: 1; 2; dan C

$$1 \Rightarrow X_1 = X_B + d'x_1 = 8000 + 81,776 = 8081,776 \text{ m};$$

$$Y_1 = Y_B + d'y_1 = 4000 + 57,165 \text{ m} = 4057,165 \text{ m}$$

$$2 \Rightarrow X_2 = X_1 + d'x_2 = 8081,776 + 108,621 = 8190,397 \text{ m};$$

$$Y_2 = Y_1 + d'y_2 = 4057,165 - 51,060 \text{ m} = 4006,105 \text{ m}$$

$$C \Rightarrow X_C = X_2 + d'x_3 = 8190,397 + 65,603 = 8256 \text{ m};$$

$$Y_C = Y_2 + d'y_3 = 4006,105 + 45,895 = 4052 \text{ m}$$

Cara pengisian sudut, azimuth, jarak, absis, ordinat, pada blanko ukur lihat tabel 5.14.

10. Toleransi kesalahan koordinat

Dari hasil pengukuran polygon terbuka terikat titik tetap di atas perlu diulang atau tidak dapat dikontrol dengan toleransi seperti di bawah ini:

Toleransi kesalahan koordinat dapat dihitung dengan persamaan

$$v = [(0,0007L)^2 + \{0,02(L)^{1/2}\}^2 + 2]^{1/2} = ((\Delta x)^2 + (\Delta y)^2)^{1/2}$$

Keterangan:

L = jarak datar

Δx = selisih hasil perhitungan absis akhir dan awal pengukuran

Δy = selisih hasil perhitungan ordinat akhir dan awal pengukuran

0,0007; 0,02; dan 2 = konstanta

Rumus tersebut diambil dari: Foutengrenzen, Topografische Diens Batavia Hendruk, 1949

Kesalahan pengukuran: $e_x = \Delta x = 0,698$ m; $e_y = \Delta y = 0,806$ m

$$e = ((\Delta x)^2 + (\Delta y)^2)^{1/2} = ((0,698)^2 + (0,806)^2)^{1/2} = 1,066$$
 m

$$v = [(0,0007L)^2 + \{0,02(L)^{1/2}\}^2 + 2]^{1/2}$$

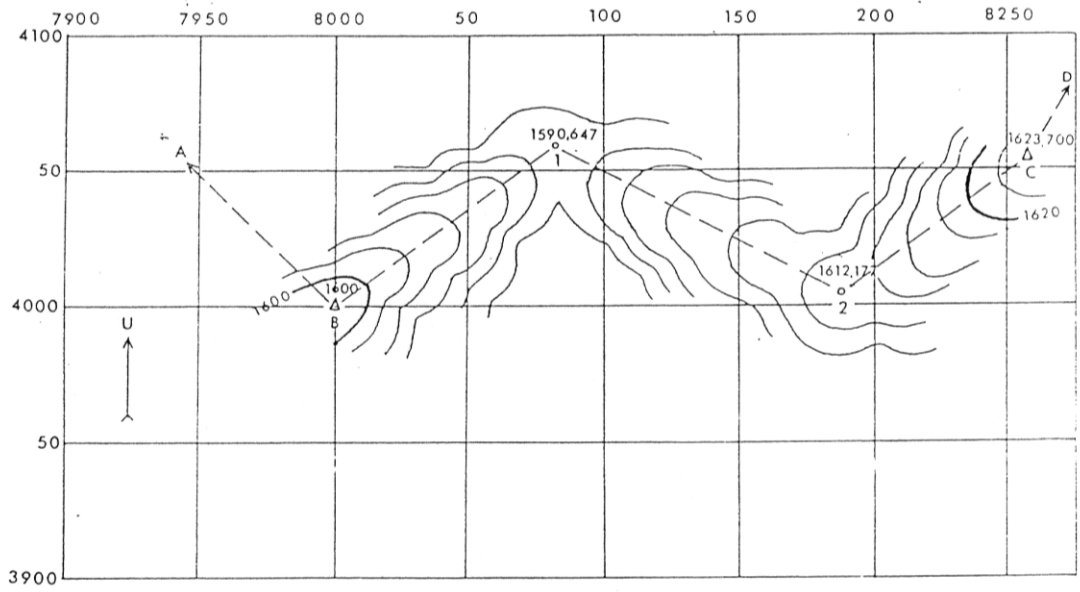
$$v = [(0,0007 \times 300,6)^2 + \{0,02(300,6)^{1/2}\}^2 + 2]^{1/2} = 1,471$$
 m

$e < v \Rightarrow$ maka pengukuran tak perlu diulang

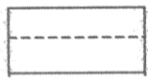
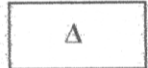
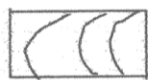
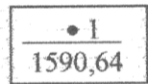
Tabel 5.14. Perhitungan koordinat polygon terbuka terikat sempurna

Titik	Sudut	Koreksi	Azimut	Jarak	dx	Koreksi	dy	Koreksi	Koordinat	
									X	Y
A									6000	6000
			135							
B	100	-20"							8000	4000
			54°59'40"	100,12	82,008	-0,232	57,434	-0,269		
1	240	-47"							8081,776	4057,165
			114°58'53"	120,14	108,900	-0,279	-50,738	-0,322		
2	120	-23"							8190,397	4006,105
			54°58'30"	80,34	65,790	-0,187	46,110	-0,215		
C	155 02	-30"							8256	4052
			30°							
D									9256	5784

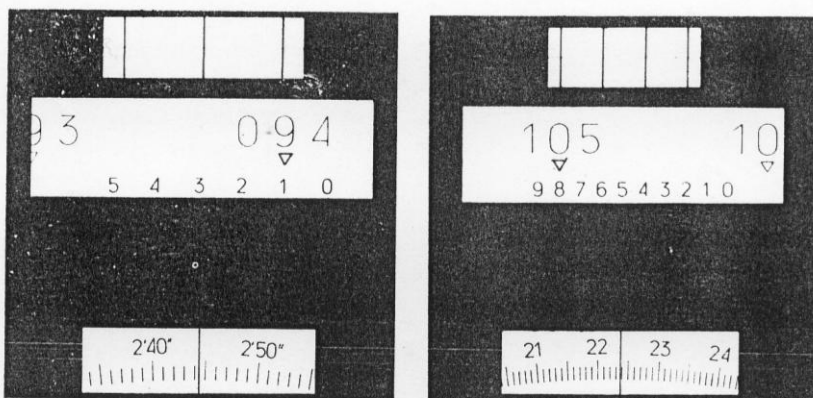
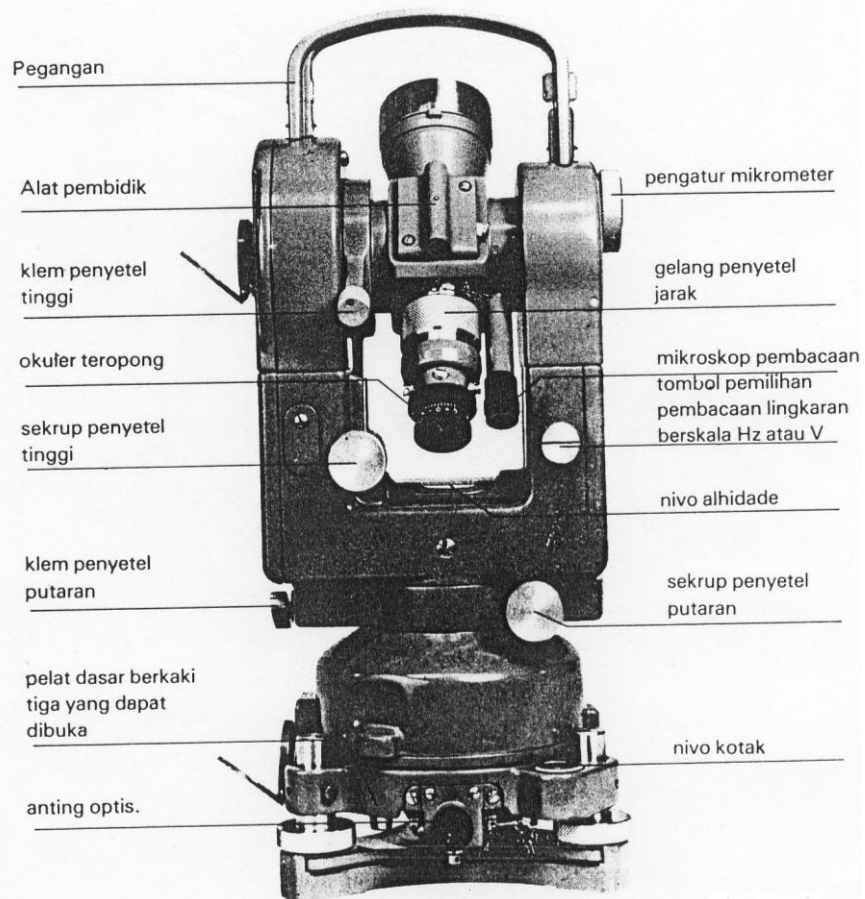
PETA TOPOGRAFI
Skala 1:2500



Keterangan:

-  Garis ukur
-  Titik triangulasi
-  Interval kontur a 2 m
-  Nomor titik ukur dan ketinggian dari muka air laut

ALAT UKUR THEODOLIT

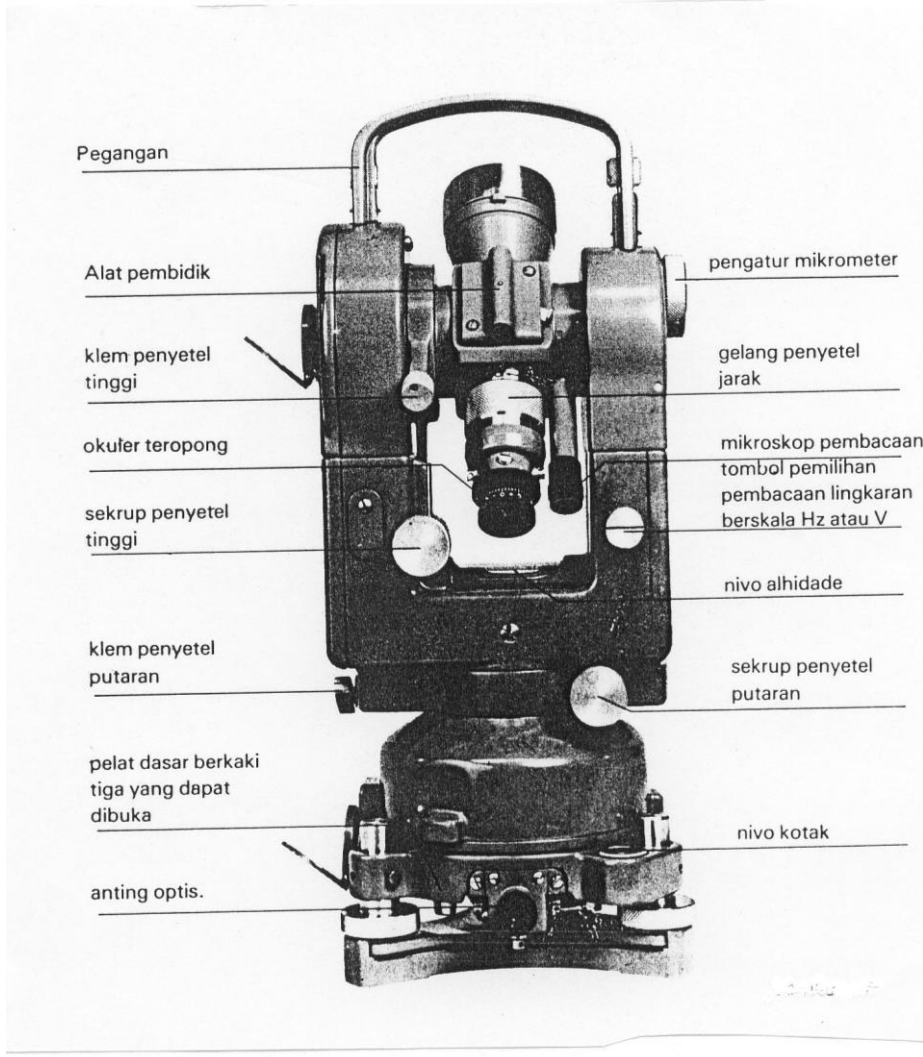


94° 12' 44"

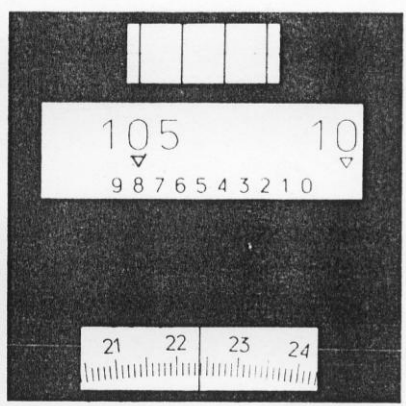
105,8224^o

Pembacaan koinsidensi lingkaran horisontal dan lingkaran vertikal berskala pada teodolit universal Wild T12

ALAT UKUR THEODOLIT



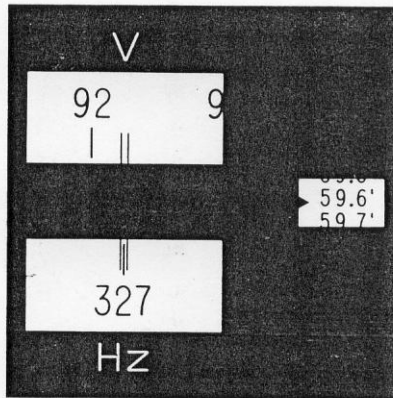
94° 12' 44"



105,8224

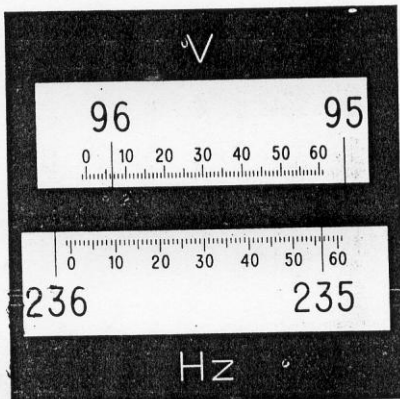
Pembacaan koinsidensi lingkaran horizontal dan lingkaran vertikal berskala pada teodolit unversil Wild T12

Mikrometer optis

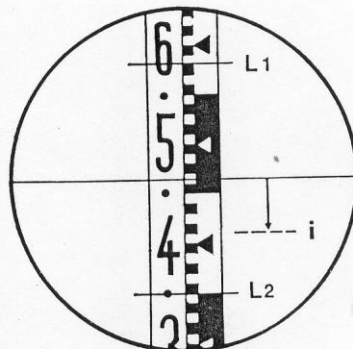


pembacaan T1: Hz = 327°59'36"

Mikroskop skala



Pembacaan T16: V = 96°06,5'
Hz = 235°56,5'



VI. PENGUKURAN SITUASI DAN DETIL

1. Pengukuran situasi dan detil untuk pembuatan topografi umum

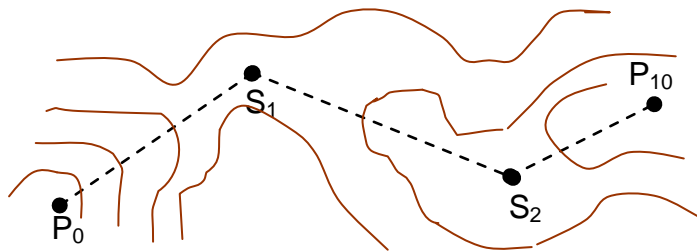
• Pengukuran situasi

Pengukuran situasi biasanya dilakukan pada bentuk yang umum, seperti: punggung gunung, bukit, lembah, sungai, pantai, kawah, danau dan sebagainya.

Tujuan pengukuran situasi, untuk menentukan ketinggian dari permukaan air laut dari setiap titik ukur; sedang gunanya untuk membuat garis tinggi/kontur, dalam rangka menentukan bentuk topografi dari daerah yang diukur.

Yang diukur pada pengukuran situasi adalah:

- 1). Jarak
- 2). Sudut miring
- 3). Azimut



Gambar 6.1. Sket pengukuran situasi

Keterangan:

P_0 dan P_{10} = Titik ukur polygon

S_1 dan S_2 = Titik ukur situasi

----- = Garis ukur situasi melalui punggung dan sadel

 = Sket garis kontur

Dari data hasil pengukuran yang dihitung:

- 1). Jarak
 - a. Jarak optis
 - b. Jarak datar
- 2). Beda tinggi antar titik ukur
- 3). Tinggi titik ukur dari permukaan air laut
- 4). Koordinat dari setiap titik ukur (kalau diperlukan)

Dari hasil perhitungan yang digambar pada peta :

- 1). Plot titik-titik ukur berdasarkan harga koordinat atau dengan cara mengopdrah berdasarkan azimuth dan jarak
- 2). Tulis tinggi dari permukaan air laut dari setiap titik ukur pada peta
- 3). Tarik batas –batas fisik bumi pada peta, seperti: batas sawah, kebun, kampung, lading, kuburan, jalan dan sebagainya.
- 4). Gambar garis kontur sesuai dengan interval yang telah ditentukan.

Garis kontur menurut kaedah peta:

Skala peta 100.000 \Rightarrow Harga garis kontur = $100.000 / (2 \times 1000) \times 1 \text{ m} = 50 \text{ m}$

Skala peta 50.000 \Rightarrow Harga garis kontur = $50.000 / (2 \times 1000) \times 1 \text{ m} = 25 \text{ m}$

Skala peta 25.000 \Rightarrow Harga garis kontur = $25.000 / (2 \times 1000) \times 1 \text{ m} = 12,5 \text{ m}$

Untuk peta –peta teknis harga interval kontur disesuaikan dengan keperluan proyek.

Contoh:

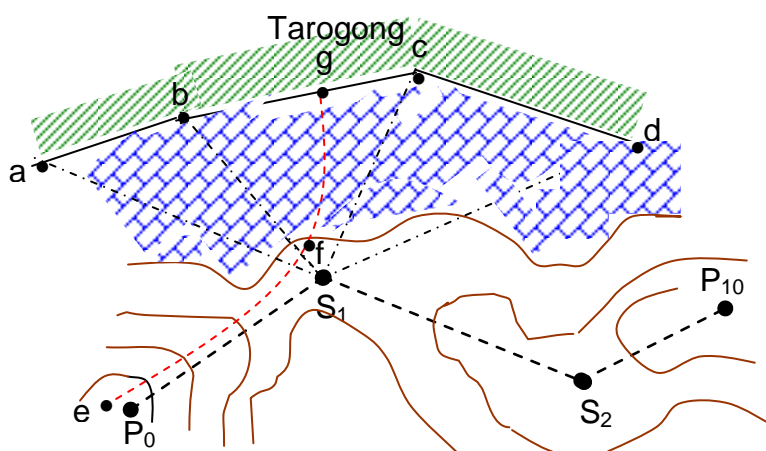
Dari data hasil pengukuran situasi pada tabel 6.1, akan dihitung:

000000

- **Pengukuran detail**

Pengukuran detail biasanya dilakukan pada bentuk yang khusus, seperti: pojok batas sawah, kampung, ladang, kehutanan, kuburan, jalan, tebing, dan sebagainya.

Tujuan pengukuran detail, untuk menentukan ketinggian dari permukaan air laut dari setiap titik ukur; sedang gunanya untuk membuat garis tinggi/kontur secara mendetil dari bentuk fisik bumi yang diukur, dalam rangka menentukan bentuk topografi dari daerah yang diukur.





Gambar 6.2. Sket pengukuran detail

Keterangan:

a, b, c, d = Titik pojok batas kampung dan sawah

----- = Garis ukur detil

 = Kampung

 = Sawah

----- = Jalan setapak

P_0 dan P_{10} = Titik ukur polygon

S_1 dan S_2 = Titik ukur situasi

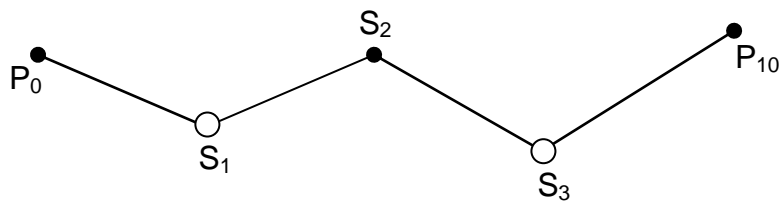
----- = Garis ukur situasi melalui punggung dan sadel

 = Garis kontur

e, f, g = Batas jalan setapak

Pengukuran situasi dan detil untuk pembuatan peta topografi ini, biasanya alat ukur yang digunakan alat ukur Theodolit kompas (TO), yaitu arah jurusan pengukuran garis ukur menggunakan jarum magnit.

Dengan menggunakan kompas, maka pengukuran pada jalur situasi tidak perlu alat ukur berdiri pada setiap titik ukur, tapi dapat dilakukan dengan loncat satu titik ukur.



Gambar 6.3. Pengukuran spring station

P_0 dan P_{10} = Titik ukur polygon

S_1 , S_2 dan S_3 = Titik ukur situasi

○ = Tempat alat ukur berdiri

2. Pengukuran situasi dan detil untuk pembuatan topografi khusus

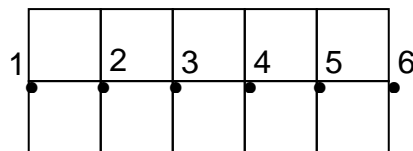
• Pengukuran situasi

Dalam teknik pertambangan dan geologi untuk merencanakan daerah yang akan ditambang, diperlukan pemetaan topografi dengan skala yang besar, misal skala 1: 500, 1 : 1000, 1 : 2500 dan seterusnya, tergantung kepada tingkat ketelitian yang diperlukan.

Dan untuk selanjutnya rencana di atas peta itu dapat diletakkan kembali /stake out di lapangan sesuai dengan rencana kerja.

Pengukuran situasi biasanya dilakukan dengan metoda pengukuran grid, dengan ukuran : 10 m x 10 m; 20 m x 20 m; 25 m x 25 m.

Tujuan pengukuran situasi, untuk menentukan ketinggian dari permukaan air laut dari setiap titik ukur; sedang gunanya untuk membuat garis tinggi/kontur, dalam rangka menentukan bentuk topografi dari daerah yang diukur.



Gambar 6.4. Pengukuran grid

Alat ukur yang digunakan adalah alat ukur theodolit.

Metoda pengukuran grid dilakukan dengan cara pengukuran sudut, artinya pada setiap titik ukur alat ukur didirikan.

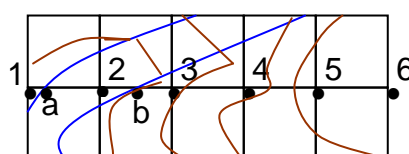
Keterangan:

1 → 6 = Titik pengukuran grid

□ = Petak grid

• Pengukuran detil

Pengukuran detil pada daerah ini dilakukan dalam keadaan darurat, yaitu apabila dalam pengukuran dengan jarak yang telah ditentukan mendapat rintangan alam, seperti sungai, pohon, bukit dan sebagainya.



Gambar 6.5. Pengukuran detil


Alat ukur yang digunakan adalah alat ukur theodolit.

Metoda pengukuran grid dilakukan dengan cara pengukuran sudut, artinya pada setiap titik ukur alat ukur didirikan.

Keterangan:

1→ 6 = Titik pengukuran grid

 = Petak grid

 = Sungai

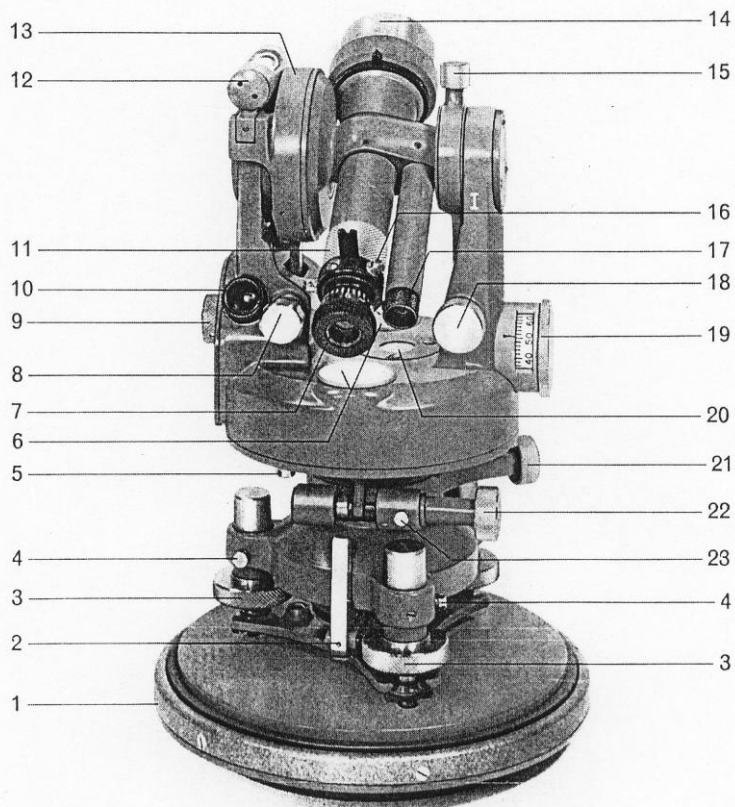
 = Garis kontur

a dan b = titik ukur bantu

Catatan:

Apabila di daerah pengukuran mengandung besi, maka pengukuran spring station tidak berlaku, dan pengukuran harus dilakukan dengan cara pengukuran sudut.

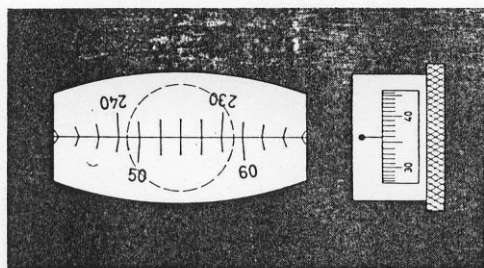
Alat Ukur Theodolit Kompas (TO)



Compass Theodolite Wild T0 (face left position)

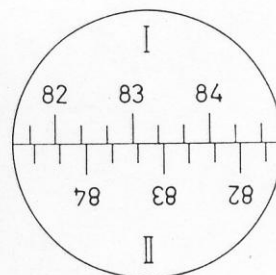
- | | |
|--|-------------------------------------|
| 1 Base plate (also of container) | 13 Vertical circle housing |
| 2 Lever for lifting the compass circle | 14 Objective |
| 3 Footscrew | 15 Vertical clamp |
| 4 Adjustment screw for 3 | 16 Adjustment screw for reticle |
| 5 Fastening screw | 17 Vertical circle reading eyepiece |
| 6 Illumination window | 18 Vertical drive screw |
| 7 Telescope eyepiece | 19 Micrometer drum |
| 8 Vertical index level setting screw | 20 Circular bubble |
| 9 Change-over knob for 10 | 21 Horizontal clamp |
| 10 Reading eyepiece for compass circle | 22 Horizontal drive screw |
| 11 Focussing sleeve | 23 Adjustment screw for 22 |
| 12 Vertical index level | |

Teodolit kompas Wild T0



54° ————— 36'
54° 36'

Pembacaan lingkaran horisontal



83° 12' = +6° 48'

Pembacaan lingkaran vertikal

Contoh:

Pada tabel 6. 15. di bawah ini akan diproses data hasil pengukuran polygon dan situasi.

Data hasil pengukuran polygon tertutup terikat titik tetap dan penyelesaian perhitungannya

No.Patok		Benang				Sudut/ Azimuth	Jarak			Sudut niring	Selisih Tinggi		Tinggi atas laut	Ketera ngan
Berdiri	Ditinjau	Tengah belakang	Tengah muka	Atas	Bawah	° ' "	Optis	Rantai	Datar	° ' "	+	-	m	Keadaan lapangan
													495,200	P1
P1	P0	1,750		2,028	1,472	20° 00 00	55,60		55,416	86 42 01	- 2			
1,750	P2		1,750	2,100	1,400	192 24 38	70,00		69,803	86 58 00	3,699		498,897	
P2	P1	1,450		1,800	1,100	300 10 30	70,00			93 02 00		-2		
1,450	P3		1,450	1,645	1,254	125 01 50	39,10		38,912	93 57 59		2,698	496,197	
P3	P2	0,995		1,191	0,800	76 20 25	39,10			86 02 01		-2		
0,995	P4		0,995	1,189	0,802	338 58 54	38,70		38,322	95 39 57		3,802	492,393	
P4	P3	1,394		1,587	1,200	200 45 28	38,70			84 20 03	-1			
1,394	P5		1,394	1,649	1,139	339 59 39	51,00		50,961	88 25 03	1,408		493,800	
P5	P4	1,255		1,510	1,000	150 47 48	51,00			91 34 57				
1,255	P6		1,255	1,488	1,022	1 45 38	46,60		46,592	90 43 58		0,596	493,204	
P6	P5	1,633		1,866	1,400	78 28 24	46,60			89 16 02	-1			
1,633	P7		1,633	1,865	1,402	260 10 14	46,30		46,251	88 08 02	1,507		494,710	
P7	P6	1,032		1,263	0,800	300 26 28	46,30			91 51 58	- 2			
1,032	P8		1,032	1,420	0,644	183 42 41	77,60		77,426	86 58 08	4,100		498,808	
P8	P7	1,588		1,976	1,200	56 29 35	77,60			93 01 52		- 1		
1,588	P9		1,588	2,018	1,158	256 49 42	86,00		85,933	91 35 59		2,400	496,407	
P9	P8	1,230		1,660	0,800	128 28 40	86,00			88 24 01	- 1			
1,230	P10		1,230	1,562	0,899	35 17 46	66,30		66,285	89 08 02	1,002		497,408	
P10	P9	1,632		1,963	1,300	47 29 26	66,30			90 51 58				
1,632	P11		1,632	1,875	1,385	204 24 20	49,00		48,978	88 50 02	0,997		498,404	
P11	P10	1,445		1,690	1,200	26 30 30	49,00			91 09 58				

No.Patok		Benang				Sudut/ Azimuth	Jarak			Sudut niring	Selisih Tinggi		Tinggi atas laut	Ketera ngan
Berdiri	Ditinjau	Tengah belakang	Tengah muka	Atas	Bawah	° ' "	Optis	Rantai	Datar	° ' "	+	-	m	Keadaan lapangan
P11	P12		1,445	1,720	1,170	233 32 21	55,00		54,988	90 49 57		0,799	497,605	
P12	P11	1,378		1,655	1,100	50 24 26	55,00			89 10 03		- 1		
1,378	P13		1,378	1,652	1,105	229 28 19	54,70		54,626	92 06 00		2,003	495,601	
P13	P12	1,573		1,847	1,300	78 20 40	54,70			87 54 00	- 2			
1,573	P0		1,573	1,814	1,322	290 52 33	48,20		48,037	86 39 59	2,798		498,397	
P0	P13	1,441		1,682	1,200	35 26 30	48,20			93 20 01		- 2		
1,441	P1		1,441	1,719	1,163	297 40 15	55,60		55,416	93 17 59		3,195	495,200	
P1	T					150 15 51								
	P2					254 15 51								
				X _{P1}		4000.000								
				Y _{P1}		4000.000								
				X _T		2777.908								
				Y _T		1819.062								

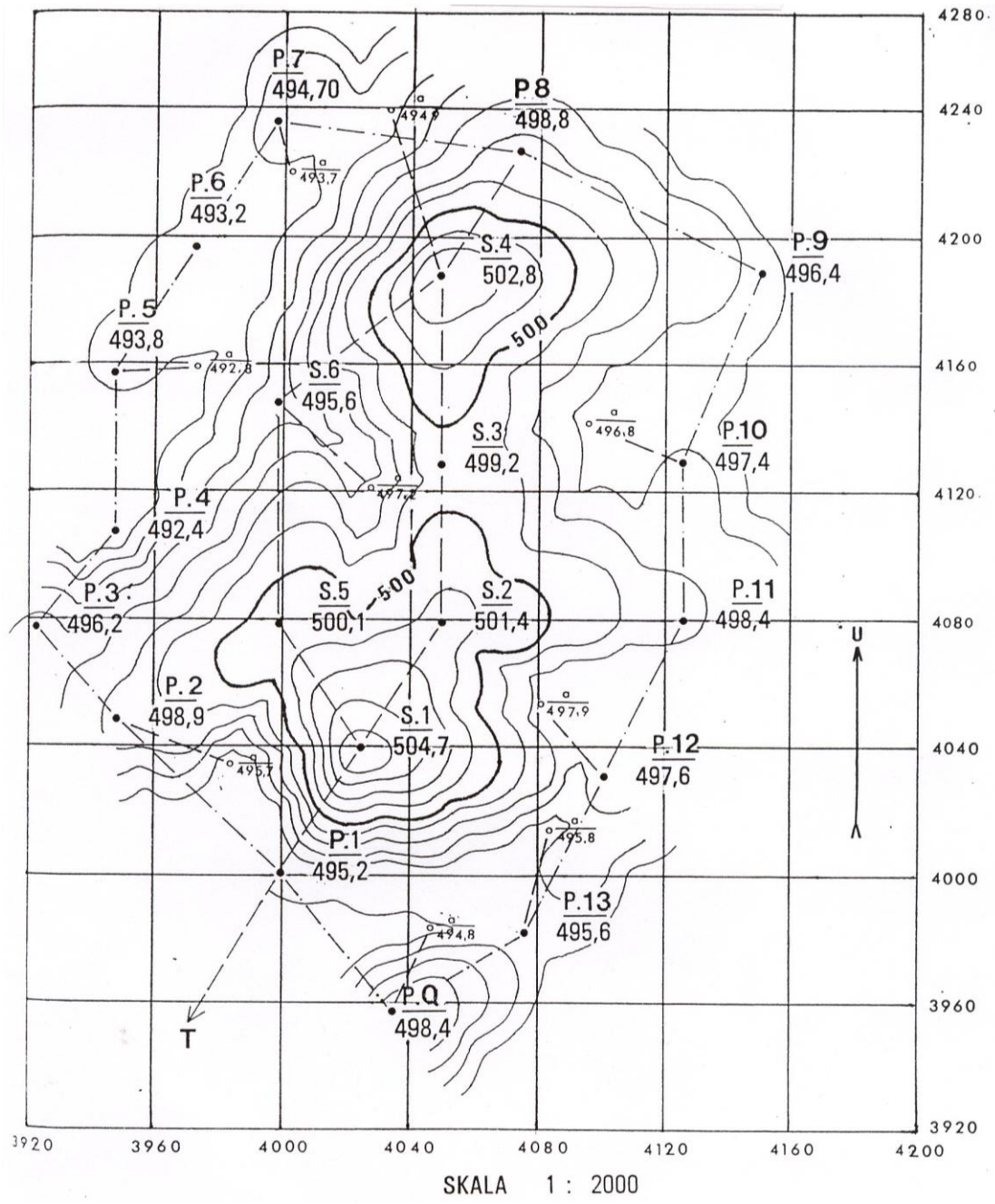
Tabel 6.16. Data pengukuran situasi dan penyelesaian perhitungannya

No.Patok		Benang				Sudut/ Azimuth	Jarak			Sudut niring	Selisih Tinggi		Tinggi atas laut	Ketera ngan
Berdiri	Ditinjau	Tengah belakang	Tengah muka	Atas	Bawah	° ' "	Optis	Rantai	Datar	° ' "	+	-	m	Keadaan lapangan
S1	P1	1,354		1,600	1,109	212 00 20	49,10		47,187	101 23 00	9,500	- 9	504,691	
1,354	S2		1,354	1,587	1,121	32 39 39	46,60		46,365	94 04 00	- 3	3,296	501,392	
S3	S2	1,054		1,300	0,809	180 00 00	49,10		49,000	87 26 00	- 2	2,196	499,194	
1,054	S4		1,054	1,350	0,758	00 00 00	59,20		58,979	86 30 00	3,607	- 3	502,798	
S4	P8	1,261		1,500	1,022	30 20 36	47,80		47,465	94 48 00	- 4	3,986	498,808	
S5	S1	1,564		1,800	1,329	114 36 19	47,10		46,646	84 22 00	+ 1	4,601	500,091	
1,564	S6		1,564	1,802	1,327	00 00 00	47,50		47,071	95 27 00	+ 1	4,491	495,601	
S6	S4		1,071	1,400	0,742	53 07 48	65,80		65,000	83 41 00	7,195	+ 2	502,798	
P0	a		1,253	1,400	1,107	20 19 34	29,30		28,848	97 08 00		3,610	494,788	
P2	a		1,315	1,500	1,130	110 22 35	37,60		37,326	94 54 00		3,199	495,698	
P5	a		1,075	1,200	0,950	87 42 34	25,00		24,960	92 17 00		0,995	492,806	
P7	a		0,899	1,000	0,799	178 24 05	20,10		20,050	92 51 00		0,998	493,714	
P10	a		1,136	1,300	0,973	293 25 43	32,70		32,688	91 04 00		0,608	496,800	
P12	a		1,585	1,700	1,470	304 22 49	23,00		22,996	89 15 00	0,301		497,907	
P13	a		1,436	1,600	1,272	12 20 21	32,80		32,798	89 39 00	0,200		495,802	
S4	a		1,221	1,500	0,942	341 53 46	55,80		54,660	98 13 00		7,892	494,906	
S6	a		1,101	1,300	0,903	132 57 16	39,70		39,674	87 42 00	1,592		497,193	

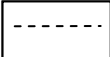
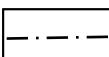
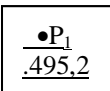
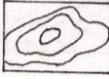
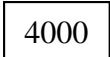
SAMPAI DISINI DULU

Tabel 6.17. PERHITUNGAN KOORDINAT

TITIK	SUDUT				AZIMUT			JARAK	ΔX		ΔY		KOORDINAT	
	°	'	"	Kor	°	'	"		d.sin α	Kor	d.Cos α	Kor	X	Y
P ₁													4000,000	4000,000
					313	15	51	69,823	-20,831	-0,024	+ 47,840	+ 0,036		
P ₂	175	08	40										3949,145	4047,876
					318	07	11	38,912	-25,976	-0,013	+28,971	+ 0,020		
P ₃	97	21	31										3923,156	4076,867
					40	45	40	38,322	+ 25,020	- 0,013	+29,026	+0,020		
P ₄	220	45	49										3948,163	4105,913
					359	59	51	50,961	- 0,002	- 0,018	+50,961	+0,026		
P ₅	149	02	10										3948,143	4156,900
					30	57	41	46,592	+23,970	-0,016	+ 39,953	+0,024		
P ₆	178	18	10										3972,097	4196,877
					32	39	31	46,251	+ 24,958	- 0,016	+ 38,938	+ 0,024		
P ₇	116	43	47										3997,039	4235,839
					95	55	44	77,426	77,012	- 0,027	- 7,998	+0,040		
P ₈	159	39	53										4074,024	4227,839
					116	15	51	85,933	+77,122	- 0,030	-38,056	+0,045		
P ₉	93	10	54										4151,116	4189,870
					203	04	57	66,285	-25,988	- 0,023	- 60,978	+ 0,034		
P ₁₀	203	05	06										4125,105	4128,926
					179	59	51	48,978	+0,002	- 0,017	- 48,978	+0,025		
P ₁₁	152	58	09										4125,090	4079,973
					207	01	42	54,988	- 24,993	- 0,019	- 48,993	+ 0,028		
P ₁₂	180	56	07										4100,078	4031,008
					206	05	35	54,626	- 24,026	-0,019	- 49,059	+ 0,028		
P ₁₃	147	28	07										4076,003	3981,977
					238	37	38	48,037	- 41,013	-0,017	- 25,010	+ 0,025		
P ₀	97	46	15										4035,003	3956,992
					320	51	13	55,416	- 34,984	- 0,019	+ 42,977	+ 0,031		
P ₁													4000,000	4000,000



Gambar 2.6. Contoh membuat garis kontur

- | | | | |
|---|---|---|---------------------------|
|  | Garis ukur situasi |  | Garis ukur poligon |
|  | Nomor titik dan ketinggian dari muka air laut |  | Interval kontur a 1 meter |
|  | Harga koordinat grid | | |

VII. TABEL TOLERANSI KESALAHAN

Rumus ¹⁾

Alat Ukur Theodolit

1. Toleransi Kesalahan Sudut

$$v = 1\frac{1}{2}' \times (n)^{\frac{1}{2}}$$

n = Jumlah sudut (titik ukur)

Kesalahan sudut pengukuran $\Rightarrow e = 10'$

$$\text{Contoh: } n = 100 \text{ buah titik ukur} \Rightarrow v = 1\frac{1}{2}' \times (n)^{\frac{1}{2}} = 1\frac{1}{2}' \times (100)^{\frac{1}{2}} = 15'$$

$e < v \Rightarrow$ Pengukuran sudut baik

2. Toleransi Kesalahan Koordinat.

$$v = [(0,0007L)^2 + \{0,02(L)^{\frac{1}{2}}\}^2 + 2]^{\frac{1}{2}} = (\Delta x^2 + \Delta y^2)^{\frac{1}{2}}$$

L = Jarak

Contoh: Diketahui kesalahan koordinat $\Rightarrow e_x = \Delta x = 2 \text{ m}; e_y = \Delta y = 1 \text{ m}$

$$e = (\Delta x^2 + \Delta y^2)^{\frac{1}{2}} = (2^2 + 1^2)^{\frac{1}{2}} = 2,236 \text{ m}$$

L = 3000 m

$$v = [(0,0007L)^2 + \{0,02(L)^{\frac{1}{2}}\}^2 + 2]^{\frac{1}{2}} = 2,759 \text{ m}$$

$e < v \Rightarrow$ Pengukuran jarak baik .

3. Toleransi Kesalahan Ketinggian

$$v = [\{(0,3L)^2 \times (L : 100)^{\frac{1}{2}}\}^2 + 4,5]^{\frac{1}{2}}$$

L = Jarak

Contoh:

L = 3000 m

Kesalahan pengukuran $\Rightarrow e = 2 \text{ m};$

$$v = [\{(0,3L)^2 \times (L : 100)^{\frac{1}{2}}\}^2 + 4,5]^{\frac{1}{2}}$$

$$v = [\{(0,3 \times 3000)^2 \times (3000 : 100)^{\frac{1}{2}}\}^2 + 4,5]^{\frac{1}{2}} = 2,682 \text{ m}$$

$e < v \Rightarrow$ Pengukuran sudut miring baik

Alat Ukur Waterpas

4. Toleransi Kesalahan

$$1. v = 4 \times (L)^{\frac{1}{2}} + 0,2 \times L \quad 3. v = 12 \times (L)^{\frac{1}{2}}$$

$$2. v = 8 \times (L)^{\frac{1}{2}} + 0,3 \times L \quad 4. v = 18 \times (L)^{\frac{1}{2}}$$

L = Jarak datar dalam km dijadikan mm

Kesalahan pengukuran: $e = 12,8 \text{ mm}$

L = 9 km

$$1. v = 4 \times (L)^{1/2} + 0,2 \times L$$

$$v = 4 \times (L)^{1/2} + 0,2 \times L = 4 \times (9)^{1/2} + 0,2 \times 9 = 13,8 \text{ mm}$$

$e < v \Rightarrow$ Pengukuran beda tinggi baik

Penggambaran Peta

5. Toleransi Kesalahan Opdrach

$$v = [(0,0011 \times L)^2 + (0,032 \times L^{1/2})^2 + \{0,1 \times (L : 100)^{1/2}\}^2 + (0,031 \times S^{1/2} \times L^{1/2})^2 + \{0,1 \times S \times (L : 100)^{1/2}\}^2 + 2 + (0,1 \times S \times 2^{1/2})^2]^{1/2}$$

L = Jarak ; S = Skala peta

Contoh:

Skala peta 1 : 2000

Kesalahan opdrach $\Rightarrow e = 1,5 \text{ mm}$ (di peta)

$$\Rightarrow e = 2000 \times 1,5 \text{ mm} = 3 \text{ m (di lapangan)}$$

L = 2000 m

$$v = [(0,0011 \times L)^2 + (0,032 \times L^{1/2})^2 + \{0,1 \times (L : 100)^{1/2}\}^2 + (0,031 \times S^{1/2} \times L^{1/2})^2 + \{0,1 \times S \times (L : 100)^{1/2}\}^2 + 2 + (0,1 \times S \times 2^{1/2})^2]^{1/2}$$

$$v = [(0,0011 \times 2000)^2 + (0,032 \times 2000^{1/2})^2 + \{0,1 \times (2000 : 100)^{1/2}\}^2 + \{0,031 \times (1:2000)^{1/2} \times 2000^{1/2}\}^2 + \{0,1 \times (1:2000) \times (2000 : 100)^{1/2}\}^2 + 2 + \{0,1 \times (1:2000) \times 2^{1/2}\}^2]^{1/2} = 3,014 \text{ m}$$

$e < v \Rightarrow$ Pengopdrachan benar

¹⁾ ***Foutengrenzen, Topografische Diens Btavia Hendruk, 1949***

VII. PENGUKURAN TITIK TETAP

Titik tetap sangat penting bagi keperluan pengukuran-pengukuran tanah. Oleh karena itu apabila pada daerah yang akan diukur atau dipetakan belum ada titik tetapnya sebagai pengikat pengukuran, hal ini perlu dibuatkan.

Cara pembuatannya dapat dilakukan sebagai berikut.

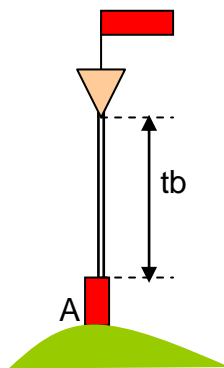
1. Cara mengikat pengukuran ke belakang
2. Cara mengikat pengukuran ke depan

1. Cara mengikat pengukuran ke belakang

1.1. Cara pengukuran Collins

Titik P ialah titik yang akan dibuat di lapangan dan akan dicari koordinatnya dan ketinggiannya. Oleh karena itu pada titik P akan merupakan tempat alat berdiri, dengan demikian titik A, B dan C adalah titik-titik tetap yang telah diketahui koordinatnya dan ketinggiannya dari muka air laut.

Supaya titik A, B dan C dapat dilihat dengan jelas dari titik P, maka perlu dipasang pilar-pilar dari bambu.

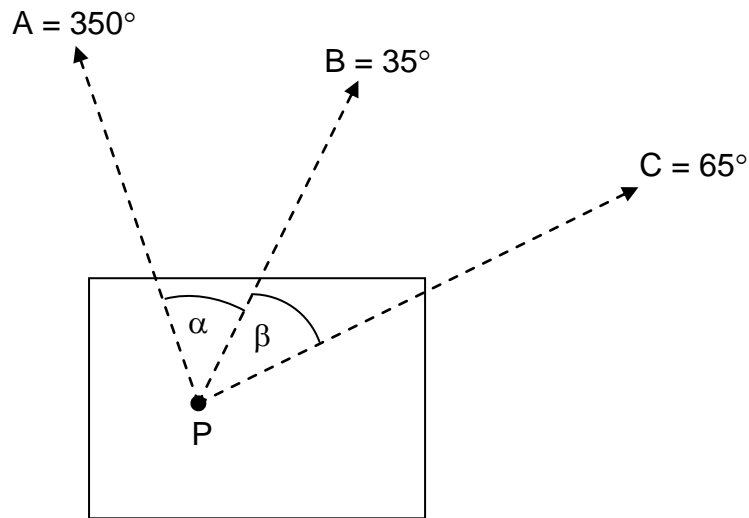


Gambar 7.1. Pilar bambu di titik A

Keterangan:

A = Titik triangulasi

tb = Tinggi benang tengah



Gambar 7.2. Bagan pengukuran di lapangan

Keterangan :

A, B dan C = Titik triangulasi

= Wilayah daerah pengukuran

Diketahui koordinat titik-titik: $A \Rightarrow X_A=2460,909355 \text{ m}; Y_A=8228,6167794 \text{ m}$

$B \Rightarrow X_B=6366,662266 \text{ m}; Y_B=9075,323607 \text{ m}$

$C \Rightarrow X_C=9078,742675 \text{ m}; Y_C=7556,173905 \text{ m}$

Pembacaan sudut horizontal dari :

$P \rightarrow A = 350^\circ; P \rightarrow B = 35^\circ; P \rightarrow C = 65^\circ;$

Ditanyakan koordinat titik P.

Penyelesaian:

$$\alpha = 35^\circ + 360^\circ - 350^\circ = 45^\circ; \quad \beta = 65^\circ - 35^\circ = 30^\circ$$

$$\begin{aligned} \text{tg} \alpha_{AB} &= (X_B - X_A) / (Y_B - Y_A) = (6366,662266 - 2460,909355) / (9075,323607 - 8228,616794) \\ &= 3905,752911 / 846,706813 = 4,612874018 \end{aligned}$$

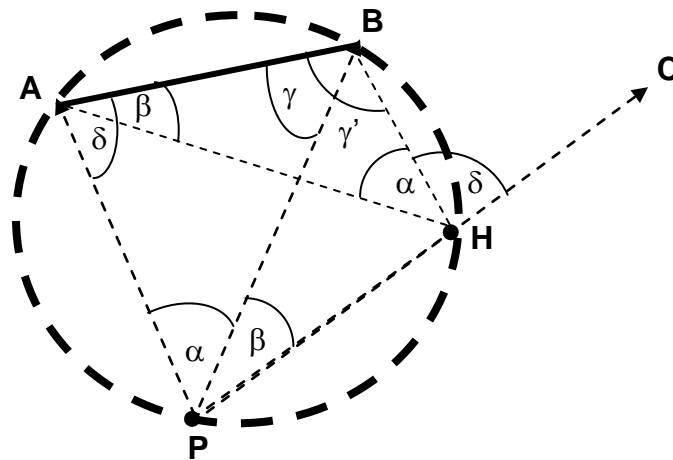
$$\alpha_{AB} = 77^\circ 46' 6,33''$$

$$\begin{aligned} \text{tg} \alpha_{BC} &= (X_C - X_B) / (Y_C - Y_B) = (9078,742675 - 6366,662266) / (7556,173905 - 9075,323607) \\ &= 2712,080409 / -1519,1497 = -1,78526211 \end{aligned}$$

$$\alpha_{BC} = 119^\circ 15' 18''$$

$$AB = (X_B - X_A) / \sin \alpha_{AB} = 3905,752911 / \sin 77^\circ 46' 6,33'' = 3996,475759 \text{ m}$$

$$\gamma' = 180^\circ - \alpha - \beta = 180^\circ - 45^\circ - 30^\circ = 105^\circ$$



Gambar metoda perhitungan Collins

$$\begin{aligned} \sin \alpha / AB &= \sin \beta / BH \Rightarrow BH = (AB \times \sin \beta) / \sin \alpha \\ &= (3996,475759 \times \sin 30^\circ) / \sin 45^\circ = 2825,935111 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\alpha_{BH} = \alpha_{BA} - \gamma' = 257^\circ 46' 6,33'' - 105^\circ = 152^\circ 46' 6,33''$$

$$\begin{aligned} X_H &= X_B + BH \times \sin \alpha_{BH} = 6366,662266 + 2825,935111 \times \sin 152^\circ 46' 6,33'' \\ &= 7659,776273 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Y_H &= Y_B + BH \times \cos \alpha_{BH} = 9075,323607 + 2825,935111 \times \cos 152^\circ 46' 6,33'' \\ &= 6562,602887 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{tg} \alpha_{HC} &= (X_C - X_H) / (Y_C - Y_H) = (9075,323607 - 7659,776273) / (7556,173905 - 6562,602887) \\ &= 1418,966402 / 933,571018 = 1,428147939 \end{aligned}$$

$$\alpha_{HC} = 55^\circ;$$

$$\delta = \alpha_{HC} - \alpha_{HB} = 55^\circ + 360^\circ - 332^\circ 46' 6,33'' = 82^\circ 13' 53,67''$$

$$\gamma = 180^\circ - \alpha - \delta = 180^\circ - 45^\circ - 82^\circ 13' 53,67'' = 52^\circ 46' 6,33''$$

$$\alpha_{AP} = \alpha_{AB} + \delta = 77^\circ 46' 6,33'' + 82^\circ 13' 53,67'' = 160^\circ$$

$$\begin{aligned} \sin \alpha : AB &= \sin \gamma / AP \Rightarrow AP = (AB \times \sin \gamma) / \sin \alpha \\ &= (3996,475759 \times \sin 52^\circ 46' 6,33'') / \sin 45^\circ = 4500,000 \text{ m} \end{aligned}$$

$$X_P = X_A + AP \times \sin \alpha_{AP} = 4500 \times \sin 160^\circ = 4000 \text{ m}$$

$$Y_P = Y_A + AP \times \cos \alpha_{AP} = 4500 \times \cos 160^\circ = 4000 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \sin \delta / BP &= \sin \alpha / AB \Rightarrow BP = (AB \times \sin \delta) / \sin \alpha \\ &= (3996,475759 \times \sin 82^\circ 13' 53,67'') / \sin 45^\circ = 5600 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\alpha_{BP} = \alpha_{BA} - \gamma = 77^\circ 46' 6,33'' + 180^\circ - 52^\circ 46' 6,33'' = 205^\circ$$

$$X_P = X_B + BP \times \sin\alpha_{BP} = 6366,662266 + 5600 \times \sin 205^\circ = 4000 \text{ m}$$

$$Y_P = Y_B + BP \times \cos\alpha_{BP} = 9075,323607 + 5600 \times \cos 205^\circ = 4000 \text{ m}$$

Hasil ukuran sudut miring dari P ke A (β_A) = $86^\circ 15'$

Tinggi alat ukur diatas pilar P (t_P) = 0,70 m

Tinggi benang tengah diatas pilar A (t_A) = 5,80 m

Kelengkungan bumi (k_B) = $AP^2 / 2 \times R$

Kelengkungan sinar (k_S) = $0,14 \times k_B$

Tinggi titik A diatas permukaan air laut (H_A) = 1750,70 m

$$H_A = H_P + PA \times \cot\beta_A + t_P - t_A + k_B - k_S$$

$$H_P = H_A - PA \times \cot\beta_A - t_P + t_A - k_B + k_S$$

$$\begin{aligned} &= 1750,70 \text{ m} - 4500 \times \cot 86^\circ 15' - 0,70 + 5,80 - 4500^2 / (2 \times 6377397,155) \\ &\quad + 0,14 \times (4500^2 / (2 \times 6377397,155)) = 1459,489048 \text{ m} \end{aligned}$$

$H_B = 2098,293776 \text{ m}$; $\beta_B = 83^\circ 27'$; $t_B = 7 \text{ m}$; $t_P = 0,70 \text{ m}$

$$H_B = H_P + PB \times \cot\beta_B + t_P - t_B + k_B - k_S$$

$$H_P = H_B - PB \times \cot\beta_B - t_P + t_B - k_B + k_S$$

$$\begin{aligned} &= 2098,293776 - 5600 \times \cot 83^\circ 27' - 0,70 + 7 - 5600^2 / (2 \times 6377397,155) \\ &\quad + 0,14 \times (5600^2 / (2 \times 6377397,155)) = 1459,493032 \text{ m} \end{aligned}$$

1.2. Cara pengukuran Cassini

Pada cara pengukuran Cassini pada prinsipnya sama dengan cara Collins, hanya yang berbeda pada metoda perhitungannya.

Cara perhitungan Cassini dapat dilakukan sebagai berikut dibawah ini:

$$\gamma = 180^\circ - \alpha - 90^\circ = 180^\circ - 45^\circ - 90^\circ = 45^\circ$$

$$\sin\alpha : AB = \sin\gamma : AQ \Rightarrow AQ = (AB \times \sin\gamma) : \sin\alpha$$

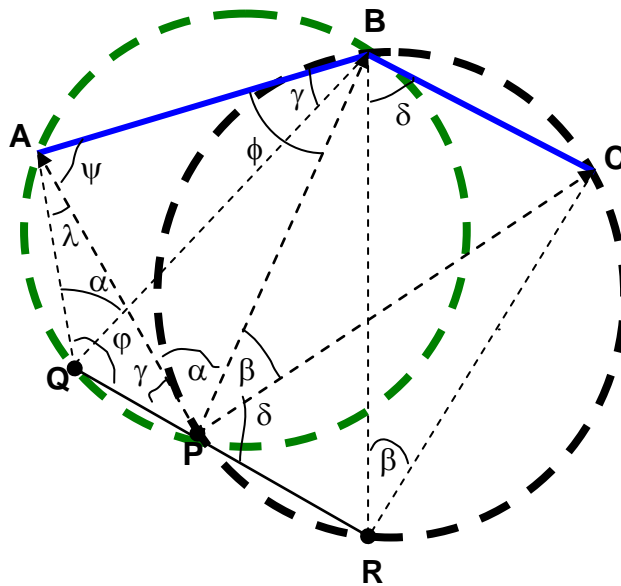
$$= (3996,475759 \times \sin 45^\circ) : \sin 45^\circ = 3996,475759 \text{ m}$$

$$\alpha_{AQ} = \alpha_{AB} + 90^\circ = 77^\circ 46' 6,33'' = 167^\circ 46' 6,33''$$

$$\begin{aligned} X_Q &= X_A + AQ \times \sin\alpha_{AQ} = 2460,909355 + 3996,475759 \times \sin 167^\circ 46' 6,33'' \\ &= 3307,616323 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Y_Q &= Y_A + AQ \times \cos\alpha_{AQ} = 8228,616794 + 3996,475759 \times \cos 167^\circ 46' 6,33'' \\ &= 4322,863883 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\delta = 180^\circ - \beta - 90^\circ = 180^\circ - 30^\circ - 90^\circ = 60^\circ$$



Gambar metoda perhitungan Cassini

Catatan : $\angle BAQ$ dan $\angle BCR$ sama dengan 90° (dibuat)

$$\sin\beta : BC = \sin\delta : CR \Rightarrow CR = (BC \times \sin\delta) : \sin\beta$$

$$= (3108,567773 \times \sin60^\circ) : \sin30^\circ = 5384,197321 \text{ m}$$

$$\alpha_{CR} = \alpha_{CB} - 90^\circ = 299^\circ15'18'' - 90^\circ = 209^\circ15'18''$$

$$\begin{aligned} X_R &= X_C + CR \times \sin\alpha_{CR} = 9078,742675 + 5384,197321 \times \sin209^\circ15'18'' \\ &= 6447,499555 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Y_R &= Y_C + CR \times \cos\alpha_{CR} = 7556,173905 + 5384,197321 \times \cos209^\circ15'18'' \\ &= 2858,712843 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{tg}\alpha_{QR} &= (X_R - X_Q) : (Y_R - Y_Q) \\ &= (6447,499555 - 3307,616323) : (2858,712843 - 4322,863883) \\ &= 3139,883232 : -1464,15104 = -2,14450773 \end{aligned}$$

$$\alpha_{QR} = 115^\circ$$

$$\varphi = \alpha_{QR} - \alpha_{QA} = 115^\circ + 360^\circ - 347^\circ46'6,33'' = 127^\circ13'53,6''$$

$$\lambda = 180^\circ - \varphi - \gamma = 180^\circ - 127^\circ13'53,6'' - 45^\circ = 7^\circ46'6,33''$$

$$\psi = 90^\circ - \lambda = 90^\circ - 7^\circ46'6,33'' = 82^\circ13'53,67''$$

$$\alpha_{AP} = \alpha_{AB} + \psi = 77^\circ46'6,33'' + 82^\circ13'53,67'' = 160^\circ$$

$$\phi = 180^\circ - \psi - \alpha = 180^\circ - 82^\circ13'53,67'' - 45^\circ = 52^\circ46'6,33''$$

$$\begin{aligned} \sin\phi : AP &= \sin\alpha : AB \Rightarrow AP = (AB \times \sin\phi) : \sin\alpha \\ &= (3996,475759 \times \sin52^\circ46'6,33'') : \sin45^\circ = 4500 \text{ m} \end{aligned}$$

$$X_P = X_A + AP \times \sin\alpha_{AP} = 2460,909355 + 4500 \times \sin160^\circ = 4000 \text{ m}$$

$$Y_P = Y_A + AP \times \cos\alpha_{AP} = 8228,616794 + 4500 \times \cos 160^\circ = 4000 \text{ m}$$

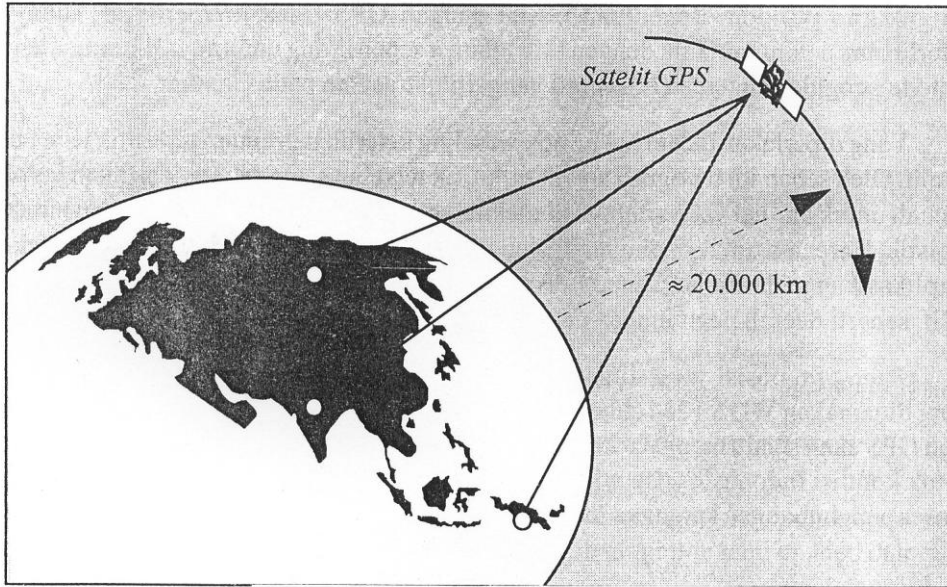
Cara pengukuran ke belakang dewasa ini dapat dilakukan dengan alat ukur tanah yang canggih, yaitu dengan alat ukur tanah Global Positioning System (GPS).

Dengan menggunakan alat ukur ini ada beberapa hal yang menguntungkan, yaitu:

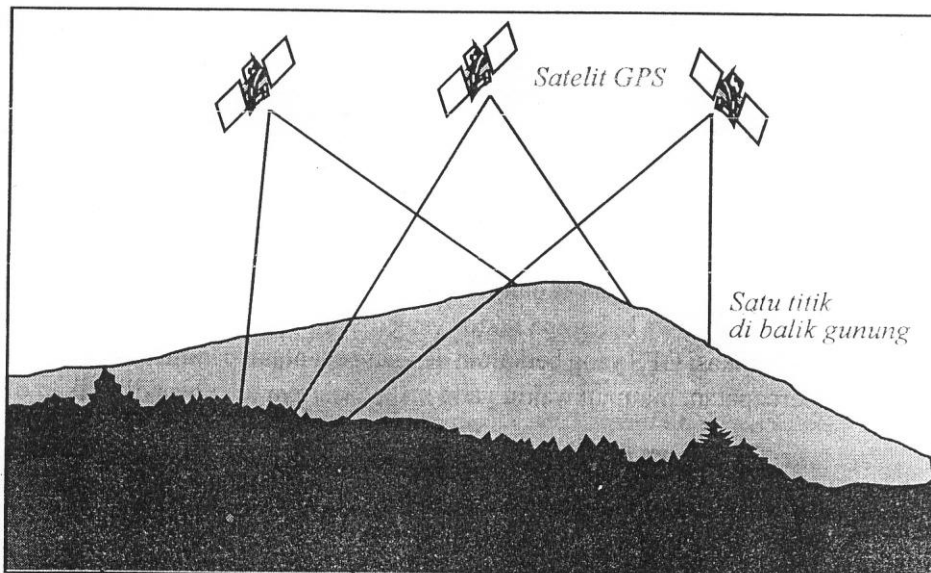
1. Pengukuran dengan GPS tidak tergantung kepada waktu dan keadaan cuaca.
2. Pengukuran dengan GPS akan meliputi wilayah yang cukup luas, mengingat GPS mempunyai ketinggian orbit yang cukup tinggi, yaitu sekitar 20000 km di atas permukaan bumi. Oleh karena itu pemakaiannya tidak terpengaruh pada batas politik dan batas alam.
3. Pengukuran dengan GPS, titik lokasi yang diukur tidak perlu saling kelihatan satu sama lainnya. Oleh karena itu alat GPS ini sangat baik digunakan pada negara yang terdiri dari pulau pulau seperti Negara Indonesia.
Posisi yang ditentukan akan mengacu kepada suatu datum global, yang dinamakan WGS 1984
4. Pengukuran dengan GPS mempunyai ketelitian yang sangat teliti.
5. Hasil data pengukuran tidak dapat dimanipulasi

Hal yang kurang menguntungkan:

1. GPS tidak dapat digunakan untuk pengukuran di bawah tanah, misal pada bukaan lubang tambang.
2. GPS untuk pengukuran secara detail biaya operasinya sangat tinggi. Oleh karena itu GPS pada pengukuran pemetaan sangat baik untuk penentuan pembuatan titik ikat/titik tetap atau sebagai penentuan titik batas wilayah.
3. Harga GPS masih terlalu mahal.
4. Penggunaan GPS masih menggunakan satelit negara lain (Amerika). Maka kalau terjadi sesuatu hal yang tidak diinginkan, akan terjadi kepakuman/tidak jalannya semua GPS.
5. Posisi titik di permukaan bumi dapat ditentukan dengan cara Sistem Koordinat Geosentrik dan Toposentrik.

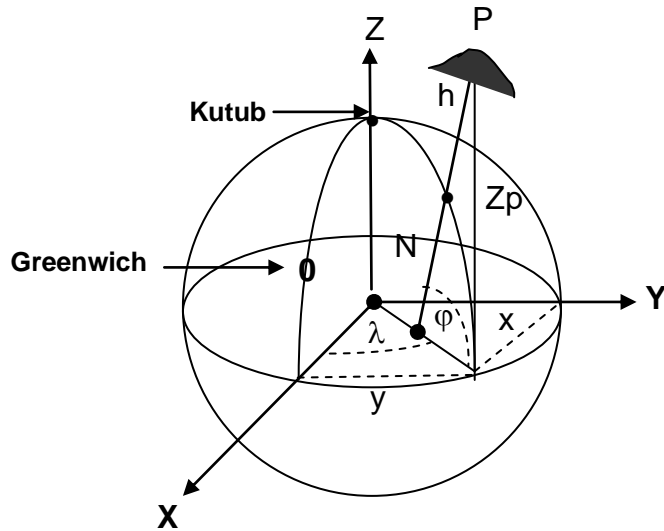


Gambar wilayah cakupan pengukuran GPS

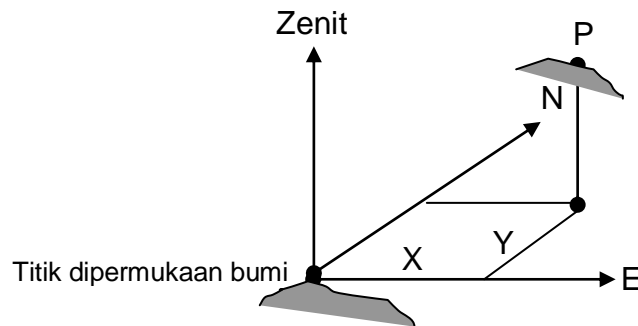


Gambar pengukuran GPS antar titik yang saling tidak kelihatan

Sistim koordinat geosentrik, titik pusatnya terletak pada pusat bumi, sedangkan untuk sistim koordinat toposentrik tergantung kepada bidang proyeksi yang dibutuhkan. Penentuan sistim koordinat-koordinat tersebut dapat dilihat pada di bawah..



Gambar posisi titik dalam sistim koordinat geosentrik



Gambar posisi titik dalam sistim koordinat toposentrik

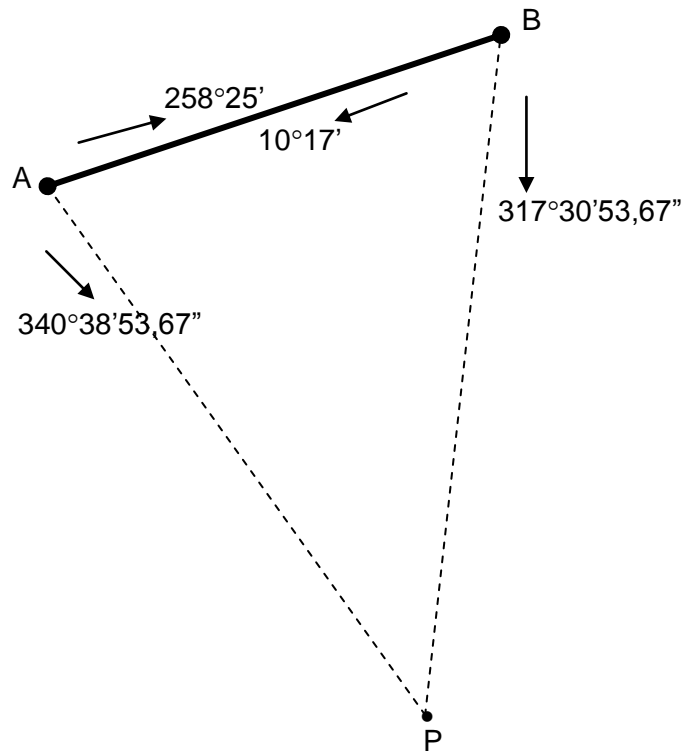
2 . Pengukuran kedepan

Cara pengukuran kedepan ini diperlukan adanya dua titik tetap (titik triangulasi). Sedangkan titik yang akan ditentukan harus dapat dilihat dengan jelas dari kedua titik tetap itu.

Biasanya pada titik-titik yang akan dibidik dipasang pilar-pilar dari bambu dan dipasang tanda yang jelas (bendera yang berwarna).

Pada kedua titik tetap itu diukur sudut-sudut horisontanya dan juga sudut miringnya yang ditujukan kepada titik tetap yang dibuat.

Penjelasan selanjutnya lihat metoda pengukuran dilapangan seperti dibawah ini.



Bagan pengukuran di lapangan

Keterangan:

Titik A dan B = Titik triangulasi

Titik P = Titik yang akan dicari koordinat dan ketinggiannya dari permukaan air laut

Pembacaan sudut horisontal dari:

$$A \rightarrow B = 258^{\circ}25'; \quad A \rightarrow P = 340^{\circ}38'53,67'' - = 82^{\circ}13'53,67''$$

$$B \rightarrow A = 10^{\circ}17'; \quad B \rightarrow P = 317^{\circ}30'53,67''$$

Diketahui:

$$\text{Koordinat titik: } A \Rightarrow X = 2460,909355 \text{ m}; \quad Y = 8228,616794 \text{ m}$$

$$B \Rightarrow X = 6366,662266 \text{ m}; \quad Y = 9075,323607 \text{ m}$$

Ditanyakan koordinat titik P.

Penyelesaian:

$$\alpha = 340^{\circ}38'53,67'' - 258^{\circ}25' = 82^{\circ}13'53,67''$$

$$\beta = 10^{\circ}17' + 360^{\circ} - 317^{\circ}30'53,67'' = 52^{\circ}46'6,33''$$

$$\gamma = 180^{\circ} - \alpha - \beta = 180^{\circ} - 82^{\circ}13'53,67'' - 52^{\circ}46'6,33'' = 45^{\circ}$$

Koordinat A dan B telah diketahui.

$$\text{tg} \alpha_{AB} = (X_B - X_A) : (Y_B - Y_A)$$

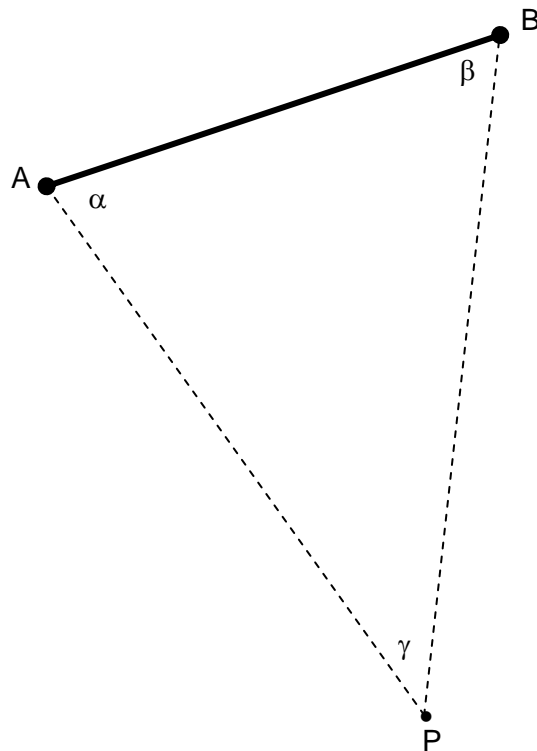
$$= (6366,662266 - 2460,909355) : (9075,323607 - 8228,616794)$$

$$= 3905,752911 : 846,706813 = 4,612875261$$

$$\alpha_{AB} = 77^{\circ}46'6,33''$$

$$AB = (X_B - X_A) : \sin\alpha_{AB} = (6366,662266 - 2460,909355) : \sin 77^{\circ}46'6,33''$$

$$= 3996,475759 \text{ m}$$



Bagan metoda perhitungan

$$\sin\alpha : BP = \sin\gamma : AB \Rightarrow BP = (AB \times \sin\alpha) : \sin\gamma$$

$$= (3996,475759 \times \sin 82^{\circ}13'53,67'') : \sin 45^{\circ}$$

$$= 5600 \text{ m}$$

$$\alpha_{BP} = \alpha_{BA} - \beta = 77^{\circ}46'6,33'' + 180^{\circ} - 52^{\circ}46'6,33''$$

$$= 205^{\circ}$$

$$X_P = X_B + BP \times \sin\alpha_{BP} = 6366,662266 + 5600 \times \sin 205^{\circ}$$

$$= 4000 \text{ m}$$

$$Y_P = Y_B + BP \times \cos\alpha_{BP} = 9075,323607 + 5600 \times \cos 205^{\circ}$$

$$= 4000 \text{ m}$$

$$\sin\beta : AP = \sin\gamma : AB \Rightarrow AP = (AB \times \sin\beta) : \sin\gamma$$

$$= (3996,475759 \times \sin 52^{\circ}46'6,33'') : \sin 45^{\circ}$$

$$= 4500 \text{ m}$$

$$\alpha_{AP} = \alpha_{AB} + \alpha = 77^{\circ}46'6,33'' + 82^{\circ}13'53,67'' = 160^{\circ}$$

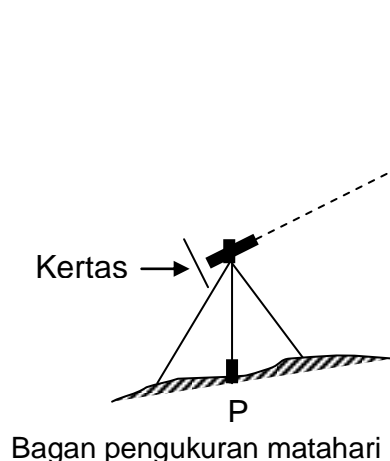
$$X_P = X_A + AP \times \sin\alpha_{AP} = 2460,909355 + 4500 \times \sin 160^{\circ} = 4000 \text{ m}$$

$$Y_P = Y_A + AP \times \cos\alpha_{AP} = 8228,616794 + 4500 \times \cos 160^{\circ} = 4000 \text{ m}$$

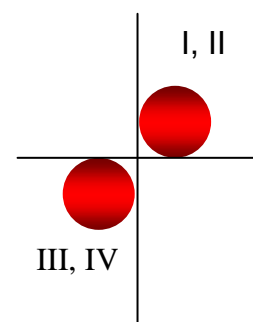
VIII. PENGAMATAN MATAHARI

Cara pengamatan matahari ini dilakukan apabila di daerah pengukuran hanya ada satu titik triangulasi, sedangkan untuk pengukuran polygon diperlukan azimuth dari salah satu garis polygon. Untuk mengatasi ini maka diperlukan pengamatan matahari dengan cara sebagai berikut:

Alat ukur teodolit berdiri di titik P. Teropong dalam keadaan biasa diarahkan ke matahari (pengukuran I), dengan cara pinggir bayangan matahari ditadahkan pada kertas putih dan harus menyinggung benang tengah diaprigma yang vertical dan horizontal. Pada saat bayangan matahari bagian bawah menyinggung benang tengah diaprigma yang horizontal, segera catat pada jam waktu pengukuran, yaitu: sekon, menit, dan jam. Selanjutnya baca sudut horizontal dan vertical. Sekarang teropong dibalik (pengukuran II). Setelah pinggir bayangan matahari menyinggung pada benang tengah diaprigma, baca jam waktu penunjuk dimulai dari sekon, menit kemudian jam. Selanjutnya baca sudut horizontal dan vertical. Untuk pengukuran ke III, teropong masih dalam luar biasa, kemudian teropong diarahkan ke matahari, dan pembacaannya dilakukan seperti pada pengukuran ke II. Sekarang teropong dibuat seperti pada keadaan biasa, kemudian teropong diarahkan ke matahari (pengukuran IV). Pembacaan selanjutnya seperti di atas. Bagan pengukuran lihat gambar di bawah.



Bagan pengukuran matahari



Bagan bayangan matahari dan benang diaprigma pada kertas

Di bawah ini contoh pengukuran matahari untuk penentuan azimuth, yang dilakukan di kompleks LIPI daerah Karangsembung, Kabupaten Kebumen, Jawa Tengah, pada tanggal 15 Pebruari 1983 lihat tabel.

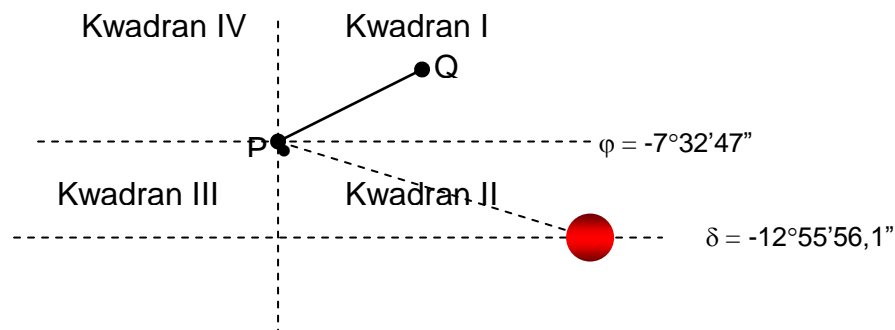
KURSUS SURVEYOR TOPOGRAFI PERTAMBANGAN

KEDUDUKAN	MATAHARI	WAKTU	VERIKAL	HORIZONTAL
I. Biasa		07 ^h 44 ^m 12 ^s	64° 12' 03"	237° 35' 09"
II. Balik		07 ^h 50 ^m 15 ^s	297° 10' 27"	57° 31' 57"
III. Balik		07 ^h 55 ^m 03 ^s	297° 50' 27"	58° 08' 45"
IV. Biasa		07 ^h 58 ^m 57 ^s	61° 23' 54"	238° 05' 12"
	Waktu rata-rata	07 ^h 52 ^m 16,75 ^s	P → Q : Bi = 189° 39' 18"	
Deklinasi matahari	$\delta = -12^\circ 55' 56,1''$	$\sin \delta = -0,223798$	P → Q : Ba = 9° 39' 12"	
Lintang	$\varphi = -7^\circ 32' 46,762''$	$\sin \varphi = -0,131329$	φ diberi tanda :	
Tinggi tempat dpl	H = 56,398 m		Positif : Utara Negatif : Selatan	
	I	II	III	IV
h	25° 47' 57"	27° 10' 27"	27° 50' 27"	28° 36' 06"
r	-00° 01' 44,2"	-00° 01' 38,7"	-00° 01' 35,3"	-00° 01' 32,1"
± 1/2d	-00° 16' 13,0"	-00° 16' 13,0"	+00° 16' 13,0"	+00° 16' 13,0"
h	25° 29' 59,8"	26° 52' 35,3"	28° 05' 04,7"	28° 50' 46,9"
sinh	0,43051	0,452068	0,470775	0,482463
cosh	0,902586	0,891983	0,882253	0,875916
-sinh cosφ	0,056538	0,059369	0,061826	0,063361
sinδ	-0,223798	-0,223798	-0,223798	-0,223798
I	-0,167260	-0,164429	-0,161971	-0,160437
II = cosh cosφ	0,894768	0,884258	0,874612	0,868329
cos(-α) = I : II	-0,186931	-0,185951	-0,185192	-0,184765
α	100° 46' 25,4"	100° 42' 59,7"	100° 40' 20,3"	100° 38' 50,8"
± 1/2d'	-00° 17' 58,2"	-00° 18' 11"	+00° 18' 23,1"	+00° 18' 31,1"
Azimut matahari	100° 28' 27,2"	100° 24' 48,7"	100° 58' 43,4"	100° 57' 21,9"
Sudut	47° 55' 51"	47° 52' 45"	48° 29' 33"	48° 25' 54"
Azimut	52° 32' 36,2"	52° 32' 03,7"	52° 29' 10,4"	52° 31' 27,9"
Azimut rata-rata			52° 31' 19,55"	

$\sin \delta = \sinh \sin \varphi + \cosh \cos \varphi \cos(-\alpha)$
 $\delta =$ Deklinasi Matahari
 $\varphi =$ Lintang tempat
 $h =$ Tinggi matahari
 $1/2d =$ Diameter bayangan matahari
 $1/2d' = 1/2d : \cosh$

Diperiksa :

Tanggal :



Gambar posisi garis P ke Matahari dan ke titik Q

Penjelasan perhitungan pada tabel dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Rata-rata waktu pengukuran (wr):

$$wr = (07^h 44^m 12^s + 07^h 50^m 15^s + 07^h 55^m 03^s + 07^h 58^m 57^s) : 4 = 07^h 52^m 16,75^s$$

2. Hitung deklinasi matahari (δ) tanggal 15 Pebruari 1983 pada jam $07^h 52^m 17^s$

Pada tanggal 15-2-1983, jam $07^h 00^m 00^s \Rightarrow \delta_{15} = - 12^\circ 56' 40,9''$

Pada tanggal 16-2-1983, jam $07^h 00^m 00^s \Rightarrow \delta_{16} = - 12^\circ 36' 07,5''$

Selisih deklinasi matahari ($\Delta\delta$) dari tanggal 25→26 adalah :

$$\Delta\delta = \delta_{16} - \delta_{15} = - 12^\circ 36' 07,5'' - (- 12^\circ 56' 40,9'') = 0^\circ 20' 33,4'' \text{ (perubahan dalam waktu 24 jam)}$$

Perubahan dalam waktu 1 jam ($\Delta\delta'$) = $0^\circ 20' 33,4'' : 24 = 0^\circ 0' 51,39''$

$$wr = 07^h 52^m 16,75^s$$

Batas pengukuran minimum (wm) = $07^h 00^m 00^s \Rightarrow \delta_{15} = - 12^\circ 56' 40,9''$

Selisih waktu pengukuran (Δw) = $wr - wm$

$$= 07^h 52^m 16,75^s - 07^h 00^m 00^s = 0^h 52^m 16,75^s$$

Deklinasi pengukuran (δ_p) = $\delta_{15} + \Delta w \cdot (\Delta\delta')$

$$= - 12^\circ 56' 40,9'' + (0^h 52^m 16,75^s : 60) \cdot 0^\circ 0' 51,39''$$

$$= - 12^\circ 56' 40,9'' + 00^\circ 00' 44,8'' = - 12^\circ 55' 56,1''$$

3. Hitung lintang tempat berdiri alat ukur theodolit pada peta topografi atau kalau sudah ada harga koordinatnya, hitung harga koordinat geografinya.

Pada pengukuran ini, tempat berdiri alat telah diketahui harga koordinat dan ketinggiannya dari permukaan air laut, yaitu:

$$X = 3338,569 \text{ m}; \quad Y = -5122,614 \text{ m}; \quad H_p = 56,398 \text{ m}$$

Rumus untuk menghitung koordinat geografi sebagai berikut:

Lintang utara:

$$\lambda'' = (A') \cdot X - (C') \cdot X \cdot Y; \quad \beta'' = (B') \cdot Y + (d') \cdot X^2$$

Lintang selatan:

$$\lambda'' = (A') \cdot X - (C') \cdot X \cdot Y; \quad \beta'' = - (B') \cdot Y + (D') \cdot X^2$$

Karena tempat pengukuran ada pada lembar peta 45/Xli-l, daerah Karangsembung – Kebumen-Jawa Tengah dan koordinat geografi titik pusatnya adalah: $\varphi_0 = 2^\circ 50'$; $\lambda_0 = -7^\circ 30'$; maka tempat pengukuran ada di sebelah selatan equator

Pada tabel diketahui: $(A') = 0,0326203$

$(B') = 0,0325549$

$(C') = 0,0006734 \cdot 10^{-6}$;

$(D') = 0,0003360 \cdot 10^{-6}$

Lintang selatan:

$$\lambda'' = (A') \cdot X - (C') \cdot X \cdot Y; \quad \beta'' = - (B') \cdot Y + (D') \cdot X^2$$

$$\lambda'' = (A') \cdot X - (C') \cdot X \cdot Y$$

$$= 0,0326203 \cdot 3338,569 - 0,0006734 \cdot 10^{-6} \cdot 3338,569 \cdot -5122,614$$

$$= 108,905 + 0,011 = 108,916''$$

$$\lambda' = 00^{\circ}01'48,916''$$

$$\lambda = \lambda_0 + \lambda' = 2^{\circ}50' + 00^{\circ}01'48,916'' = 2^{\circ}51'48,916''$$

$$\beta'' = - (B') \cdot Y + (D') \cdot X^2$$

$$= -0,0325549 \cdot -5122,614 - 0,0003360 \cdot 10^{-6} \cdot 3338,569^2$$

$$= 166,766 - 0,004 = 166,762''$$

$$\beta' = 00^{\circ}02'46,762''$$

$$\varphi = \varphi_0 + \beta' = 7^{\circ}30' + 00^{\circ}02'46,762'' = 7^{\circ}32'46,762'' \text{ (lintang selatan)}$$

4. Hitung hitung sudut vertical dari setiap pengukuran ke matahari (h):

$$h_I = 90^{\circ} - 64^{\circ}12'03'' = 25^{\circ}47'57'' \quad h_{II} = 297^{\circ}10'27'' - 270^{\circ} = 27^{\circ}10'27''$$

$$h_{III} = 297^{\circ}50'27'' - 270^{\circ} = 27^{\circ}50'27'' \quad h_{IV} = 90^{\circ} - 61^{\circ}23'54'' = 28^{\circ}36'06''$$

5. Hitung refraksi (r) dan diberi tanda negatif (-):

Lihat tabel refraksi.

a. Untuk sudut vertical (h_{25}) = 25° dengan ketinggian tempat di atas permukaan laut (H) = 0 m, diketahui $r = 1'49,2''$

Untuk sudut vertical (h) = 26° dengan ketinggian tempat di atas permukaan laut (H) = 0 m, diketahui $r = 1'43,8''$

Untuk sudut miring naik (Δh) = $26^{\circ} - 25^{\circ} = 1^{\circ}$

$$\text{maka } \Rightarrow (\Delta r) = 1'43,8'' - 1'49,2'' = -5,4''$$

Untuk $h_1 = 25^{\circ}47'57''$ dengan H = 0 m

$$\text{Maka } \Rightarrow r = 1'49,2'' + (25^{\circ}47'57'' - 25^{\circ}) \times -5,4''$$

$$= 1'49,2'' - 4,3'' = 1'44,9''$$

Untuk sudut vertical (h) = 25° dengan ketinggian tempat di atas permukaan laut (H) = 250 m, diketahui $r = 1'46,2''$

Untuk sudut vertical (h) = 26° dengan ketinggian tempat di atas permukaan laut (H) = 250 m, diketahui $r = 1'40,8''$

Untuk sudut miring naik (Δh) = $26^{\circ} - 25^{\circ} = 1^{\circ}$

$$\text{maka } \Rightarrow (\Delta r) = 1'40,8'' - 1'46,2'' = -5,4''$$

Untuk $h_1 = 25^{\circ}47'57''$ dengan H = 250 m

$$\text{Maka } \Rightarrow r = 1'46,2'' + (25^\circ47'57'' - 25^\circ) \times -5,4'' = 1'46,2'' - 4,3'' = 1'41,9''$$

$$h_1 = 25^\circ47'57''; \quad H = 0 \text{ m}; \quad r = 1'44,9''$$

$$h_1 = 25^\circ47'57''; \quad H = 250 \text{ m}; \quad r = 1'41,9''$$

Untuk $h_1 = 25^\circ47'57''$ dengan $H = 56,398 \text{ m}$

$$\begin{aligned} \text{Maka } \Rightarrow r_1 &= 1'44,9'' + (56,398 : 250) \times (1'41,9'' - 1'44,9'') \\ &= 1'44,9'' - 0,7'' = 1'44,2'' \end{aligned}$$

b. Untuk sudut vertical (h) = 27° dengan ketinggian tempat di atas permukaan laut (H) = 0 m, diketahui $r = 1'40,2''$

Untuk sudut vertical (h) = 28° dengan ketinggian tempat di atas permukaan laut (H) = 0 m, diketahui $r = 1'34,8''$

Untuk sudut miring naik (Δh) = $28^\circ - 27^\circ = 1^\circ$

$$\text{maka } \Rightarrow (\Delta r) = 1'34,8'' - 1'40,2'' = -5,4''$$

Untuk $h_2 = 27^\circ10'27''$ dengan $H = 0 \text{ m}$

$$\begin{aligned} \text{Maka } \Rightarrow r &= 1'40,2'' + (27^\circ10'27'' - 27^\circ) \times -5,4'' \\ &= 1'40,2'' - 0,9'' = 1'39,3'' \end{aligned}$$

Untuk sudut vertical (h) = 27° dengan ketinggian tempat di atas permukaan laut (H) = 250 m, diketahui $r = 1'37,2''$

Untuk sudut vertical (h) = 28° dengan ketinggian tempat di atas permukaan laut (H) = 250 m, diketahui $r = 1'33,0''$

Untuk sudut miring naik (Δh) = $28^\circ - 27^\circ = 1^\circ$

$$\text{maka } \Rightarrow (\Delta r) = 1'33,0'' - 1'37,2'' = -4,2''$$

Untuk $h_2 = 27^\circ10'27''$ dengan $H = 250 \text{ m}$

$$\begin{aligned} \text{Maka } \Rightarrow r &= 1'37,2'' + (27^\circ10'27'' - 27^\circ) \times -4,2'' \\ &= 1'37,2'' - 0,7'' = 1'36,5'' \end{aligned}$$

$$h_2 = 27^\circ10'27''; \quad H = 0 \text{ m}; \quad r = 1'39,3''$$

$$h_2 = 27^\circ10'27''; \quad H = 250 \text{ m}; \quad r = 1'36,5''$$

Untuk $h_2 = 27^\circ10'27''$ dengan $H = 56,398 \text{ m}$

$$\begin{aligned} \text{Maka } \Rightarrow r_2 &= 1'39,3'' + (56,398 : 250) \times (1'36,5'' - 1'39,3'') \\ &= 1'39,3'' - 0,6'' = 1'38,7'' \end{aligned}$$

c. Untuk sudut vertical (h) = 27° dengan ketinggian tempat di atas permukaan laut (H) = 0 m, diketahui $r = 1'40,2''$

Untuk sudut vertical (h) = 28° dengan ketinggian tempat di atas permukaan laut (H) = 0 m, diketahui $r = 1'34,8''$

Untuk sudut miring naik (Δh) = $28^\circ - 27^\circ = 1^\circ$

maka $\Rightarrow (\Delta r) = 1'34,8'' - 1'40,2'' = -5,4''$

Untuk $h_3 = 27^\circ 50' 27''$ dengan $H = 0$ m

Maka $\Rightarrow r = 1'40,2'' + (27^\circ 50' 27'' - 27^\circ) \times -5,4''$
 $= 1'40,2'' - 4,5'' = 1'35,7''$

Untuk sudut vertical (h) = 27° dengan ketinggian tempat di atas permukaan laut (H) = 250 m, diketahui $r = 1'37,2''$

Untuk sudut vertical (h) = 28° dengan ketinggian tempat di atas permukaan laut (H) = 250 m, diketahui $r = 1'33,0''$

Untuk sudut miring naik (Δh) = $28^\circ - 27^\circ = 1^\circ$

maka $\Rightarrow (\Delta r) = 1'33,0'' - 1'37,2'' = -4,2''$

Untuk $h_3 = 27^\circ 50' 27''$ dengan $H = 250$ m

Maka $\Rightarrow r = 1'37,2'' + (27^\circ 10' 27'' - 27^\circ) \times -4,2''$
 $= 1'37,2'' - 3,5'' = 1'33,7''$

$h_3 = 27^\circ 50' 27''$; $H = 0$ m; $r = 1'35,7''$

$h_3 = 27^\circ 50' 27''$; $H = 250$ m; $r = 1'33,7''$

Untuk $h_3 = 27^\circ 50' 27''$ dengan $H = 56,398$ m

Maka $\Rightarrow r_3 = 1'35,7'' + (56,398 : 250) \times (1'33,7'' - 1'35,7'')$
 $= 1'35,7'' - 2'' = 1'35,3''$

d. Untuk sudut vertical (h) = 28° dengan ketinggian tempat di atas permukaan laut (H) = 0 m, diketahui $r = 1'34,8''$

Untuk sudut vertical (h) = 29° dengan ketinggian tempat di atas permukaan laut (H) = 0 m, diketahui $r = 1'30,9''$

Untuk sudut miring naik (Δh) = $29^\circ - 28^\circ = 1^\circ$

maka $\Rightarrow (\Delta r) = 1'30,9'' - 1'34,8'' = -3,9''$

Untuk $h_4 = 28^\circ 36' 06''$ dengan $H = 0$ m

Maka $\Rightarrow r = 1'30,9'' + (28^\circ 36' 06'' - 28^\circ) \times -3,9''$
 $= 1'34,8'' - 2,3'' = 1'32,5''$

Untuk sudut vertical (h) = 28° dengan ketinggian tempat di atas permukaan laut (H) = 250 m, diketahui $r = 1'33''$

Untuk sudut vertical (h) = 29° dengan ketinggian tempat di atas permukaan laut (H) = 250 m, diketahui $r = 1'29,1''$

Untuk sudut miring naik (Δh) = $28^\circ - 29^\circ = 1^\circ$

maka $\Rightarrow (\Delta r) = 1'29,1'' - 1'33'' = -3,9''$

Untuk $h_4 = 28^\circ 36' 06''$ dengan $H = 250$ m

Maka $\Rightarrow r = 1'33'' + (28^\circ 36' 06'' - 28^\circ) \times -3,9''$
 $= 1'33'' - 2,7'' = 1'30,7''$

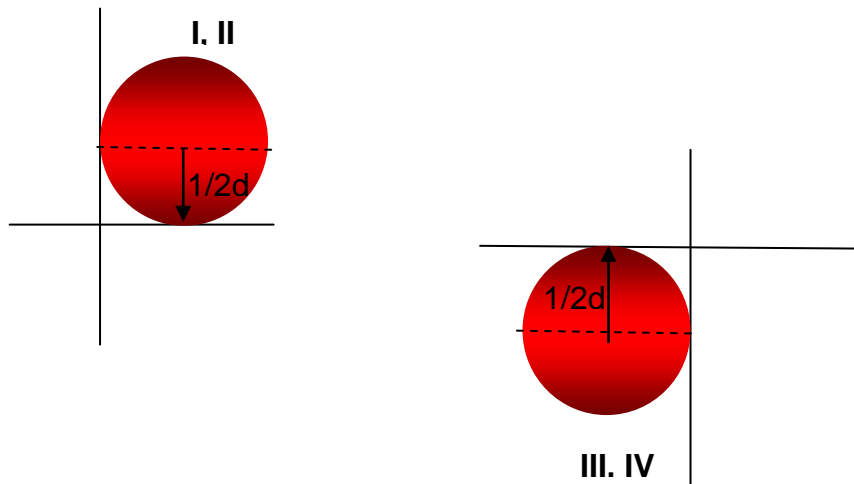
$h_4 = 28^\circ 36' 06''$; $H = 0$ m; $r = 1'32,5''$

$h_4 = 28^\circ 36' 06''$; $H = 250$ m; $r = 1'30,7''$

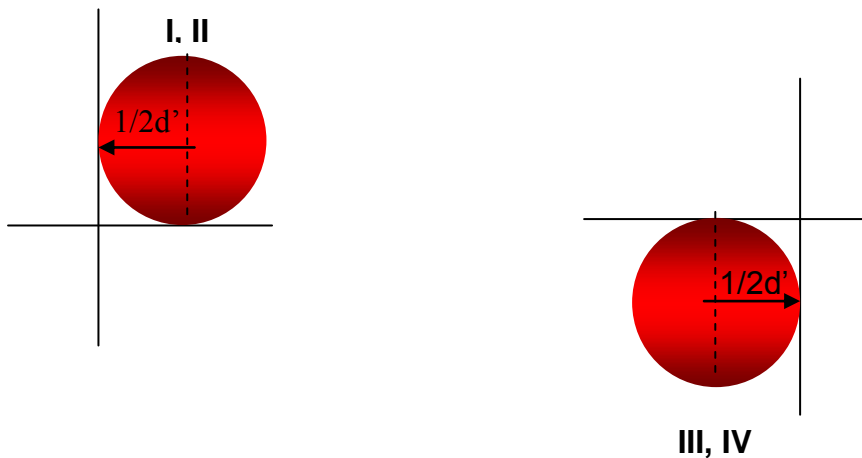
Untuk $h_4 = 28^\circ 36' 06''$ dengan $H = 56,398$ m

Maka $\Rightarrow r_4 = 1'32,5'' + (56,398 : 250) \times (1'30,7'' - 1'32,5'')$
 $= 1'32,5'' - 0,4'' = 1'32,1''$

6. Hitung setengah diameter matahari ($1/2d$) pada pengukuran I, II, III dan IV



Pengukuran bayangan matahari



Lihat pada tabel deklinasi, diketahui $1/2d$ dari tanggal 15-16 Pebruari:
 $1/2d = 0^{\circ}16'13,0''$.

Untuk pengukuran I dan II, maka $1/2d = -0^{\circ}16'13,0''$.

Untuk pengukuran III dan IV, maka $1/2d = +0^{\circ}16'13,0''$

Tinggi matahari sebenarnya:

a. $h_I = h_1 - 1/2d - r_1 = 25^{\circ}47'57'' - 0^{\circ}16'13,0'' - 0^{\circ}1'44,2'' = 25^{\circ}29'59,8''$.

b. $h_{II} = h_2 - 1/2d - r_2 = 27^{\circ}10'27'' - 0^{\circ}16'13,0'' - 0^{\circ}1'38,7'' = 26^{\circ}52'35,3''$.

c. $h_{III} = h_3 + 1/2d - r_3 = 27^{\circ}50'27'' + 0^{\circ}16'13,0'' - 0^{\circ}1'35,3'' = 28^{\circ}05'04,7''$.

d. $h_{IV} = h_4 + 1/2d - r_4 = 28^{\circ}36'06'' + 0^{\circ}16'13,0'' + 0^{\circ}1'35,3'' = 28^{\circ}50'46,9''$

$\sinh_I = \sin 25^{\circ}29'59,8'' = 0,430510$; $\cosh_I = \cos 25^{\circ}29'59,8'' = 0,902586$

$\sinh_{II} = \sin 26^{\circ}52'35,3'' = 0,452068$; $\cosh_{II} = \cos 26^{\circ}52'35,3'' = 0,891983$

$\sinh_{III} = \sin 28^{\circ}05'04,7'' = 0,470776$; $\cosh_{III} = \cos 28^{\circ}05'04,7'' = 0,902586$

$\sinh_{IV} = \sin 28^{\circ}50'46,9'' = 0,482463$; $\cosh_{IV} = \cos 28^{\circ}50'46,9'' = 0,875916$.

$-\sinh_I \cdot \sin \varphi = -0,430509 \cdot -0,131329 = 0,056538$; $\sin \delta = -0,223798$

$-\sinh_{II} \cdot \sin \varphi = -0,452067 \cdot -0,131329 = 0,059369$; $\sin \delta = -0,223798$

$-\sinh_{III} \cdot \sin \varphi = -0,470776 \cdot -0,131329 = 0,061826$; $\sin \delta = -0,223798$

$-\sinh_{IV} \cdot \sin \varphi = -0,482463 \cdot -0,131329 = 0,063361$; $\sin \delta = -0,223798$

$(I_I) = -\sinh_{IV} \cdot \sin \varphi + \sin \delta = 0,063361 - 0,223798 = -0,160437$

$(I_{II}) = -\sinh_{II} \cdot \sin \varphi + \sin \delta = 0,059369 - 0,223798 = -0,164429$

$(I_{III}) = -\sinh_{III} \cdot \sin \varphi + \sin \delta = 0,061826 - 0,223798 = -0,161971$

$(I_{IV}) = -\sinh_{IV} \cdot \sin \varphi + \sin \delta = 0,063361 - 0,223798 = -0,160437$

$(II_I) = \cosh_I \cdot \cos \varphi = 0,902586 \cdot 0,991339 = 0,894768$

$(II_{II}) = \cosh_{II} \cdot \cos \varphi = 0,891984 \cdot 0,991339 = 0,884258$

$(II_{III}) = \cosh_{III} \cdot \cos \varphi = 0,902586 \cdot 0,991339 = 0,874612$

$(II_{IV}) = \cosh_{IV} \cdot \cos \varphi = 0,875916 \cdot 0,991339 = 0,868329$

$\cos(-\alpha_I) = I_I / II_I = -0,167260 / 0,894768 = -0,186931$

$\cos(-\alpha_{II}) = I_{II} / II_{II} = -0,164429 / 0,884258 = -0,185951$

$\cos(-\alpha_{III}) = I_{III} / II_{III} = -0,161971 / 0,874612 = -0,185192$

$\cos(-\alpha_{IV}) = I_{IV} / II_{IV} = -0,160437 / 0,868329 = -0,184765$

$\alpha_I = 100^{\circ}46'25,4''$; $\alpha_{II} = 100^{\circ}42'59,7''$

$\alpha_{III} = 100^{\circ}40'20,3''$; $\alpha_{IV} = 100^{\circ}38'50,8''$

$1/2d'_I = 1/2d_I / \cosh_I = -0^{\circ}17'58,2''$; $1/2d'_{II} = 1/2d_{II} / \cosh_{II} = -0^{\circ}18'11''$;

$$1/2d'_{III} = 1/2d_{III}/\cosh_{III} = +0^{\circ}18'23,1''; \quad 1/2d'_{IV} = 1/2d_{IV}/\cosh_{IV} = +0^{\circ}18'31,1''$$

$$\alpha_{PM I} = \alpha_I + 1/2d'_I = 100^{\circ}46'25,4'' - 0^{\circ}17'58,2'' = 100^{\circ}28'27,2''$$

$$\alpha_{PM II} = \alpha_{II} + 1/2d'_{II} = 100^{\circ}42'59,7'' - 0^{\circ}18'11'' = 100^{\circ}24'48,7''$$

$$\alpha_{PM III} = \alpha_{III} + 1/2d'_{III} = 100^{\circ}40'20,3'' + 0^{\circ}18'23,1'' = 100^{\circ}58'43,4''$$

$$\alpha_{PM IV} = \alpha_{IV} + 1/2d'_{IV} = 100^{\circ}38'50,8'' + 0^{\circ}18'31,1'' = 100^{\circ}57'21,9''$$

$$\beta_1 = (P \rightarrow M) - (P \rightarrow Q) = 237^{\circ}35'09'' - 189^{\circ}39'18'' = 47^{\circ}55'51''$$

$$\beta_2 = (P \rightarrow M) - (P \rightarrow Q) = 57^{\circ}31'57'' - 9^{\circ}39'12'' = 47^{\circ}52'45''$$

$$\beta_3 = (P \rightarrow M) - (P \rightarrow Q) = 58^{\circ}08'45'' - 9^{\circ}39'12'' = 48^{\circ}29'33''$$

$$\beta_4 = (P \rightarrow M) - (P \rightarrow Q) = 238^{\circ}05'12'' - 189^{\circ}39'18'' = 48^{\circ}25'54''$$

Azimut dari titik P ke Q :

$$1. \quad \alpha_{P \rightarrow Q} = \alpha_{PM I} - \beta_1 = 100^{\circ}28'27,2'' - 47^{\circ}55'51'' = 52^{\circ}32'36,2''$$

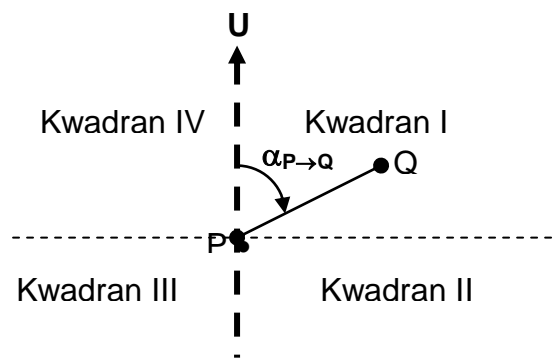
$$3. \quad \alpha_{P \rightarrow Q} = \alpha_{PM II} - \beta_2 = 100^{\circ}24'48,7'' - 47^{\circ}52'45'' = 52^{\circ}32'03,7''$$

$$4. \quad \alpha_{P \rightarrow Q} = \alpha_{PM III} - \beta_3 = 100^{\circ}58'43,4'' - 48^{\circ}29'33'' = 52^{\circ}29'10,4''$$

$$4. \quad \alpha_{P \rightarrow Q} = \alpha_{PM IV} - \beta_4 = 100^{\circ}57'21,9'' - 48^{\circ}25'54'' = 52^{\circ}31'27,9''$$

Azimut rata-rata dari titik P \rightarrow Q ($\alpha_{P \rightarrow Q}$) :

$$\alpha_{P \rightarrow Q} = (52^{\circ}32'36,2'' + 52^{\circ}32'03,7'' + 52^{\circ}29'10,4'' + 52^{\circ}31'27,9'')/4 = 52^{\circ}31'19,55''$$



Gambar bagan azimuth garis
P \rightarrow Q (azimuth awal pengukuran)

DEKLINASI MATAHARI PEBRUARI 1983

Tanggal	Waktu jam Ind. Bar 7.00 Ind. Tng 8.00 Ind. Tim. 9.00	Perubahan tiap jam	Waktu jam Ind. Bar 15.00 Ind. Tng 16.00 Ind. Tim. 17.00	Perubahan tiap jam	Setengah diameter matahari (1/2d)	Paralak mendatar
1.	-17°19'14,3"	+ 42,4"	-17°13'36,7"	+42,7"	16'15,5"	8,9"
2.	-17°02'15,5"	+43,2"	-16°56'31,8"	+43,5"	16'15,4"	8,9"
3.	-16°44'58,6"	+43,9"	-16°39'09,1"	+44,2"	16'15,2"	8,9"
4.	-16°27'24,2"	+44,7"	-16°21'28,9"	+44,9"	16'15,1"	8,9"
5.	-16°09'32,5"	+45,4"	-16°03'31,6"	+45,7"	16'14,9"	8,9"
6.	-15°51'24,1"	+46,0"	-15°45'17,6"	+46,1"	16'14,8"	8,9"
7.	-15°32'59,2"	+46,7"	-15°26'47,3"	+46,9"	16'14,6"	8,9"
8.	.15°14'18,4"	+47,3"	-15°08'01,3"	+47,6"	16'14,2"	8,9"
9.	.14°55'22,1"	+48,0"	-14°48'59,9"	+48,2"	16'14,1"	8,9"
10.	.14°36'10,6"	+48,6"	-14°29'43,4"	+48,8"	16'13,9"	8,9"
11.	.14°16'44,4"	+49,2"	-14°10'12,4"	+49,4"	16'13,7"	8,9"
12.	.13°57'05,9"	+49,8"	-13°50'27,2"	+50,0"	16'13,5"	8,9"
13.	.13°37'09,5"	+50,3"	-13°30'28,3"	+50,9"	16'13,3"	8,9"
14.	-13°17'01,6"	+50,9"	-13°10'16,2"	+51,0"	16'13,2"	8,9"
15.	-12°56'40,9"	+51,4"	-12°49'51,2"	+51,6"	16'13,0"	8,9"
16.	-12°36'07,5"	+51,9"	-12°29'13,7"	+52,1"	16'12,8"	8,9"
17.	-12°15'22,0"	+52,4"	-12°08'24,2"	+52,5"	16'12,8"	8,9"
18.	-11°54'24,8"	+52,9"	-11°47'23,2"	+53,0"	16'12,6"	8,9"
19.	-11°33'16,3"	+53,3"	-11°26'11,0"	+53,5"	16'12,4"	8,9"
20.	-11°11'56,9"	+53,7"	-11°04'48,1"	+53,9"	16'12,2"	8,9"
21.	-10°50'27,1"	+54,2"	-10°43'14,9"	+54,3"	16'12,0"	8,9"
22.	-10°28'47,2"	+54,6"	-10°21'31,7"	+54,7"	16'11,8"	8,9"
23.	-10°06'57,8"	+54,9"	-09°59'39,3"	+55,1"	16'11,5"	8,9"
24.	-09°44'59,3"	+55,3"	-09°37'37,8"	+55,4"	16'11,3"	8,9"
25.	-09°22'52,0"	+55,7"	-09°15'27,6"	+55,8"	16'11,1"	8,9"
26.	-09°00'36,3"	+56,0"	-08°53'09,2"	+56,1"	16'10,9"	8,9"
27.	-08°38'12,6"	+56,3"	-08°30'43,0"	+56,4"	16'10,6"	8,9"
28.	-08°15'41,4"	+56,6"	-08°08'09,3"	+56,7"	16'110,4"	8,9"
29.						

**Koreksi refraksi dan parallaks mendatar seksama
untuk tinggi matahari
menurut L.P.I van der Tas**

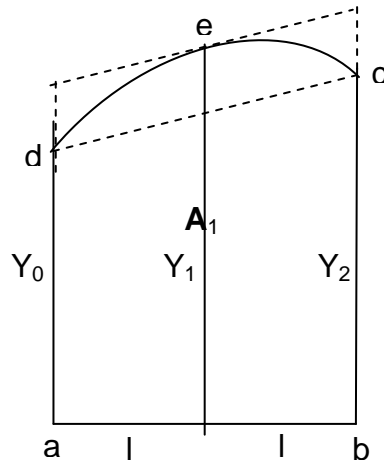
Tinggi matahari yang diukur	Harga-harga yang harus dikurangkan untuk tempat-tempat yang tingginya:					
	0 m	250 m	500 m	750 m	1000 m	
10°00'	4'52,8"	4'46,2"	4'40,2"	4'33,0"	4'27,0"	
20'	4'43,8"	4'37,2"	4'31,2"	4'24,0"	4'18,0"	
40'	4'34,8"	4'28,8"	4'22,2"	4'16,2"	4'10,2"	
11°00'	4'27,0"	4'19,8"	4'13,8"	4'07,8"	4'01,8"	
20'	4'19,2"	4'13,2"	4'07,2"	4'01,2"	3'55,2"	
40'	4'12,0"	4'04,8"	4'00,0"	3'54,0"	3'48,0"	
12°00'	4'04,8"	3'58,8"	3'52,8"	3'46,8"	3'42,0"	
30'	3'55,2"	3'49,2"	3'43,8"	3'37,8"	3'33,0"	
13°00'	3'45,0"	3'40,2"	3'34,2"	3'28,8"	3'24,0"	
30'	3'37,2"	3'31,2"	3'25,8"	3'21,0"	3'16,2"	
14°00'	3'28,8"	3'22,8"	3'18,0"	3'13,8"	3'09,0"	
30'	3'21,0"	3'16,2"	3'10,8"	3'07,2"	3'01,8"	
15°00'	3'13,8"	3'09,0"	3'04,2"	3'00,0"	2'55,9"	
30'	3'07,2"	3'03,0"	2'58,2"	2'54,0"	2'49,8"	
16°00'	3'01,2"	2'55,8"	2'52,2"	2'48,0"	2'43,8"	
30'	2'55,2"	2'51,0"	2'46,8"	2'43,2"	2'39,0"	
17°00'	2'49,8"	2'45,0"	2'40,8"	2'37,8"	2'34,2"	
18°00'	2'39,0"	2'34,8"	2'31,2"	2'28,2"	2'24,0"	
19°00'	2'30,0"	2'25,8"	2'22,8"	2'19,2"	2'16,2"	
20°00'	2'21,0"	2'18,0"	2'15,0"	2'10,8"	2'07,8"	
21°00'	2'13,8"	2'10,8"	2'07,2"	2'04,2"	2'01,2"	
22°00'	2'07,2"	2'03,2"	2'01,2"	1'58,2"	1'55,2"	
23°00'	2'01,2"	1'58,2"	1'55,2"	1'52,2"	1'49,8"	
24°00'	1'55,2"	1'52,2"	1'49,2"	1'46,2"	1'43,8"	
25°00'	1'49,2"	1'46,2"	1'43,8"	1'40,8"	1'39,0"	
26°00'	1'43,8"	1'40,8"	1'39,0"	1'36,0"	1'34,2"	
27°00'	1'40,2"	1'37,2"	1'34,8"	1'31,8"	1'30,0"	
28°00'	1'34,8"	1'33,0"	1'30,0"	1'28,2"	1'25,8"	
30°00'	1'27,0"	1'25,2"	1'22,8"	1'21,0"	1'19,2"	
32°00'	1'19,8"	1'18,0"	1'16,0"	1'13,8"	1'12,0"	
34°00'	1'13,8"	1'12,0"	1'10,2"	1'07,8"	1'07,2"	
36°00'	1'07,8"	1'07,2"	1'04,8"	1'03,0"	1'01,2"	
38°00'	1'03,0"	1'01,8"	1'00,0"	1'00,0"	0'57,0"	
40°00'	1'13,8"	0'57,0"	0'55,2"	0'58,2"	0'52,0"	

IX. PERHITUNGAN LUAS DAN VOLUME

1. Perhitungan Luas Cara Simpson

1. 1. Cara 1/3 Simpson (2 bagian dianggap satu set).

Apabila batasnya merupakan lengkung yang merata perhitungannya dianggap sebagai parabola.



Gambar cara 1/3 Simpson

$$\begin{aligned}
 \text{Luas } A_1 &= (\text{Trapezium } abcd + \text{Parabola } ced) \\
 &= 2l \times (y_0 + y_2)/2 + 2/3 (y_1 - (y_0 + y_2)/2) \times 2l \\
 &= l \times (y_0 + y_2) + 2/3 \times (2y_1 - y_0 - y_2) \times l \\
 &= (3l \times (y_0 + y_2) + 2l \times (2y_1 - y_0 - y_2))/3 \\
 &= (l \times (3y_0 + 3y_2) + l \times (4y_1 - 2y_0 - 2y_2))/3 \\
 &= l/3 (3y_0 + 3y_2 + 4y_1 - 2y_0 - 2y_2) \\
 &= l/3 (y_0 + 4y_1 + y_2)
 \end{aligned}$$

Contoh.

Diketahui : $y_0 = 4 \text{ m}$; $y_2 = 6 \text{ m}$; $l = 5 \text{ m}$

Ditanyakan : Luas A_1

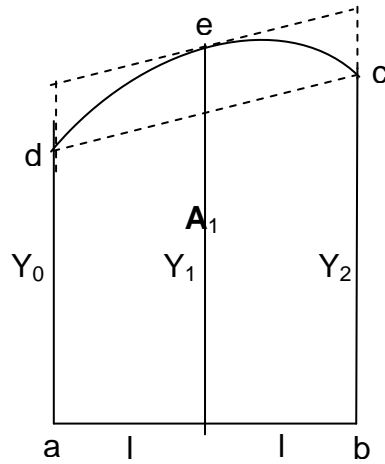
Penyelesaian:

$$Y_1 = 1/2 \times (y_0 + y_2) = 1/2 \times (4 + 6) = 5 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Luas } A_1 &= (\text{Trapezium } abcd + \text{Parabola } ced) \\
 &= 2l \times (y_0 + y_2)/2 + 2/3 \times \{y_1 - (y_0 + y_2)/2\} \times 2l \\
 &= l \times (y_0 + y_2) + 2/3 \times (2y_1 - y_0 - y_2) \times l \\
 &= \{3 \times l \times (y_0 + y_2)\}/3 + 2/3l \times (2y_1 - y_0 - y_2) \\
 &= 1/3 \times l \times ((3y_0 + 3y_2) + l \times (4y_1 - 2y_0 - 2y_2))/3 \\
 &= l/3 \times l \times (3y_0 + 3y_2 + 4y_1 - 2y_0 - 2y_2)
 \end{aligned}$$

$$= \frac{1}{3} \times l \times (y_0 + 4y_1 + y_2)$$

$$= \frac{1}{3} \times 5 \times (4 + 4 \times 5 + 6) = 50 \text{ m}^2$$



Gambar cara 1/3 Simpson

1. 2. Cara 3/8 simpson (3 bagian dianggap satu set)

$$A = (\text{Trapesium abcd}) + (\text{Parabola dfc})$$

$$= 3 \times l \times (y_0 + y_3)/2 + 3/4 \times \{(y_1 + y_2)/2 - (y_0 + y_3)/2\} \times 3l$$

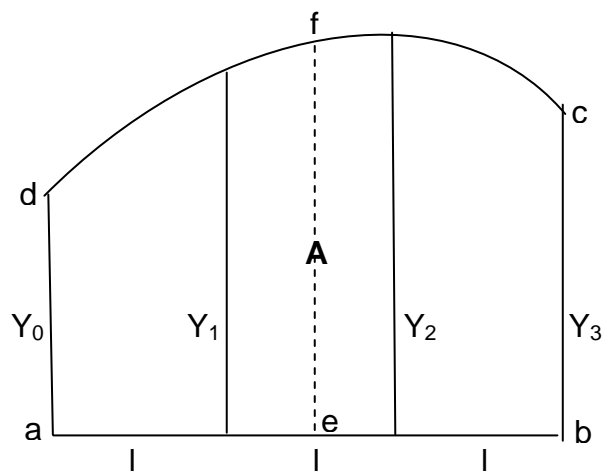
$$= 3/2 \times l \times (y_0 + y_3) + 3/8 \times l \times (3y_1 + 3y_2 - 3y_0 - 3y_3)$$

$$= 3/8 \times l \times 4(y_0 + y_3) + 3/8 \times l \times (3y_1 + 3y_2) - 3y_0 - 3y_3$$

$$= 3/8 \times l \times (4y_0 + 4y_3) + 3/8 \times l \times (3y_1 + 3y_2 - 3y_0 - 3y_3)$$

$$= 3/8 \times l \times (4y_0 + 4y_3 + 3y_1 + 3y_2 - 3y_0 - 3y_3)$$

$$= 3/8 \times l \times (y_0 + y_3 + 3y_1 + 3y_2)$$



Gambar cara 3/8 Simson

Contoh.

Diketahui: $l = 3 \text{ m}$; $y_0 = 4 \text{ m}$; $y_1 = 5 \text{ m}$; $y_2 = 6 \text{ m}$; $y_3 = 4,5 \text{ m}$

Ditanyakan luas A

Penyelesaian:

$$\begin{aligned}
 A &= \frac{3}{8} \times l \times (y_0 + y_3 + 3y_1 + 3y_2) \\
 &= \frac{3}{8} \times 3 \times (4 + 4,5 + 3 \times 5 + 3 \times 6) \\
 &= \frac{9}{8} \times (8,5 + 15 + 18) = \frac{9}{8} \times 41,5 = 46,6875 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

2. Perhitungan luas dengan koordinat

Diketahui harga koordinat titik: $\Rightarrow X_A = 3000,000 \text{ m}$; $Y_A = 3000,000 \text{ m}$

$\Rightarrow X_B = 3051,070 \text{ m}$; $Y_B = 3029,489 \text{ m}$

$\Rightarrow X_C = 3147,385 \text{ m}$; $Y_C = 3003,662 \text{ m}$

$\Rightarrow X_D = 3126,661 \text{ m}$; $Y_D = 2886,384 \text{ m}$

$\Rightarrow X_E = 3058,116 \text{ m}$; $Y_E = 2846,850 \text{ m}$

Dari data tersebut di atas hitung luasnya:

Penyelesaian:

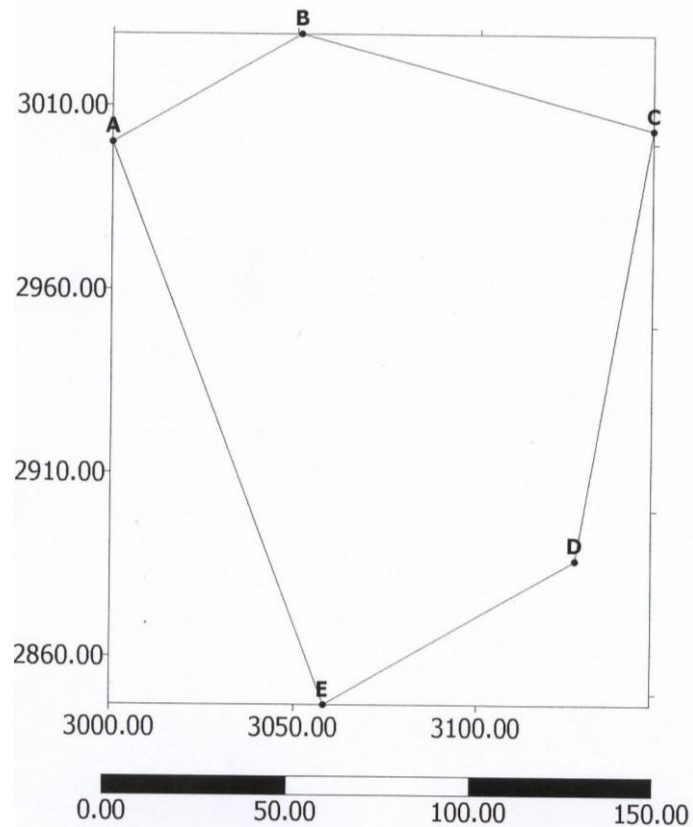
Penyelesaian dan perhitungannya lihat tabel di bawah.

Tabel perhitungan luas

Titik	X	Y	$X Y_{n+1}$	$Y_{n+1} X$
A	3000,000	3000,000	9088467,000	9153210,000
B	3051,070	3029,489	9164383,018	9534968,236
C	3147,385	3003,662	9084561,706	9391432,833
D	3126,661	2886,384	8901134,868	8826897,093
E	3058,116	2846,850	9174348,000	8540550,000
A	3000,000	3000,000		
			45412894,590	45447058,160
				<u>45412894,59</u>
			2L=	<u>0</u>
			L=	34163,572
				17081,786

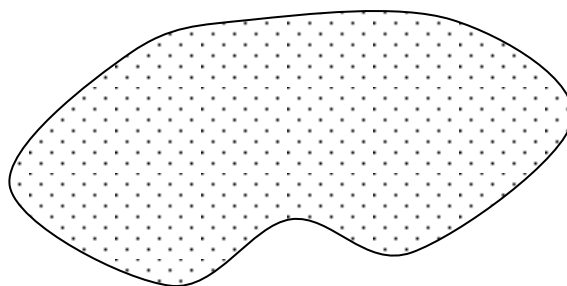
Luas ABCDE = 17081,786 m²

PETA SITUASI TANAH



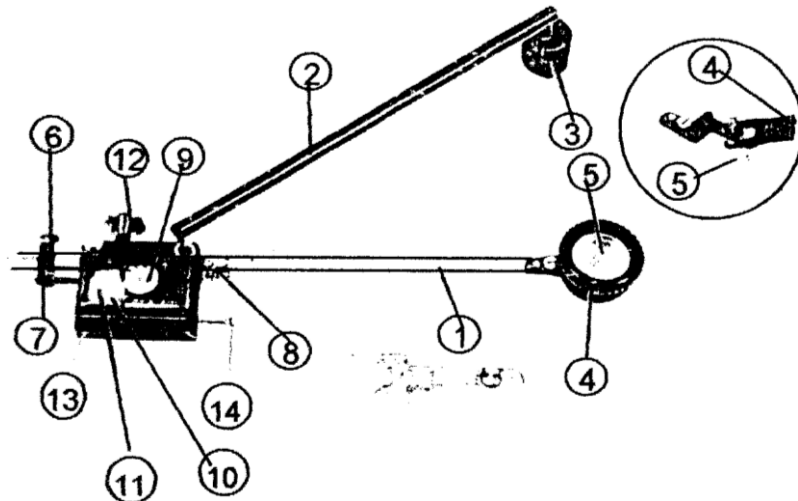
3. PERHITUNGAN LUAS DENGAN PLANIMETER

Perhitungan luas dengan planimeter ini, dilakukan pada peta yang sudah ada dengan bentuk batas wilayah yang tidak teratur, seperti pada gambar di bawah.



Gambar batas tanah tidak teratur

Alat Planimeter Konvensional



Gambar Alat Planimeter Konvensional

Keterangan Gambar :

- | | |
|------------------------------------|------------------------------|
| 1. Tracer Arm | 8. Tracer Arm Vernier |
| 2. Pole Arm | 9. Revolution Recording Dial |
| 3. Pole Weight | 10. Measuring Wheel |
| 4. Hand Grip | 11. Measuring Wheel Vernier |
| 5. Tracing Magnifier (Tracing Pin) | 12. Idler Wheel |
| 6. Clamp Screw | 13. Carriage |
| 7. Fine Movement Screw | 14. Zero Setting Slide Bar |

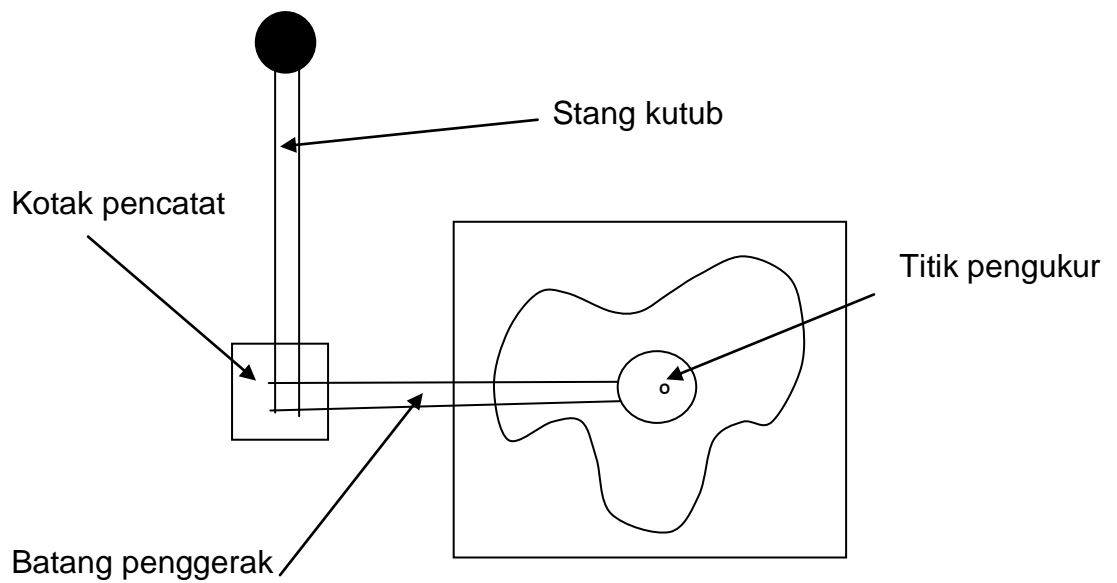
Pada buku petunjuk planimeter, tercantum daftar skala, harga satu satuan nonius, panjang penyetulan stang kutub penggerak, dan harga satuan nonius di lapangan. Lihat tabel berikut :

Skala	Stang (mm)	Satuan nonius	
		Lapangan (m ²)	Peta (mm ²)
1:1000	149,2	10	10
1:200	149,2	0,4	10
1:1500	130,6	20	8,8
1:500	116	2	8
1:250	116	0,5	8
1:400	86,8	1	6,25
1:000	65,8	5	5
1 : 500	48,6	1	1

Tabel . Planimeter konvensional

Cara menggunakan alat planimeter sebagai berikut :

1. Tentukan dahulu skala peta yang akan dihitung
2. Tentukan panjang stang planimeter
3. Tentukan harga satu satuan nonius
4. Siapkan peta yang akan dihitung luasnya, serta pasang pada meja yang rata
5. Pasang alat planimeter di atas peta yang akan dihitung luasnya, dengan kedudukan jarum ada di tengah-tengah peta serta stang kutub dan stang penggerak kedudukannya kurang lebih 90° (lihat gambar bagan)
6. Setelah itu jarum yang ada pada roda dipasang pada batas areal dan catat harga satu satuan nonius yang ada pada tromol roda angka satuan nonius
7. Kemudian jarum diputar mengelilingi batas areal ke kanan atau ke kiri sampai kembali ke titik asal, titik awal menjadi titik akhir.
8. Selisih pembacaan akhir dikurangi pembacaan awal dikalikan harga satu satuan nonius adalah luas peta.



Gambar bagan planimeter

Contoh perhitungan :

Diketahui :

Skala peta 1 : 1000

Harga satu satuan nonius 10 mm^2 di peta = 10 m^2 di lapangan

Pada permulaan pengukuran angka pada tromol tercatat 0 satu satuan nonius, dan titik pengukur tepat pada titik A, lihat gambar di bawah.

Setelah diputar dan kembali ke titik awal tercatat 1156 satu satuan nonius.

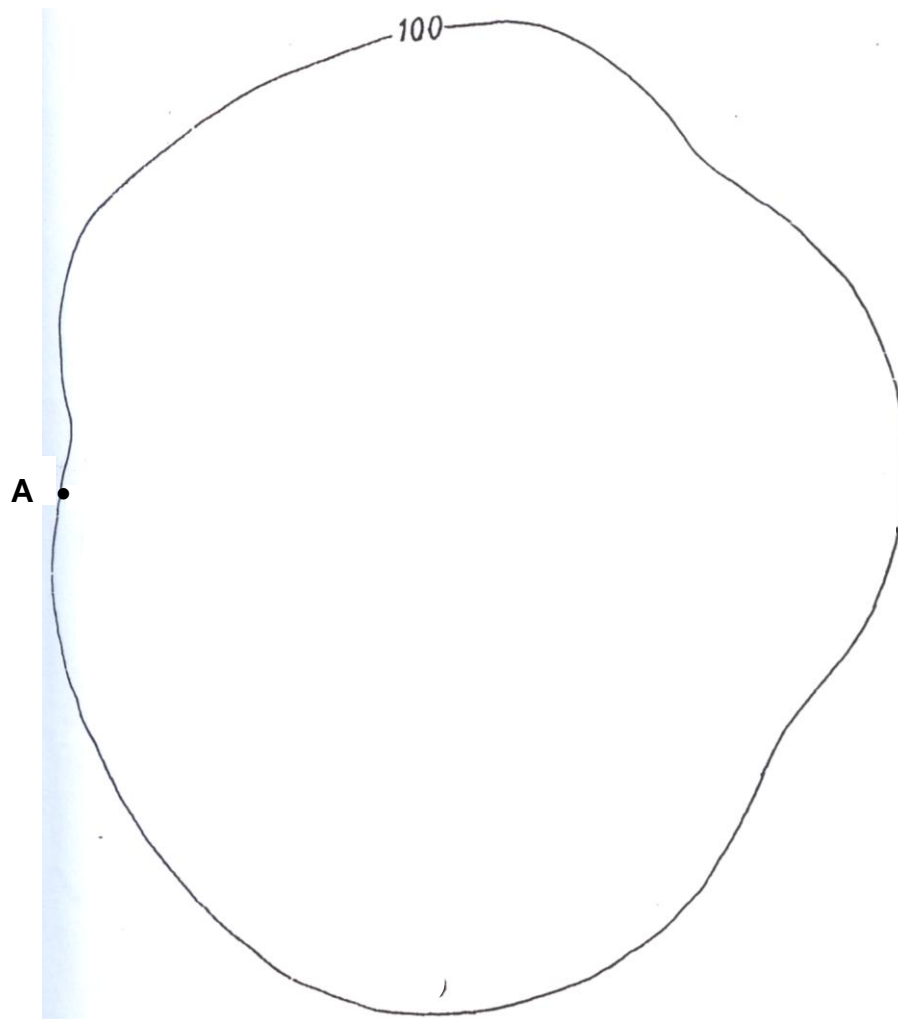
Selisih pembacaan akhir – pembacaan awal = $1156 - 0 = 1156$ satu satuan nonius, maka luas peta adalah :

$$L = 1156 \times 10 \text{ mm}^2$$

$$= 11560 \text{ mm}^2 \text{ di peta}$$

$$L = 11560 \times 10 \text{ m}^2$$

$$= 11560 \text{ m}^2 \text{ di lapangan}$$



Skala 1:1000

Gambar peta situasi tanah dengan batas tidak teratur

Dalam pelaksanaan pekerjaan ini tentunya ada kesalahan-kesalahan.

Toleransi kesalahan maksimum yang diperbolehkan pada pengukuran luas dengan menggunakan angka-angka yang diukur pada lapangan adalah :

Untuk lapangan yang mudah : $f_1 = 0,2 \sqrt{L} + 0,0003 L$

Untuk lapangan yang sedang : $f_2 = 0,25 \sqrt{L} + 0,00045 L$

Untuk lapangan yang sukar : $f_3 = 0,3 \sqrt{L} + 0,0006 L$

Kesalahan maksimum dengan cara grafis berlaku rumus :

$$F_4 = 0,0004 S \sqrt{L} + 0,0003 L$$

S = Skala Peta

Tabel toleransi kesalahan

L dalam ha	f1m	f 2 m	f 3 m	F4	f 4	F4
				1:500	1:1000	1 :2500
0,01	2	2	3	2	4	10
0,05	4	6	7	4	9	22
0,20	10	12	14	10	18	45
1,00	23	30	36	23	43	103
10,00	93	124	155	93	156	346

Sumber :

Soetomo Wongsotjiro, Ilmu Ukur Tanah, Jakarta : Swadaya, thn 1974.

Contoh :

$$f_1 = 0,2 (L)^{1/2} + (0,0003 L)$$

$$\text{dalam hektar} \Rightarrow 0,01 \text{ hektar} = 100\text{m}^2$$

$$\text{Kesalahan yang diperbolehkan } (f_1 = 0,2 (L)^{1/2} + (0,0003 L)$$

$$= 0,2 (100)^{1/2} + (0,0003 \cdot 100) = 2\text{m}$$

Ternyata pada tabel untuk menghitung luas peta, skala yang tercantum hanya dari 1: 200 \rightarrow 1 : 1500.

Kalau sekiranya peta yang akan dihitung luasnya lebih kecil dari skala 1 : 1500, maka perlu dicari harga satuan noniusnya untuk peta yang akan dihitung luasnya

Contoh :

Umpama skala peta 1:10.000 akan dihitung luasnya dengan mempergunakan skala 1 : 1000.

Penyelesaian perhitungan :

$$V = (s^2 / S^2) \times 10m^2$$

$$= (10000^2 / 1000^2) \times 10 m^2 = 1000 m^2$$

Keterangan:

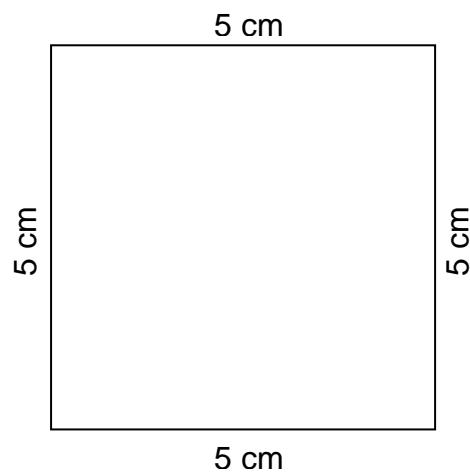
V = Harga satu satuan nonius skala peta 1:10000

s = Skala peta 1:10000

S = Skala peta 1:1000

Untuk peta yang tercantum di bawah ini ukurannya di atas peta

5 cm x 5 cm = 25 cm² = luas di peta.



Peta 1 : 10000

Gambar batas situasi suatu daerah dalam peta

1 cm² di peta untuk skala 1:1000 = 100 m² di lapangan

25 cm² di peta untuk skala 1:1000 = 25 x 100 m² = 2500 m² lapangan

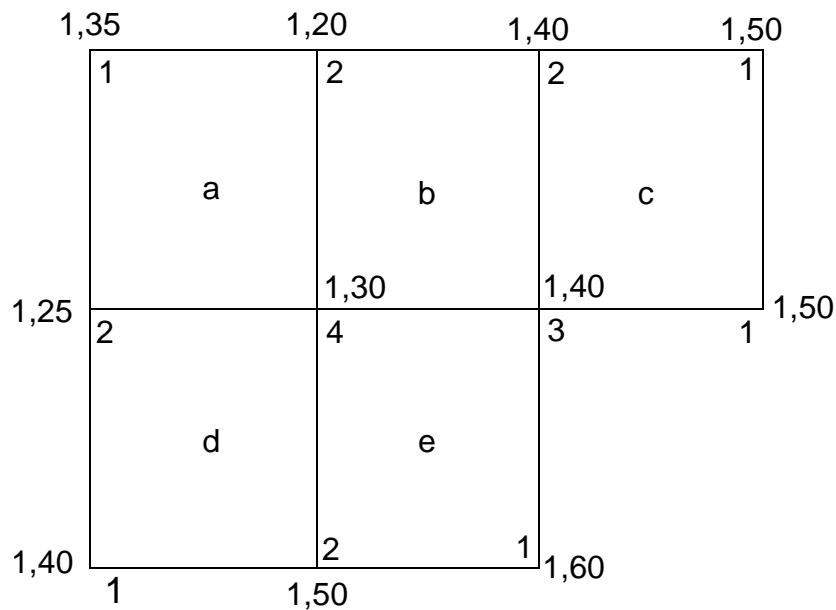
1 cm² di peta untuk skala 1:10000 = 10000 m² di lapangan

25 cm² di peta untuk skala 1:10000 = 25 x 10000 m² = 250000 m² lapangan

Kalau dihitung dengan satu satuan nonius = 250000/1000 x satu satuan nonius = 250 satu satuan nonius.

4. PERHITUNGAN VOLUME

4. 1. Perhitungan volume berdasarkan kotak-kotak empat persegi panjang



Luas kotak = 10 m²

Angka 1,35; 1,20; 1,40 m.....adalah beda tinggi terhadap titik tertentu.

$$T_a = (1,35 + 1,20 + 1,25 + 1,30) : 4 = 1,275 \text{ m}$$

$$T_b = (1,20 + 1,40 + 1,50 + 1,30) : 4 = 1,350 \text{ m}$$

$$T_c = (1,40 + 1,50 + 1,40 + 1,50) : 4 = 1,450 \text{ m}$$

$$T_d = (1,25 + 1,30 + 1,50 + 1,40) : 4 = 1,3625 \text{ m}$$

$$T_e = (1,30 + 1,50 + 1,60 + 1,50) : 4 = \underline{1,475 \text{ m}}$$

$$\Sigma T = 6,9125 \text{ m}$$

$$V = 10 \times 6,9125 = 69,125 \text{ m}^3$$

$$\Sigma h_1 = 1,35 + 1,1,50 + 1,40 + 1,60 + 1,40 = 7,25$$

$$\Sigma h_2 = 1,2 + 1,40 + 1,50 + 1,25 = 5,35$$

$$\Sigma h_3 = 1,50 = 1,50$$

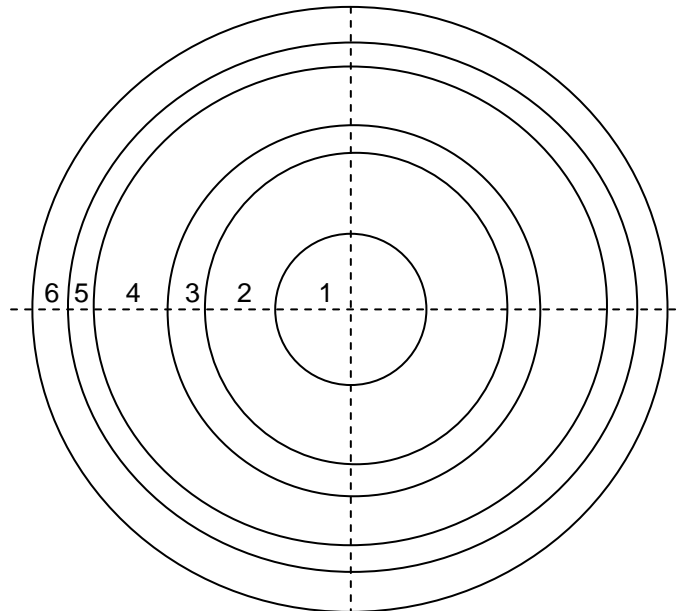
$$\Sigma h_4 = 1,30 = 1,30$$

$$V = 10/4(7,25 + 2.5,35 + 3.1,50 + 4.1,30) = 69,125 \text{ m}^3$$

$$\text{Rumus umum: } \Sigma V = 10/4(\Sigma^j_1 h_1 + 2\Sigma^k_1 h_2 + 3\Sigma^l_1 h_3 + 4\Sigma^m_1 h_4)$$

4.2. PERHITUNGAN VOLUME BERDASARKAN GARIS TINGGI

MORFOLOGI SITUASI TANAH



Gambar kontur berbentuk lingkaran

Keterangan: Diameter 1 = 21 m

Diameter 2 = 35 m

Diameter 3 = 42 m

Diameter 4 = 56 m

Diameter 5 = 63 m

Diameter 6 = 70 m

Interval kontur a 10 m

Perhitungan volumenya dapat dilakukan dengan metoda:

a. Volume rata-rata luas antara dua kontur

$$V_1 = \frac{1}{2}(L_1+L_2) \times h = \frac{1}{2} (346,5+962,5) \times 10 \text{ m} = 6545,0 \text{ m}^3$$

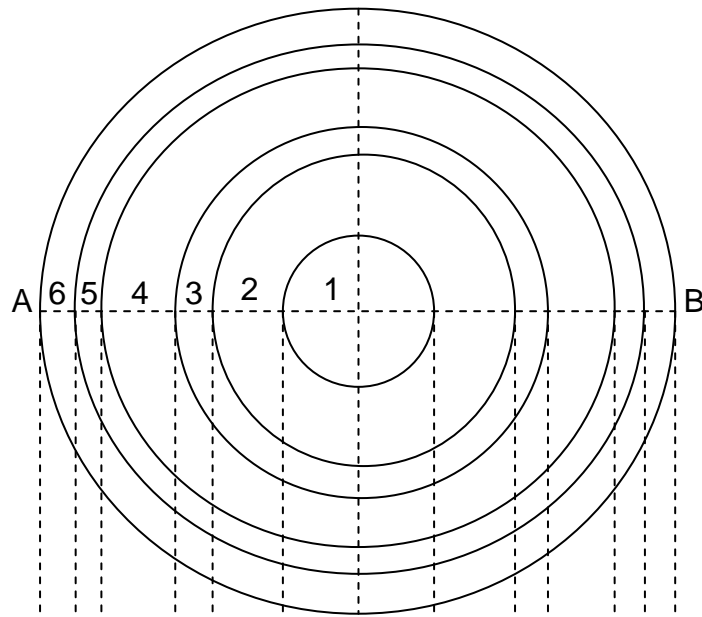
$$V_2 = \frac{1}{2}(L_2+L_3) \times h = \frac{1}{2} (962,5+1386) \times 10 \text{ m} = 11742,5 \text{ m}^3$$

$$V_3 = \frac{1}{2}(L_3+L_4) \times h = \frac{1}{2} (1386+2464) \times 10 \text{ m} = 19250,0 \text{ m}^3$$

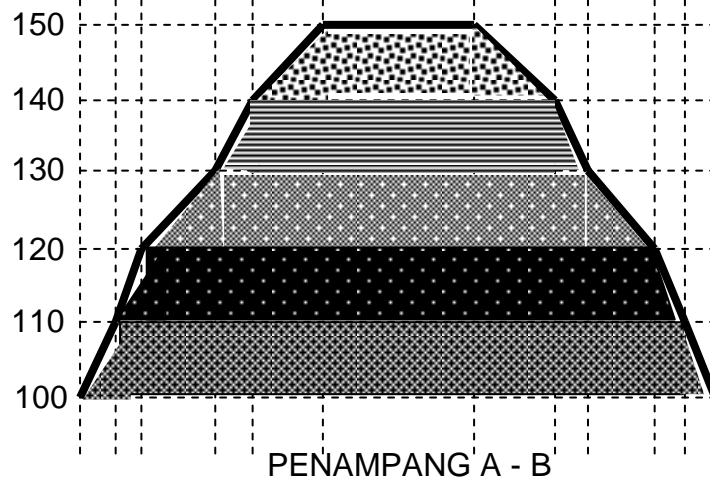
$$V_4 = \frac{1}{2}(L_4+L_5) \times h = \frac{1}{2} (2464+3118,5) \times 10 \text{ m} = 27912,5 \text{ m}^3$$

$$V_5 = \frac{1}{2}(L_5+L_6) \times h = \frac{1}{2} (3118,5+3850) \times 10 \text{ m} = \underline{34842,5 \text{ m}^3}$$

$$\Sigma V = 100292,5 \text{ m}^3$$



Gambar kontur berbentuk lingkaran



b. Volume perbedaan antara luas dua kontur terhadap ketinggian dasar

$$V_1 = L_1 \times 5h = 17325,0 \text{ m}^3$$

$$V_2 = (L_2 - L_1) \times (4h + 1/2h) = 27720,0 \text{ m}^3$$

$$V_3 = (L_3 - L_2) \times (3h + 1/2h) = 14822,5 \text{ m}^3$$

$$V_4 = (L_4 - L_3) \times (2h + 1/2h) = 26950,0 \text{ m}^3$$

$$V_5 = (L_5 - L_4) \times (1h + 1/2h) = 9817,5 \text{ m}^3$$

$$V_6 = (L_6 - L_5) \times 1/2h = \underline{3657,5 \text{ m}^3}$$

$$\Sigma V = 100292,5 \text{ m}^3$$

$$L_1 = \frac{1}{4}\pi D_1^2 = \frac{1}{4} \times \pi \times 21^2 = 346,5 \text{ m}^2$$

$$L_2 = \frac{1}{4}\pi D_2^2 = \frac{1}{4} \times \pi \times 35^2 = 962,5 \text{ m}^2$$

$$L_3 = \frac{1}{4}\pi D_3^2 = \frac{1}{4} \times \pi \times 42^2 = 1386,0 \text{ m}^2$$

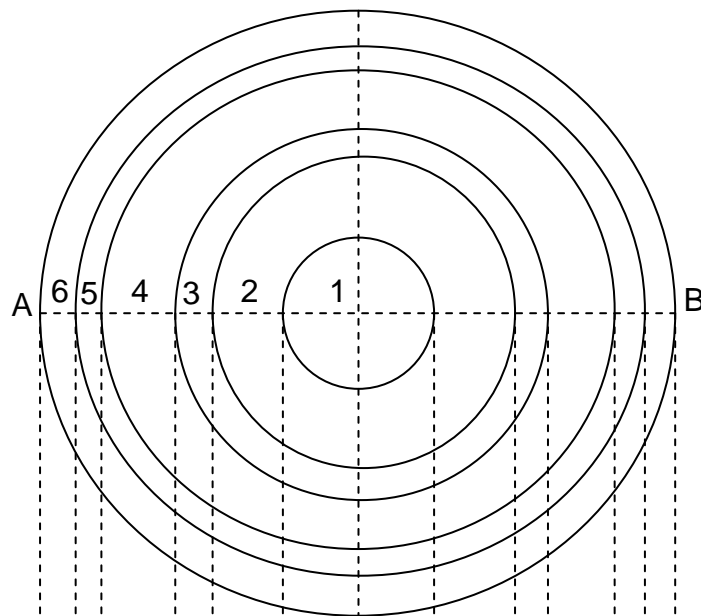
$$L_4 = \frac{1}{4}\pi D_4^2 = \frac{1}{4} \times \pi \times 56^2 = 2464,0 \text{ m}^2$$

$$L_5 = \frac{1}{4} \pi D_5^2 = \frac{1}{4} \times \pi \times 63^2 = 3118,5 \text{ m}^2$$

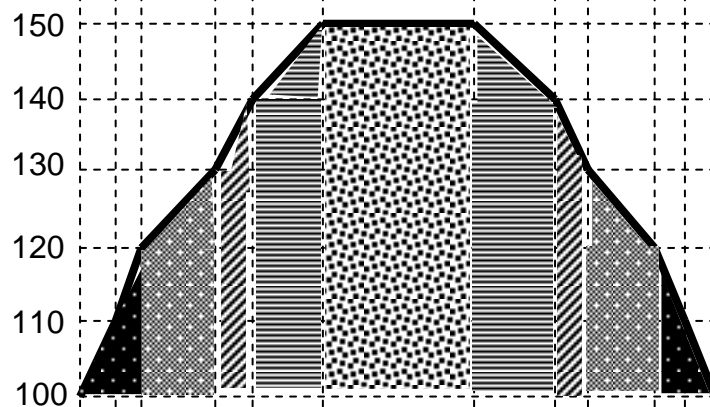
$$L_6 = \frac{1}{4} \pi D_6^2 = \frac{1}{4} \times \pi \times 70^2 = 3850,0 \text{ m}^2$$

Untuk menghitung volume jangsan sekali-kali luas paling atas ditambah luas paling bawah dibagi dua dikalikan tingginya; karena bisa salah kalau sekiranya lereng tanah tidak kontinyu.

$$\begin{aligned} \text{Contoh: } \frac{1}{2} (L_1+L_6) \times 5h &= \frac{1}{2} \times (346,5+3850) \times 50 \\ &= 104912,5 \text{ m}^3 \end{aligned}$$



Gambar kontur berbentuk lingkaran



PENAMPANG A - B

X. TRANSFORMASI KOORDINAT

1. Transformasi Toposentrik

Proyeksi Polyeder

Transformasi dari koordinat kartesian ke koordinat geografi

Lintang Utara

$$\lambda'' = (A') X + (C') XY$$

$$\beta'' = (B') Y - (D') X^2$$

Lintang Selatan

$$\lambda'' = (A') X - (C') XY$$

$$\beta'' = - (B') Y - (D') X^2$$

Diketahui : $X_P = -2316,7954 \text{ m}$

$$Y_P = -3755,2012 \text{ m}$$

Lembar Peta 39/XXXIX

Lintang Selatan

$$\lambda'' = (A') X - (C') XY$$

$$\beta'' = - (B') Y - (D') X^2$$

$$l_0 = 0^{\circ}50' ; q_0 = 6^{\circ}50' \text{ LS}$$

Untuk $q_0 = 6^{\circ}50' \text{ LS}$, pada tabel harga :

$$(A') = 0,0325730$$

$$(B') = 0,0325558$$

$$(C') = 0,0006120 \cdot 10^{-6}$$

$$(D') = 0,0003059 \cdot 10^{-6}$$

$$\lambda'' = (A') X - (C') XY$$

$$= 0,0325730 \cdot -2316,7954 = -75,4649$$

$$-0,0006120 \cdot 10^{-6} \cdot -2316,7954 \cdot -3755,2012 = -0,0053$$

$$\lambda'' = -75,4702''$$

$$\lambda = -1'15,4''$$

$$l = l_0 + \lambda = 0^{\circ}50' - 1'15,4702'' = 0^{\circ}48'44,53''$$

$$\beta'' = - (B') Y - (D') X^2$$

$$= -0,0325558 \cdot -3755,2012 = 122,2536$$

$$= -0,0003059 \cdot 10^{-6} \cdot (-2316,7954)^2 = -0,0016$$

$$\beta'' = 122,252''$$

$$\beta = 2'2,252''$$

$$q = q_0 + \beta = 6^{\circ}50' + 2'2,252'' \\ = 6^{\circ}52'2,252'' \text{ LS}$$

2. Transformasi dari Koordinat Geografi ke Koordinat Kartesian

Lintang utara:

$$X = (A)\lambda - (C) \lambda\beta$$

$$Y = (B)\beta + (D)\lambda^2 + (1) (D)\beta^2 + (2)\beta^3$$

Lintang selatan:

$$X = (A)\lambda - (C)\lambda\beta$$

$$Y = - (B)\beta - (D)\lambda^2 - (1) (D)\beta^2 - (2)\beta^3$$

Lembar peta 39/XXXIX

$$l_0 = 0^{\circ}50' ; q_0 = 6^{\circ}50'$$

$$l = 0^{\circ}48'44,53'' ; q = 6^{\circ}52'2,252''$$

$$(A) = 30,700314 ; (B) = 30,716486$$

$$(C) = 0,17719 \cdot 10^{-4} ; (D) = 0,08855 \cdot 10^{-4}$$

$$(1) = 0,019907 ; (2) = 0,000122 \cdot 10^{-6}$$

$$X = (A) \lambda - (C) \lambda\beta.$$

$$Y = -(B) \beta - (D) \lambda^2 - (1) (D) \beta^2 - (2) \beta^3$$

$$\lambda'' = l - l_0 = 0^{\circ}48'44,53'' - 0^{\circ}50' = -0^{\circ}1'15,47'' = -75,47''$$

$$\beta'' = q - q_0 = 6^{\circ}52'2,252'' - 6^{\circ}50' = 2'2,252'' = 122,252''$$

$$X = 30,7003 \cdot 4 \cdot (-75,47)$$

$$-0,17719 \cdot 10^{-4} \cdot (-75,47) \cdot 122,252 = -2316,789 \text{ m}$$

$$Y = -30,716486 \cdot 122,252 - 0,08855 \cdot 10^{-4} \cdot (75,47)^2$$

$$-0,019907 \cdot 0,08855 \cdot 10^{-4} \cdot 122,252^2$$

$$-0,000122 \cdot 10^{-6} \cdot 122,252^3 = -3755,2051 \text{ m}$$

Tabel perhitungan koordinat polyeder dari koordinat geografi

Q _o	(A)	(B)	(C) x 10 ⁴	(D) x 10 ⁴
0° 10' 30' 50'	30,918364 30,917324 30,915246	30,712135 30,712156 30,712197	0,00433 0,01299 0,02166	0,00218 0,00654 0,01090
1° 10' 30' 50'	30,912127 30,907969 30,902773	30,712260 30,712343 30,712447	0,03032 0,03898 0,04764	0,01526 0,01961 0,02397
2° 10' 30' 50'	30,896537 30,889262 30,880949	30,712572 30,712717 30,712883	0,05269 0,06495 0,07360	0,02832 0,03266 0,03700
3° 10' 30' 50'	30,871593 30,861209 30,849781	30,713071 30,713279 30,713506	0,08225 0,09090 0,09955	0,04134 0,04567 0,05000
4° 10' 30' 50'	30,837318 30,823816 30,809278	30,713756 30,714026 30,714315	0,10819 0,11683 0,12546	0,05431 0,05862 0,06293
5° 10' 30' 50'	30,793704 30,777095 30,759450	30,714626 30,714957 30,715309	0,13410 0,14272 0,15135	0,06722 0,07151 0,07578
6° 10' 30' 50'	30,740772 30,721059 30,700314	30,715681 30,716073 30,716486	0,15996 0,16587 0,17719	0,08005 0,08430 0,08855
7° 10' 30' 50'	30,678535 30,655725 30,631885	30,716919 30,717372 30,717845	0,18578 0,19438 0,20297	0,09278 0,09700 0,10120
8° 10' 30' 50'	30,607012 30,581111 30,554181	30,718338 30,718851 30,719384	0,21155 0,22013 0,22870	0,10540 0,10957 0,11374
9° 10' 30' 50'	30,526223 30,497238 30,467227	30,719937 30,721103 30,721103	0,23726 0,24582 0,25437	0,11788 0,12201 0,12713

(1) = 0,019907

(2) x 10⁶ = 0,000122

Tabel perhitungan koordinat geografi dari koordinat polyeder

Q _o	(A')	(B')	(C') x 10 ⁶	(D') x 10 ⁶
0° 10' 30' 50'	0,0323432 0,0323443 0,0323465	0,0325604 0,0325604 0,0325603	0,0000148 0,0000443 0,0000738	0,0000074 0,0000223 0,0000371
1° 10' 30' 50'	0,0323498 0,0323541 0,0323596	0,0325603 0,0325602 0,0325601	0,0001033 0,0001328 0,0001624	0,0000520 0,0000668 0,0000817
2° 10' 30' 50'	0,0323661 0,0323737 0,0323824	0,0325600 0,0325598 0,0325596	0,0001920 0,0002216 0,0002513	0,0000966 0,0001115 0,0001263
3° 10' 30' 50'	0,0323922 0,0324031 0,0324151	0,0325594 0,0325592 0,0325590	0,0002810 0,0003106 0,0003406	0,0001412 0,0001561 0,0001710
4° 10' 30' 50'	0,0324282 0,0324424 0,0324578	0,0325587 0,0325584 0,0325581	0,0003704 0,0004004 0,0004303	0,0001860 0,0002009 0,0002153
5° 10' 30' 50'	0,0324748 0,0324917 0,0325103	0,0325578 0,0325574 0,0325571	0,0004604 0,0004906 0,0005208	0,0002308 0,0002458 0,0002608
6° 10' 30' 50'	0,0325201 0,0325510 0,0325730	0,0325567 0,0325562 0,0325558	0,0005511 0,0005815 0,0006120	0,0002758 0,0002908 0,0003059
7° 10' 30' 50'	0,0325961 0,0326203 0,0326457	0,0325553 0,0325549 0,0325544	0,0006426 0,0006734 0,0007042	0,0003209 0,0003360 0,0003511
8° 10' 30' 50'	0,0326723 0,0326999 0,0327287	0,0325538 0,0325533 0,0325527	0,0007352 0,0007662 0,0007975	0,0003662 0,0003814 0,0003966
9° 10' 30' 50'	0,0327587 0,0327899 0,0328222	0,0325522 0,0325515 0,0325509	0,0008288 0,0008603 0,0008920	0,0004118 0,0003270 0,0004423

Proyeksi Universe Transverse Mercator

1. Transformasi Dari Koordinat Geografi Ke Koordinat Kartesian

A. **BESSEL** : $a = 6377397$; $b = 6356079$; $ko = 0,9996$

$$\lambda = 107^\circ 37' 12,32''$$

$$\varphi = 6'52' 02,252''$$

$$h = 702,7603$$

$$\lambda_0 = 105^\circ; cm = 500000 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}\Delta\lambda &= \lambda - \lambda_0 = 107^\circ 37' 12,32'' - 105^\circ \\ &= 2^\circ 37' 12,32''\end{aligned}$$

$$e^2 = (a^2 - b^2) : a^2 = 6,674312317^{-03}$$

$$e^{12} = (a^2 - b^2) : b^2 = 6,719158076^{-03}$$

$$n = (a - b) : (a + b) = 1,674169724^{-03}$$

$$v = a : (1 - e^2 \sin^2 \varphi)^{1/2} = 6377701,296$$

$$\varphi = 6^\circ 52' 02,252'' = 412,0375333'$$

$$\begin{aligned}\varphi_0 &= 412,0375333 \cdot 0,000290888208666 \\ &= 0,119856774\end{aligned}$$

$$A' = a[1 - n + (5/4)(n^2 - n^3) + (81/64)(n^4 - n^5) + \dots] = 6366742,461$$

$$B' = (3/2) a[n - n^2 + (7/8)(n^3 - n^4) + (55/64)n^5] = 15988,4944$$

$$C' = (15/16) a[n^2 - n^3 + (3/4)(n^4 - n^5)] = 16,72965248$$

$$D' = (35/48) a[n^3 - n^4 + (11/16)n^5] = 0,021784212$$

$$E' = (315/512) a[n^4 - n^5] = 3,077189835^{-05}$$

$$\Delta\lambda'' = 2^\circ 37' 12,32'' = 9432,32''$$

$$p = 0,0001 \cdot \Delta\lambda'' = 0,0001 \cdot 9432,32'' = 0,943232$$

$$P^2 = 0,889686605; P^3 = 0,839180876$$

$$P^4 = 0,791542256$$

$$\begin{aligned}S &= A'\varphi_0 - B'\sin 2\varphi + C'\sin 4\varphi - D'\sin 6\varphi + E'\sin 8\varphi \\ &= 759308,8536\end{aligned}$$

$$(I) = S ko = 759005,13$$

$$(II) = v \sin \varphi \cos \varphi \sin^2 1'' \cdot ko \cdot 10^8 : 2 = 889,4177114$$

$$\begin{aligned}(III) &= \sin^4 1'' v \sin \varphi \cos^3 \varphi (5 - \operatorname{tg}^2 \varphi + 9e^2 \cos^2 \varphi + 4e^4 \cos^4 \varphi) ko \cdot 10^{16} : 24 \\ &= 0,866374213\end{aligned}$$

$$A6 = p^6 \cdot \sin^6 1'' \cdot v \sin \varphi \cos \varphi (61 - 58 \operatorname{tg}^2 \varphi + \operatorname{tg}^4 \varphi + 270e'^2 \cos^2 \varphi - 330 e'^2 \sin^2 \varphi) \cdot \operatorname{ko} \cdot 10^{24} : 720 = 5,7823632^{-04}$$

$$B5 = p^5 \sin^5 1'' \cdot v \cos^5 \varphi (5 - 18 \operatorname{tg}^2 \varphi + \operatorname{tg}^4 \varphi + 14e'^2 \cos^2 \varphi - 58 e'^2 \sin^2 \varphi) \cdot \operatorname{ko} \cdot 10^{20} : 120 = 0,049460002$$

$$(IV) = v \cos \varphi \sin 1'' \cdot \operatorname{ko} \cdot 10^4 = 306858,6193$$

$$(V) = \sin^3 1'' \cdot v \cos^3 \varphi (1 - \operatorname{tg}^2 \varphi + e'^2 \cos^2 \varphi) \cdot \operatorname{ko} \cdot 10^{12} : 6 = 117,5564676$$

$$N = (I) + (II) p^2 + (III) p^4 + A6 = 759797,643 \text{ m} \rightarrow \text{Selatan N} = 9240202,357 \text{ m}$$

$$E = 500000 + (IV) p + (V) p^3 + B5 = 789537,577 \text{ m}$$

B. WGS'84 : a = 6378137 ; b = 635752,314 ; ko = 0,9996

$$\lambda = 107^\circ 37' 12,32''$$

$$\varphi = 6^\circ 52' 02,252''$$

$$h = 702,7603$$

$$\lambda_0 = 105^\circ; \text{cm} = 500000 \text{ m}$$

$$\Delta\lambda = \lambda - \lambda_0 = 107^\circ 37' 12,32'' - 105^\circ = 2^\circ 37' 12,32''$$

$$e^2 = (a^2 - b^2) : a^2 = 6,694380061^{-03}$$

$$e'^2 = (a^2 - b^2) : b^2 = 6,739496814^{-03}$$

$$n = (a - b) : (a + b) = 1,679220406^{-03}$$

$$v = a : (1 - e^2 \sin^2 \varphi)^{1/2} = 6378442,246$$

$$\varphi = 6^\circ 52' 02,252'' = 412,0375333'$$

$$\varphi_0 = 412,0375333 \cdot 0,000290888208666 = 0,119856774$$

$$A' = a [1 - n + (5/4) (n^2 - n^3) + (81/64) (n^4 - n^5) + \dots] = 6367449,146$$

$$B' = (3/2) a [n - n^2 + (7/8) (n^3 - n^4) + (55/64) n^5] = 16038,50891$$

$$C' = (15/16) a [n^2 - n^3 + (3/4) (n^4 - n^5)] = 16,83261371$$

$$D' = (35/48) a [n^3 - n^4 + (11/16) n^5] = 0,022020393$$

$$E' = (315/512) a [n^4 - n^5] = 3,12001982^{-05}$$

$$\Delta\lambda'' = 2^\circ 37' 12,32'' = 9432,32'' = 9432,32''$$

$$p = 0,0001 \cdot \Delta\lambda'' = 0,0001 \cdot 9432,32'' = 0,943232$$

$$p^2 = 0,889686605; P^3 = 0,839180876$$

$$p^4 = 0,791542256$$

$$S = A' \varphi_0 - B' \sin 2\varphi + C' \sin 4\varphi - D' \sin 6\varphi + E' \sin 8\varphi \\ = 759381,7275$$

$$(I) = S \text{ ko} = 759077,9748$$

$$(II) = v \sin \varphi \cos \varphi \sin^2 1'' \cdot \text{ko} \cdot 10^8 : 2 = 889,5210424$$

$$(III) = \sin^4 1'' v \sin \varphi \cos^3 \varphi (5 - \text{tg}^2 \varphi + 9e'^2 \cos^2 \varphi + 4e'^4 \cos^4 \varphi) \text{ ko} \cdot 10^{16} : 24 \\ = 0,8665606037$$

$$A6 = p^6 \cdot \sin^6 1'' v \sin \varphi \cos^5 \varphi (61 - 58\text{tg}^2 \varphi + \text{tg}^4 \varphi + 270e'^2 \cos^2 \varphi + e'^2 \sin^2 \varphi) \\ \text{ko} \cdot 10^{24} : 720 \\ = 5,783254826^{-04}$$

$$B5 = p^5 \sin^5 1'' v \cos^5 \varphi (5 - 18\text{tg}^2 \varphi + \text{tg}^4 \varphi + 14e'^2 \cos^2 \varphi - 58e'^2 \sin^2 \varphi) \text{ ko} \cdot 10^{20} : 120 \\ = 0,049468452$$

$$(IV) = v \cos \varphi \sin 1'' \text{ ko} \cdot 10^4 = 306894,2696$$

$$(V) = \sin^3 1'' v \cos^3 \varphi (1 - \text{tg}^2 \varphi + e'^2 \cos^2 \varphi) \text{ ko} \cdot 10^{12} : 6 \\ = 117,5725009$$

$$N = (I) + (II) p^2 + (III) p^4 + A6$$

$$= 759870,599 \rightarrow \text{Selatan N} = 9240129,401 \text{ m}$$

$$E = 500000 + (IV) p + (V) p^3 + B5 = 789571,210 \text{ m}$$

2. Transformasi dari Koordinat Kartesian ke Koordinat Geografi

Diketahui : $X = 789537,577$ m; $Y = 759797,643$ m

Zone 48 M

BESSEL 1841: $a = 6377397,155$ m; $b = 6356079$ m

Ditanyakan : φ , λ

$$\begin{aligned} \text{Tentukan : } e^2 = (a^2 - b^2) : a^2 &= (6377397,155^2 - 6356079^2) : 6377397,155^2 \\ &= 6,674360602^{-03} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} e_1 = (a^2 - b^2) : b^2 &= (6377397,155^2 - 6356079^2) : 6356079^2 \\ &= 6,719207012^{-03} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} k_0 &= 0,9996; q = 10^{-6} \cdot (789537,577 - 500000) = 0,289537577 \\ 500000 &= (\text{harga sentral meredian}) \end{aligned}$$

Rumus untuk mencari λ dan φ :

$$(VII) = \text{tg}\varphi' \cdot (1 + e_1 \cdot \cos^2\varphi') \cdot 10^{12} : (2 \cdot v^2 \cdot \sin 1'' \cdot k_0^2)$$

$$(VIII) = \frac{\text{tg}\varphi' \cdot 10^{24} \cdot (5 + 3 \cdot \text{tg}^2\varphi' + 6 \cdot e_1^2 \cdot \cos^2\varphi' - 6 \cdot e_1 \cdot \sin^2\varphi' - 3 \cdot e_1^4 \cdot \cos^4\varphi' - 9 \cdot e_1^4 \cdot \cos^2\varphi' \cdot \sin^2\varphi')}{24 \cdot v^4 \cdot \sin 1'' k_0^4}$$

$$(IX) = \sec\varphi' \cdot 10^6 : (v \cdot \sin 1'' \cdot k_0)$$

$$(X) = \sec\varphi' \cdot 10^{18} \cdot (1 + 2 \cdot \text{tg}^2\varphi' + e_1^2 \cdot \cos^2\varphi') : (6 \cdot v^3 \cdot \sin 1'' \cdot k_0^3)$$

$$\begin{aligned} D_6 &= q^6 \cdot \text{tg}\varphi' \cdot 10^{36} \cdot (61 + 90 \cdot \text{tg}^2\varphi' + 45 \text{tg}^4\varphi' + 107 \cdot e_1^2 \cdot \cos^2\varphi' - 162 \cdot e_1^2 \cdot \sin^2\varphi' \\ &\quad - 45 \cdot e_1^2 \cdot \text{tg}^2\varphi' \cdot \sin^2\varphi') : (720 \cdot v^6 \cdot \sin 1'' \cdot k_0^6) \end{aligned}$$

$$E_5 = q^5 \cdot \sec\varphi' \cdot 10^{30} \cdot (5 + 28 \cdot \text{tg}^2\varphi' + 24 \cdot \text{tg}^4\varphi' + 6 \cdot e_1^2 \cdot \cos^2\varphi' + 8 \cdot e_1^2 \cdot \sin^2\varphi') : (120 \cdot v^5 \cdot \sin 1'' \cdot k_0^5)$$

$$\varphi = \varphi' - (VII)q^2 + (VIII)q^4 - D_6; \quad \Delta\lambda = q[(IX) - (X)q^2] + E_5$$

Untuk mencari φ' perlu diketahui harga (I) seperti yang telah diterangkan untuk mencari

harga koordinat.

Sebagai perkiraan dapat dilakukan sebagai berikut:

Cari jari-jari kelengkungan meredian (M), dengan $\varphi = 0^\circ$

$$\begin{aligned} M &= a^2 b^2 : (a^2 \cos^2\varphi + b^2 \sin^2\varphi)^{3/2} \\ &= 6377397,155^2 \cdot 6356079^2 : (6377397,155^2 \cdot \cos^2\varphi + 6356079^2 \sin^2\varphi)^{3/2} \\ &= 6377397,155^2 \cdot 6356079^2 : (6377397,155^2 \cdot \cos 0^\circ + 6356079^2 \sin^2 0^\circ)^{3/2} \\ &= 6334832,108 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\text{Keliling lingkaran} = 2\pi M = 39802924,02 \text{ m} = 360^\circ$$

$$1^\circ = 110563,6778 \text{ m}$$

Telah diketahui $Y = 759797,643$ m

$$\varphi' \text{ perkiraan} = (759797,643 : 110563,6778).1^\circ = 6^\circ 52' 19,33''$$

φ' perkiraan ini terletak antara $6^\circ 52'$ dan $6^\circ 53'$

$$\text{Untuk } 6^\circ 52' \Rightarrow (I) = 758936,504 \text{ m}$$

$$\text{Untuk } 6^\circ 53' \Rightarrow (I) = 760778,759 \text{ m}$$

$$1' \Rightarrow \Delta(I) = 1842,255 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Untuk } Y = 759797,643 \text{ m} \Rightarrow \varphi' &= 6^\circ 52' + [(759797,643 - 758936,504) : 1842,255].1' \\ &= 6^\circ 52' 28,05'' \text{ (} \varphi' \text{ ini akan menjadi acuan hitungan).} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} v = a : (1 - e^2 \sin^2 \varphi')^{1/2} &= 6377397,155 : (1 - 6,674360602 \cdot 10^{-3} \sin^2 6^\circ 52' 28,05'')^{1/2} \\ &= 6377702,085 \text{ m} \end{aligned}$$

Sekarang φ' telah diketahui yaitu : $\varphi' = 6^\circ 52' 28,05''$

$$(VII) = \text{tg} \varphi' \cdot (1 + e_1 \cdot \cos^2 \varphi') \cdot 10^{12} : (2 \cdot v^2 \cdot \sin 1'' \cdot \text{ko}^2) = 307,9553851$$

$$(VII)q^2 = 25,81654218''$$

$$(VIII) = \frac{\text{tg} \varphi' \cdot 10^{24} \cdot (5 + 3 \cdot \text{tg}^2 \varphi' + 6 \cdot e_1^2 \cdot \cos^2 \varphi' - 6 \cdot e_1 \cdot \sin^2 \varphi' - 3 \cdot e_1^4 \cdot \cos^4 \varphi' - 9 \cdot e_1^4 \cdot \cos^2 \varphi' \cdot \sin^2 \varphi')}{24 \cdot v^4 \cdot \sin 1'' \cdot \text{ko}^4}$$

$$= 3,18820892$$

$$(VIII)q^4 = 0,022406153''$$

$$(IX) = \sec \varphi' \cdot 10^6 : (v \cdot \sin 1'' \cdot \text{ko}) = 32588,7846$$

$$(X) = \sec \varphi' \cdot 10^{18} \cdot (1 + 2 \cdot \text{tg}^2 \varphi' + e_1^2 \cdot \cos^2 \varphi') : (6 \cdot v^3 \cdot \sin 1'' \cdot \text{ko}^3) = 138,4098323$$

$$\begin{aligned} D_6 = q^6 \cdot \text{tg} \varphi' \cdot 10^{36} \cdot (61 + 90 \cdot \text{tg}^2 \varphi' + 45 \text{tg}^4 \varphi' + 107 \cdot e_1^2 \cdot \cos^2 \varphi' - 162 \cdot e_1^2 \cdot \sin^2 \varphi' \\ - 45 \cdot e_1^2 \cdot \text{tg}^2 \varphi' \cdot \sin^2 \varphi') : (720 \cdot v^6 \cdot \sin 1'' \cdot \text{ko}^6) = 2,419548925 \cdot 10^{-6}'' \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E_5 = q^5 \cdot \sec \varphi' \cdot 10^{30} \cdot (5 + 28 \cdot \text{tg}^2 \varphi' + 24 \cdot \text{tg}^4 \varphi' + 6 \cdot e_1^2 \cdot \cos^2 \varphi' + 8 \cdot e_1^2 \cdot \sin^2 \varphi') : (120 \cdot v^5 \cdot \sin 1'' \cdot \text{ko}^5) \\ = 0,0018'' \end{aligned}$$

$$\varphi = \varphi' - (VII)q^2 + (VIII)q^4 - D_6 = 6^\circ 52' 02,252''$$

$$\Delta \lambda = q[(IX) - (X)q^2] + E_5 = 2^\circ 37' 12,32''$$

Titik P ($X = 789537,577$; $Y = 759797,6430$) terletak di zone 48M; maka sentral merediannya adalah $105^\circ = \lambda_0$

$$\lambda = \lambda_0 + \Delta \lambda = 105^\circ + 2^\circ 37' 12,32'' = 107^\circ 37' 12,32''$$

Titik P mempunyai koordinat geografi: $\lambda = 107^\circ 37' 12,32''$; $\varphi = 6^\circ 52' 02,252''$

XI. TRANSFORMASI KOORDINAT GLOBAL POSITIONING SYSTEM

Tranformasi Geosentrik

Transformasi dari Koordinat Geografi ke Koordinat Kartesian

BESSEL:

Diketahui: $a = 6377397,155$ m; $b = 6356079$ m; $e^2 = 6,674360602^{-03}$

$$\varphi = 6^{\circ}52'2,252''; \lambda = 107^{\circ}37'12,32''; h = 1459,489 \text{ m}$$

$$N = a^2 : (a^2 \cos^2\varphi + b^2 \sin^2\varphi)^{1/2}$$

$$= 6377397,155^2 : (6377397,155^2 \cdot \cos^2 6^{\circ}52'2,252'' + 6356079^2 \cdot \sin^2 6^{\circ}52'2,252'')^{1/2}$$

$$= 6377701,446 \text{ m}$$

$$X = (N+h) \cdot \cos\varphi \cdot \cos\lambda$$

$$= (6377701,446 + 1459,489) \cdot \cos 6^{\circ}52'2,252'' \cdot \cos 107^{\circ}37'12,32''$$

$$= -1917144,58 \text{ m}$$

$$Y = (N+h) \cdot \cos\varphi \cdot \sin\lambda$$

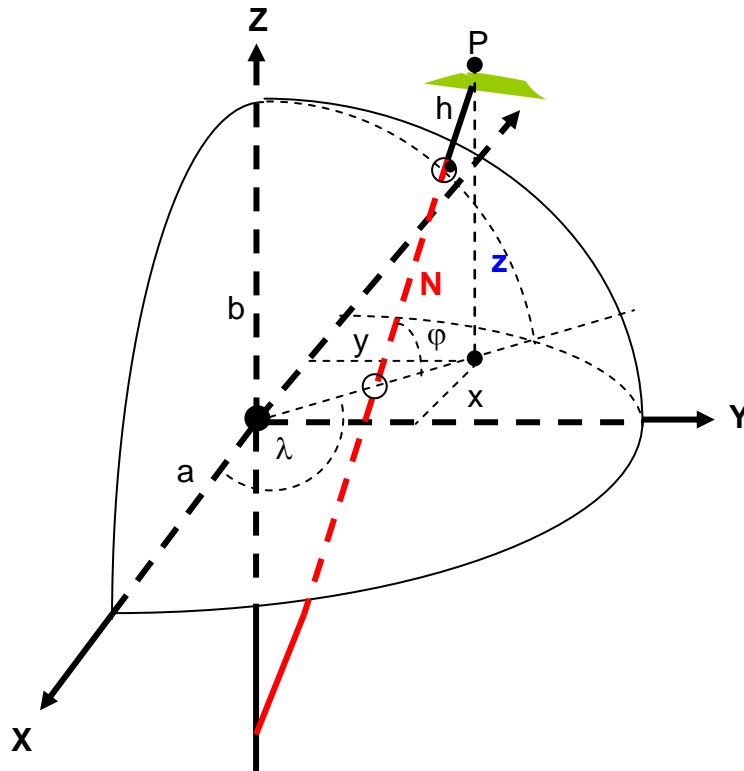
$$= (6377701,446 + 1459,489) \cdot \cos 6^{\circ}52'2,252'' \cdot \sin 107^{\circ}37'12,32''$$

$$= 6036261,494 \text{ m}$$

$$Z = ((b^2:a^2) \cdot (N+h)) \cdot \sin\varphi$$

$$= ((6356079^2:6377397,155^2) \cdot (6377701,446 + 1459,489)) \cdot \sin 6^{\circ}52'2,252''$$

$$= 757667,1318 \text{ m}$$



Gambar : Koordinat kartesian (X, Y, Z) dan koordinat ellipsoid

Diketahui: $\varphi = 6^{\circ}52'2,252''$; $\lambda = 107^{\circ}37'12,32''$; $h = 1459,489$ m
 $a = 6377397,155$ m; $b = 6356079$ m; $e^2 = 6,674360602^{-03}$
 $e_1^2 = 6,719207012^{-03}$

Transformasi dari Koordinat Kartesian ke Koordinat Geografi

Diketahui: $a = 6377397,155$ m; $b = 6356079$ m;

$X = -1917144,58$ m; $Y = 6036261,494$ m; $Z = 757667,1318$ m; $h = 1459,489$ m

Ditanyakan: φ dan λ .

$$N = a^2 : (a^2 \cos^2 \varphi + b^2 \sin^2 \varphi)^{1/2};$$

$$\rho = (X^2 + Y^2)^{1/2} = (N + h) \cos \varphi; \quad h = (\rho : \cos \varphi) - N$$

$$\rho = (X^2 + Y^2)^{1/2} = (N+h) \cdot \cos \varphi$$

$$= (-1917144,58^2 + 6036261,494^2)^{1/2} = 6333395,311 \text{ m}$$

$$h = (\rho : \cos \varphi) - N = 1459,489 \text{ m (telah dihitung)}$$

$$\text{tg} \varphi = (Z : \rho) : (1 - e^2 \cdot N / (N + h))$$

$$= (757667,1318 : 6333395,311)$$

$$: [1 - 6,674360602^{-03} \cdot 677701,446 / (6377701,446 + 1459,480)]$$

$$= 0,120434119 \Rightarrow \varphi = 6^{\circ}52'2,252''$$

$$\operatorname{tg}\lambda = Y : X = 6036261,494 : -1917144,58 = - 3,14856874$$

$$\lambda = 107^{\circ}37'12,32''$$

$$e^2 = (a^2 - b^2) : a^2 = 6,674360602^{-03}; e_1^2 = 6,719207012^{-03}$$

$$Z = (N + h - e^2N) \sin\varphi; Z = (N + h)[1 - e^2N : (N + h)] \sin\varphi$$

$$(Z : p) = [1 - e^2N : (N + h)] \operatorname{tg}\varphi$$

$$\operatorname{tg}\varphi = (Z : p) [1 - e^2N : (N + H)]^{-1}; \operatorname{tg}\lambda = Y : X; \lambda = \operatorname{arctg} = Y : X$$

$$\varphi = \operatorname{arctg} = (Z + e_1^2 b \sin^3\theta) : (p - e^2 a \cos^3\theta); \theta = \operatorname{arctg} Z a : p b$$

XII. PERHITUNGAN JARAK GEODESI

Jarak geodesi adalah jarak yang menghubungkan dua titik pada permukaan ellipsoid.

Diketahui koordinat geografi dari titik:

$$P1 \Rightarrow \varphi_1 = 2^\circ; \quad \lambda_1 = 106^\circ \qquad P2 \Rightarrow \varphi_2 = 4^\circ; \quad \lambda_2 = 107^\circ$$

Ditanya jarak $P1 \rightarrow P2$

Penyelesaian 1:

$$P1 \rightarrow P2 = R \times \beta / \rho$$

Keterangan:

R = Jari-jari bumi

$$\rho = 180/\pi$$

$$R = 6377397,155 \text{ m}; \quad \rho = 57,29577951^\circ$$

$$\begin{aligned} \cos\beta &= \sin\varphi_1 \times \sin\varphi_2 + \cos\varphi_1 \times \cos\varphi_2 \times \cos(\lambda_2 - \lambda_1) \\ &= \sin 2^\circ \times \sin 4^\circ + \cos 2^\circ \times \cos 4^\circ + \cos(107^\circ - 106^\circ) \\ &= 0,034899496 \times 0,069756473 + 0,999390827 \times 0,99756405 \times 0,999847695 \\ &= 0,999238985 \end{aligned}$$

$$\beta = 2,235432568$$

$$P1 \rightarrow P2 = R \times \beta / \rho$$

$$= (6377397,155 \times 2,235432568) / 57,29577951 = 248818,3496 \text{ m}$$

Penyelesaian 2

$$\begin{aligned} \text{tg}\alpha &= [(\lambda_2 - \lambda_1)/\rho] / [\ln \text{tg}(45 + 1/2\varphi_2) - \ln \text{tg}(45 + 1/2\varphi_1)] \\ &= [(107 - 106) / 57,29577951] / (\ln \text{tg}47 - \ln \text{tg}46) \\ &= 0,017453292 / (0,069869949 - 0,034913675) \\ &= 0,017453292 / 0,034956273 = 0,499289267 \end{aligned}$$

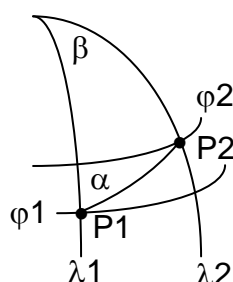
$$\alpha = 26,53246431$$

$$(\varphi_2 - \varphi_1) / \rho = 0,034906585$$

$$P1 \rightarrow P2 = (R / \cos\alpha) \times ((\varphi_2 - \varphi_1) / \rho)$$

$$= (6377397,155 / \cos 26,53246431) \times ((4 - 2) / 57,29577951)$$

$$= 248818,3574 \text{ m}$$



DAFTAR PUSTAKA

- Ir. Aryono Prihandito M.Sc., Proyeksi Peta, IKAPI, Yogyakarta, 1988
- Bessel Spheroid (meters), Volume I, Transformation of Coordinates from Grid to Geographic, Headquarters, Department of the Army, July, 1958
- D. Hidayat, Muchidin Noor, Teori dan Praktek Ukur Tanah 2, Direktorat Pendidikan Menengah Kejuruan
- Foutengrenzen, Topografische Diens Batavia Hendruk, 1949
- Idi Sutardi, Ilmu Ukur Tanah, Kursus Surveyor Topografi Pertambangan, Pusat Pengembangan Tenaga Pertambangan, Bandung, 1997
- Ir. Heinzfrick, Ilmu dan Alat Ukur Tanah, Kanisius, Yogyakarta, 1993
- Madhardjo Marsudiman, Praktis Kartografi, Bandung
- Soeyono Sostrodarsono, Masayoshi Takasaki, Pengukuran Topografi Dan Teknik Pemetaan, PT. Pradnya Paramita Yogyakarta, 1992
- Soetomo Wongsojitro, Ilmu Ukur Tanah, Swada, Jakarta, 1974

