

MODUL 3

PENGUKURAN SUDUT

Pada modul 1 telah disinggung perkembangan alat ukur theodolit di masa lalu. Saat ini theodolit modern berkembang dari yang tipe analog menjadi tipe digital. Namun kedua jenis itu tetaplah theodolit, yang merupakan salah satu alat ukur sudut terpenting dalam ukur tanah, terbuat dari rangkaian alat-alat optik yang sangat sensitif. Bagaimana seorang Surveyor memperlakukan theodolit agar terhindar dari kerusakan merupakan bagian penting dari pengetahuan Surveyor Profesional selain pengetahuan tentang bagian-bagian dan fungsinya.

Pada modul ini akan dibahas tentang berbagai tipe theodolit, cara-cara perlakuan terhadapnya, bagian-bagiannya, dan cara-cara mengeset theodolit secara cermat. Pada kesempatan ini hanya diuraikan satu jenis theodolit namun demikian pada dasarnya theodolit memiliki konstruksi dasar yang sama.

Adapun standar kompetensi dan indikator yang hendak dicapai dengan materi ini: (1) Standar kompetensi, mahasiswa mampu menganalisis bagian-bagian theodolit dan mampu mendemonstrasikan pengaturannya secara tepat, (2) Indikatornya adalah mahasiswa mampu membedakan berbagai macam tipe theodolit, mampu menyebutkan cara-cara memperlakukan theodolit secara benar, mampu menyebutkan bagian dan fungsinya, dan mampu mengeset theodolit agar siap untuk digunakan.

PENGUKURAN SUDUT

A. Alat Ukur Sudut Theodolit

Fungsi utama theodolit adalah untuk mengukur sudut, baik sudut horisontal maupun sudut vertikal. Di samping untuk mengukur sudut, dengan bantuan peralatan tertentu dapat juga digunakan untuk mengukur jarak dan beda tinggi.

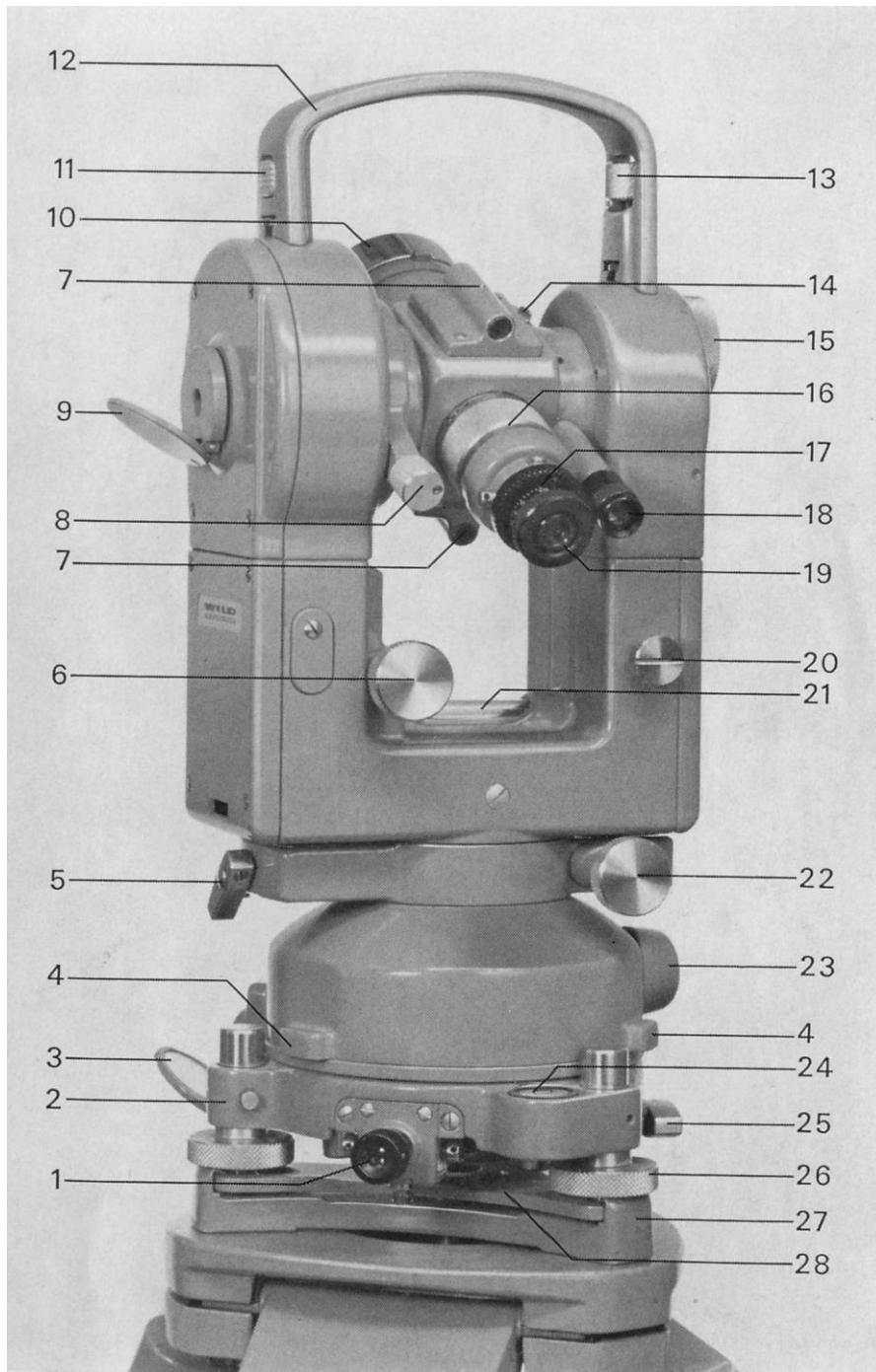
Umumnya theodolit mempunyai tipe sepasang sumbu (*double axis*) yang terdiri atas dua lempengan, atas dan bawah, dan masing-masing berputar pada sumbu I. Setiap lempengan dilengkapi dengan klem dan penggerak halus. Klem bagian bawah mengunci putaran lempengan bawah, sementara klem bagian atas mengunci kedua lempengan itu. Penggerak halus digunakan untuk penepatan bidikan ke target (*pointing*).

Theodolit analog mempunyai bacaan terkecil (*least count*) yang dapat diamati langsung sebesar 20", 10", 6", 5", 3", 2" atau 1". Pada model terdahulu digunakan sistem pembacaan analog, baik secara langsung dengan melihat piringan, maupun dengan mikrometer. Pada theodolit model terbaru (elektronik) digunakan pembacaan digital. Theodolit elektronik mempunyai bacaan terkecil 20", 10", 5" atau 1". Tampilannya menggunakan layar LCD, dan dilengkapi kemampuan tombol fasilitas 'menahan' dan 'set' bacaan piringan horisontal sesuai yang diinginkan pengamat.

Umumnya, theodolit elektronik semakin mudah digunakan, hasil ukurannya disajikan lebih cepat dan mampu mengubah putaran bacaan horisontal berlawanan arah jarum jam, mampu mengeset nol dengan menekan tombol yang disediakan. Beberapa dilengkapi fasilitas kompensasi elektronis untuk pengaturan kemiringan sumbu I.

1. Bagian-bagian Theodolit

Dalam menjelaskan bagian-bagian theodolit, dipakai tipe theodolit analog karena dapat diterangkan dengan lebih lengkap setiap bagiannya. Setiap bagian diberi angka dalam kurung sebagai petunjuk (Gb-3.1).



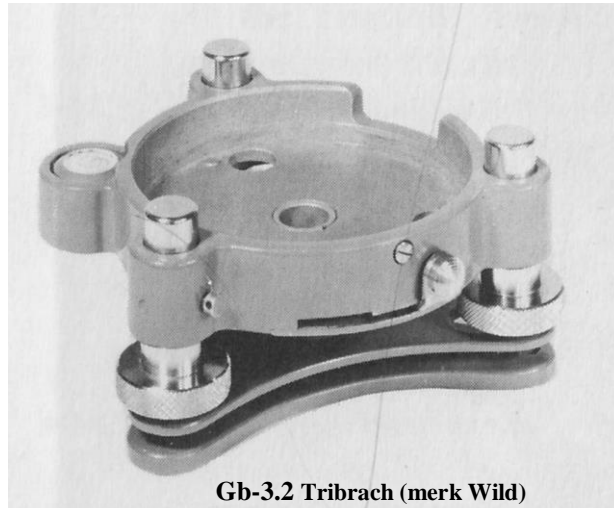
Gb-3.1 Theodolit analog Wild T2 dan bagian-bagiannya

Keterangan Gb-3.1:

1. Teropong sentering optik (*Optical plummet*).
2. *Tribrach*.
3. Cermin pemantul cahaya untuk bacaan lingkaran horisontal.
4. Titik penumpu. Ketika alat diletakkan dalam boks, alat ditumpu oleh titik ini.
5. Klem horisontal.
6. Skrup pemutar horisontal.
7. *Vizier* optik, dilengkapi titik untuk sentering di bawah atap.
8. Klem vertikal.
9. Cermin pemantul cahaya untuk bacaan lingkaran vertikal.
10. Lensa objektif.
11. Jepitan pengaman untuk pegangan-pembawa.
12. Pegangan-pembawa.
13. Skrup pengunci untuk pegangan-pembawa.
14. Pengungkit untuk pencahayaan. Jika digunakan cahaya elektrik, pengungkit ini digerakkan ke arah lensa objektif sampai terhenti.
15. Kenop mikrometer.
16. Lengan-putar pemfokusan objek bidikan.
17. Cincin bayonet, *eyepiece* terkunci di dalamnya.
18. *Eyepiece* mikroskop bacaan.
19. *Eyepiece* teropong dengan lensa dioptrik (lensa okuler).
20. Kenop pemilihan horisontal atau vertikal.
21. Pendatar pelat, atau nivo tabung.
22. Skrup pemutar horisontal.
23. Penutup untuk kenop pemutar lingkaran.
24. *Nivo* kotak.
25. Kenop pengunci *swivel*.
26. Sekrup kaki-kaki.
27. Pelat dasar.
28. Pelat lentur.

1. Bagian dasar alat (*Tribrach*)

Tribrach [2] lihat Gb-3.1, merupakan bagian dasar instrumen yang bisa dilepaskan dengan bagian theodolit lainnya, terdiri atas: tiga skrup kaki [26] atau sering dikenal skrup ABC yang berguna untuk membuat sumbu I (*standing axis*) vertikal, dan *optical plummet* [1] untuk sentering terhadap titik di permukaan tanah. Pelat dasar [27] mempunyai baut yang cocok dengan jenis statifnya. Pelat lentur [28] menekan kaki tiga pada pelat dasar. Selain itu terdapat pula nivo kotak [24] yang digunakan untuk pendekatan *leveling*, dan bersama-sama *optical plummet* [1] digunakan untuk *centring tribrach* jika instrumen tidak dipasang. Instrumen-theodolit dapat dipasang/dilepaskan dengan *tribrach* dengan kenop pengunci *swivel* [25] sehingga dapat ditukar peralatan lainnya secara tepat, cara ini disebut sentering paksa (*forced centring*).



Gb-3.2 Tribrach (merk Wild)

2. Bagian bawah

Bagian bawah terdiri atas roda-roda sentring (*centring flange*), sistem sumbu satu, piringan horisontal, dan bagian-bagian penghubung. Skrup sumbu dihubungkan dengan *tribrach* oleh *centring flange*. Lingkaran horisontal terdiri atas dua piringan: bagian bawah dan bagian atas. Pada piringan bawah terdapat skala utama, dan pada piringan atas terdapat *verniers*. Lingkaran dapat

diputar dengan kenop pemutar yang terlindungi [23] atau biasa disebut limbus. Cermin [3] meneruskan sinar ke lingkaran horisontal ini. Jika digunakan penyinaran elektrik, cermin ini harus digantikan, dan soket yang ada di sebelah kiri cermin harus dihubungkan dengan boks baterai.

3. Bagian atas (*Alidade*)

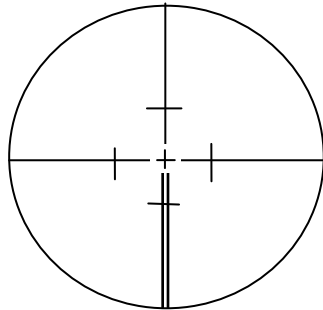
Alidade merupakan bagian atas instrumen yang dapat diputar mengelilingi sumbu I. Teropong dan mikroskop bacaan dihubungkan *tilting axis* (sumbu II) di antara dua penyangga. Nivo tabung (*plate level*) [21] digunakan untuk *leveling up*. Bagian kiri penyangga terdapat cermin cahaya [9], di dalamnya terdapat lingkaran vertikal dan indeks bacaan. Pada bagian kanan penyangga terdapat kenop pemutar mikrometer [15] dan kenop pemilih bacaan lingkaran [20]. Jika garis merah pada kenop pemilih menunjukkan horisontal, lingkaran horisontal yang terlihat dan dibaca dengan mikroskop pembacaan [18]. Jika garis merah pada kenop pemilih menunjukkan vertikal, lingkaran vertikal yang terlihat. Putar *eyepiece* mikroskop pembacaan [18] untuk memperjelas bacaan piringan. Klem horisontal dan penggerak halusanya [5,22] dan klem vertikal dan penggerak halusanya [8,6] digunakan untuk menepatkan bidikan teropong ke target. Bacaan putaran lingkaran vertikal berkisar 0° (*zenith*) sampai dengan 360° (kembali ke *zenith*).

Bagian paling atas terdapat pegangan-pembawa [12] yang dapat diganti dengan instrumen pelengkap lain, misalnya EDM. Penggantiannya dengan cara mengendurkan skrup pengunci untuk pegangan-pembawa [13], pemasangan EDM dengan menekan-lepaskan jepitan pengaman [11].

4. Teropong (teleskop)

Teropong dapat diputar dalam dua arah, ke kanan dan ke kiri, ke atas dan ke bawah. *Eyepiece* [19] dapat diputar untuk memperjelas benang *stadia* atau benang silang (Gb-3.3). Terdapat skala dioptrik untuk penyesuaian mata pengamat. Dengan memutar *bayonet ring* (skrup koreksi diafragma) [17], kedudukan garis bidik di dalam teropong dapat diatur. Terdapat *vizier* (*optical*

sight) [7] yang digunakan untuk membidik target secara pendekatan. Benang *stadia* mempunyai faktor pengali sebesar 100 kali, angka ini berfungsi pada penghitungan jarak secara optis. Target bidikan teropong dapat difokuskan dengan ronsel pemfokusan objek [16]. Untuk *eyepiece* standar, perbesaran teropong sebesar 30 kali. Secara umum, perbesaran berkisar 15 - 30 kali.



Gb-3.3 Benang stadia

Kelengkapan lain dari instrumen adalah boks, ada yang terbuat dari metal atau terbuat dari fiber. Perlu diketahui, beberapa istilah menunjukkan hal yang sama, antara lain: 1) statif = *tripod* = kaki tiga; 2) boks = kontainer; 3) *axis* = sumbu; 4) sumbu horisontal = sumbu II = *trunnion axis* = *transverse axis*; 5) sumbu vertikal = sumbu I = *standing axis*; 6) nivo kotak = *circular level*; 7) nivo tabung = *plate level*.

B. Set Up Theodolit

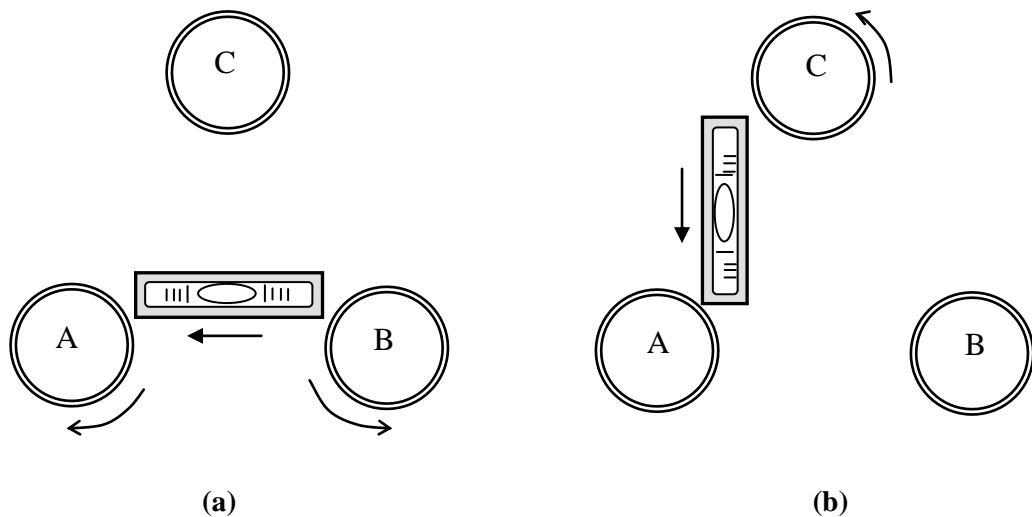
Mengeset theodolit bergantung pada kebutuhannya, misalnya mengeset untuk pekerjaan koreksi alat atau latihan mengukur, cukup dengan *leveling up*. Tetapi jika theodolit akan digunakan untuk mengukur sudut dan jarak di lapangan untuk keperluan pemetaan, perlu dilakukan *centring* pada titik tempat theodolit berdiri. Dengan demikian, definisi dari *leveling up* adalah prosedur membuat sumbu I dalam kedudukan vertikal di sembarang titik, sedangkan *centring* adalah proses membuat sumbu I vertikal tepat di atas titik pengamatan.

Dalam mengamati objek bidikan, perlu dilakukan **eliminasi paralaks**, yaitu pemfokusan lensa teropong untuk memastikan bayangan target terlihat jelas dan tepat berada di tengah benang silang yang terlihat jelas pula.

1. *Leveling up*

Telah disampaikan bahwa *leveling up* adalah prosedur membuat sumbu I benar-benar vertikal. Prosesnya menggunakan skrup ABC dan mengamati nivo. Prosedur ini harus dilaksanakan dengan penuh kehati-hatian. Hendaknya pengamat selalu mengecek kondisi *leveling up* ini, tidak hanya di awal pengamatan tetapi juga selama rentang waktu pengamatan.

Penyimpangan sumbu I akan menyebabkan miringnya piringan horisontal dari kedudukan horisontalnya, sehingga pengukuran sudut horisontal akan salah. Penyimpangan sumbu I berakibat pula pada penyimpangan sumbu II, yang berarti kedudukan piringan vertikal menyimpang dari arah vertikal, sehingga pengukuran sudut vertikal akan salah pula. Penyimpangan ini tetap ada mes-



Gb-3.4 Proses *leveling up*

kipun kedudukan teropong diputarbalikkan dari kedudukan BIASA menjadi LUAR BIASA. Dengan kata lain, kesalahan ini tidak dapat terkoreksi dengan cara pengamatan BIASA dan LUAR BIASA. Dengan demikian, **MENGATUR SUMBU I BETUL-BETUL VERTIKAL MERUPAKAN HAL YANG**

MUTLAK HARUS DILAKUKAN AGAR PENGUKURAN BISA AKURAT.

Tahapan *leveling up* sebagai berikut:

1. Buat kedudukan nivo tabung [21] sejajar dengan skrup AB (Gb-1.4a);
2. Tengahkan gelembung nivonya dengan cara memutar secara serentak sekrup A dan B dengan arah berlawanan secara bersama-sama (ke arah dalam atau keluar);
3. Putar kedudukan nivo tabung 90° (siku-siku) dengan perkiraan. Tengahkan gelembung nivonya dengan hanya memutar sekrup C (Gb-3.4b);
4. Putar nivo pada sembarang posisi, jika gelembung nivo selalu di tengah-tengah, *leveling* telah berhasil. Jika belum, ulangi tahap 1 - 4.

2. Centring

Tingkat kehati-hatian dalam *centring* sangat dituntut. *Centring* haruslah tepat pada ‘titik’ di bawah theodolit. Toleransi *centring* sebesar 0,5 mm. Kecepatan sentering bergantung pada keterampilan pengukurnya, kondisi medan, dan cuaca.

Adapun tahapan *centring* optis sebagai berikut:

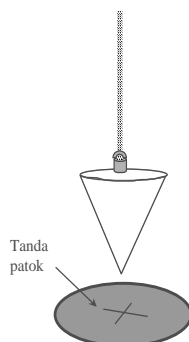
1. Pasang patok di tempat yang aman, beri tanda silang atau tanda titik di bagian tengahnya. Atau bisa ditancapkan paku seng jika pada permukaan yang keras.
2. Dirikan statif di atas titik, buka klem-klem ketiga kakinya, tarik kaki statif sedemikian hingga panjangnya kurang lebih setinggi dada atas, lalu kencangkan secukupnya klem-klem statif. Tengok titik di tanah dari lubang kepala statif, titik harus di bawah lubang kepala statif itu.
3. Pasang theodolit di atas statif, sekrupkan dengan tidak terlalu kencang antara statif - theodolit.
4. Putar skrup-skrup ABC [26] sehingga ketiganya berkedudukan ‘normal’ atau di tengah-tengah.

5. Lihat ke dalam teropong *centring*, titik di bawah theodolit harus terlihat jelas, demikian juga tanda *centring*-nya. Jika kurang jelas, putar skrup-skrup penjelasnya.
6. Angkat 2 kaki statif sambil mata melihat ke dalam teropong *centring*[1], tepatkan 'indeks *centring*' pada 'titik di tanah'.
7. Tancapkan ketiga kaki statif dengan menginjak bagian bawah sehingga statif berdiri kokoh.
8. Dengan mata melihat ke dalam teropong *centring*, himpitkan kembali 'indeks *centring*' dengan 'titik di tanah' dengan memutar skrup ABC.
9. Amati nivo kotaknya [24], tengahkan gelembungnya dengan memanjangpendekkan 2 kaki statif. Oleh karena itu, perlu dipilih skrup kaki statif mana yang dikendorkan untuk menaikkan atau menurunkan kaki statif. Agar efektif pergeseran gelembung nivonya, pilihlah skrup yang sejajar dengan pergerakan yang diinginkan gelembung nivo - tengah nivo.
10. Jika gelembung nivo kotak sudah tepat di tengah, amati nivo tabung dan tengahkan gelembungnya dengan menggunakan sekrup ABC dengan metoda "penyikuan", kemudian putar pada sembarang posisi. (Lihat cara *leveling up*).
11. Amati indeks *centring optical plummet* [1] apakah masih berhimpit dengan titik di tanah? Jika ya, maka theodolit siap digunakan. Jika belum, himpitkan lagi dengan cara membuka skrup statif-theodolit lalu GESER theodolit dengan sangat hati-hati sambil mata mengamati titik melalui *optical plummet*.
12. Amati nivo tabungnya, jika bergeser tengahkan dengan cara seperti pada tahap 10.

Di samping dengan cara optis, *centering* juga dapat dilakukan secara mekanis dengan unting-unting. Tahapannya sebagai berikut:

1. Tahap 1 sampai dengan 3 sama dengan *centring* optis.

2. Gantungkan unting-unting, dan tepatkan unting-unting yang bebas bergantung sehingga menunjuk ke titik di tanah (Gb-3.5) dengan cara menggeser-geser dan memanjangpendekkan kaki-kaki statif.



Gb-3.5 Penunjukan unting-unting

3. Amati nivo kotak, tengahkan gelembungnya dengan skrup ABC sebagaimana cara *leveling up*. Berikutnya amati nivo tabung, tengahkan gelembungnya dengan menggunakan skrup ABC sebagaimana cara *leveling up*.
4. Jika nivo tabung masih berada di tengah-tengah pada sembarang posisi, theodolit telah *centring*.

3. Eliminasi paralaks

Paralaks terjadi jika dalam pembidikan bayangan target tidaklah tepat benar pada benang silang. Agar terhindar dari paralaks ini, benang silang atau benang stadia hendaknya difokuskan secara hati-hati dengan *eyepiece* teropong [19] dekat lensa okuler, sehingga benang silang itu jelas dan tajam. Untuk membantu melakukannya bisa dengan mengarahkan teropong ke arah langit atau ke permukaan cerah yang seragam. Putar skrup *eyepiece* sehingga benang silang tajam-hitam, ini berarti skala dioptrik lensa telah diset tepat sesuai dengan mata pengamat. Jika terpenuhi, kondisi ini akan konstan untuk semua bidikan.

Setelah *eyepiece* [19] diset, selanjutnya membidik titik target. Bidik target dengan bantuan *vizier* [7]. Putar klem horisontal [5] dan vertikal [8]. Lihat melalui teropong *eyepiece* dan putar ronsel fokus [16] sehingga bayangan target terlihat jelas. Arahkan benang silang mendekati target dengan

bantuan skrup penggerak halus horisontal [22] dan vertikal [8]. Akhiri fokus-
ing dengan memutar ronsel fokusing [16] sedemikian hingga bayangan target
jelas dan bebas dari paralaks, yaitu tidak adanya pergerakan antara benang si-
lang dan bayangan target ketika mata atau posisi pengamat bergeser sedikit.

Untuk mengecek paralaks, pengamat menggerakkan kepala sedikit dari
beberapa sudut pandang. Jika ada gerakan antara target dan benang silang,
ronsel fokusing lensa-dalam [16] digunakan untuk mengoreksinya. Jika gagal,
teropong diarahkan lagi ke langit dan pemfokusan *eyepiece* dicek lagi.
Umumnya, dengan hanya sedikit gerakan lengan fokusing, paralaks sudah bisa
dikoreksi.

Perlu diketahui, pada beberapa alat, pemfokusan bayangan target tid-
aklah berpengaruh terhadap ketajaman benang silang. Tetapi pada alat yang
lain, ketika benang silang sudah hitam-jelas, kemudian teropong diarahkan
membidik target dan dilakukan fokusing target, bisa saja benang silang men-
jadi kurang jelas kembali. Untuk kasus ini, eliminasi paralaks dilakukan pada
setiap kali membidik dengan memutar *eyepiece* teropong dan ronsel fokusing
target.

C. Pointing (Membidik Titik Target)

Pointing adalah tindakan mengarahkan garis bidik teropong ke titik target.
Setelah theodolit leveling/sentering dan benang silang telah terfokus secara benar,
teropong diarahkan ke target. Selanjutnya, benang silang dibidikkan ke target
dengan bantuan visir, dan target difokuskan. Kemudian, benang silang di-
tumpanghimpitkan (*bisect*) dengan target dengan memutar skrup penggerak halus
horisontal [22]. Ketika benang silang mendekati target gerakan diperlambat, dan
jika telah tepat tumpang-himpit, gerakan dihentikan.

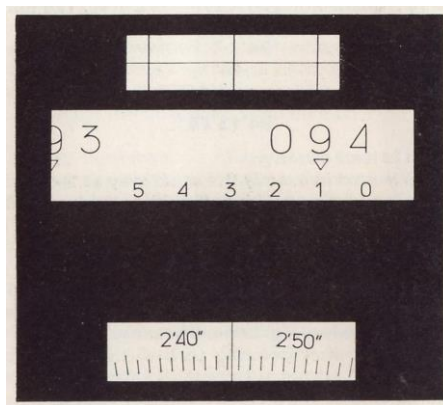
Berkaitan dengan kunci/klem dan sekrup, perlu ditekankan bahwa karena
theodolit terbuat dari piranti-piranti teliti yang sensitif, semua gerakan sekrup-
sekrup dan klem-klem harus dilakukan dengan penuh kehati-hatian. Klem-klem

jangan dikencangkan terlalu kuat, ini tidak hanya praktek yang buruk tetapi juga akan merusak instrumen.

D. Pembacaan Lingkaran/Piringan

Pada tempat yang teduh/redup, cermin pencahayaan [3 dan 9] dibuka dan diarahkan ke cahaya sehingga mikroskop pembacaan terkena sinar. Pada malam hari atau survei bawah tanah, dapat digunakan penyinaran elektrik.

Eyepiece [18] diputar sehingga garis-garis pembacaan jelas terlihat. Kenop pemilih [20] digunakan untuk memilih lingkaran yang akan dibaca. Contoh pembacaan pada Wild T2 seperti di bawah ini:



Gb-3.6 Model 360°. Wild T2. Kenampakan mikroskop bacaan setelah garis pembagiannya dihipitkan. Bacaan: $94^{\circ}12'44,3''$

Pada Gb-3.6 dibaca:

$$94^{\circ} + 10' + 2'44,3'' = 94^{\circ}12'44,3''$$

Angka satuan 4 terakhir pada $44''$ diambil dengan estimasi pada bacaan terkecil ($1''$) terdekat. Angka desimal 3 pada satuan detik, diperoleh dari estimasi bacaan.

Membaca sampai satuan terkecil (*least count*), dilanjutkan dengan estimasi satu angka bacaan lagi pada theodolit analog, wajib dilakukan untuk memperoleh hasil yang teliti sebagaimana spesifikasi alat tersebut. Hal ini tidak hanya pada bacaan theodolit, tetapi juga pada rambu ukur. Lain halnya dengan alat survei digital, seperti theodolit elektronik atau pun Total Station, pembacaan dilakukan apa adanya seperti ditampilkan di layarnya.

Setting bacaan horisontal

Bila dikehendaki, ketika membidik *Reference Object* (RO) bacaan horisontal dapat diset nol atau sebesar bearing atau asimut yang telah diketahui,

misalnya pada metode seri rangkap. Sebagai contoh dikehendaki $RO = 67^{\circ}20'30''$. Pada alat T2 Wild urutannya sebagai berikut: Bidik target sehingga tepat dan jelas berhimpit dengan benang silang. Besaran $20'30''$ diset dengan memutar skala mikrometer [15]. Kemudian buka limbus [23], putar tepatkan bacaan 67° . Setelah tepat, maka bacaan telah terset $67^{\circ}20'30''$, limbus [23] ditutup lagi untuk menghindari kesalahan kasar akibat terputarnya skrup ini.

Pada theodolit merek lain berbeda caranya. Besaran $20'30''$ diset dengan memutar skala mikrometer. Kemudian angka 67° diset dengan membuka klem horisontal, setelah mendekati angka tersebut klem ditutup, kemudian bacaan ditepatkan dengan penggerak halus horisontal. Setelah tepat, maka bacaan telah terset $67^{\circ}20'30''$. Selanjutnya, tepatkan benang silang ke objek yang dikehendaki dengan membuka klem limbus. Perlu diketahui bahwa memutar theodolit dengan membuka klem limbus ini tidak mengubah bacaan horisontalnya. Setelah mendekati objek, dengan bantuan *vizier* ditutup klem limbus, tepatkan benang silang pada objek dengan penggerak halus limbus. Setelah tepat, untuk membidik titik objek lainnya, buka klem horisontal (bukan klem limbusnya).

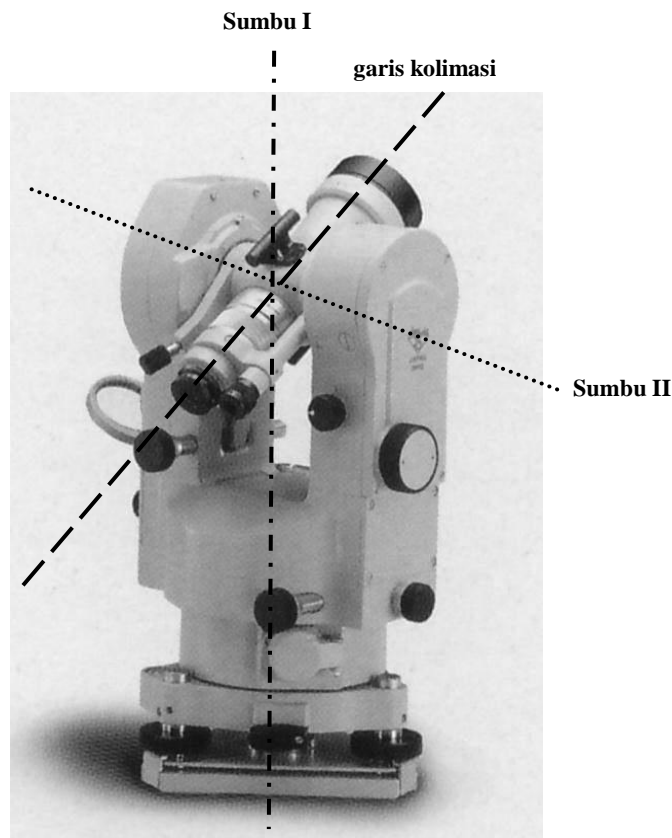
Beberapa keuntungan diperoleh dengan *setting* bacaan horisontal ini. Pertama, cara ini memudahkan pengontrolan hasil ukuran, misalnya ketika penghitungan sudut kanan. Dengan set $RO = \text{nol derajat}$, maka bacaan horisontal detail atau pun titik poligon lainnya sama dengan sudut kanan yang terbentuk terhadap RO . Kedua, cara tersebut memudahkan penghitungan asimut, misalnya pada pembidikan detail. Dengan set bacaan horisontal RO sebesar asimut yang diketahui, maka bacaan horisontal detail sama dengan besar asimutnya. Terakhir, ketiga, pada pengukuran asimut awal magnetis akan lebih baik jika arah utara yang ditunjukkan oleh jarum magnet disesuaikan dengan *setting* bacaan horisontal nol.

Bagi surveyor pemula proses ini sering dirasa membingungkan, namun dengan pemahaman prosedur yang baik dan latihan tekun maka *setting* bacaan horisontal ini menjadi mudah dan menantang.

Beberapa definisi terkait pemakaian theodolit

Berkaitan dengan pemakaian theodolit, beberapa istilah perlu dipahami oleh pengguna, antara lain:

- a) *Face left*, posisi lingkaran vertikal di sebelah kiri pengamat, dikenal dengan istilah kedudukan 'BIASA' (*direct*).
- b) *Face right*, posisi lingkaran vertikal di sebelah kanan pengamat, dikenal dengan istilah kedudukan 'LUAR BIASA' (*reverse*).



Gb-3.7 Posisi BIASA (Sokkia Co. Ltd)

- c) Sumbu I (Gb-3.7), yaitu sumbu tempat teropong berputar pada suatu bidang horisontal. Sumbu I melewati pusat dari lingkaran horisontal.
- d) Sumbu II, disebut juga sumbu *trunion* atau sumbu *traverse* (Gb-3.7), yaitu sumbu tempat teropong berputar pada suatu bidang vertikal. Sumbu II melewati pusat dari lingkaran vertikal.

- e) Sumbu teropong adalah garis imajiner yang menghubungkan pusat lensa objektif ke pusat lensa okuler.
- f) Garis kolimasi (garis bidik) adalah garis khayal yang menghubungkan pusat perpotongan benang silang (pada lensa diafragma) ke pusat lensa obyektif dan perpanjangannya (Gb-3.7).
- g) Dalam survei, umumnya setiap arah horisontal diamati dua kali, pertama kedudukan teropong *direct* (BIASA), dilanjutkan dengan kedudukan *reverse* (LUAR BIASA). Rata-rata bacaan kedua kedudukan itu akan mengeliminir kesalahan kolimasi, karena kesalahan-kesalahan itu tandanya berlawanan secara aljabar sehingga saling mengkompensasi. Demikian pula kesalahan indeks vertikal dapat dieliminir dengan cara pengamatan BIASA dan LUAR BIASA ini.

E. Kesalahan Garis Bidik Theodolit

a. Kesalahan kolimasi

Idealnya, garis bidik tegak lurus sumbu II. Tetapi tidaklah selalu demikian, hanya saja disyaratkan bahwa kesalahan kolimasi ini seminimum mungkin, atau lebih kecil daripada dua kali ketelitian bacaan horisontal theodolit yang bersangkutan. Oleh pabrik kesalahan kolimasi ini dibuat nol atau sekecil mungkin, tetapi karena kondisi sekitar seperti suhu, tekanan dan getaran, maka tidak lagi nol.

Walau pun dengan cara pengamatan BIASA dan LUAR BIASA, dan dihitung nilai rata-ratanya kesalahan ini akan tereliminir, tetap saja kesalahan kolimasi ini harus dibuat seminimum mungkin. Pelaksanaan pengoreksian kesalahan kolimasi itu sendiri berisiko merusak skrup-skrup diafragma, dan hanya boleh dilakukan oleh tenaga bengkel terampil jika sangat diperlukan.

Cara untuk menghitung kesalahan kolimasi sebagai berikut:

Sebelumnya perlu diketahui bahwa selisih bacaan BIASA dan LUAR BIASA seharusnya 180^0 . Hitungan koreksi direferensikan pada selisih itu. Misalnya titik P dibidik dengan Theodolit Sokkia TM20ES dalam kedudukan BIASA,

bacaan horisontalnya $H_B = 228^{\circ}14'54''$, selanjutnya teropong theodolit diputar balik menjadi kedudukan LUAR BIASA dan bidik kembali titik P, bacaan horisontal $H_{LB} = 48^{\circ}14'38''$. Kesalahan kolimasi (K) berdasarkan pengamatan tersebut adalah:

$$K = (H_B - H_{LB})/2 - 90^{\circ} = 8''$$

Berikutnya masih menggunakan theodolit yang sama, titik Q dibidik dalam kedudukan BIASA, bacaan horisontalnya $H_B = 38^{\circ}42'8''$, selanjutnya teropong theodolit diputar balik menjadi kedudukan LUAR BIASA dan bidik kembali titik Q, bacaan horisontal $H_{LB} = 218^{\circ}41'54''$. Kesalahan kolimasi berdasarkan pengamatan tersebut adalah:

$$K = (H_B - H_{LB})/2 - 90^{\circ} = 14''$$

Rata-rata kesalahan kolimasi (K) = $(8'' + 14'')/2 = 11''$. Besaran ini masih lebih kecil daripada dua kali ketelitian theodolit TM20ES, atau toleransi sebesar $2 \times 10''$ ($20''$).

b. Kesalahan indeks vertikal

Pada bidikan ke titik target yang sama, jumlah bacaan vertikal BIASA dan LUAR BIASA besarnya mendekati 360° . Besarnya angka selisih terhadap 360° itu adalah dua kali kesalahan indeks vertikal. Pada contoh (tabel 6) di atas kesalahan indeks vertikal (c) dapat dihitung sebagai berikut:

$$V_B = 60^{\circ}25'30'' , \quad V_{LB} = 299^{\circ}34'20'' , \quad V_B + V_{LB} = 359^{\circ}59'50''$$

$$2c = 360^{\circ} - 359^{\circ}59'50'' = 10'' , \quad c = 5''$$

maka:

$$V_B \text{ terkoreksi} = 60^{\circ}25'30'' + (5'') = 60^{\circ}25'35''$$

$$V_{LB} \text{ terkoreksi} = 299^{\circ}34'20'' + (5'') = 299^{\circ}34'25''$$

$$V_B \text{ terkoreksi} + V_{LB} \text{ terkoreksi} = 360^{\circ}$$

Jika kesalahan lebih dari $30''$ disarankan untuk dilakukan koreksi instrumen dengan prosedur tertentu. Pada buku modul ini tidak diberikan langkah-langkahnya karena pengoreksian alat itu hanya bisa dilakukan oleh Surveyor yang

telah mendalami peralatan survei secara profesional, kalau tidak pengoreksian justru akan merusak theodolit.

F. Perlakuan terhadap Instrumen

Instrumen-instrumen survei akan bekerja efisien, jika: (1) diperhatikan dan dipelihara dengan baik, dan (2) metode dan teknik survei yang digunakan sesuai dengan sifat dasar dan desain dasar instrumennya. Untuk itu, seorang surveyor seharusnya mengetahui cara-cara memelihara dan mengecek instrumen sebagai bagian pekerjaan profesionalnya. Bahkan cara membawanya pun harus diketahui, misalnya di dalam kendaraan dengan cara menghindari theodolit terkena benturan keras, cara terbaik adalah dipangku atau paling tidak diberi selimut / bantalan yang empuk.

1. Pemeliharaan

Setelah digunakan, instrumen dibersihkan dari kotoran dan debu yang melekat dengan katun halus bersih atau sikat halus bersih. Jika digunakan katun halus, usaplah berulang kali secara perlahan. Lensa-lensa dirawat dengan cara khusus. Meskipun diperbolehkan meniup-napasi lensa sebelum mengelapnya, dilarang memercikkan bahan-bahan cair seperti bensin, oli, air dan sebagainya untuk maksud pembersihan. Dilarang pula membersihkan lensa-lensa dengan tangan.

Jika instrumen basah, segeralah diusap secara hati-hati dan boksnya dibuka sesegera mungkin agar instrumen secepatnya kering. Jangan pernah membiarkan instrumen yang lembab dalam *boks* yang tertutup.

Ketika keluar dari pabrik, setiap instrumen dilengkapi kantong kecil berisi gel silikon yang merupakan kristal-kristal penyerap uap air, biru jika kering dan merah jambu jika telah terjadi penyerapan penuh. Jika telah merah jambu, jangan simpan instrumen dalam boks, karena instrumen akan bertambah lembab. Kristal merah jambu itu dapat dikeringkan kembali dengan memanaskannya dengan nampan kering yang dipanaskan, panasnya kurang lebih di atas temperatur air mendidih (dapat dicoba dengan meneteskan air ke

nampan). Jika terlalu panas, kristal akan pecah. Setelah kristal membiru, biarkanlah dingin. Kemudian bisa dimasukkan kembali ke dalam kantongnya. Usahakan selalu meletakkan gel silikon dalam boks tertutup, sebab jika dibiarkan pada tempat terbuka gel silikon itu akan menyerap uap air dari udara bebas.

Setiap instrumen dirawat agar terhindar dari tumbuhnya jamur. Oleh sebab itu, instrumen disimpan di tempat yang kering, ruangan bebas debu, dan tidak mempunyai fluktuasi temperatur yang tinggi. Pada iklim yang lembab seperti di Indonesia, instrumen dibuka dari boksnya lalu dibiarkan udara segar mengalir bebas. Untuk penyimpanan yang lama seperti di laboratorium, akan lebih baik instrumen diletakkan pada lemari berventilasi dan dilengkapi bohlam (*buble lamp*) penghangat.

2. Pengecekan

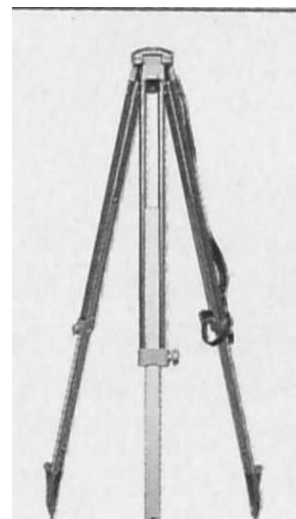
Pada awal pekerjaan lapangan, instrumen hendaklah dicoba sesuai dengan tahapan instruksi dan dalam kasus-kasus tertentu harus dikalibrasi. Prosedur ini juga dilakukan sesudah pekerjaan lapangan atau pun ketika instrumen telah terlalu lama tidak digunakan. Pengecekan ini perlu dilakukan rutin untuk menghindari kelambatan pekerjaan lapangan akibat instrumen yang tidak berfungsi optimal.

3. Cara mengeluarkan theodolit dari dalam boks:



Gb-3.8 Boks theodolit

- 1) Tempatkan boks (Gb-3.8) pada tempat datar dan pastikan boks tidak terbalik;
- 2) Lepaskan klem-klem pengunci boks;
- 3) Lihat dan ingat-ingat posisi theodolit dalam boks agar mudah saat meletakkannya kembali;



Gb-3.9 Statif

- 4) Angkat bagian tengah theodolit secara perlahan-lahan lalu sangga bagian bawahnya;
- 5) Letakkan theodolit ke statif (Gb-3.9), dengan salah satu tangan masih memegangnya, kaitkan dengan skrup statif, putar skrup itu tapi jangan terlalu keras. Perhatikan cermin pemantul cahaya, usahakan meletakkan theodolit pada posisi sehingga cermin itu dapat menangkap cahaya dan memantulkannya secara optimal ke bagian dalam alat;
- 6) Tutup rapat boks dan letakkan di tempat yang tidak mengganggu pengukuran, minimal berjarak 2 m dari kaki-kaki statif.

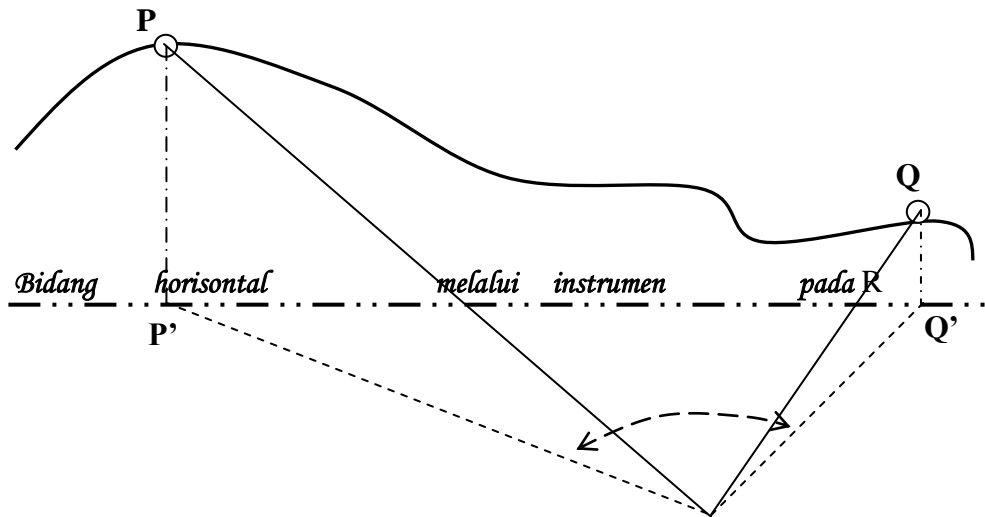
4. Cara meletakkannya kembali ke dalam boks:

- 1) Pastikan boks tidak terbalik;
- 2) Tutup cermin cahaya, kendorkan semua klem theodolit maupun klem-klem boks (jika ada) agar siap menerima instrumen; sering terjadi tutup cermin patah karena tidak ditutup;
- 3) Lepaskan theodolit dari statif dengan memutar sekrup statif dengan satu tangan; sementara tangan lainnya memegang theodolit;
- 4) Beberapa theodolit memiliki tanda (pada bagian luar lingkaran horizontalnya) yang harus dihipitkan sebelum dimasukkan dalam boks;
- 5) Jika kotor, bersihkan theodolit dari percikan air atau debu atau kotoran lainnya dengan bahan lembut, misalnya dengan katun lembut yang diusapkan beberapa kali;
- 6) Dengan mengingat letak theodolit saat membuka dan bentuk bagian dalam boks, letakkan theodolit secara hati-hati. Umumnya salah satu skrup ABC berada di atas, sedang dua lainnya di bawahnya. Pastikan lingkaran vertikal berada di tempat yang benar;
- 7) Tutup boks. Jika tidak ada ganjalan, peletakan sudah benar. Jika ada ganjalan, peletakan belum benar dan jangan ditutup paksa;
- 8) Klem boks theodolit, jika peletakannya sudah benar.

G. Sudut Horisontal

Ada dua macam sudut dalam survei pengukuran, yaitu: 1) sudut horisontal; dan 2) sudut vertikal. Sudut tidak diukur secara langsung, tetapi dihitung (*deduced*) dari pengukuran arah-arah. Secara praktis, sudut diturunkan dari selisih antara dua arah.

Sudut yang terbentuk pada bidang horisontal seperti yang terlihat pada Gb-3.8 berikut ini:



Gb-3.10 Sudut pada bidang horisontal R

Theodolit adalah instrumen yang digunakan untuk membaca arah pada suatu bidang horisontal, dan mengukur kemiringan (inklinasi) pada suatu bidang vertikal.

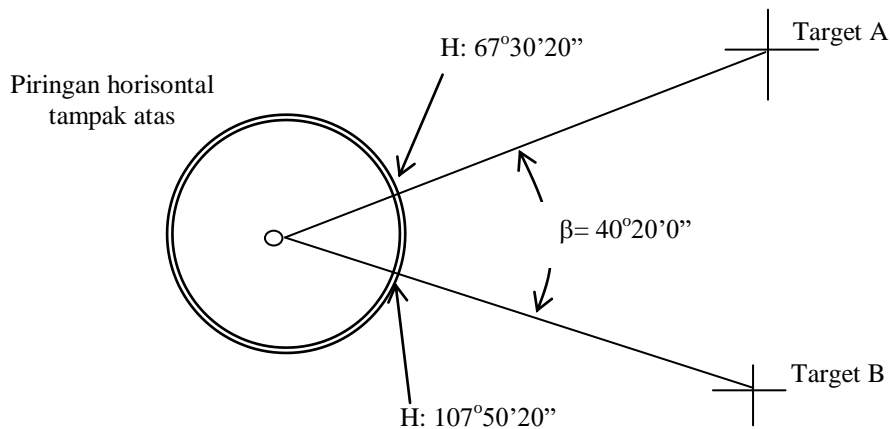
Arah horisontal beberapa titik yang diamati terbaca dalam skala horisontal. Sudut-sudut yang terbentuk dari beberapa arah titik tersebut dihitung dari bacaan arah-arah ini. Jika arah ke titik P dan Q dibaca dari titik R, sudut horisontal yang terbentuk dirumuskan $P'RQ'$, yang berarti sudut horisontal yang melalui R bukanlah sudut PRQ . Konsep ini sangat mendasar untuk memahami cara kerja theodolit. Jika sumbu I theodolit benar-benar vertikal, semua sudut yang dihitung adalah sudut-sudut pada bidang horisontal.

Sudut horisontal pada suatu titik terbentuk dari selisih dua arah horisontal. Dua arah horisontal tersebut bisa berupa dua bacaan lingkaran piringan horisontal di tempat pengamat, atau bisa juga berupa selisih arah dua asimut.

Jika theodolit didirikan pada suatu titik dan dibidikkan pada target-target, arahnya dapat dibaca pada skala piringan atau sering juga disebut bacaan arah.

Contoh:

Gb-3.11 diperlihatkan piringan horisontal theodolit dari pandangan atas. Oleh Izul theodolit diarahkan ke titik A, diperoleh arah dengan bacaan horisontal $67^{\circ}30'20''$. Selanjutnya diarahkan ke titik B, diperoleh bacaan horisontal $107^{\circ}50'20''$. Maka $\angle AOB$ adalah $\beta = 107^{\circ}50'20'' - 67^{\circ}30'20'' = 40^{\circ}20'0''$.



Gb-3.11 Sudut horisontal dari bacaan dua arah

Penting diperhatikan bahwa pada saat memutar theodolit dari target A ke target B harus penuh kehati-hatian jangan sampai piringan horisontal tergerakkan, misalnya dengan tanpa sengaja memutar kenop penggerak lingkaran [23] atau membuka klem limbus. Jika ini terjadi, hitungan sudut yang dibentuk dari dua bacaan tadi tidak lagi benar.

Sering kali, dalam menghitung selisih dua bacaan dihasilkan sudut negatif. Berikut ini diberikan contoh pada kasus yang sama seperti Gb-3.11.

Contoh:

Dibidik oleh Fikar target A, bacaan horisontalnya = $340^{\circ}20'51''$, dan bacaan horisontal target B = $20^{\circ}40'53''$. Maka $\angle AOB$ atau $\beta = 20^{\circ}40'53'' - 340^{\circ}20'51'' = -319^{\circ}39'58'' + [360^{\circ}] = 40^{\circ}20'02''$. Jadi, jika selisihnya negatif, hasilnya perlu ditambahkan 360° .

Sering dalam praktek, bacaan target A diset $0^{\circ}0'0''$ oleh pengamat. Cara mengesetnya dijelaskan pada bahasan [*setting* bacaan horisontal]. Dengan demikian $\angle AOB$ atau β sama dengan bacaan horisontal di target B. Kelebihan cara ini yaitu memudahkan penghitungan dan memperkuat kontrol kesalahan karena bacaan target B sekaligus sebagai sudut yang terbentuk.

Contoh:

Setelah piringan horisontal diset $0^{\circ}0'0''$ ke target A, dibidik target B bacaan horisontalnya $40^{\circ}20'10''$, maka $\angle AOB = 40^{\circ}20'13'' - 0^{\circ}0'0'' = 40^{\circ}20'13''$.

Selain mengeset nol, jika diketahui asimut OA dari hasil pengukuran sebelumnya atau dari penghitungan koordinat O dan A yang telah diketahui, arah OA bisa diset sebesar asimutnya itu.

Contoh:

Diketahui asimut OA = $45^{\circ}50'40''$. Bacaan horisontal theodolit diset sebesar bacaan itu ke arah A, kemudian dibidik target B dengan bacaan horisontal = $86^{\circ}10'5''$, maka $\angle AOB = 86^{\circ}10'5'' - 45^{\circ}50'40'' = 40^{\circ}19'25''$.

Jadi, ada tiga cara dalam mengarahkan pada target pertama (A) atau *Reference Object* (RO) atau *Back Sight* (BS) yaitu:

1. membidik apa adanya (sembarang)
2. mengeset sebesar $0^{\circ}0'0''$
3. mengeset sebesar asimut yang diketahui

$\angle AOB$ yang terbentuk dengan tiga cara itu mestinya sama, kalau pun ada selisih itu hanya karena ketelitian pengukuran.

Ketiga cara itu masing-masing mempunyai kelebihan dan kekurangan (Tabel 2). Kelebihan cara sembarang, pengambilan data ukuran di lapangan bisa berlangsung dengan cepat. Kekurangannya, kontrol data lapangan lemah karena sudut yang terbentuk harus dihitung dari selisih dua arah dengan angka bervariasi. Kelebihan cara kedua, kontrol data lapangan kuat karena bacaan horisontal sekaligus sebagai $\angle AOB$. Kekurangannya, pekerjaan lapangan menjadi agak lambat karena tiap kali instrumen berdiri perlu diset $0^0 0'0''$ ke titik A sebagai referensi. Kelebihan cara terakhir, hitungan menjadi cepat karena bacaan horisontal sekaligus sebagai asimut. Kekurangannya, kerja lapangan paling lambat karena perlu diketahui asimut RO terlebih dahulu.

Tabel 3.1 Kelebihan dan kekurangan *setting* bacaan horisontal

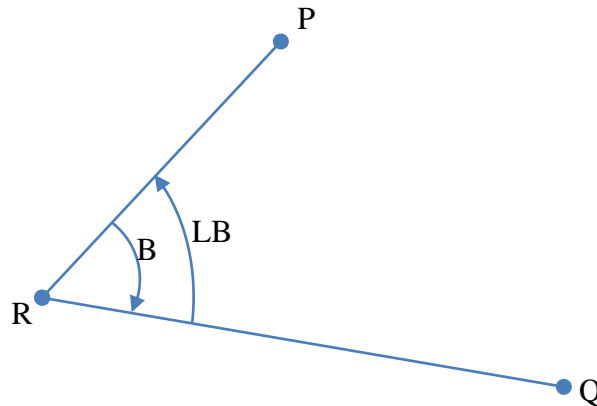
Cara	Kelebihan	Kekurangan
Sembarang	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Kerja lapangan cepat: tidak perlu diketahui koordinat referensi dan tidak perlu <i>setting</i> bacaan 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Kontrol data lapangan lemah: sudut yang terbentuk harus dihitung
Set nol	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Kontrol data lapangan kuat: bacaan horisontal sekaligus sebagai sudut 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Kerja lapangan agak lambat: tambahan proses <i>setting</i> nol ke RO
Set asimut	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Hitungan paling cepat: bacaan horisontal sekaligus sebagai asimut 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Kerja lapangan paling lambat: perlu diketahui asimut R.O

Dari ketiga cara itu, cara terbaik bergantung pada kebiasaan Surveyor dan progres ketersediaan data. Penulis sarankan digunakan cara kedua atau ketiga mengingat kesesuaiannya dengan cara seri rangkap yang akan diterangkan berikut.

Pengukuran sudut horisontal antara dua buah target merupakan pengukuran paling sederhana dalam poligon (*traverse*). Untuk pengukuran yang teliti, umumnya pengamatan dilakukan dalam dua kedudukan: BIASA dan LUAR BIASA, dilakukan beberapa kali, dan dihitung nilai rata-ratanya untuk mendapat 'nilai terbaik'.

Pengamatan untuk menentukan besarnya sudut dengan kedudukan BIASA dan LUAR BIASA disebut satu seri rangkap. Pada metoda ini diperoleh empat bacaan arah horisontal atau dua sudut. Urutan pengukuran sudut secara satu seri

rangkap sebagai berikut:



Gb-3.12 Pengukuran sudut secara satu seri rangkap

- 1) Pada kedudukan BIASA, *setting* bacaan nol pada target BS (*back sigt*), atau pada asimut yang telah ditentukan.
- 2) Arahkan teropong dengan putaran searah jarum jam, amati target-kanan (FS) dan baca piringan horisontalnya.
- 3) Putar balik teropong pada kedudukan LUAR BIASA, amati target-kanan (FS) dan baca piringan horisontalnya.
- 4) Arahkan teropong pada target-kiri (BS) dengan putaran berlawanan arah jarum jam, baca piringan horisontalnya.

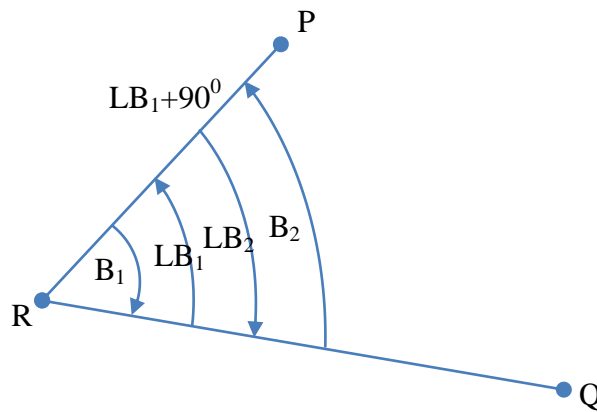
Jadi, jika diamati n seri rangkap akan diperoleh $4n$ bacaan horisontal dan $2n$ sudut. Jika diinginkan pengamatan yang lebih akurat, beberapa seri tambahan dapat dilakukan. Seri kedua dapat dilakukan dengan mengubah bidikan BS ditambah 90° . Jika empat seri pengamatan, penambahan bidikan BS-nya menjadi 45° , 90° , 135° . Dengan kata lain, jika n set pengamatan dikehendaki, penambahan /pengubahan bidikan BS-nya berubah dengan interval $180^\circ/n$.

Dalam pengukuran sudut untuk pengadaan kerangka dasar pemetaan seperti poligon, dilakukan pengukuran sudut secara dua seri rangkap:

- 1) Persiapkan peralatan yang dibutuhkan serta periksa kelengkapannya.
- 2) Pilih satu titik stasiun sembarang (R) di permukaan tanah, tandai titik tersebut dengan patok dan/atau paku payung. *Set up* theodolit tepat di atas titik R.

- 3) Tetapkan dua titik target (P dan Q). Titik target dapat berupa tanda silang [X] yang dipasang di tembok.
- 4) Pada kedudukan BIASA, bidik titik P dengan bacaan horisontal diatur = nol derajat . Pengaturan bidikan ini digunakan bagian theodolit: klem dan penggerak halus horisontal, klem dan penggerak halus vertikal, klem dan penggerak halus limbus, cermin pemantul cahaya, sekrup penjelas objek, sekrup penjelas bacaan piringan, dan mikrometer. Setelah tepat, catat bacaan horisontalnya ($0^0'0''$).
- 5) Putar teropong ke kanan, bidikkan ke titik Q, baca dan catat bacaan horisontalnya.
- 6) Putar balik teropong theodolit menjadi kedudukan LUAR BIASA, bidik target Q, baca dan catat bacaan horisontalnya.
- 7) Putar teropong ke kiri, bidik titik P, baca dan catat bacaan horisontalnya.
(Hingga di sini pengukuran satu seri rangkap telah dikerjakan)
- 8) Untuk seri berikutnya, masih dalam kedudukan LUAR BIASA, bidik titik P dengan menambahkan bacaan horisontal dengan suatu konstanta (misal: $90^0'0''$). Untuk pengaturan ini digunakan: klem dan penggerak halus horisontal, klem dan penggerak halus vertikal, klem dan penggerak halus limbus, cermin pemantul cahaya, sekrup penjelas objek, dan sekrup penjelas bacaan piringan. Setelah tepat, catat bacaan horisontalnya.
- 9) Putar teropong ke kanan, bidikkan ke titik Q, baca dan catat bacaan horisontalnya.
- 10) Putar balik kedudukan teropong theodolit menjadi BIASA, bidik titik Q, baca dan catat bacaan horisontalnya.
- 11) Putar teropong ke kiri, bidik titik P, baca dan catat bacaan horisontalnya.
(Hingga di sini pengukuran dua seri rangkap telah selesai dikerjakan).

Secara skematis, pengukuran sudut secara dua seri rangkap diilustrasikan pada Gb-3.13 berikut.



Gb-3.13 Pengukuran sudut secara dua seri rangkap

Tabel 3.2. Contoh hasil pengukuran sudut dua seri rangkap dengan Sokkia TM20ES

St	Target	Horisontal		Sudut		Ket
		Biasa	Luar Biasa	Biasa	Luar Biasa	
1		0 ⁰ 0'0"	180 ⁰ 0'12"			
2				150 ⁰ 33'22"	150 ⁰ 33'18"	Seri I
3		150 ⁰ 33'22"	330 ⁰ 33'30"			
1		90 ⁰ 0'2"	270 ⁰ 00'12"			
2				150 ⁰ 33'13"	150 ⁰ 32'56"	Seri II
3		240 ⁰ 33'15"	60 ⁰ 33'8"			

Analisis terhadap besaran pengamatan arah dan hitungan sudut yang dihasilkan wajib dilakukan, di mana harus masuk toleransi sebagai berikut:

- kesalahan bacaan B dan LB $\leq 2x$ ketelitian alat
- selisih antar sudut $\leq 1x$ ketelitian alat

Ketelitian Sokkia TM20ES adalah 10".

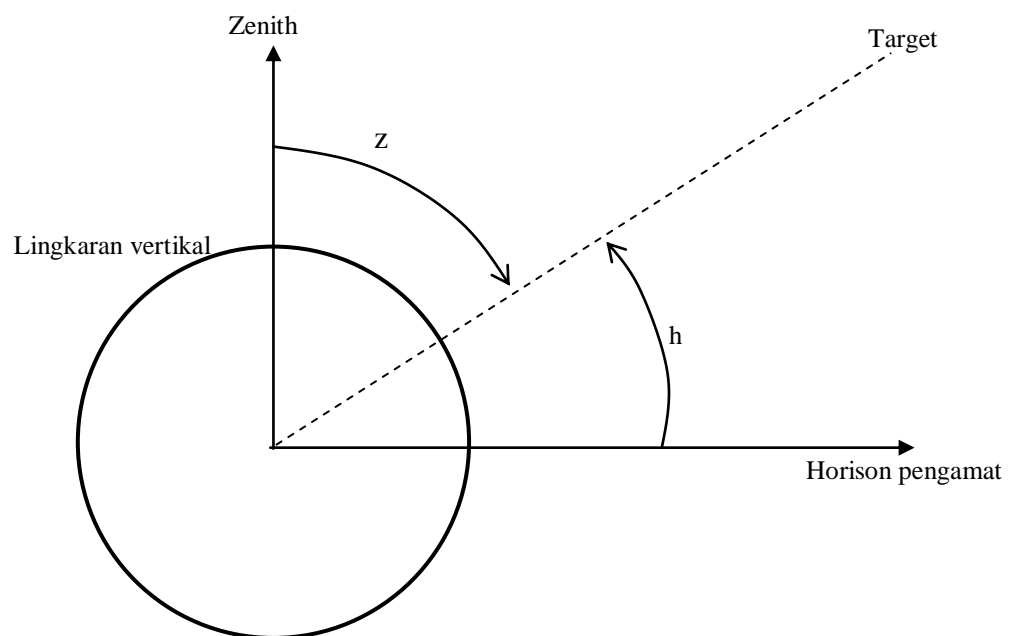
Dari toleransi a) tersebut, semua bacaan arah dinyatakan baik karena kesalahan bacaan B dan LB tidak lebih daripada 20". Akan tetapi terdapat satu sudut (150°32'56") yang selisihnya dengan sudut yang lain lebih besar daripada 10", sehingga ditolak dan harus dilakukan pengukuran ulang/tambahan sebagai pengganti. Misal didapatkan pengukuran ulang sebesar 150°33'15".

Maka sudut titik 2 adalah rata-rata dari keempat sudut yang telah masuk toleransi:

$$\beta_2 = (150^{\circ}33'22'' + 150^{\circ}33'18'' + 150^{\circ}33'13'' + 150^{\circ}33'15'') : 4 = 150^{\circ}33'17''$$

B. Sudut Vertikal

Sudut vertikal merupakan sudut pada bidang vertikal antara pengamat dengan target bidikan. Sudut vertikal bisa berupa sudut heling, yaitu sudut yang mengacu pada horison pengamat, atau bisa pula sudut zenith, yaitu sudut yang mengacu pada zenith pengamat.



Gb-3.14 Sudut zenith dan heling

Jika garis bidik terletak di atas horison pengamat, sudut vertikalnya dinamakan sudut *elevasi*, yang mempunyai tanda positif. Jika garis bidik terletak di

bawah bidang horisontal, sudut vertikalnya dinamakan sudut *depresi*, yang mempunyai tanda negatif. Terkadang, sudut vertikal ini disebut *altitude (heling)*, tandanya positif jika objek di atas horison, dan negatif jika objek di bawah horison pengamat.

Dalam ukur tanah yang menggunakan theodolit, sudut vertikal direferensikan terhadap *plumb line* (garis unting-unting) arah zenith. Sudut vertikal ini dinamakan sudut zenith (*zenith distance*). Elevasi sebesar 30° sama dengan sudut zenit sebesar 60° . Sudut vertikal -20° sama dengan sudut zenith 110° . Dari Gb-3.14 dapat dirumuskan:

$$h + z = 90^\circ$$

h adalah heling

z adalah zenit

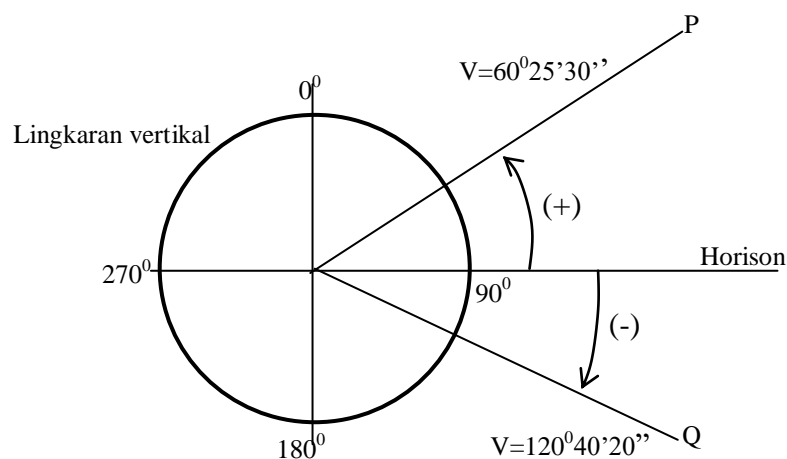
Data bacaan lingkaran vertikal tidak langsung berupa *heling*. Oleh sebab itu, bacaan vertikal itu perlu dihitung terlebih dahulu untuk mendapatkan *heling*, yang caranya berbeda antara kedudukan B dan LB. Pada posisi Biasa, arah horisontal tepat pada angka 90° , sedangkan pada kedudukan Luar Biasa arah horisontal tepat pada angka 270° . Dari Gb-3.15 dan Gb-3.16, *heling* dapat ditentukan sebagai berikut:

Kedudukan B: $h = 90^\circ - V$

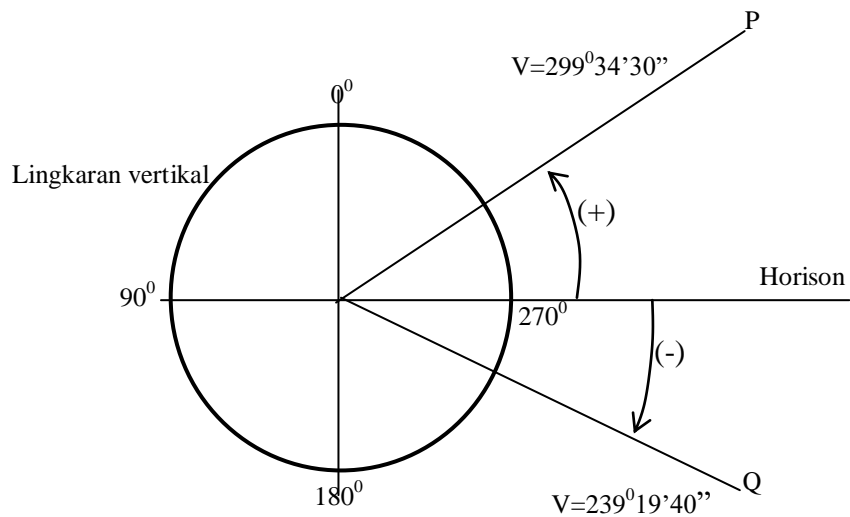
Kedudukan LB: $h = V - 270^\circ$

keterangan:

V adalah bacaan lingkaran vertikal



Gb-3.15 *Heling* pada posisi Biasa



Gb-3.16 Heling pada posisi Luar Biasa

Tabel 3.3 Penghitungan *heling*

Sta	Target	Bacaan Vertikal (V)		<i>heling</i> (h)	
		Biasa (B)	Luar Biasa (LB)	Biasa (B)	Luar biasa (LB)
O	P	60°25'30'	299°34'20''	29°34'30''	29°34'20''
	Q	120°40'20''	239°19'30''	-30°40'20''	-30°40'30''

Heling akhir adalah hasil rata-rata kedudukan Biasa dan Luar Biasa. Jadi *heling* titik P = 29°34'25'', *heling* titik Q = -30°40'25''.

Latihan

1. Apa perbedaan kedudukan Biasa dan Luar Biasa dalam hal kenampakan theodolit, bacaan vertikal dan bacaan horisontal?
2. Sebutkan tahapan-tahapan sentering, apakah tahapan-tahapan itu harus berurutan? Jelaskan.
3. Mengapa disarankan agar membidik RO/BS diset bacaan nol?

4. Diskusikan, apa akibatnya jika kita tidak mengeset theodolit sumbu I vertikal dengan baik?

Rangkuman

Saat ini, theodolit telah berkembang dari yang analog ke digital. Pada tipe analog kemampuan bacaan terkecil merupakan karakteristik theodolit yang patut diketahui oleh surveyor. Beberapa theodolit dilengkapi slot untuk pemasangan EDM. Total Station (TS) merupakan tipe theodolit yang menggabungkan pengukuran jarak secara elektronik dan sudut, dan mampu *download*-kan/*upload*kan data ke/dari komputer, serta mengolah data dengan komputasi *real time*. Pengukuran jarak dengan TS saat ini bisa tanpa reflektor.

Agar theodolit bekerja dengan baik, surveyor hendaknya mengetahui bagaimana cara memeliharanya, bagaimana cara mengeceknya, bagaimana cara mengeluarkannya dari boks, dan bagaimana cara meletakkannya kembali dalam boks.

Secara garis besar theodolit terdiri atas: tribrach, bagian bawah, alidade, dan teropong. Untuk mengetahui pengukuran dengan baik beberapa definisi berkaitan dengan penggunaan theodolit hendaknya diketahui oleh surveyor, misalnya *face left*, *face right*, berbagai jenis sumbu, dan kedudukan biasa dan luar biasa.

Mengeset theodolit untuk pengamatan ada tiga macam: (1) *Centring*: proses membawa sumbu I theodolit secara vertikal di atas titik pengamatan; (2) *Leveling up*: prosedur membuat sumbu benar-benar vertikal; dan (3) Eliminasi paralaks: pemfokusan teropong untuk memastikan bayangan target tepat berada di benang silang.

Tes Formatif 3

1. Jika ketelitian EDM = $\pm(5\text{mm}+3\text{ppm})$, berapakah ketelitian pengukuran jarak 1 Km ?
 - a. 5 mm
 - b. 8 mm
 - c. 3 mm
 - d. 15 mm
2. Kelebihan yang dimiliki Total Station dibanding theodolit:
 - a. Mampu mengukur sudut secara teliti
 - b. Mampu mengukur sudut jarak jauh
 - c. Mampu mengoleksi data secara digital dan *download* data
 - d. Beratnya ringan
3. Penyimpanan theodolit pada tempat tertutup di laboratorium sebaiknya dihangatkan dengan:
 - a. Lampu / bohlamp
 - b. Lilin
 - c. Sinar matahari
 - d. dibiarkan
4. Sebaiknya, untuk menghasilkan ukuran yang akurat, secara rutin theodolit:
 - a. digunakan
 - b. disegel
 - c. dikalibrasi
 - d. dihangatkan
5. Kedudukan *Biasa* ditandai dengan:
 - a. Visir di atas
 - b. Posisi sembarang pertama
 - c. Piringan vertikal di kiri pengamat
 - d. Piringan vertikal di kanan pengamat
6. Kedudukan *Biasa* ditandai bacaan lingkaran vertikal berkisar:

- a. $0^{\circ} - 180^{\circ}$
 - b. $0^{\circ} - 90^{\circ}$
 - c. $270^{\circ} - 360^{\circ}$
 - d. $180^{\circ} - 360^{\circ}$
7. Putar kanan pada posisi *Biasa* dan putar kiri pada posisi *Luar Biasa* sangat dianjurkan dalam pengamatan sudut theodolit, hal ini secara fisik terkait dengan:
- a. Hitungan sudut.
 - b. Adanya gesekan-gesekan kecil dan *backlash* pada alat.
 - c. Pengambilan data lebih.
 - d. Hanya mengada-ada saja.
8. Garis khayal yang menghubungkan pusat perpotongan benang silang ke pusat lensa objektif dan perpanjangannya dinamakan:
- a. Garis kolimasi/ garis bidik
 - b. Sumbu I
 - c. Sumbu II
 - d. Garis vertikal
9. Kesalahan pengukuran berikut dapat dieliminir dengan meratakan ukuran bacaan *Biasa dan Luar Biasa* yang benar, kecuali:
- a. Kesalahan garis kolimasi akibat tidak tegak lurus dengan sumbu horisontal (sumbu II)
 - b. Kesalahan diametral piringan
 - c. Kesalahan sumbu I tidak vertikal terhadap bidang mendatar
 - d. Kesalahan garis kolimasi akibat tidak paralel dengan sumbu altitude level
10. Sumbu I theodolit tepat pada titik tengah stasiun pengamatan:
- a. centering
 - b. leveling
 - c. paralaks
 - a. normal

11. *Vizier* berfungsi untuk:
- centering
 - membidik target secara pendekatan
 - menepatkan gelembung nivo
 - leveling
12. Pada sentering optis, gelembung nivo kotak diseimbangkan ke tengah dengan menggunakan:
- Kaki-kaki statif
 - Sekrup ABC
 - Focusing
 - Penggerak halus horisontal
13. Pemfokusan teropong untuk memastikan bayangan target tepat pada benang silang, dinamakan:
- centering
 - leveling
 - eliminasi paralaks
 - focusing
14. Pusat tengah lingkaran tidak berimpit dengan pusat putaran teropong, dinamakan:
- pointing
 - eksentrisitas
 - paralaks
 - kolimasi
15. Bacaan horisontal yang paling mungkin pada theodolit analog dengan ketelitian 10'':
- $145^{\circ}59'52''$
 - $145^{\circ}59'51,5''$
 - $145^{\circ}59'51,25''$
 - $145^{\circ}59'50,3''$

Cocokkan jawaban Saudara dengan kunci jawaban tes formatif 3 yang ada pada halaman akhir modul ini. Hitunglah jawaban Saudara yang benar (B), hitunglah tingkat penguasaan Saudara dengan formula berikut ini:

$$\text{Tingkat penguasaan} = B / N \times 100\%$$

N adalah jumlah soal

Contoh:

Jawaban yang benar 10, maka

$$\text{Tingkat penguasaan} = 10/15 \times 100\% = 66,66\%$$

Jadi, penguasaan Saudara = 66,66%

Jika penguasaan Saudara sama dengan atau lebih dari 80%, Saudara dapat melanjutkan pada modul berikutnya. Jika penguasaan Saudara yang benar kurang dari 80%, Saudara sebaiknya membaca kembali modul 3 di atas, utamanya bagian yang belum Saudara kuasai.

=====