

SURVEYING

(CIV-104)

PERTEMUAN 4-5 :
METODE PENGUKURAN SIPAT DATAR

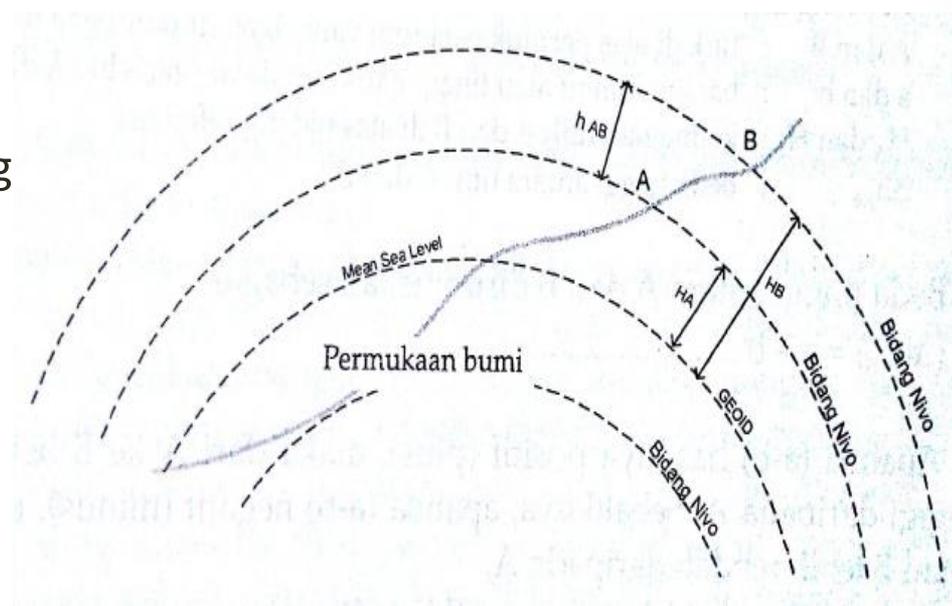


UNIVERSITAS PEMBANGUNAN JAYA
Jl. Boulevard Bintaro Sektor 7, Bintaro Jaya
Tangerang Selatan 15224

Pendahuluan

Beda tinggi adalah perbedaan vertikal antara dua titik atau jarak dari bidang referensi yang telah ditetapkan ke suatu titik tertentu sepanjang garis vertikal

- Tinggi ditentukan melalui bidang referensi, bidang yang ketinggiannya dianggap nol. (bidang geoid \leftrightarrow MSL) \leftrightarrow bidang Nivo
- Jarak yang diukur dari permukaan geoid ke titik tertentu sepanjang garis vertikal yang melalui titik tersebut disebut elevasi.



Pendahuluan

Dalam kaitannya dengan rekayasa sipil, manfaat pengukuran sipat datar antara lain :

- Merancang jalan raya, jalan kereta api, bendungan, sistem saluran air yang memiliki garis gradien yang paling sesuai dengan topografi yang ada.
- Merancang proyek-proyek konstruksi menurut elevasi terencana
- Menghitung volume pekerjaan tanah.
- Menyelidiki karakteristik aliran drainase suatu daerah dan lain-lain.

Mengukur Beda Tinggi dengan Alat sederhana

- **Unting-Unting dan segitiga Kayu**

berupa sebuah segitiga yang terbuat dari kayu, yang bertiang tengah vertikal dipasang unting-unting dan di ujung bawah batang horisontal dibuat lukisan segitiga. Bila unting-unting tepat di atas lukisan segitiga bidang permukaan dimana alat tersebut diletakkan, berarti bidang tersebut datar.

- **Waterpas tabung**

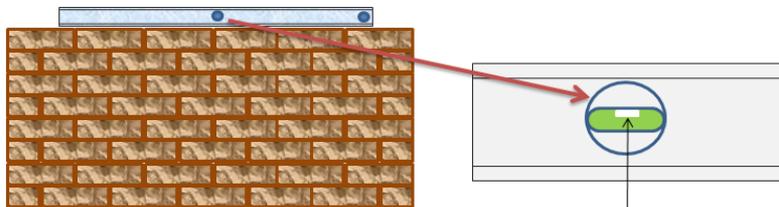
Tabung ini dihubungkan satu sama yang lain dengan selang karet. Kedua tabung diisi air hingga penuh dimana masing-masing memiliki sumbatnya, bila dibuka maka air akan berjalan dan lama-lama tenang sampai membentuk garis mendatar diantara keduanya. Syarat utamanya tidak boleh adanya gelembung udara di dalam selang.



Mengukur Beda Tinggi dengan Alat sederhana

- **Waterpass**

Waterpass terbuat dari batang kayu atau baja yang di dalamnya dipasang sebuah nivo. Nivo adalah tabung kaca yang diisi dengan zat cair dan kedua ujungnya tertutup. Gelembung selalu akan bergerak ke arah yang lebih tinggi. Waterpass akan berada pada keadaan seimbang bila gelembung yang ada di dalam nivo berada di tengah garis. Syarat alat ini adalah gelembung harus ditengah-tengah dan waterpass harus bersih agar gelembungnya terlihat jelas.



Gelembung harus tepat ditengah

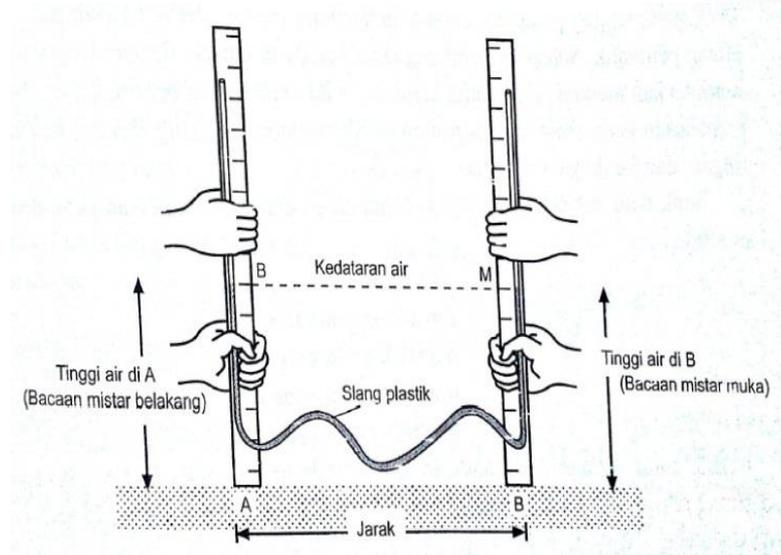
PENGECEKAN KETEGAKAN HORIZONTAL



Mengukur Beda Tinggi dengan Alat sederhana

- **Slang plastik**

Prinsip kerjanya adalah bagian atas dari suatu zat cair akan selalu berada dalam keadaan mendatar. Prinsip ini hampir sama dengan prinsip bejana berhubungan yaitu bila air tenang, maka permukaan sudah datar. Beda tinggi pada pengukuran antara dua titik dihitung dengan cara :



Tinggi permukaan air di A – tinggi permukaan air di B

=

Beda tinggi = Bacaan mistar belakang- Bacaan mistar muka

Mengukur Beda Tinggi dengan Alat sederhana

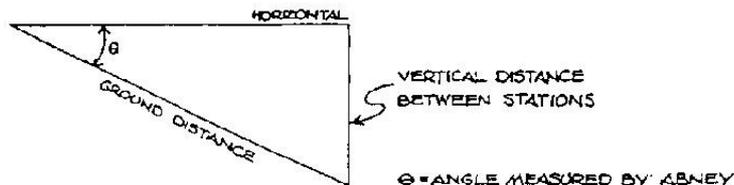
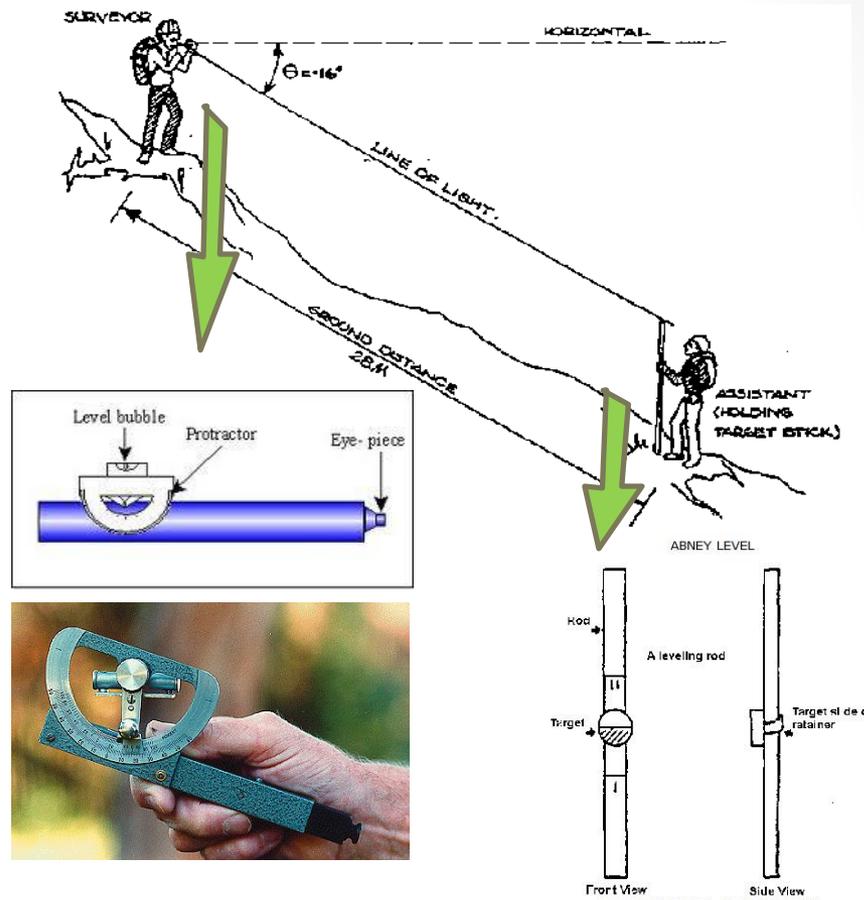
- **Klinometer – Abney level**

Berfungsi untuk mengukur sudut kemiringan. Syaratnya bahwa saat membidik obyek, gelembung nivo selalu berada di tengah-tengah.

Salah satu yang paling umum digunakan adalah **Abney level**.

Syarat penggunaan alat ini adalah :

- a) gelembung harus ditengah
- b) Jalon/rambu harus tegak lurus
- c) Jaraknya tidak terlalu jauh.



Vertical distance = Ground distance x sin θ

Galat Pengukuran beda tinggi dengan alat sederhana

Kesalahan pada pengukuran sipat datar dengan alat sederhana secara umum dapat diklasifikasikan sebagai berikut.

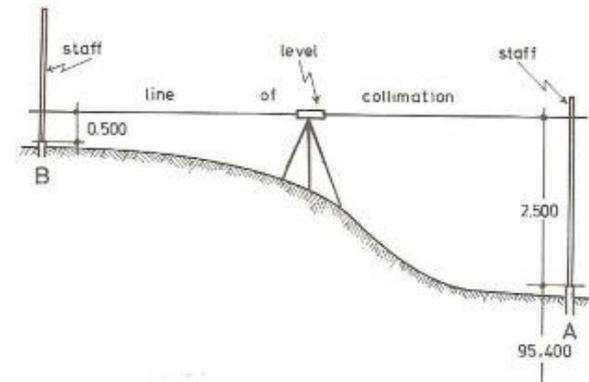
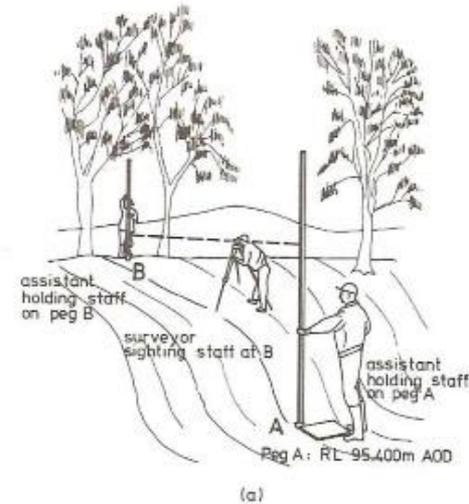
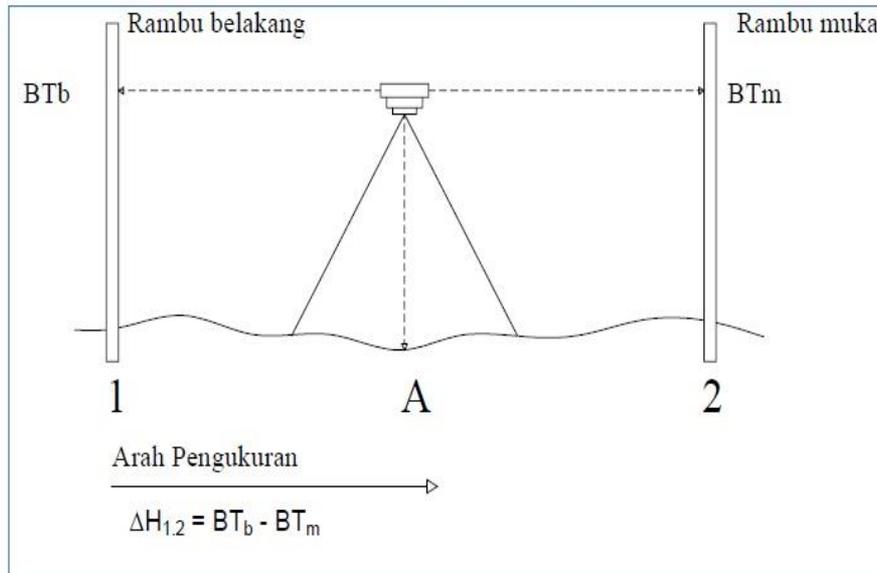
- **Kesalahan alami**
 - Pengaruh lengkung bumi (bisa diabaikan dengan membuat jarak yang sama)
 - Pengaruh refraksi cahaya, akibatnya pembacaan tidak teliti.
- **Kesalahan instrumen**
 - Adanya kesalahan indeks pita ukur
 - Gelembung tidak datar (pada waterpass tangan)
- **Kesalahan juru pengukur**
 - Kesalahan pembacaan ataupun pencatatan.
 - Pengaturan instrumen yang tidak sempurna
 - Penempatan mistar jalon yang tidak sempurna

Sipat Datar (Spirit Levelling)

Sipat datar adalah proses penentuan ketinggian dari sejumlah titik atau pengukuran perbedaan elevasi.

Salah satu syarat yang penting adalah jarak antara dua titik yang diukur tidak boleh lebih dari 120 meter dan paling dekat adalah 3 meter

Bila ΔH_{1-2} adalah positif, maka jarak 1 ke 2 adalah naik, atau titik 2 lebih tinggi dari 1.



Sipat Datar (Spirit Levelling)

Keterangan Gambar

A, B, dan C = stasion: X = stasion antara

Andaikan stasion A diketahui tingginya, maka:

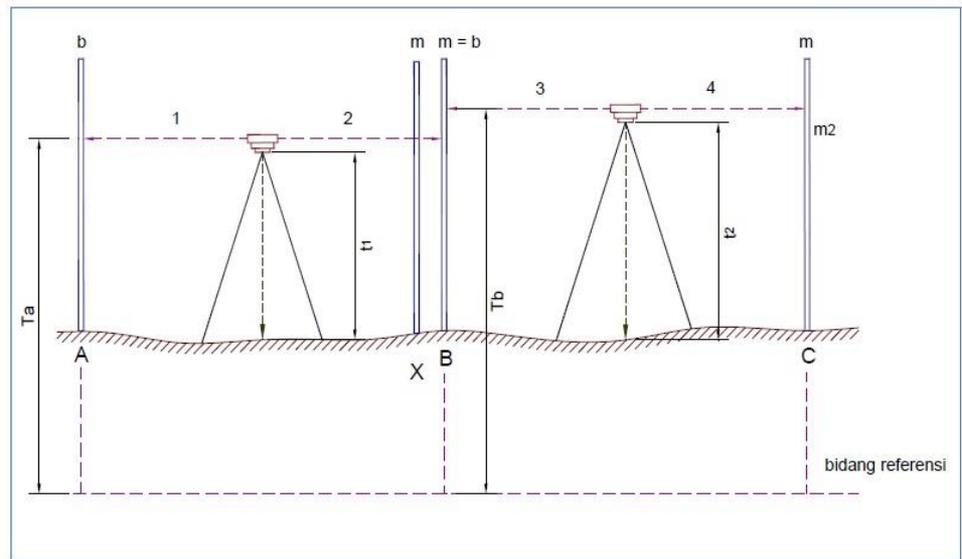
- Disebut pengukuran ke belakang, b = rambu belakang;
- Disebut pengukuran ke muka, m = rambu muka.

Dari pengukuran 1 dan 2, tinggi stasion B diketahui, maka:

- Disebut pengukuran ke belakang.
- Disebut pengukuran ke muka, stasion B disebut titik putar.

Jarak AB, BC dst masing-masing disebut **seksi** atau **slag**.

T_i = tinggi alat; T_{gb} = tinggi garis bidik.



Sipat Datar (Spirit Levelling)

Persyaratan Alat secara Umum

Syarat-syarat yang harus dipenuhi oleh semua alat penyipat datar adalah :

- Syarat utama : garis bidik teropong harus sejajar dengan garis arah nivo
- Syarat kedua : garis arah nivo harus tegak lurus pada sumbu ke satu
- Syarat ketiga : garis mendatar diafragma harus tegak lurus sumbu ke satu.

Alat ukur penyipat datar hanya dapat diputar pada sumbu I (sumbu vertikal saja)

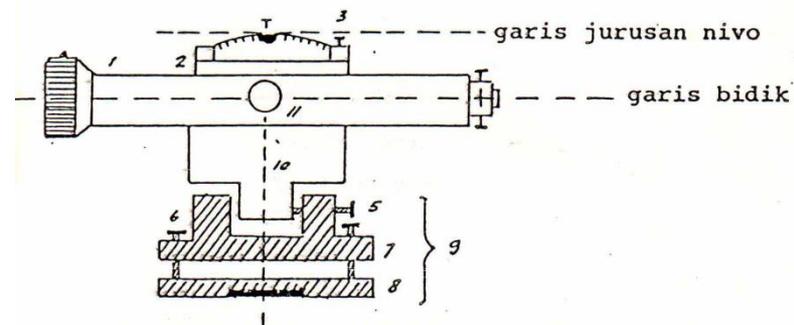
Klasifikasi alat Sipat Datar

I. Tanpa sekrup pengungkit (*Dumpy Level*)

Merupakan tipe alat sipat datar yang paling sederhana. Kelebihan dari alat sipat datar ini yaitu teleskopnya hanya bergerak pada suatu bidang yang menyudut 90 terhadap sumbu rotasinya.

Syarat alat :

- 1) *Garis bidik tegak lurus pada sumbu ke satu.*
- 2) *Garis arah nivo sejajar garis bidik.*
- 3) *Garis arah nivo tegak lurus dengan sumbu ke satu*



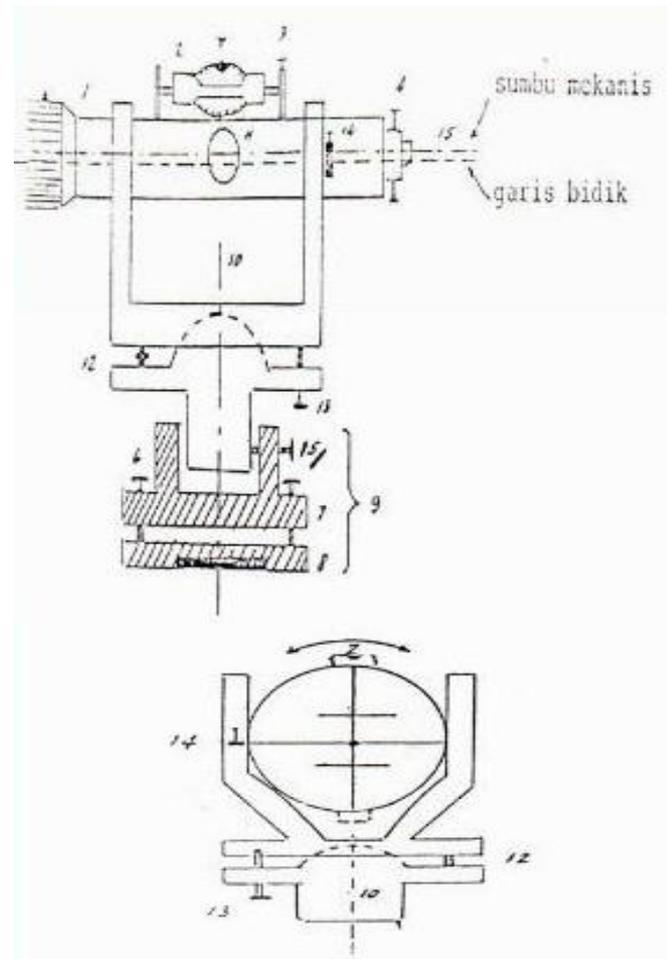
Ket.gambar :

1. Teropong
2. Nivo tabung
3. Sekrup koreksi pengatur nivo
4. Sekrup koreksi/pengatur diafragma
5. Sekrup pengunci gerakan vertikal
6. Sekrup kiap (3 bh)
7. Tribraich, penyangga sumbu 1 dan teropng.
8. Trivet, dikunci pada statip/tripod
9. Kiap (levelling head)
- 10.Sumbu ke I
- 11.Tombol fokus

Klasifikasi alat Sipat Datar

II. Tipe Reversi

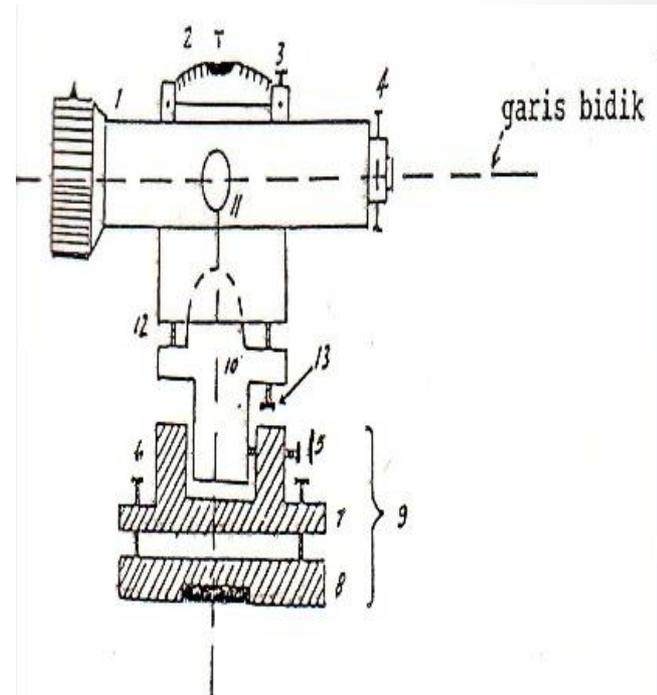
- Kelebihan dari sipat datar ini yaitu pada teropong terdapat nivo reversi dan teropong mempunyai sumbu mekanis.
- Pada type ini teropong dapat diputar sepanjang sumbu mekanis sehingga nivo tabung terletak dibawah teropong.



Klasifikasi alat Sipat Datar

III. Dengan Sekrup pengungkit (*Tilting level*)

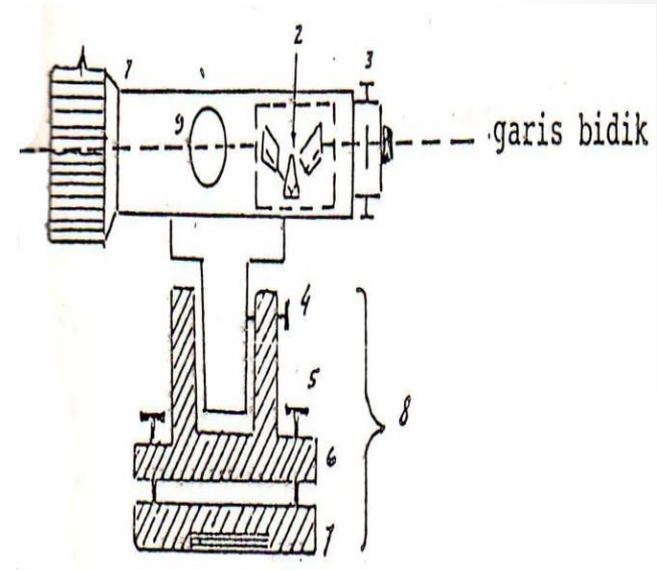
- Perbedaan dengan tipe dumpy level adalah pada tipe tilting level teropongnya dapat diungkit naik turun terhadap sendinya dan memiliki dua nivo, yaitu nivo kotak dan nivo tabung.
- Penyetelan pesawat ungkit ini lebih mudah dibandingkan dengan dumpy level
- Berbeda dengan tipe reversi, pada tipe ini teropong dapat diungkit dengan skrup pengungkit.



Klasifikasi alat Sipat Datar

IV. Tipe otomatis

- Pada alat ini sistem pengaturan garis bidik tidak lagi tergantung pada nivo yang terletak di atas teropong.
- Alat ini hanya mendatarkan bidang nivo kotak melalui tiga sekrup penyetel dan secara otomatis sebuah bandul menggantikan fungsi nivo tabung dalam mendatarkan garis nivo ke target yang dikehendaki
- Keistimewaan utama dari penyipat datar otomatis adalah garis bidiknya yang melalui perpotongan benang silang tengah selalu horizontal meskipun sumbu optik alat tersebut tidak horizontal.



V. Tipe laser

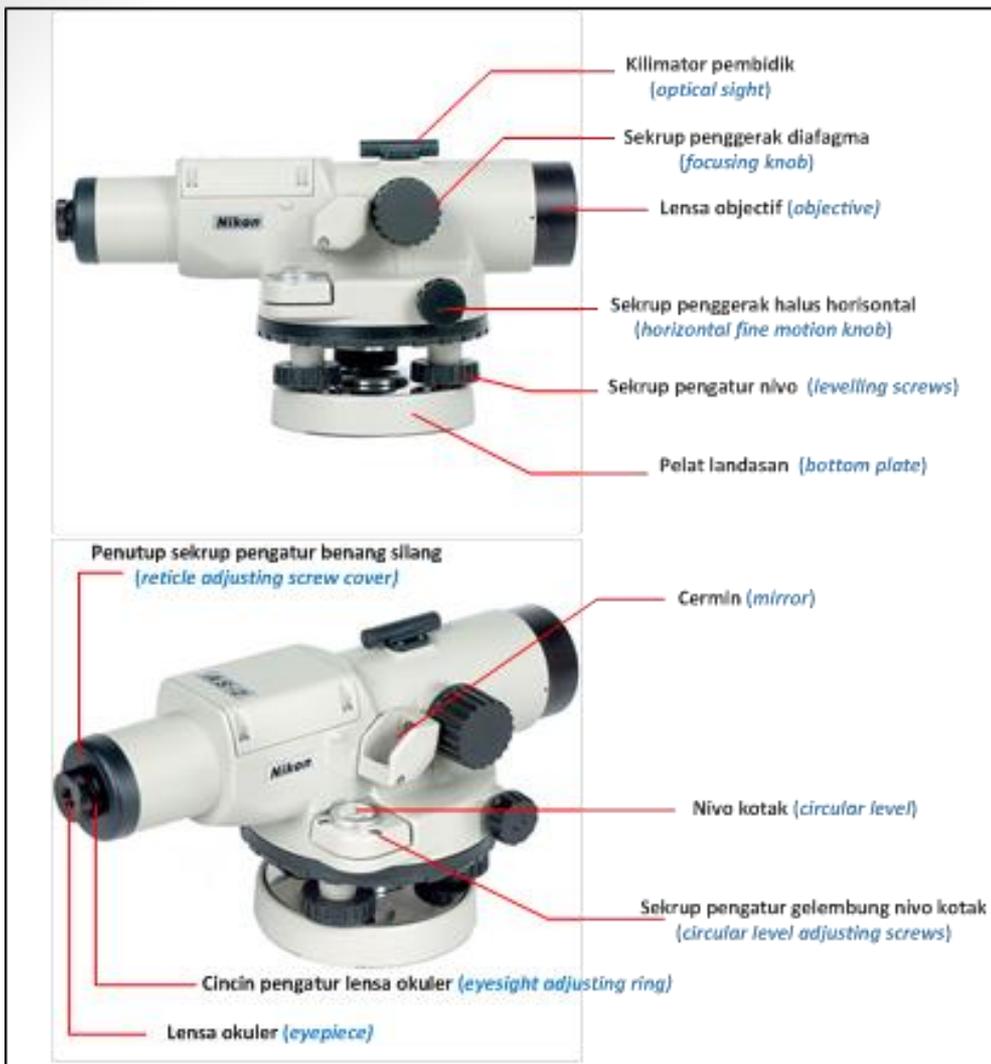
VI. Tipe elektronik



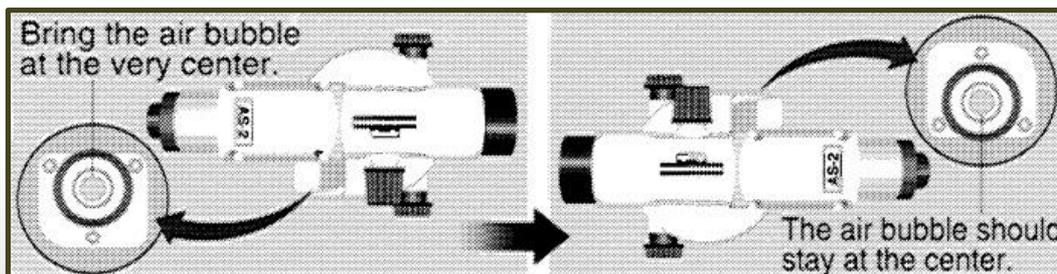
Setting alat



Rambu ukur didirikan tegak lurus



- Dirikan tripod/statip (lebar masing-masing kaki minimal 60°)
- Tancapkan ujung statip dengan kaki ke dalam tanah sehingga kedudukan kuat dan kokoh. (usahakan piringan kepala tripod dalam keadaan datar)
- Letakkan pesawat diatas piringan kepala tripod dan kunci dengan sekrup pengunci tripod
- Sejajarkan teropong pesawat dengan nivo kotak sebagai referensi
- Fokuskan sumbu bidik teropong dengan memutar cincin pengatur bidikan.
- Tentukan suatu target menggunakan kilimotor pembidik (*optical sight*). Letakkan target tepat di pusat area bidik menggunakan skrup penggerak halus horisontal. Pastikan tidak terdapat paralaks.
- Cek nivo kotak, jika gelembung udara berada di dalam lingkaran coklat, maka garis bidik pada posisi garis horisontal yang benar. Putar teropong 180° dan periksa apakah gelembung udara bergerak menjauh dari lingkaran coklat. Jika ya, maka perlu di set ulang.



Rambu Ukur dan Cara Pembacaannya

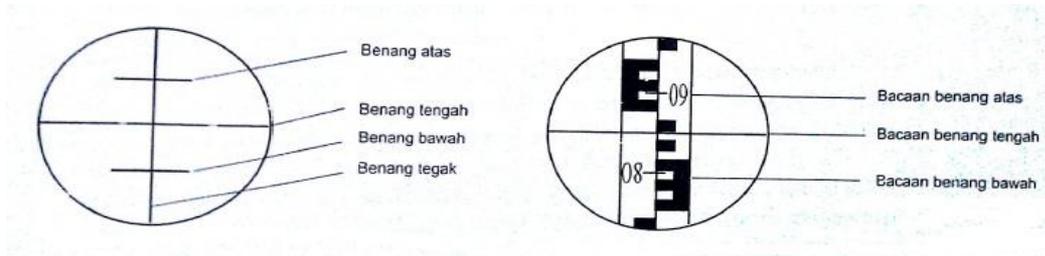
- Alat bantu utama yaitu rambu ukur, yang diperlukan untuk mengukur beda tinggi antara garis bidik dengan permukaan tanah
- Alat ini terbuat dari kayu atau campuran logam aluminium dengan ketebalan 3-4 cm lebar \pm 10 cm dan panjang 2 m, 3 m, 4 m atau 5 m
- Skala yang ditunjukkan dalam desimeter, yang dibagi lagi ke dalam cm dengan huruf E sebagai pembagi.

Berdasarkan bentuk hurufnya, rambu dikelompokkan menjadi dua macam, yaitu

- **Rambu positif (+)**, rambu yang letak angkanya tegak dan diperuntukkan untuk pesawat yang sudah dilengkapi lensa pembalik.
- **Rambu negatif (-)**, rambu yang letak angkanya terbalik, letak huruf sama hanya angkanya terbalik. Rambu ini digunakan untuk pesawat yang belum dilengkapi lensa pembalik.

Rambu Ukur dan Cara Pembacaannya

Teropong terdiri dari 4 macam benang, yaitu benang atas, benang tengah, benang bawah dan benang tegak



- Pembacaan benang atas dikurangi pembacaan benang tengah = pembacaan benang tengah dikurangi pembacaan benang bawah.

$$BA - BT = BT - BB$$

- Pembacaan benang atas ditambah pembacaan benang bawah = dua kali pembacaan benang tengah.

$$BA + BB = 2 BT$$

- Pembacaan benang atas ditambah pembacaan benang bawah dibagi dua = benang tengah.

$$\frac{BA + BB}{2} = BT$$

Rambu Ukur dan Cara Pembacaannya

Contoh :

Bacaan benang atas : 1,325

Bacaan benang tengah : 1,255

Bacaan benang bawah : 1,185

Koreksi pembacaan

Rumus $BA - BT = BT - BB$

→ $1,325 - 1,255 = 1,255 - 1,185$

→ $0,07 = 0,07 \dots \dots \dots (\text{ok})$

Rumus $BA + BT = 2 BT$

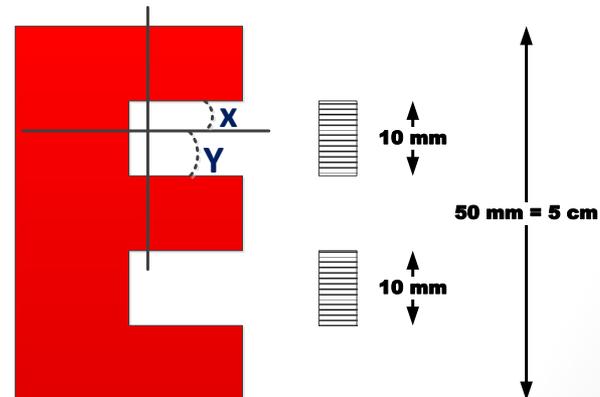
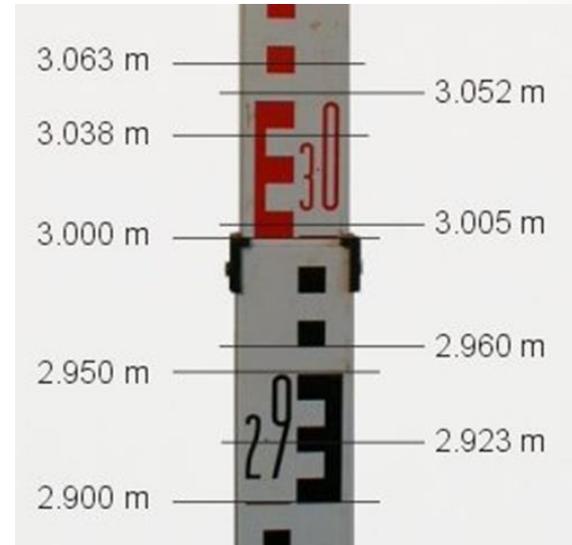
→ $1,325 + 1,185 = 2 (1,255)$

→ $2,51 = 2,51 \dots \dots \dots (\text{ok})$

Rumus $(BA + BB)/2 = BT$

→ $(1,325 + 1,185)/2 = 1,255$

→ $1,255 = 1,255 \dots \dots (\text{ok})$



Rambu Ukur dan Cara Pembacaannya

Hasil pembacaan rambu juga dapat digunakan untuk menentukan jarak yang diukur antara pesawat dengan rambu, jarak yang diperoleh dari hasil hitungan bacaan rambu disebut jarak optis. Rumus-rumus untuk menentukan jarak dari hasil pembacaan rambu adalah :

$$(BA - BB) \times 100 = \text{jarak optis}$$

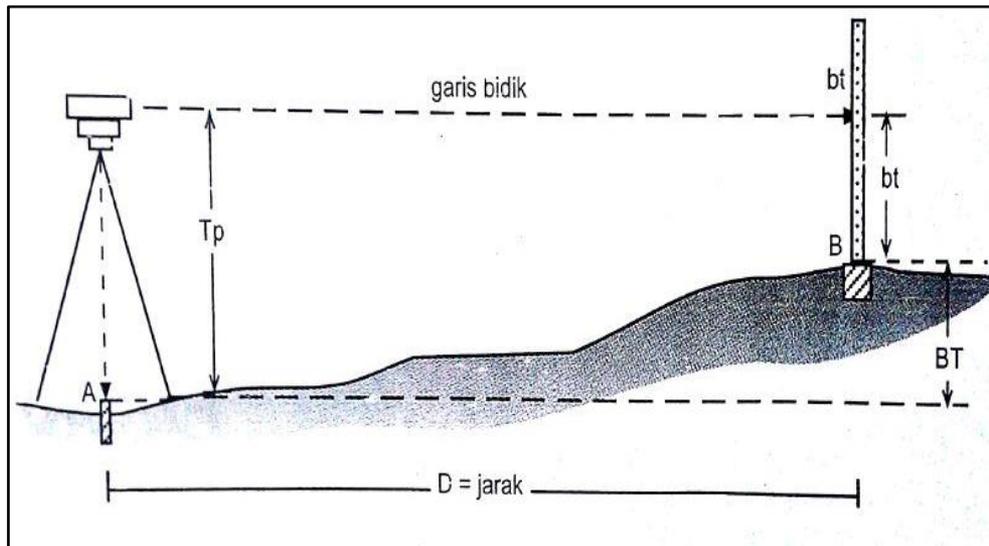
$$[(BA - BT) + (BT - BB)] \times 100 = \text{jarak optis}$$

Teknik Pengukuran Beda Tinggi

Pesawat didirikan pada salah satu titik

Pesawat ditempatkan di atas titik A, lalu diukur tinggi pesawatnya dari permukaan tanah hingga lensa pesawat (TP). Pada titik B didirikan rambu dan dilakukan pembacaan benang tengahnya, maka beda tinggi antara titik A dan B = tinggi pesawat – benang tengah

$$BT = T_p - bt$$

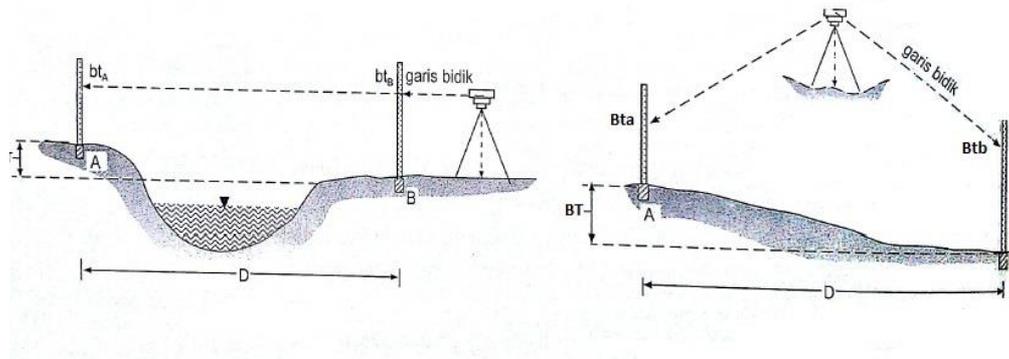


Teknik Pengukuran Beda Tinggi

Pesawat didirikan di luar titik A dan titik B

Pesawat didirikan di luar titik A dan B, letakkan rambu di atas titik A dan B. Baca benang tengahnya, masing-masing benang tengah di titik A dan benang tengah di titik B. Beda tinggi di antara dua titik A dan B = bacaan benang tengah di A dikurangi bacaan benang tengah di B.

$$BT = bt_A - bt_B$$

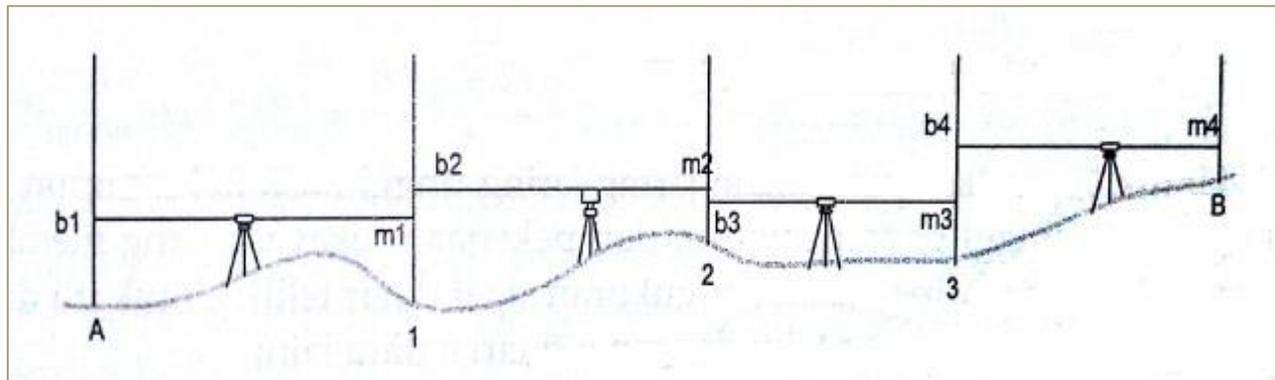


Penyipat Datar Memanjang (Differential Levelling)

Metode ini dilakukan bila :

- jarak antara dua titik A dan B cukup jauh
- kondisi lapangan sedemikian rupa sehingga garis bidik tidak memotong mistar rambu karena terlalu tinggi atau terlalu rendah

Jarak penglihatan rambu yang ideal adalah antara 30 m sampai 60 meter.



Keterangan gambar :

A dan B : titik tetap yang akan ditentukan beda tinggi

1,2,3,4... : titik-titik bantu pengukuran

$b_1, b_2, b_3, b_4, \dots$: bacaan rambu belakang

$m_1, m_2, m_3, m_4, \dots$: bacaan rambu muka

Penyipat Datar Memanjang (Differential Levelling)

- Titik A dan B adalah titik yang akan ditentukan beda tingginya, karena jarak kedua titik cukup jauh, maka dibuat beberapa slag. Beda tingginya adalah kumulatif beberapa slag, yaitu :

$$\Delta h_{A1} = b_1 - m_1$$

$$\Delta h_{12} = b_2 - m_2$$

$$\Delta h_{23} = b_3 - m_3$$

$$\Delta h_{3B} = b_4 - m_4 -$$

$$\Delta h_{AB} = \Sigma \Delta h = \Sigma b - \Sigma m$$

Dimana :

Σb : jumlah pembacaan rambu belakang

Σm : jumlah pembacaan rambu muka

Δh : beda tinggi setiap slag

Penyipat Datar Memanjang (Differential Levelling)

Cara ke satu : bila hanya di cari beda tinggi antara dua titik ujungnya saja

Titik	Pembacaan Mistar		Jarak (d)
	Belakang (b)	Muka (m)	
A	1.426	0.528	84.47
1	0.795	2.282	86.08
2	1.723	0.389	87.94
3	2.268	0.864	92.38
B			
JUMLAH			
Σb	6.212		
Σm	4.063		
t	+2.149		

Penyipat Datar Memanjang (Differential Levelling)

Cara ke dua : bila diperlukan beda tinggi antara kedua titik ujung A dan B

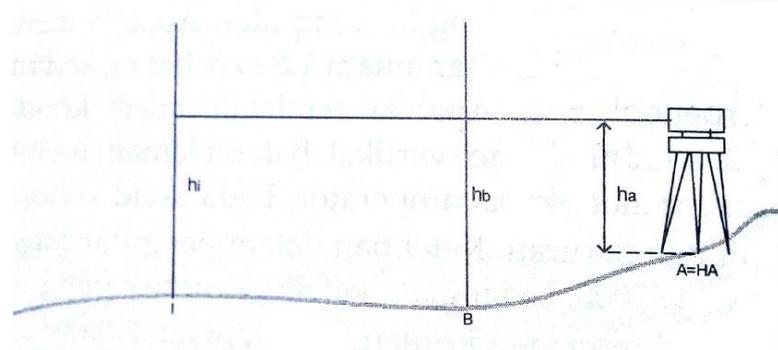
Titik	Pembacaan Mistar		Jarak (d)	beda tinggi (t)		Tinggi titik
	Belakang (b)	Muka (m)		(+)	(-)	
A						721.586
1	1.426	0.528	84.47	0.898		722.484
2	0.795	2.282	86.08		1.497	720.997
3	1.723	0.389	87.94	1.334		722.331
B	2.268	0.864	92.38	1.404		723.735
Σb	6.212	4.063		+ 3.636	-1.487	
Σm	<u>4.063</u>			<u>-1.487</u>		
Σt				+2.149		+2.149

Profil Memanjang dan Profil Melintang

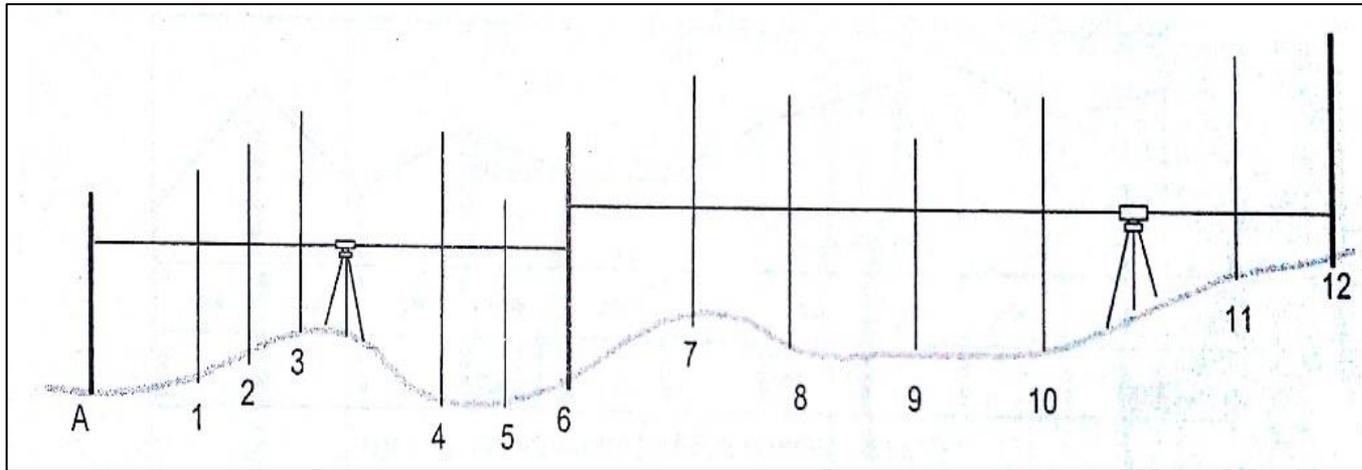
Umumnya dibedakan atas profil memanjang yang searah dengan sumbu proyek dan profil melintang yang memotong tegak lurus sumbu proyek pada interval jarak tertentu.

Profil memanjang diukur dengan sipat datar memanjang, sedang profil melintangnya dibuat untuk menentukan tinggi titik-titik detail dengan pertolongan tinggi garis bidik

- Tinggi garis bidik pada titik A adalah : $H_A + h_a$
- Tinggi titik B : $H_B = (H_A + h_a) - h_b$
- Tinggi titik I : $H_I = (H_A + h_a) - h_i$ bila $h_a =$ tinggi alat ukur



Profil Memanjang dan Profil Melintang



Apabila tinggi titik A dimisalkan adalah = 100 m, maka

$$\Delta h_{A1} = bt_A - bt_1 \quad \rightarrow \quad H_1 = 100 + \Delta h_{A1}$$

$$\Delta h_{A2} = bt_A - bt_2 \quad \rightarrow \quad H_2 = 100 + \Delta h_{A2}$$

$$\Delta h_{A3} = bt_A - bt_3 \quad \rightarrow \quad H_3 = 100 + \Delta h_{A3}$$

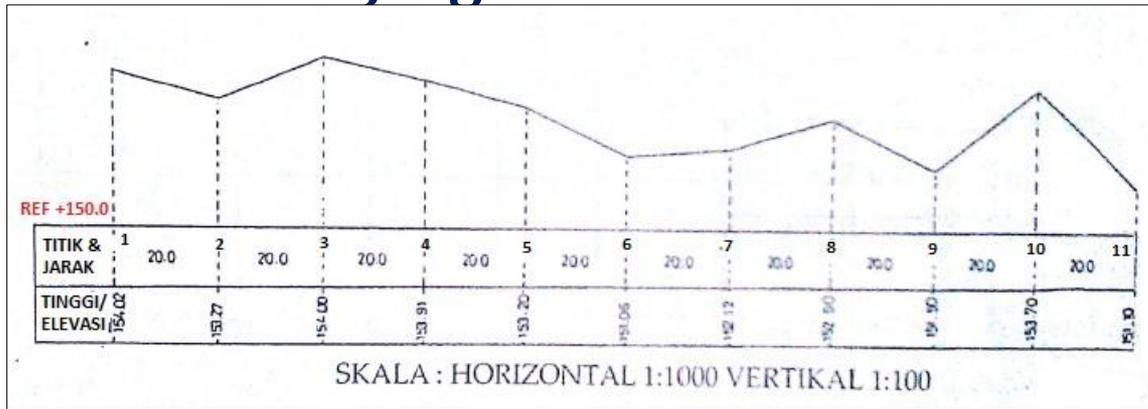
—

—

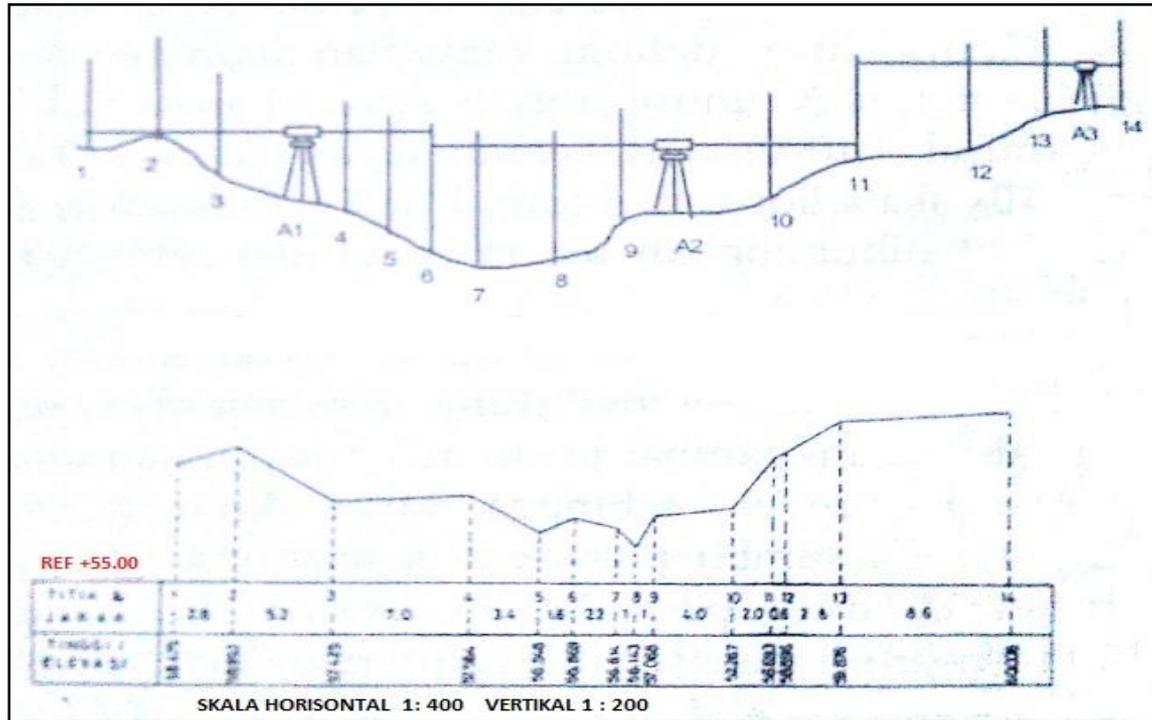
—

$$\Delta h_{A6} = bt_A - bt_6 \quad \rightarrow \quad H_6 = 100 + \Delta h_{A6}$$

Profil Memanjang



Profil Melintang



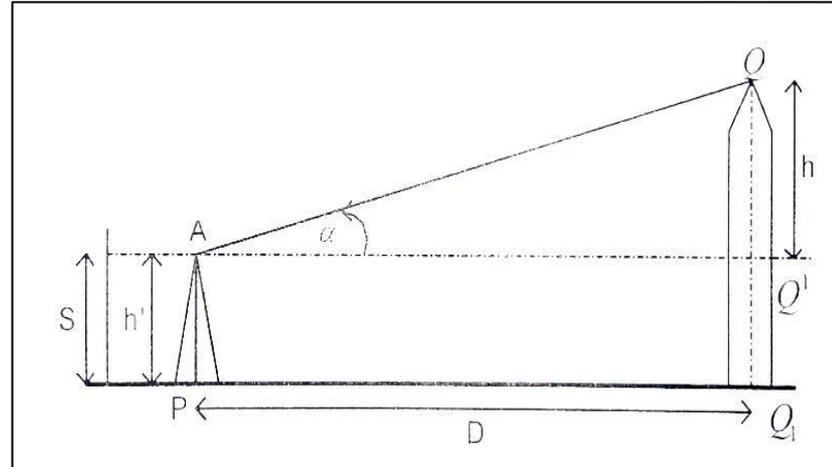
Sumber Kesalahan Pengukuran Penyipat Datar

- Bersumber dari alat ukur, antara lain :
 - Garis bidik tidak sejajar garis arah nivo
 - Kesalahan titik nol rambu
 - Rambu tidak benar-benar vertikal
 - Penyinaran pada alat tidak merata
- Bersumber dari juru ukur
 - Kurang paham pembacaan rambu
 - Mata lelah
 - Kondisi fisik lemah
 - Pendengaran kurang
- Bersumber dari alam
 - Kelengkungan permukaan bumi
 - Refraksi sinar
 - Undulasi
 - Kondisi tanah tidak stabil

Trigonometrik (Trigonometric levelling)

Merupakan penentuan beda tinggi dari titik-titik pengamatan dengan cara mengukur sudut miring atau garis vertikalnya dengan jarak yang diketahui. Terdapat beberapa kemungkinan dalam pengukuran dengan cara trigonometrik, yaitu

Jarak titik pengamatan ke obyek dapat diukur



Dari segitiga AQQ' :

Ketinggian titik Q = tinggi sumbu teropong + $D \operatorname{tg} \alpha$

Jika ketinggian titik P diketahui, maka tinggi titik Q = tinggi P + $h' + D \operatorname{tg} \alpha$.

Jika alat diletakkan di titik yang diketahui elevasinya (BM) dengan tinggi garis bidik pada bacaan rambu S, maka :

Tinggi titik Q = tinggi BM + S + $D \operatorname{tg} \alpha$

Trigonometrik (Trigonometric levelling)

Jarak titik pengamatan ke obyek tidak dapat diukur (dalam bidang vertikal yang sama)

➤ Pada alat ketinggian yang sama
Dari segitiga AQQ' maka $h = D \operatorname{tg} \alpha_1$
.....(1)

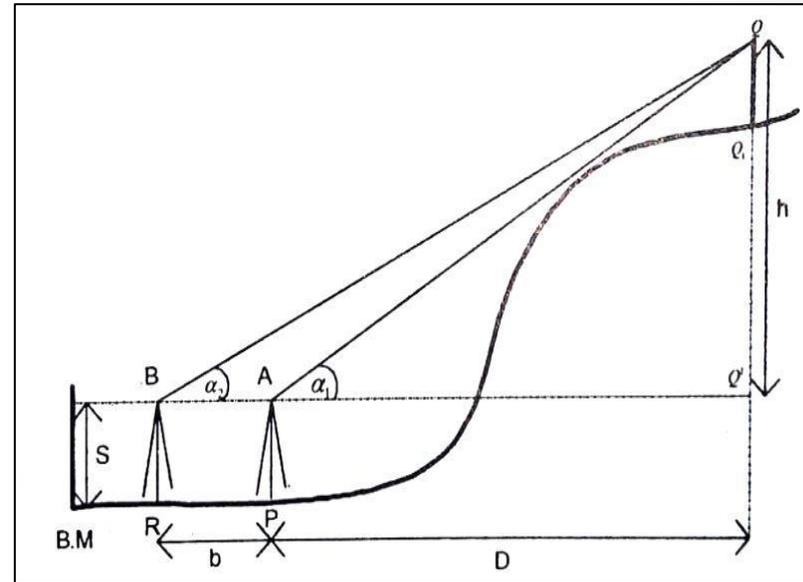
Dari segitiga BQQ', maka $h = (b + D) \operatorname{tg} \alpha_2$
.....(2)

Dari persamaan 1 dan 2 diperoleh :

$$D \operatorname{tg} \alpha_1 = (b + D) \operatorname{tg} \alpha_2$$

Atau

$$D (\operatorname{tg} \alpha_1 - \operatorname{tg} \alpha_2) = b \operatorname{tg} \alpha_2$$



Tinggi Q = tinggi BM + S + h

$$D = \frac{b \cdot \operatorname{tg} \alpha_2}{\operatorname{tg} \alpha_1 - \operatorname{tg} \alpha_2}$$

$$h = D \cdot \operatorname{tg} \alpha_1$$

$$h = \frac{b \cdot \operatorname{tg} \alpha_2 \cdot \operatorname{tg} \alpha_1}{\operatorname{tg} \alpha_1 - \operatorname{tg} \alpha_2}$$

Trigonometrik (Trigonometric levelling)

➤ Pada ketinggian alat yang berbeda

Kasus pertama $H_B > H_A$

dari segitiga Q₁AQ', maka : $h_1 = D \operatorname{tg} \alpha_1$ (1)

dari segitiga BQQ'', $h_2 = (b + D) \operatorname{tg} \alpha_2$ (2)

Dengan menguangkan (1) dan (2) didapat :

$$(h_1 - h_2) = D \operatorname{tg} \alpha_1 - (b + D) \operatorname{tg} \alpha_2$$

($h_1 - h_2$) adalah perbedaan tinggi alat ukur ,
 $S_2 - S_1 = s$ (misalkan)

$$\text{Maka } s = D \operatorname{tg} \alpha_1 - b \operatorname{tg} \alpha_2 - D \operatorname{tg} \alpha_2$$

Atau

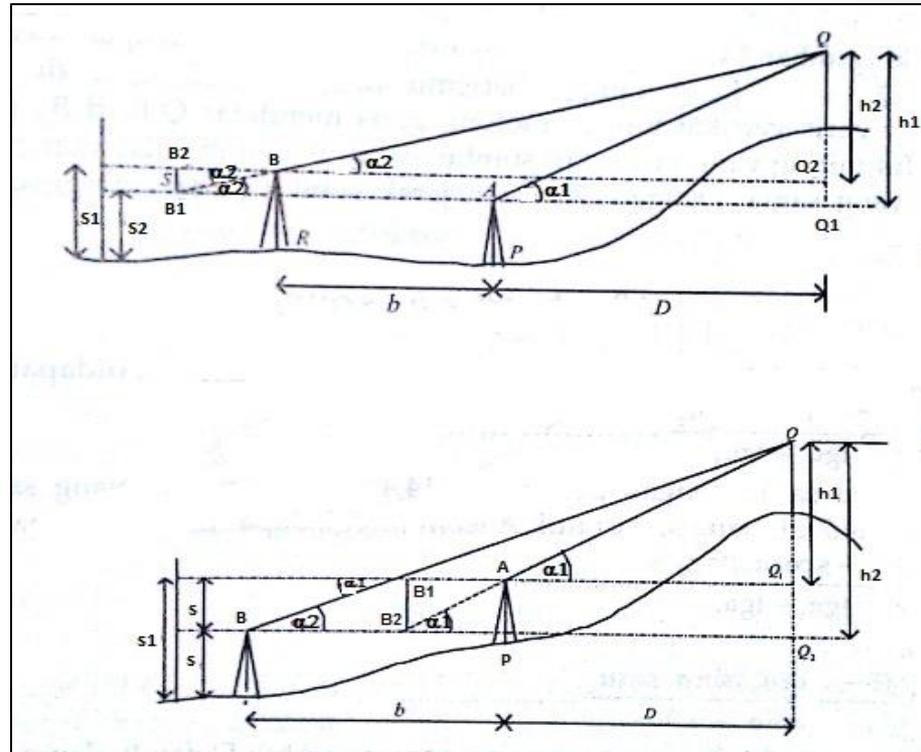
$$D (\operatorname{tg} \alpha_1 - \operatorname{tg} \alpha_2) = s + b \operatorname{tg} \alpha_2$$

$$D = \frac{s + b \operatorname{tg} \alpha_2}{\operatorname{tg} \alpha_1 - \operatorname{tg} \alpha_2}$$

karena $h_1 = D \operatorname{tg} \alpha_1$

$$h_1 = \frac{(b + s \cot \alpha_2) \operatorname{tg} \alpha_1 \operatorname{tg} \alpha_2}{\operatorname{tg} \alpha_1 - \operatorname{tg} \alpha_2}$$

$$h_1 = \frac{(b + s \cot \alpha_2) \sin \alpha_1 \sin \alpha_2}{\sin(\alpha_1 - \alpha_2)}$$



Trigonometrik (Trigonometric levelling)

- Demikian hal yang sama untuk kasus kedua $H_A > H_B$

Secara Umum persamaan untuk D dan h_1 dapat ditulis :

$$h_1 = \frac{(b \pm s \cot \alpha_2) \operatorname{tg} \alpha_1 \cdot \operatorname{tg} \alpha_2}{\operatorname{tg} \alpha_1 - \operatorname{tg} \alpha_2}$$
$$h_1 = \frac{(b \pm s \cot \alpha_2) \sin \alpha_1 \sin \alpha_2}{\sin(\alpha_1 - \alpha_2)}$$

Tanda (+) untuk $s \cot \alpha_2$ apabila tinggi alat A lebih rendah ,
dan tanda (-) apabila tinggi alat A lebih tinggi dari alat B

Barometrik (Barometric levelling)

Pengukuran beda tinggi antara dua titik dengan alat barometer dinamakan barometric levelling. Alat barometer sebenarnya mengukur variasi tekanan udara di setiap tempat, namun karena tekanan udara berkaitan dengan tinggi tempat maka dapat diukur beda tingginya.

Tekanan udara pada permukaan laut adalah 1 kg/cm^2 dan berkurang apabila ketinggian bertambah. Perbedaan 1 cm air raksa sebanding dengan kenaikan tinggi 108 meter.

Barometer terdiri dari dua tipe yaitu barometer air raksa dan barometer aneroid. Altimeter adalah barometer yang dibuat khusus untuk survey beda tinggi dengan ketelitian lebih tinggi dari barometer, bacaannya langsung diperoleh dalam meter atau feet, meskipun ada juga yang masih dalam milibar.