

CATATAN KULIAH ILMU UKUR TANAH



Yuli Kusumawati, S.T., M.T.

CATATAN KULIAH ILMU UKUR TANAH

Disusun oleh:
YULI KUSUMAWATI, S.T., M.T.

*Allah, tidak ada Tuhan selain Dia.
Yang Maha Hidup, yang terus-menerus mengurus (makhluk-Nya),
tidak mengantuk dan tidak tidur.
Milik-Nya apa yang ada di langit dan apa yang ada di bumi.
Tidak ada yang memberi syafaat di sisi-Nya tanpa izin-Nya.
Dia mengetahui apa yang ada di hadapan mereka dan apa yang ada di belakang mereka
dan mereka tidak mengetahui sesuatu apapun tentang ilmu-Nya melainkan apa yang Dia kehendaki.
Kursi-Nya meliputi langit dan bumi. Dan Dia tidak merasa berat memelihara keduanya,
dan Dia Maha Tinggi, Maha Besar.
(QS. Al Baqarah : 255)*

DAFTAR ISI

1. KONSEP DASAR	1
1.1. Surveying	1
1.2. Peranan Survei Dalam Pertambangan	1
1.3. Peta	1
1.3.1. Jenis-Jenis Peta	2
1.3.2. Skala Peta	2
1.3.3. Proyeksi Peta	3
2. KEANDALAN DAN KESALAHAN PENGUKURAN	4
2.1. Keandalan Pengukuran	4
2.2. Kesalahan Pengukuran	4
2.2.1. Sumber-Sumber Kesalahan	4
2.2.2. Jenis-Jenis Kesalahan	5
2.3. Satuan Ukuran	5
2.3.1. Satuan Ukuran Panjang	5
2.3.2. Satuan Ukuran Sudut	5
2.3.3. Satuan Ukuran Luas	5
2.3.4. Satuan Ukuran Volume	6
2.4. Angka Signifikan	6
3. SUDUT, AZIMUT, DAN BEARING	7
3.1. Sudut Vertikal	7
3.2. Sudut Horisontal	7
3.3. Azimut (Sudut Jurusan)	7
3.4. Bearing (Sudut Arah)	8
3.5. Hubungan Azimut Dan Bearing	8
3.6. Deklinasi magnetik	8
4. PENENTUAN POSISI OBJEK	9
4.1. Fungsi Trigonometri	9
4.2. Sistem Koordinat	10
4.3. Poligon	11
4.3.1. Perhitungan Poligon Terbuka	12
4.3.2. Perhitungan Poligon Tertutup	14
4.4. Mengikat Ke Muka	16
5. PENGUKURAN DENGAN PITA UKUR	18
5.1. Pengukuran Jarak	18
5.2. Pengukuran Jarak Dengan Pita Ukur	19
5.3. Offset	20
6. PENGUKURAN DENGAN TEODOLIT	22
6.1. Teodolit	22
6.2. Pengukuran Sudut Horisontal	24
6.3. Pembacaan Rambu	26
6.4. Tacheometri	27
6.4.1. Sistem Stadia	27
6.4.2. Sistem Tangensial	28
6.5. Kesalahan Centering	29
7. PENGUKURAN SIPAT DATAR	30
7.1. Metode Pengukuran Beda Tinggi	30
7.2. Pengukuran Sipat Datar	31
7.2.1. Penempatan Waterpas	32
7.2.2. Pengaturan Waterpas	33
7.2.3. Pembacaan Rambu	34
7.2.4. Prosedur Pengukuran Sipat Datar	34
7.2.5. Pencatatan Pengukuran Sipat Datar	35
7.3. Profil Memanjang Dan Profil Melintang	36

7.4.	Kontur	38
7.4.1.	Pengukuran Kontur	39
7.4.2.	Cross section	41
8.	PERHITUNGAN LUAS DAN VOLUME	42
8.1.	Perhitungan Luas	42
8.1.1.	Perhitungan Luas Cara Numeris	42
8.1.2.	Perhitungan Luas Cara Grafis	43
8.1.3.	Perhitungan Luas Cara Mekanis Grafis	43
8.2.	Perhitungan Volume	43

PENGANTAR

Alhamdulillahrabbi'l'alamiin, berkat kuasa dan kasih sayang dari ALLAH SWT akhirnya Catatan Kuliah Ilmu Ukur Tanah ini bisa diselesaikan.

Catatan Kuliah Ilmu Ukur Tanah ini diperuntukkan bagi mahasiswa teknik baik tingkat diploma maupun sarjana, yang ingin mendapatkan pengetahuan dasar mengenai pengukuran di permukaan tanah. Secara khusus catatan kuliah ini dirancang agar mahasiswa dapat memahami konsep dasar ilmu ukur tanah dan memiliki keterampilan dalam pengukuran, pengolahan, dan penyajian data hasil pengukuran kaitannya dengan kegiatan perencanaan, perancangan, dan pelaksanaan kegiatan keteknikan.

Materi dalam catatan kuliah ini merupakan rangkuman dari beberapa referensi yang disajikan secara ringkas dan mudah dipahami namun tetap mencakup esensi dari setiap teori yang berkaitan dengan pengukuran tanah. Pokok bahasannya meliputi pengertian survei, pengetahuan peta, keandalan dan kesalahan pengukuran, jarak, sudut, azimut, bearing, poligon, pengukuran dengan pita ukur, pengukuran dengan teodolit, pengukuran sipat datar, perhitungan luas dan volume. Disamping itu disajikan pula contoh soal sederhana untuk membantu pemahaman materi.

Mengingat keterbatasan yang ada, maka catatan kuliah ini masih banyak kekurangan dan perlu perbaikan. Oleh karena itu masukan dan saran sangat diharapkan untuk penyempurnannya.

Penyusun menghaturkan terima kasih kepada Bapak Drs. Rofingoen Rozikoen, M.T., Mr. Nicholàs de Hilster, rekan-rekan di Pusat Survei Geologi dan semua pihak yang telah berkontribusi dalam penyusunan catatan kuliah ini. Tentunya penghargaan yang besar penyusun berikan kepada suami dan anak-anak atas pengertian dan dukungannya yang tidak pernah surut.

Mudah-mudahan catatan kuliah ini bisa menjadi amal kebaikan penyusun dan dapat memberikan manfaat yang sebesar-besarnya.

Bandung, Januari 2014

Yuli Kusumawati S.T., M.T.

1. KONSEP DASAR

1.1. Surveying

Surveying (pengukuran) adalah suatu disiplin ilmu yang mencakup semua metode mengukur, memproses, dan menyebarkan informasi mengenai bentuk fisik bumi dan lingkungannya. Secara sederhana, surveying meliputi pekerjaan pengukuran jarak dan sudut. Jarak bisa berupa jarak dalam arah vertikal (yang disebut juga ketinggian) maupun jarak horisontal. Begitu juga dengan sudut, bisa diukur dalam bidang vertikal maupun horisontal.

Berdasarkan luas cakupan daerah pengukurannya, surveying dikelompokkan menjadi:

1. Survei geodesi (*geodetic surveying*), dengan luas cakupan pengukuran lebih dari 37km x 37km. Rupa muka bumi merupakan permukaan lengkung.
2. Survei tanah datar (*plane surveying*) atau ilmu ukur tanah, dengan luas cakupan pengukuran maksimum 37km x 37km. Rupa muka bumi dianggap sebagai bidang datar.

Kegiatan survei terdiri dari pekerjaan lapangan dan pekerjaan kantor. Pekerjaan lapangan secara garis besar meliputi pengukuran kerangka dasar horisontal, pengukuran kerangka dasar vertikal, dan pengukuran detil. Sedangkan pekerjaan kantor meliputi perhitungan dan penggambaran.

1.2. Peranan Survei Dalam Pertambangan

Survei tambang (*mine surveying*) merupakan bagian dari ilmu ukur tanah, mencakup teknik-teknik khusus yang diperlukan untuk menentukan posisi dan gambar proyeksi objek baik di bawah tanah (tambang bawah tanah) maupun di permukaan tanah (tambang terbuka).

Peranan survei di bidang pertambangan antara lain:

1. Penyediaan informasi topografi yang berkaitan dengan keperluan eksplorasi.
2. Penentuan titik lokasi boreholes, testpits, trenches.
3. Pembuatan model cadangan bahan galian.
4. Pembuatan desain tambang.
5. Pengukuran kemajuan tambang.
6. Pengukuran space-border dan depth untuk peledakan.
7. Pemasangan guide line pada tambang bawah tanah.
8. Penentuan arah dan batas-batas yang akan digali sesuai dengan rencana yang telah ditetapkan.
9. Penentuan area yang mempunyai potensi bahaya untuk penggalan.
10. Perhitungan volume cadangan.

1.3. Peta

Peta adalah gambaran dari sebagian atau keseluruhan permukaan bumi pada bidang datar dengan skala dan sistem proyeksi tertentu.

Perbedaan permukaan bumi dan peta adalah sebagai berikut:

Permukaan bumi:

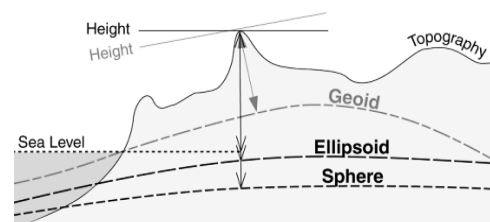
- bidang lengkung
- bidang tidak beraturan
- bidang yang luas
- bentuk dan luas dipengaruhi proses alamiah

Peta:

- bidang datar
- bidang beraturan
- bidang dengan luas terbatas
- bentuk dan luas tetap

Untuk memindahkan keadaan permukaan bumi ke peta diperlukan bidang perantara, yaitu:

1. Bidang elipsoid, untuk luas area $\geq 55.000\text{km}^2$.
2. Bidang bulatan, untuk luas dengan ukuran terbesar $\leq 100\text{km}$.
3. Bidang datar, untuk luas dengan ukuran terbesar $\leq 55\text{km}$.



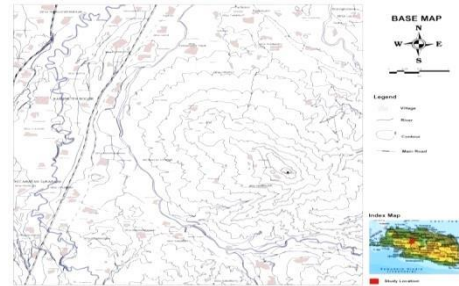
Gambar 1.1 Bentuk permukaan bumi

http://campus.everettec.edu/Departments/sciences/kyuste/Earth_Shape.htm

1.3.1. Jenis-Jenis Peta

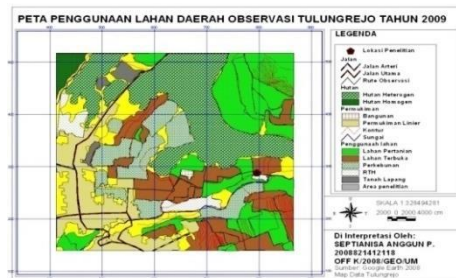
Berdasarkan sumber datanya:

1. Peta induk, dihasilkan dari survey langsung di lapangan dan dilakukan secara sistematis dengan aturan yang sudah baku.
Peta induk dapat digunakan sebagai peta dasar (acuan) untuk kerangka geometris peta lainnya.
2. Peta turunan, peta yang dibuat berdasarkan acuan peta yang sudah ada, sehingga tidak diperlukan survey langsung ke lapangan.



Gambar 1.2 Peta topografi

Berdasarkan jenis datanya:



1. Peta topografi, menggambarkan semua unsur topografi di permukaan bumi, baik unsur alam (sungai, danau, hutan, gunung, garis pantai, dll) maupun unsur buatan manusia (jalan, jembatan, permukiman, dll), serta keadaan relief permukaan bumi.
2. Peta tematik, menyajikan data dengan tema tertentu baik kuantitatif maupun kualitatif dalam hubungannya dengan detail topografi yang spesifik. Contoh peta tematik yaitu, peta geologi, peta anomali gaya berat, peta tata guna lahan, dll.

Gambar 1.3 Peta tematik

Berdasarkan skalanya:

1. Peta skala besar (1:500 sampai dengan 1:10.000), bisa menyajikan data topografi secara rinci. Skala besar umumnya digunakan untuk pemetaan teknis atau perencanaan.
2. Peta skala sedang (1:25.000 sampai dengan 1:250.000), bisa menyajikan gambar dalam ukuran semi rinci (ada pengelompokan data yang sejenis). Skala sedang umumnya digunakan untuk pemetaan dasar topografi nasional.
3. Peta skala kecil (1:500.000 atau yang lebih kecil), menyajikan data dalam ukuran kecil dan sudah disederhanakan. Skala ini digunakan untuk pembuatan atlas.



Gambar 1.4 Peta foto/citra

Berdasarkan cara penyajiannya:

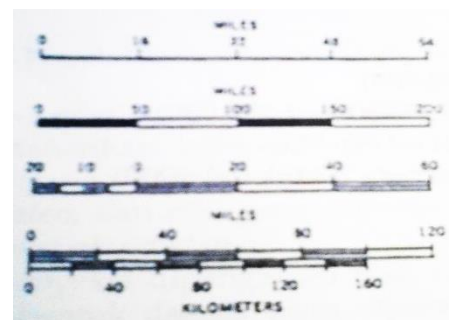
1. Peta Garis: objek-objek yang ada di permukaan bumi digambarkan sebagai titik dan garis.
2. Peta Foto/Citra: objek-objek yang ada di permukaan bumi ditampilkan dalam bentuk foto/citra yang memiliki nilai kecerahan tertentu.

1.3.2. Skala Peta

Skala adalah perbandingan suatu jarak di atas peta dengan jarak yang ada di permukaan bumi. Penentuan skala peta berkaitan dengan isi, ketelitian dan kegunaan peta.

Skala peta dapat dinyatakan dengan:

1. Skala grafis, skala peta digambarkan dengan garis lurus yang dibagi dalam interval tertentu yang menyatakan suatu besaran panjang.
2. Skala numeris, yaitu menuliskan secara langsung besaran skala pada peta.



Gambar 1.5. Skala grafis

1.3.3. Proyeksi Peta

Proyeksi peta adalah suatu sistem yang memberikan hubungan antara posisi titik-titik di permukaan bumi dan di atas peta. Sistem proyeksi yang menggunakan bidang datar sebagai bidang proyeksi disebut proyeksi azimutal, yang menggunakan bidang kerucut disebut proyeksi kronik, dan yang menggunakan bidang silinder disebut proyeksi merkator.

Pemilihan sistem proyeksi dipengaruhi oleh lokasi dan bentuk daerah yang dipetakan, tujuan pemetaan, unsur yang dipertahankan, tingkat kesulitan perhitungan, dan keterkaitan dengan sistem pemetaan nasional. Pada daerah yang relatif sempit maka permukaan bumi dianggap sebagai bidang datar, sehingga penggambaran hasil pengukuran tidak perlu menggunakan sistem proyeksi peta.

Sistem proyeksi yang digunakan dalam beberapa lembar peta topografi skala sedang dan kecil di Indonesia adalah Proyeksi Polyeder (merupakan bagian dari Proyeksi Lambert), Proyeksi Mercator, dan Proyeksi Universal Transverse Mercator (UTM).

1. Proyeksi Lambert

Sistem proyeksi Lambert, yaitu sistem proyeksi kerucut normal conform. Artinya sistem proyeksi menggunakan bidang kerucut sebagai bidang proyeksi, dengan kedudukan normal, dan sifat distorsinya conform. Kedudukan bidang proyeksi tersebut dapat disinggungkan dengan bidang elipsoid, tetapi dapat pula dipotongkan.

Proyeksi Lambert dibedakan menjadi:

- Proyeksi Polyeder, yaitu sistem proyeksi Lambert dengan kedudukan bidang proyeksi disinggungkan dengan elipsoid sehingga terdapat satu lingkaran singgung paralel standar.
- Proyeksi Lambert Conical Orthomorphic (LCO), yaitu sistem proyeksi Lambert dengan kedudukan bidang proyeksi dipotongkan dengan elipsoid sehingga terdapat dua lingkaran paralel standar.

Sistem proyeksi Polyeder terdiri dari beberapa wilayah sistem koordinat atau disebut bagian derajat. Satu bagian derajat memiliki luas $20' \times 20'$. Posisi titik pada bidang proyeksi dinyatakan dalam koordinat siku-siku dua dimensi (X,Y). Posisi titik nol setiap bagian derajat dinyatakan dalam besaran lintang φ_0 dan besaran bujur λ_0 . Penomoran setiap bagian derajat terdiri dari angka romawi yang menunjukkan posisi lintang paralel tengah, dan angka biasa yang menunjukkan posisi titik nol dari bagian derajat (posisi lembar yang bersangkutan).

Untuk wilayah Indonesia, penomoran dimulai dari angka I sampai LI yang menyatakan lintang $5^{\circ}50'LU$ hingga $10^{\circ}50'LS$ dan dari angka 1 hingga 96 yang menyatakan bujur $11^{\circ}50'B$ Jakarta dan $19^{\circ}50'T$ Jakarta.

$$\begin{array}{llll} I/1 & \rightarrow & \varphi_0 = 5^{\circ}50'LU & \lambda_0 = 11^{\circ}50'B. \text{ Jkt} \\ LI/96 & \rightarrow & \varphi_0 = 10^{\circ}50'LS & \lambda_0 = 19^{\circ}50'T. \text{ Jkt} \end{array}$$

2. Proyeksi Mercator

Proyeksi Mercator merupakan proyeksi silinder normal conform, artinya bidang proyeksi berupa bidang silinder yang mempunyai kedudukan normal, dengan sifat distorsi conform. Kedudukan bidang silinder terhadap bidang elipsoid adalah bersinggungan sehingga lingkaran ekuator akan diproyeksikan secara equidistant.

Sistem proyeksi Mercator mempunyai satu sistem koordinat tunggal, sehingga untuk seluruh wilayah akan mempunyai salib sumbu koordinat yang sama. Semua lingkaran paralel dan lengkungan meridian diproyeksikan dalam garis lurus menyerupai grid (graticule). Posisi titik pada bidang proyeksi dinyatakan dalam koordinat siku-siku dua dimensi (X,Y).

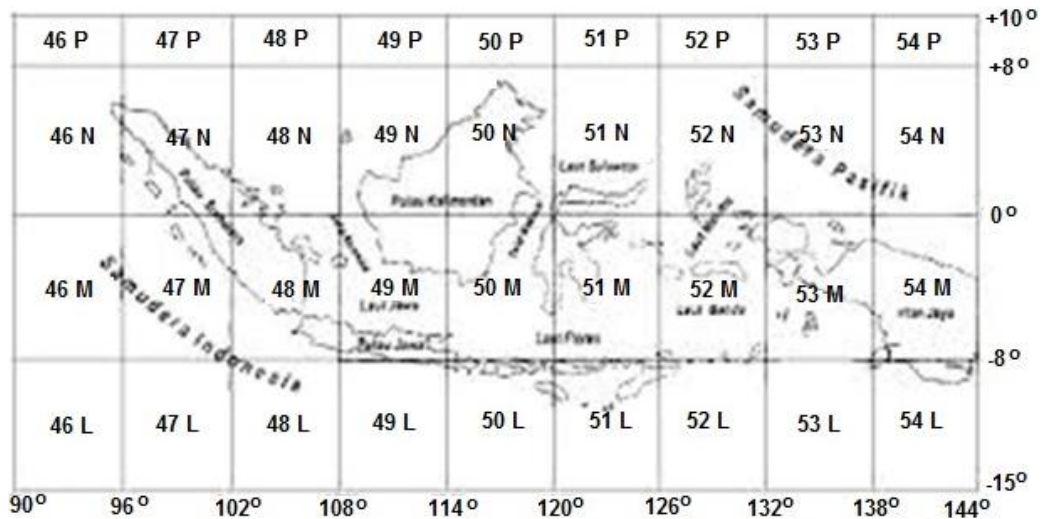
Untuk wilayah Indonesia, sebagai sumbu Y adalah garis proyeksi Meridian Jakarta (bujur $\lambda = 106^{\circ}48'27,79''BT$) dan sebagai sumbu X adalah garis proyeksi lingkaran ekuator. Semua koordinat geodetis yang dihitung terhadap Meridian Jakarta, di belakang nilai bujurnya diberi notasi BJ (untuk bujur di sebelah barat Meridian Jakarta) dan TJ (untuk bujur di sebelah timur Meridian Jakarta) serta di belakang nilai lintangnya diberi notasi LU atau + (untuk lintang di sebelah utara ekuator) dan LS atau - (untuk lintang di sebelah selatan ekuator).

3. Proyeksi Universal Transverse Mercator (UTM)

Proyeksi UTM merupakan proyeksi silinder transversal normal conform, artinya bidang proyeksi berupa bidang silinder yang mempunyai kedudukan normal, dengan sifat distorsi conform. Kedudukan bidang silinder terhadap bidang elipsoid adalah dipotongkan terhadap bidang elipsoid sehingga terjadi dua garis potong.

Dalam sistem proyeksi UTM dikenal dua macam sistem koordinat, yaitu koordinat asli dan koordinat semu. Semua koordinat tersebut mempunyai angka positif. Koordinat (X,Y) titik nol salib sumbu asli di sebelah selatan ekuator adalah (500.000;10.000.000). Sedangkan koordinat (X,Y) titik nol salib sumbu asli di sebelah utara ekuator adalah (500.000;0).

Wilayah Indonesia terletak antara bujur (λ) 90°BT hingga 144°BT dan lintang (φ) 10°LU hingga 15°LS.

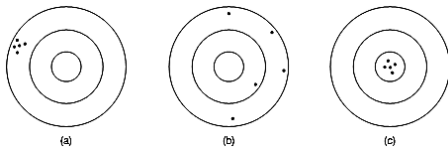


Gambar Zona UTM Indonesia

2. KEANDALAN DAN KESALAHAN PENGUKURAN

Pengukuran adalah pengamatan terhadap suatu besaran yang dilakukan dengan menggunakan peralatan dalam suatu lokasi dengan beberapa keterbatasan yang tertentu. Pengukuran tidak lepas dari kesalahan-kesalahan pengamatan.

2.1. Keandalan Pengukuran



Keandalan pengukuran (*reliability of measurement*) meliputi ketelitian dan keseksamaan dalam pengukuran. Suatu pengukuran dapat saja seksama tapi tidak teliti, tetapi apabila pengukuran tersebut teliti pasti seksama.

Gambar 2.1 Keseksamaan dan ketelitian. (a) Hasil seksama tapi tidak teliti. (b) Hasil tidak seksama dan tidak teliti. (c) Hasil seksama dan teliti

Ketelitian (*accuracy*) adalah kedekatan nilai-nilai ukuran dengan nilai sebenarnya.

- Mencakup bias yang disebabkan kesalahan acak, maupun kesalahan sistematis yang tidak terkoreksi.
- Dapat dinyatakan dengan standar deviasi, jika tidak ada bias kesalahan sistematis.
- Pengukuran disebut akurat jika rata-rata kesalahannya mendekati nol.

Keseksamaan (*precision*) adalah tingkat kedekatan nilai-nilai ukuran satu sama lain.

Pengukuran punya presisi tinggi jika:

- Hasil pengukuran saling berdekatan (mengumpul).
- Mempunyai distribusi probabilitas yang sempit.
- Nilai standar deviasinya kecil.

Untuk mencapai hasil pengukuran yang andal, maka seorang surveyor harus:

1. Memahami teori pengukuran.
2. Menguasai jenis-jenis alat ukur, pengaturan, dan pengoperasiannya.
3. Memahami cara perhitungan data ukuran.
4. Bekerja dengan penuh tanggung jawab dan keteguhan.

Contoh:

Sebuah pegas mempunyai ukuran standar = 50m, tetapi panjang sebenarnya adalah 50,01m. Jika pegas tersebut digunakan untuk mengukur panjang masing-masing 4 kali dengan hasil pengukurannya adalah: 205,095 dan 205,097 atau nilai rata-ratanya = 205,096.

Sehingga:

Kesalahan sistematis pengukuran tersebut adalah: $0,01 \text{ m} \times 4 = 0,04 \text{ m}$

Keseksamaan pengukuran adalah: $0,01/205,096$

Ketelitian pengukuran adalah: $0,04/205,096$

Jadi hasil pengukuran tersebut seksama tapi tidak teliti.

2.2. Kesalahan Pengukuran

2.2.1. Sumber-Sumber Kesalahan

1. Personal Error
 - Keterbatasan pengukur dalam memahami prosedur pengukuran.
 - Kecerobohan pengukur saat pengamatan.
 - Kesalahan pencatat (salah dengar/salah catat).
2. Instrumental Error
 - Ketidaktepatan konstruksi alat.
 - Kesalahan kalibrasi alat.
3. Natural Error
 - Perubahan suhu, pembiasan cahaya, angin, kelembaban udara, gaya berat, deklinasi magnetik.

2.2.2. Jenis-Jenis Kesalahan

1. Gross error/blunder

- Nilai pengukuran menjadi sangat besar/kecil/berbeda dibandingkan nilai ukuran yang seharusnya.
- Sumber kesalahan dari personal.
- Hasil pengukuran menjadi tidak homogen.
- Penanganannya: harus dideteksi dan dihilangkan dari hasil pengukuran.

Langkah-langkah antisipasi:

- Cek secara hati-hati objek yang akan diukur.
- Melakukan pembacaan hasil ukuran secara berulang.
- Verifikasi hasil yang dibaca dan yang dicatat.
- Mengulang seluruh pengukuran secara mandiri
- Penggunaan rumus untuk mengecek hasil ukuran.

2. Systematic Error

- Terjadi berdasarkan sistem tertentu (deterministic system) yang dapat dinyatakan dalam hubungan fungsional/matematik tertentu dan mempunyai nilai yang sama untuk setiap pengukuran pada kondisi yang sama.
- Sumber kesalahan dari alat.
- Hasil pengukuran menyimpang dari hasil pengukuran yang seharusnya.
- Penanganannya: harus dideteksi dan dikoreksi dari nilai pengukuran.

Langkah-langkah antisipasi:

- Kalibrasi alat sebelum pengukuran.
- Menggunakan metode pengukuran tertentu.

3. Random/Accidental Error

- Kesalahan yang masih terdapat pada pengukuran setelah blunder dan kesalahan sistematis dihilangkan.
- Tidak memiliki hubungan fungsional yang dapat dinyatakan dalam model deterministik, tetapi dapat dimodelkan menggunakan model stokastik (teori probabilitas).
- Sumber kesalahan dari personal, alat, alam.
- Tidak dapat dihilangkan, tetapi dapat diminimalkan dengan pengukuran berulang dan melakukan hitung perataan terhadap hasil pengukuran dan kesalahan pengukuran

2.3. Satuan Ukuran

Satuan ukuran dalam ilmu ukur tanah dikelompokkan menjadi satuan ukuran jarak, sudut, luas, dan volume. Satuan ukuran tersebut ada yang berdasarkan sistem metrik (sistem standar internasional) maupun sistem Inggris.

2.3.1. Satuan Ukuran Panjang

Satuan ukuran panjang/jarak yang umumnya dipakai dalam survey antara lain:

Meter	Yard	Foot	Inch
1	1,0936	3,2808	39,37
0,9144	1	3	36
0,3048	0,3333	1	12
0,0254	0,0278	0,0833	1

2.3.2. Satuan Ukuran Sudut

Ada tiga cara menentukan ukuran sudut, yaitu:

1. Cara seksagesimal, membagi satu lingkaran menjadi 360 bagian yang disebut derajat.
2. Cara sentesimal, membagi satu lingkaran menjadi 400 bagian yang disebut grade.
3. Cara radian, berdasarkan keliling lingkaran 2π rad.

Hubungan ketiga ukuran sudut adalah sebagai berikut:

$$1 \text{ lingkaran} = 360^\circ = 400^g = 2\pi \text{ rad}$$

2.3.3. Satuan Ukuran Luas

Satuan ukuran luas untuk daerah yang tidak begitu luas biasanya adalah m^2 , sedangkan untuk daerah yang relatif luas digunakan satuan km^2 atau ha.

$$1km^2 = 1000.000m^2$$

$$1ha = 10.000m^2$$

$$1are = 100m^2$$

2.3.4. Satuan Ukuran Volume

Satuan ukuran volume yang biasa digunakan antara lain meter³, feet³, ataupun yards³.

2.4. Angka Signifikan

Secara umum banyaknya angka signifikan dalam nilai pengamatan terdiri dari digit positif ditambah satu digit yang diperkirakan atau dibulatkan.

Contoh: suatu jarak terukur 75,2 ft mempunyai tiga angka signifikan. Akan menjadi salah jika dicatat sebagai 75,200 ft karena berarti mempunyai lima angka signifikan (angka pasti).

Perhatikan angka-angka di bawah ini:

75,200 mempunyai lima angka signifikan
25,35 mempunyai empat angka signifikan
0,002535 mempunyai empat angka signifikan
12034 mempunyai lima angka signifikan
120,00 mempunyai lima angka signifikan
12000, mempunyai lima angka signifikan

Angka 2400 yang ditulis tanpa koma bisa berarti mempunyai dua, tiga, atau empat angka signifikan.

Jika angka-angka pengukuran dijumlah, maka angka desimal yang paling sedikit umumnya adalah faktor pengontrol.

$4,52 + 23,4 + 468,321 = 496,241$ dibulatkan menjadi 496,2

Ketika melakukan pengurangan, sebaiknya keduanya mempunyai angka desimal yang sama.

$123,4 - 2,345$ dihitung menjadi: $123,4 - 2,3 = 121,1$

Pada perkalian atau pembagian, maka banyaknya angka signifikan hasilnya sama dengan banyaknya angka signifikan yang paling sedikit.

$(1,2345 \times 2,34 \times 3,4) / (6,78 \times 7,890) = 0,18$ dibulatkan menjadi dua angka signifikan (angka 3,4 yang mempunyai dua angka signifikan sebagai pengontrol).

Secara umum aturan pembulatan angka sebagai berikut:

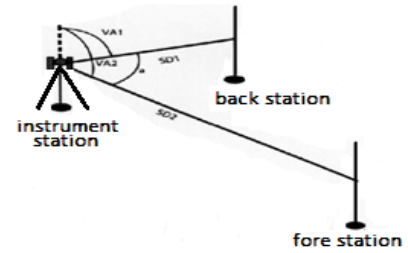
- Jika angka yang dibulatkan lebih kecil dari lima, maka angka tersebut dibulatkan ke bawah.
- Jika angka yang dibulatkan lebih besar dari lima, maka angka tersebut dibulatkan ke atas.
- Jika angka yang dibulatkan sama dengan lima, maka angka tersebut dibulatkan ke atas jika angka sebelumnya ganjil dan dibulatkan ke bawah jika angka sebelumnya genap.

3456 jika dibulatkan menjadi dua angka signifikan = 3500
0,123 jika dibulatkan menjadi dua angka signifikan = 0,12
4567 jika dibulatkan menjadi tiga angka signifikan = 4570
234,565 jika dibulatkan menjadi empat angka signifikan = 234,6
78,375 jika dibulatkan menjadi empat angka signifikan = 78,38
78,385 jika dibulatkan menjadi empat angka signifikan = 78,38

3. SUDUT, AZIMUT, DAN BEARING

Bacaan sudut pada teodolit ada dua yaitu:

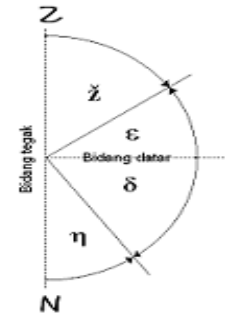
1. Bacaan lingkaran vertikal, digunakan untuk menentukan besarnya sudut vertikal.
2. Bacaan lingkaran horisontal, digunakan untuk menentukan besarnya sudut horisontal.



Gambar 3.1 Pengukuran sudut dengan teodolit

3.1. Sudut Vertikal

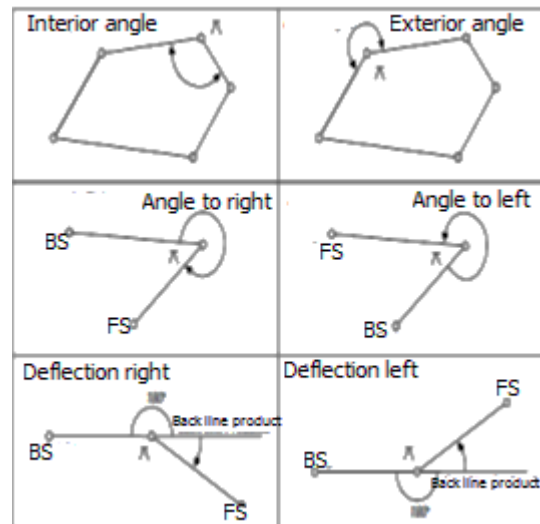
- Bacaan lingkaran vertikal bisa merupakan sudut vertikal (z) maupun sudut miring (θ).
 Pada kedudukan biasa $\theta = 90^\circ - z$
 Pada kedudukan luar biasa $\theta = z - 270^\circ$
- Sudut vertikal, yaitu sudut yang ditentukan dari garis tegak (vertikal).
 Jika pembacaan sudutnya dari arah zenit (atas) maka disebut sudut zenit (z), jika dari arah nadir (bawah) maka disebut sudut nadir (n).
- Sudut miring, yaitu sudut yang ditentukan dari garis mendatar (horisontal) ke arah atas atau ke arah bawah.
 Jika pembacaan sudutnya ke arah atas maka disebut sudut elevasi (ϵ), jika ke arah bawah maka disebut sudut depresi (δ).
- Sudut vertikal maupun sudut miring digunakan untuk menghitung jarak datar.



Gambar 3.2. Sudut vertikal

3.2. Sudut Horisontal

- Bacaan lingkaran horisontal pada teodolit merupakan arah horisontal teropong ke titik bidik tertentu.
- Sudut horisontal adalah selisih antara dua arah horisontal yang berlainan (bacaan FS – bacaan BS).
- Sudut horisontal digunakan untuk menghitung azimuth sisi poligon.
- Sudut horisontal dibedakan menjadi:
 1. Sudut dalam (interior angle) adalah sudut yang terletak di bagian dalam poligon tertutup.
 2. Sudut luar (eksterior angle) adalah pelingkar sudut dalam pada poligon tertutup.
 3. Sudut ke kanan (angle to the right) adalah sudut menuju FS dengan putaran searah jarum jam.
 4. Sudut ke kiri (angle to the left) adalah sudut menuju FS dengan putaran berlawanan jarum jam.
 5. Sudut defleksi adalah sudut miring antara sebuah garis dan perpanjangan garis sebelumnya.
 - Sudut defleksi kiri = sudut defleksi yang belok ke kiri.
 - Sudut defleksi kanan = sudut defleksi yang belok ke kanan.



Gambar 3.3. Sudut horisontal

3.3. Azimut (Sudut Jurusan)

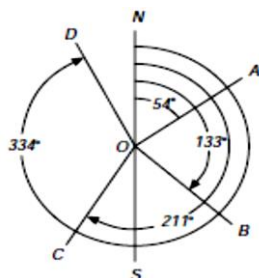
Azimut ialah sudut yang dimulai dari utara berputar searah jarum jam ke titik yang dituju. Besarnya azimut antara 0° - 360° .

Macam-macam azimut yaitu:

- a. Azimut sebenarnya, yaitu sudut yang dibentuk antara utara geografis dengan titik yang dituju.
- b. Azimut magnetis, yaitu sudut yang dibentuk antara utara kompas dengan titik yang dituju.
- c. Azimut peta, yaitu besar sudut yang dibentuk antara utara peta dengan titik yang dituju.

Back azimuth (BAz) adalah besar sudut kebalikan dari fore azimuth (FAz).

- jika $FAz < 180^\circ$ maka $BAz = FAz + 180^\circ$
- jika $FAz > 180^\circ$ maka $BAz = FAz - 180^\circ$



Contoh:

Azimut:

OA = 54°

OB = 133°

OC = 211°

OD = 334°

Back azimuth:

AO = $54^{\circ} + 180^{\circ} = 234^{\circ}$

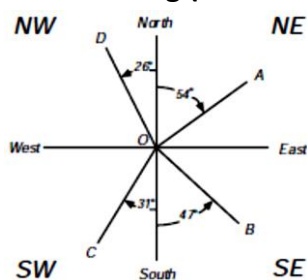
BO = $133^{\circ} + 180^{\circ} = 313^{\circ}$

CO = $211^{\circ} - 180^{\circ} = 31^{\circ}$

DO = $334^{\circ} - 180^{\circ} = 154^{\circ}$

Gambar 3.4. Azimut

3.4. Bearing (Sudut Arah)



Bearing adalah sudut yang ukur dari utara maupun selatan berputar searah jarum jam ataupun berlawanan jarum jam ke titik yang dituju. Besarnya bearing antara 0° - 90° dan ditulis dengan dua huruf arahnya.

Back bearing (BBr) adalah besar sudut kebalikan dari fore bearing (FBr).

BBr diperoleh dari FBr dengan cara mengganti huruf awal arah N menjadi S (atau S menjadi N), dan huruf akhir E menjadi W (atau W menjadi E), sedangkan besar sudutnya tetap.

Gambar 3.5. Bearing

Contoh:

Bearing:

OA = N 54° E

OB = S 47° E

OC = S 31° W

OD = N 26° W

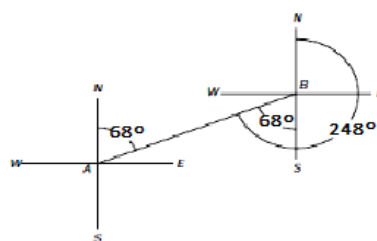
Back bearing:

AO = S 54° W

BO = N 47° W

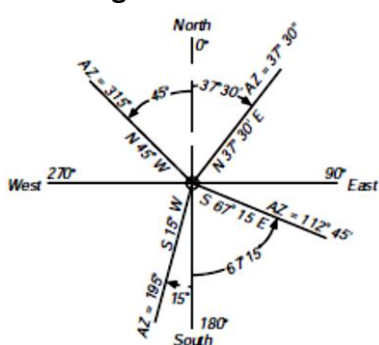
CO = N 31° E

DO = S 26° E



Gambar 3.6. Back azimuth dan back bearing

3.5. Hubungan Azimut dan Bearing



Jika azimuth $\leq 90^{\circ}$,

maka azimuth = Bearing N-E

Jika $90^{\circ} < \text{azimut} \leq 180^{\circ}$,

maka $(180^{\circ} - \text{azimut}) = \text{Bearing S-E}$

Jika $180^{\circ} < \text{azimut} \leq 270^{\circ}$,

maka $(\text{azimut} - 180^{\circ}) = \text{Bearing S-W}$

Jika $270^{\circ} < \text{azimut} \leq 360^{\circ}$,

maka $(360^{\circ} - \text{azimut}) = \text{Bearing N-W}$

Contoh:

Azimut

$37^{\circ}30'$

$112^{\circ}45'$

195°

315°

Bearing

N $37^{\circ}30'$ E

$(180^{\circ} - 112^{\circ}45') = \text{S } 67^{\circ}15'$ E

$(195^{\circ} - 180^{\circ}) = \text{S } 15^{\circ}$ W

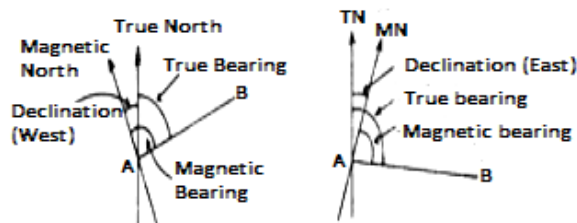
$(360^{\circ} - 315^{\circ}) = \text{N } 45^{\circ}$ W

Gambar 3.7. Hubungan azimuth dan bearing

3.6. Deklinasi Magnetik

Deklinasi magnetik adalah sudut horisontal antara magnetic meridian dan true meridian.

- Jika arah utara dari jarum magnetik menunjuk ke sisi barat dari true meridian, maka disebut declination west.
- Jika arah utara dari jarum magnetik menunjuk ke sisi timur dari true meridian, maka disebut declination east.



Gambar 3.8. Deklinasi magnetik

Menentukan true bearing dan magnetic bearing:

- True bearing = magnetik bearing + deklinasi timur = magnetik bearing - deklinasi barat
- Magnetik bearing = true bearing + deklinasi barat = true bearing - deklinasi timur

Contoh:

Magnetik Bearing AB

N $135^{\circ}45'$ E

N $135^{\circ}45'$ E

Deklinasi

$5^{\circ}15'$ W

$5^{\circ}15'$ E

True Bearing AB

= $135^{\circ}45' - 5^{\circ}15' = \text{N } 130^{\circ}30'$ E

= $135^{\circ}45' + 5^{\circ}15' = \text{N } 141^{\circ}00'$ E

4. PENENTUAN POSISI

Penentuan posisi titik dikelompokkan dalam dua metode, yaitu metode teristris dan metode ekstra-teristris.

Metode teristris adalah suatu survei penentuan posisi titik yang dilakukan dengan mengamati target atau objek yang terletak di permukaan bumi. Yang termasuk dalam metode teristris antara lain pengukuran triangulasi, poligon, pengikatan ke muka, dan pengikatan ke belakang.

Dalam metode teristris tempat berdiri alat ukur dan target memerlukan kondisi topografi sebagai berikut:

- Jarak kedua titik relatif pendek.
- Kedua titik harus saling terlihat.
- Kedua titik harus terletak di tempat yang stabil, mudah dijangkau, mudah diidentifikasi, dan aman dari gangguan.

Langkah-langkah pemetaan teristris sebagai berikut:

- Persiapan, meliputi peralatan, perlengkapan, dan personil.
- Survei pendahuluan, yaitu melihat kondisi lapangan sebelum dilakukan pengukuran. Tujuannya adalah untuk menentukan teknik pelaksanaan pengukuran yang sesuai dan menentukan posisi kerangka peta yang representatif.
- Pelaksanaan pengukuran:
 - Pengukuran kerangka horisontal,
 - Pengukuran kerangka vertikal,
 - Pengukuran detil.
- Pengolahan data:
 - Perhitungan kerangka peta,
 - perhitungan titik-titik detil.
- Penggambaran:
 - Penggambaran kerangka peta,
 - Penggambaran detil,
 - Penarikan kontur,
 - Editing

Metode ekstra-teristris adalah suatu survei penentuan posisi titik yang dilakukan dengan mengamati target atau objek yang terletak di ruang angkasa baik berupa benda alam (bulan, bintang, matahari) maupun benda buatan manusia (satelit GPS, satelit Doppler).

Untuk mengamati objek tersebut diperlukan peralatan khusus yang mempunyai kemampuan tinggi. Peralatan tersebut berupa alat pengukur sudut (horisontal dan vertikal) dan alat penerima sinyal yang dipancarkan satelit, keduanya ditempatkan di atas titik yang akan ditentukan posisinya.

4.1. Fungsi Trigonometri

Segitiga siku-siku ABC dengan sisi siku-siku di C

Sisi miring = c, sisi tegak= a, sisi datar= b

Sudut di A = α , Sudut di B= β

Maka: $\alpha + \beta = 90^\circ$

$$c^2 = a^2 + b^2$$

$$\sin \alpha = a/c$$

$$\sin \beta = b/c$$

$$\tan \alpha = a/b$$

$$\tan \alpha = \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha}$$

$$\sin 2\alpha = 2 \sin \alpha \cos \alpha$$

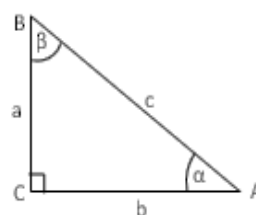
$$\sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha = 1$$

$$\cos \alpha = b/c$$

$$\cos \beta = a/c$$

$$\tan \beta = b/a$$

$$\tan \beta = \frac{\sin \beta}{\cos \beta}$$



Gambar 4.1 Segitiga siku-siku

Fungsi trigonometri segitiga sembarang

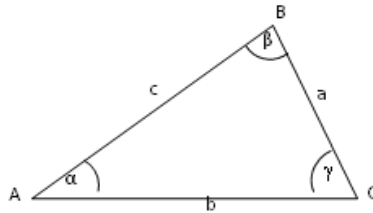
$$\alpha + \beta + \gamma = 180^\circ$$

$$a^2 = b^2 + c^2 - 2bc \cos \alpha$$

$$b^2 = a^2 + c^2 - 2ac \cos \beta$$

$$c^2 = a^2 + b^2 - 2ab \cos \gamma$$

$$\frac{a}{\sin \alpha} = \frac{b}{\sin \beta} = \frac{c}{\sin \gamma}$$



Gambar 4.2 Segitiga sembarang

4.2. Sistem Koordinat

Parameter untuk menentukan suatu sistem koordinat antara lain:

- Titik asal (titik nol) sistem koordinat.
- Orientasi dari sistem salib sumbu.
- Posisi dari sistem koordinat.

Sistem koordinat yang biasa digunakan dalam ukur tanah adalah:

1. Koordinat Rectangular (Cartesian)

Posisi obyek ditentukan dengan dua garis yang saling tegak lurus.

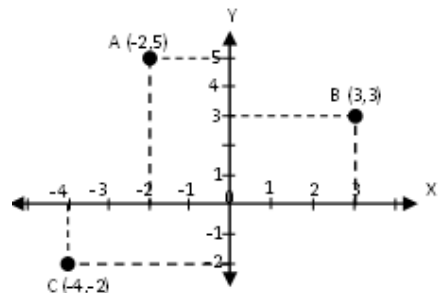
Koordinat A (X_A, Y_A), koordinat B (X_B, Y_B), dan koordinat C (X_C, Y_C).

Jarak antar titik bisa dihitung:

$$D_{AB} = \sqrt{(X_B - X_A)^2 + (Y_B - Y_A)^2}$$

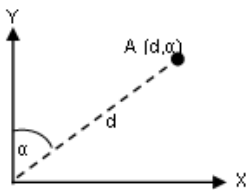
$$D_{AC} = \sqrt{(X_C - X_A)^2 + (Y_C - Y_A)^2}$$

$$D_{BC} = \sqrt{(X_C - X_B)^2 + (Y_C - Y_B)^2}$$



Gambar 4.3 Koordinat cartesian

2. Koordinat Polar (Vektor)



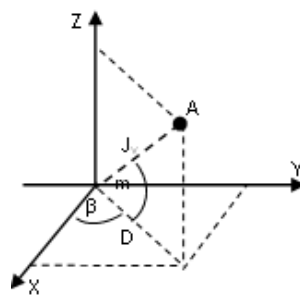
Posisi obyek ditentukan berdasarkan jarak vektor dari titik origin (d) dan arah garis/sudut dari sumbu tertentu (α).

Koordinat titik A (d, α) berarti jarak titik A dari titik O adalah d , dengan arah α° dari sumbu X.

Gambar 4.4 Koordinat polar

3. Koordinat Tiga Dimensi (3D)

Posisi obyek didasarkan pada tiga garis yang terletak saling tegak lurus, dimana titik nol ketiga garis tersebut saling berimpit.



Koordinat A sistem cartesian: $A(X_A, Y_A, Z_A)$.

Koordinat A sistem polar: $A(J_v, \beta, m)$.

J_v = jarak vektor titik A terhadap origin $O(0,0,0)$

D = jarak titik A pada bidang datar XOY

β = sudut horisontal (pada bidang XOY)

m = sudut vertikal (tegak lurus bidang XOY)

Gambar 4.5 Koordinat 3 dimensi

Hubungan koordinat cartesian dan koordinat polar sebagai berikut:

a. Jika diketahui koordinat A (X_A, Y_A), maka jarak vektor titik A (J_v) terhadap origin $O(0,0)$ dan arah A (α) dari sumbu X bisa dihitung.

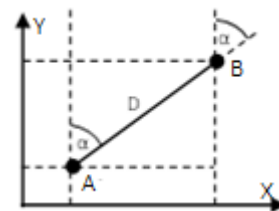
$$J_v^2 = X_A^2 + Y_A^2$$

$$\tan \alpha = (X_A/Y_A) \text{ sehingga } \alpha = \text{Arc Tan } (X_A/Y_A)$$

b. Jika diketahui jarak vektor titik A dari origin $O(0,0)$ sebesar r , dan sudut dari sumbu Y sebesar α , maka koordinat titik A bisa dihitung.

$$\sin \alpha = X_A/J_v \text{ sehingga } X_A = J_v \sin \alpha$$

$$\cos \alpha = Y_A/J_v \text{ sehingga } Y_A = J_v \cos \alpha$$



Gambar 4.6 Hubungan jarak, sudut, dan koordinat

c. Jika diketahui koordinat A (X_A, Y_A) dan koordinat B (X_B, Y_B), maka jarak AB (D_{AB}) dan sudut jurusan dari titik A ke titik B (α_{AB}) bisa dihitung.

$$D_{AB} = (X_B - X_A) / \sin \alpha_{AB} = (Y_B - Y_A) / \cos \alpha_{AB}$$

$$\tan \alpha_{AB} = (X_B - X_A) / (Y_B - Y_A) \text{ sehingga } \alpha_{AB} = \text{Arc Tan } (X_B - X_A) / (Y_B - Y_A)$$

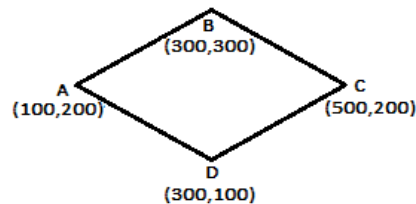
d. Sebaliknya jika diketahui koordinat A (X_A, Y_A), jarak AB (D_{AB}), dan sudut jurusan dari titik A ke titik B (α_{AB}), maka koordinat B (X_B, Y_B) bisa dihitung.

$$\sin \alpha_{AB} = (X_B - X_A) / D_{AB} \text{ sehingga } X_B = X_A + D_{AB} \sin \alpha_{AB}$$

$$\cos \alpha_{AB} = (Y_B - Y_A) / D_{AB} \text{ sehingga } Y_B = Y_A + D_{AB} \cos \alpha_{AB}$$

Contoh:

Hitunglah jarak, azimut, dan sudut dalam dari poligon di bawah ini:



Jawab:

Jarak kaki-kaki poligon:

$$D_{AB} = \sqrt{(X_B - X_A)^2 + (Y_B - Y_A)^2} = \sqrt{(300 - 100)^2 + (300 - 200)^2} = \sqrt{200^2 + 100^2} = \sqrt{50000} = 223,61$$

$$D_{BC} = \sqrt{(X_C - X_B)^2 + (Y_C - Y_B)^2} = \sqrt{(500 - 300)^2 + (200 - 300)^2} = \sqrt{200^2 + (-100)^2} = \sqrt{50000} = 223,61$$

$$D_{CD} = \sqrt{(X_D - X_C)^2 + (Y_D - Y_C)^2} = \sqrt{(300 - 500)^2 + (100 - 200)^2} = \sqrt{(-200)^2 + (-100)^2} = \sqrt{50000} = 223,61$$

$$D_{DA} = \sqrt{(X_A - X_D)^2 + (Y_A - Y_D)^2} = \sqrt{(100 - 300)^2 + (200 - 100)^2} = \sqrt{(-200)^2 + 100^2} = \sqrt{50000} = 223,61$$

Azimut kaki-kaki poligon: (perhatikan letak kuadran)

$$\alpha_{AB} = \text{tg}^{-1} (X_B - X_A) / (Y_B - Y_A) = \text{tg}^{-1} (300 - 100) / (300 - 200) = \text{tg}^{-1} (200) / (100) = 63^{\circ}26'06'' \quad (\text{kwd } 1)$$

$$\alpha_{BC} = \text{tg}^{-1} (X_C - X_B) / (Y_C - Y_B) = \text{tg}^{-1} (500 - 300) / (200 - 300) = \text{tg}^{-1} (200) / (-100) = 180^{\circ} - 63^{\circ}26'06'' = 116^{\circ}33'54'' \quad (\text{kwd } 2)$$

$$\alpha_{CD} = \text{tg}^{-1} (X_D - X_C) / (Y_D - Y_C) = \text{tg}^{-1} (300 - 500) / (100 - 200) = \text{tg}^{-1} (-200) / (-100) = 180^{\circ} + 63^{\circ}26'06'' = 243^{\circ}26'06'' \quad (\text{kwd } 3)$$

$$\alpha_{DA} = \text{tg}^{-1} (X_A - X_D) / (Y_A - Y_D) = \text{tg}^{-1} (100 - 300) / (200 - 100) = \text{tg}^{-1} (-200) / (100) = 360^{\circ} - 63^{\circ}26'06'' = 296^{\circ}33'54'' \quad (\text{kwd } 4)$$

Sudut dalam (interior angle) titik-titik poligon: (jika hasilnya negatif tambahkan 360°)

$$\beta_A = \alpha_{AD} - \alpha_{AB} = (\alpha_{DA} - 180^{\circ}) - \alpha_{AB} = (296^{\circ}33'54'' - 180^{\circ}) - 63^{\circ}26'06'' = 53^{\circ}07'48''$$

$$\beta_B = \alpha_{BA} - \alpha_{BC} = (\alpha_{AB} - 180^{\circ}) - \alpha_{BC} = (63^{\circ}26'06'' - 180^{\circ}) - 116^{\circ}33'54'' = -233^{\circ}07'48'' + 360^{\circ} = 126^{\circ}52'12''$$

$$\beta_C = \alpha_{CB} - \alpha_{CD} = (\alpha_{BC} - 180^{\circ}) - \alpha_{CD} = (116^{\circ}33'54'' - 180^{\circ}) - 243^{\circ}26'06'' = -306^{\circ}52'12'' + 360^{\circ} = 53^{\circ}07'48''$$

$$\beta_D = \alpha_{DC} - \alpha_{DA} = (\alpha_{CD} - 180^{\circ}) - \alpha_{DA} = (243^{\circ}26'06'' - 180^{\circ}) - 296^{\circ}33'54'' = -233^{\circ}07'48'' + 360^{\circ} = 126^{\circ}52'12''$$

4.3. Poligon

Poligon (poly=banyak, gonos=sudut) adalah serangkaian garis lurus yang menghubungkan titik-titik di permukaan bumi. Metode poligon adalah salah satu cara penentuan posisi horisontal banyak titik. Tujuan pengukuran poligon untuk menentukan koordinat titik-titik ikat (kontrol) pengukuran.

Kegunaan poligon:

- Kerangka dasar pengukuran.
- Kontrol jarak dan sudut.
- Basis titik untuk pengukuran selanjutnya.
- Memudahkan perhitungan pada plotting peta.

Data yang diperoleh dari pengukuran:

- | | |
|------------------------------------|----------------------|
| - Tinggi instrumen (ti) | - Benang atas (BA) |
| - Bacaan lingkaran vertikal (Vtk) | - Benang tengah (BT) |
| - Bacaan lingkaran horisontal (Hz) | - Benang bawah (BB) |

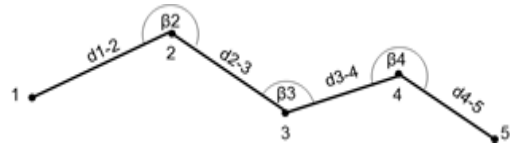
Data yang diperlukan sebagai pengikat (datum):

- Azimut titik ikat
- Koordinat titik ikat
- Tinggi titik ikat

Jenis-jenis poligon

1. Poligon terbuka

- Titik awal dan akhir pengukuran tidak sama.
- Dibedakan menjadi:
 - a. Tidak terikat
 - Azimut dan koordinat titik-titik poligon bisa dihitung dengan datum yang ditentukan.
 - Kesalahan sudut dan jarak tidak bisa dikoreksi.



Gambar 4.7 Poligon terbuka tidak terikat

b. Terikat sebagian

Poligon terbuka terikat koordinat saja:

- Azimut dihitung berdasarkan azimut yang ditentukan.
- Koordinat dihitung berdasarkan koordinat yang sudah diketahui.
- Kesalahan sudut tidak bisa dikoreksi.
- Kesalahan absis dan ordinat bisa dikoreksi.



Gambar 4.8 Poligon terbuka terikat koordinat

Poligon terikat azimut saja:

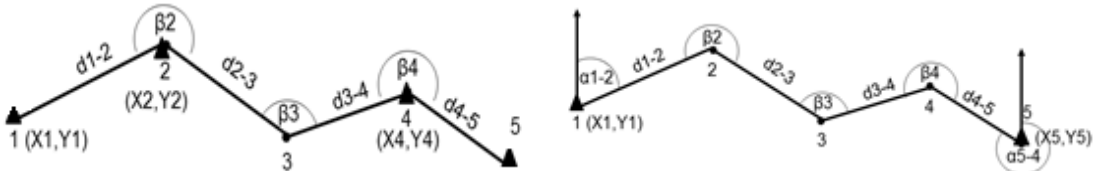
- Azimut dihitung berdasarkan azimut yang sudah diketahui.
- Koordinat dihitung berdasarkan koordinat yang ditentukan.
- Kesalahan sudut bisa dikoreksi
- Kesalahan absis dan ordinat tidak bisa dikoreksi.



Gambar 4.9 Poligon terbuka terikat azimut

c. Terikat sempurna (terikat koordinat dan azimut)

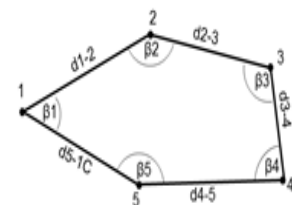
- Azimut dihitung berdasarkan azimut yang sudah diketahui.
- Koordinat dihitung berdasarkan koordinat yang sudah diketahui.
- Kesalahan sudut, absis dan ordinat bisa dikoreksi



Gambar 4.10 Poligon terbuka terikat sempurna

2. Poligon tertutup

- Titik awal menjadi titik akhir pengukuran.
- Dibedakan menjadi:
 - a. Tidak terikat
 - Azimut dan koordinat titik-titik poligon bisa dihitung dengan datum yang ditentukan.
 - Kesalahan sudut, absis dan ordinat bisa dikoreksi.

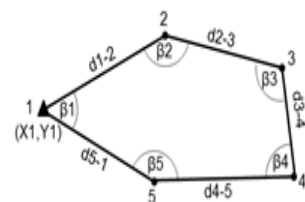


Gambar 4.11 Poligon tertutup tidak terikat

b. Terikat sebagian (koordinat saja atau azimut saja)

Poligon tertutup terikat koordinat saja:

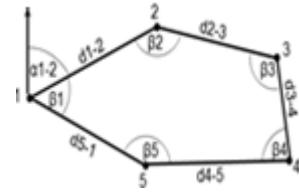
- Azimut dihitung berdasarkan azimut yang ditentukan.
- Koordinat dihitung berdasarkan koordinat yang sudah diketahui.
- Kesalahan sudut, absis, dan ordinat bisa dikoreksi.



Gambar 4.12 Poligon tertutup terikat koordinat

Poligon tertutup terikat azimuth saja:

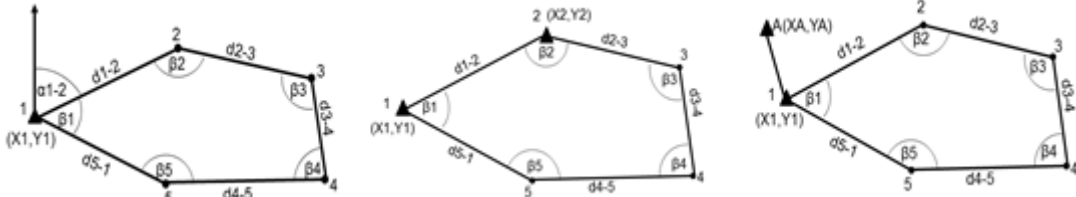
- Azimut dihitung berdasarkan azimuth yang sudah diketahui.
- Koordinat dihitung berdasarkan koordinat yang ditentukan.
- Kesalahan sudut, absis, dan ordinat bisa dikoreksi.



Gambar 4.13 Poligon tertutup terikat azimuth

c. Terikat sempurna (terikat koordinat dan azimuth)

- Azimut dihitung berdasarkan azimuth yang sudah diketahui.
- Koordinat dihitung berdasarkan koordinat yang ditentukan.
- Kesalahan sudut, absis, dan ordinat bisa dikoreksi.



Gambar 4.14 Poligon tertutup terikat sempurna

4.3.1. Perhitungan Poligon Terbuka

Syarat geometris pada poligon terbuka terikat sempurna:

1. Syarat sudut: $\sum \beta u = \alpha_{akhir} - \alpha_{awal} + (n \times 180^0)$
2. Syarat absis: $\sum d \sin \alpha = X_{akhir} - X_{awal}$
3. Syarat ordinat: $\sum d \cos \alpha = Y_{akhir} - Y_{awal}$

Kesalahan-kesalahan data pengukuran poligon terbuka adalah:

1. Kesalahan penutup sudut: $f\beta = (\alpha_{akhir} - \alpha_{awal} + (n \times 180^0)) - \sum \beta u$
Kesalahan penutup sudut dikoreksikan sama rata pada sudut-sudut hasil ukuran: $k\beta = f\beta/n$.
Apabila $f\beta$ tidak habis dibagi, sisa pembagian itu diberikan koreksi tambahan pada sudut yang mempunyai kaki pendek atau panjang sisi poligon yang pendek.
2. Kesalahan penutup absis: $fx = (X_{akhir} - X_{awal}) - \sum d \sin \alpha$
3. Kesalahan penutup ordinat: $fy = (Y_{akhir} - Y_{awal}) - \sum d \cos \alpha$
Kesalahan fx dan fy dibagi habis pada absis dan ordinat titik-titik poligon dengan perbandingan lurus dengan jarak-jarak sisi poligon, atau dapat ditulis:

$$kx_i = \frac{d_i}{\sum d} \cdot fx \quad \text{dan} \quad ky_i = \frac{d_i}{\sum d} \cdot fy$$

4. Kesalahan penutup jarak linier poligon (fl)

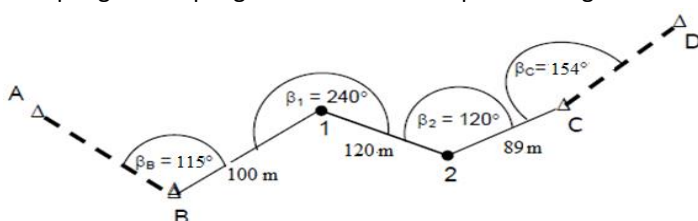
$$fl = \sqrt{(fx)^2 + (fy)^2}$$

Keterangan notasi :

- | | |
|-------------------------------------|-------------------------------------|
| βu = sudut horisontal ukuran | fx = kesalahan penutup absis |
| $f\beta$ = kesalahan sudut | fy = kesalahan penutup ordinat |
| $k\beta$ = koreksi sudut | fl = kesalahan jarak linier |
| d = jarak sisi poligon | kx_i = koreksi absis di titik i |
| α = azimuth sisi poligon | ky_i = koreksi ordinat di titik i |
| n = banyaknya titik poligon | $i = 1, 2, 3, \dots, n$ |

Contoh:

Hasil pengukuran poligon buka terikat sempurna sebagai berikut:



Koordinat titik A (1000;1000), B (1200;800), C (1700;700), dan D (1900;900).
Hitunglah: koordinat titik 1 dan 2

Gambar 4.15 Pengukuran poligon terbuka

Jawab:

Langkah perhitungan poligon terbuka terikat sempurna sebagai berikut:

1. Hitung azimuth awal (α_{awal}) dan azimuth akhir (α_{akhir}) dari dua koordinat titik ikat awal (titik A dan titik B) dan dua koordinat titik ikat akhir (titik C dan titik D) dengan rumus:

$$\alpha_{AB} = \arctan \frac{(X_B - X_A)}{(Y_B - Y_A)}$$

$$= \arctan \frac{(1200 - 1000)}{(800 - 1000)} = \arctan \frac{(200)}{(-200)} \quad (\text{perhatikan } \Delta X^+ / \Delta Y^-, \text{ sehingga } \alpha_{AB} \text{ di kuadran II})$$

$$= 180^\circ - 45^\circ = 135^\circ$$

$$\alpha_{CD} = \arctan \frac{(X_D - X_C)}{(Y_D - Y_C)}$$

$$= \arctan \frac{(1900 - 1700)}{(900 - 700)} = \arctan \frac{(200)}{(200)} \quad (\text{perhatikan } \Delta X^+ / \Delta Y^+, \text{ sehingga } \alpha_{CD} \text{ di kuadran I})$$

$$= 45^\circ$$

2. Jumlahkan sudut hasil ukuran ($\Sigma\beta_u$), hitung koreksinya, dan hitung sudut terkoreksi:

$$\Sigma\beta_u = 629^\circ 00'$$

$$\text{syarat jumlah sudut: } \Sigma\beta_u = \alpha_{akhir} - \alpha_{awal} + (n \times 180^\circ) = (45^\circ - 135^\circ) + (4 \times 180^\circ) = 630^\circ$$

$$f\beta = 630^\circ - 629^\circ 00' = 1' = 60''$$

$$k\beta = 60'' / 4 = +15'' \text{ per sudut}$$

Titik	Sudut horisontal (β)		
	Ukuran	Koreksi	Terkoreksi
B	115°00'	+15"	115°00'15"
1	240°00'	+15"	240°00'15"
2	120°00'	+15"	120°00'15"
C	154°00'	+15"	154°00'15"
Total	629°00'	+60"	630°00'00"

3. Hitung azimuth sisi poligon berdasarkan azimuth awal dan sudut terkoreksi:

$$\alpha_{n;n+1} = \alpha_n + \beta_n - 180^\circ \quad \text{karena } \beta_u \text{ adalah sudut kanan}$$

Jika $\alpha_{n;n+1} > 360^\circ$ maka $\alpha_{n;n+1} - 360^\circ$, sebaliknya jika $\alpha_{n;n+1} < 0^\circ$ maka $\alpha_{n;n+1} + 360^\circ$.

$$\alpha_{AB} = 135^\circ 00' 00'' \quad (\text{dihitung dari koordinat A dan B})$$

$$\alpha_{B1} = \alpha_{AB} + \beta_B - 180^\circ = 135^\circ 00' 00'' + 115^\circ 00' 15'' - 180^\circ = 70^\circ 00' 15''$$

$$\alpha_{12} = \alpha_{B1} + \beta_1 - 180^\circ = 70^\circ 00' 15'' + 240^\circ 00' 15'' - 180^\circ = 130^\circ 00' 30''$$

$$\alpha_{2C} = \alpha_{12} + \beta_2 - 180^\circ = 130^\circ 00' 30'' + 120^\circ 00' 15'' - 180^\circ = 70^\circ 00' 45''$$

$$\alpha_{CD} = \alpha_{2C} + \beta_C - 180^\circ = 70^\circ 00' 45'' + 154^\circ 00' 15'' - 180^\circ = 45^\circ 00' 00''$$

(benar!)

(Hasil hitungan azimuth akhir harus sama dengan azimuth akhir yang dihitung dari koordinat C dan D).

4. Hitung selisih absis dan selisih ordinat masing-masing kaki berdasarkan jarak datar dan azimuth, kemudian hitung total kesalahan selisih absis dan total kesalahan selisih ordinat:

$$\Delta X = D \sin \alpha \quad \text{dan} \quad \Delta Y = D \cos \alpha$$

$$f_x = (X_{akhir} - X_{awal}) - \Sigma D \sin \alpha = (1.700 - 1.200) - 269,53 = 230,47$$

$$f_y = (Y_{akhir} - Y_{awal}) - \Sigma D \cos \alpha = (700 - 800) - (-12,53) = -87,47$$

(Koordinat acuan awal adalah B dan koordinat acuan akhir adalah C).

Kaki	Azimut (α)	Jarak (D)	$\Delta X = D \sin \alpha$	$\Delta Y = D \cos \alpha$
B1	70°00'15"	100,00	93,97	34,20
12	130°00'30"	120,00	91,91	-77,15
2C	70°00'45"	89,00	83,64	30,42
Total		309,00	269,53	-12,53

5. Hitung koreksi ΔX dan koreksi ΔY serta hitung ΔX terkoreksi dan ΔY terkoreksi masing-masing kaki:

$$k_{x_i} = \frac{d_i}{\Sigma d} \cdot f_x \quad \text{dan} \quad k_{y_i} = \frac{d_i}{\Sigma d} \cdot f_y$$

Kaki	ΔX	ΔY	Kx	Ky	Adj. ΔX	Adj. ΔY
B1	93,97	34,20	74,59	-28,31	168,56	5,89
12	91,91	-77,15	89,50	-33,97	181,42	-111,12
2C	83,64	30,42	66,38	-25,19	150,02	5,23
Total	269,53	-12,53	230,47	-87,47	500,00	-100,00

6. Hitung koordinat titik-titik poligon:

$$X_{n+1} = X_n + \text{Adj.}\Delta X_{n;n+1} \quad \text{dan} \quad Y_{n+1} = Y_n + \text{Adj.}\Delta Y_{n;n+1}$$

Titik	Adj.ΔX	Adj.ΔY	X	Y
A			1000	1000
B			1200	800
	168,56	5,89		
1			1368,56	805,89
	181,42	-111,12		
2			1549,98	694,77
	150,02	5,23		
C			1700	700
D			1900	900

7. Hitung kesalahan penutup jarak (linier) poligon:

$$fl = \sqrt{fx^2 + fy^2} = \sqrt{230,47^2 + (-87,47)^2} = 246,51$$

$$\text{Ketelitian} = fl/\Sigma D = 246,51/309,00 = 1/1,25$$

4.3.2. Perhitungan Poligon Tertutup

Syarat geometris poligon tertutup adalah:

1. Syarat geometris sudut :

- $\Sigma \beta_u = (n - 2) \cdot 180^\circ$ (jika β_u adalah sudut dalam)
- $\Sigma \beta_u = (n + 2) \cdot 180^\circ$ (jika β_u adalah sudut luar)

2. Syarat absis: $\Sigma d \sin \alpha = 0$

3. Syarat ordinat: $\Sigma d \cos \alpha = 0$

Kesalahan-kesalahan data pengukuran poligon tertutup adalah:

2. Kesalahan penutup sudut ($f\beta$)

a. Jika β_u adalah sudut dalam: $f\beta = ((n - 2) \cdot 180^\circ) - \Sigma \beta_u$

b. Jika β_u adalah sudut luar: $f\beta = ((n + 2) \cdot 180^\circ) - \Sigma \beta_u$

Kesalahan penutup sudut dikoreksikan sama rata pada sudut-sudut hasil ukuran: $k\beta = f\beta/n$.

Apabila $f\beta$ tidak habis dibagi, sisa pembagian itu diberikan koreksi tambahan pada sudut yang mempunyai kaki terpendek atau panjang sisi poligon yang terpendek.

2. Kesalahan penutup absis: $fx = 0 - \Sigma d \sin \alpha$

3. Kesalahan penutup ordinat: $fy = 0 - \Sigma d \cos \alpha$

Kesalahan fx dan fy dibagi habis pada absis dan ordinat titik-titik poligon dengan perbandingan lurus dengan jarak-jarak sisi poligon, atau dapat ditulis:

$$kx_i = \frac{d_i}{\Sigma d} \cdot fx \quad \text{dan} \quad ky_i = \frac{d_i}{\Sigma d} \cdot fy$$

4. Kesalahan penutup jarak linier poligon (fl)

$$fl = \sqrt{(fx)^2 + (fy)^2}$$

Keterangan notasi :

β_u = sudut horisontal ukuran

$f\beta$ = kesalahan sudut

$k\beta$ = koreksi sudut

d = jarak sisi poligon

α = azimut sisi poligon

n = banyaknya titik poligon

fx = kesalahan penutup absis

fy = kesalahan penutup ordinat

fl = kesalahan jarak linier

kx_i = koreksi absis di titik i

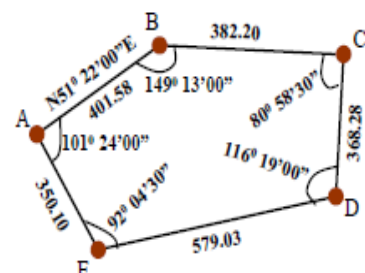
ky_i = koreksi ordinat di titik i

$i = 1, 2, 3, \dots, n$

Contoh:

Hasil pengukuran poligon tertutup sebagai berikut:

Jika koordinat titik A (1000;1000), hitunglah koordinat titik-titik poligon yang lain.



Gambar 4.16 Pengukuran poligon tertutup

Jawab:

Langkah perhitungan poligon tertutup sebagai berikut:

1. Jumlahkan sudut hasil ukuran ($\Sigma\beta_u$), hitung koreksinya, dan hitung sudut terkoreksi:

$$\Sigma\beta_u = 539^{\circ}59'00'' \quad \text{syarat jumlah sudut dalam: } \Sigma\beta = (n-2) \times 180^{\circ}$$

$$f\beta = (n-2) \times 180^{\circ} - \Sigma\beta_u = ((5-2) \times 180^{\circ}) - 539^{\circ}59'00'' = 1' = 60''$$

$$k\beta = 60''/5 = +12'' \text{ per sudut}$$

Titik	Sudut horisontal (β)		
	Ukuran	Koreksi	Terkoreksi
A	101 ^o 24'00"	+12"	101 ^o 24'12"
B	149 ^o 13'00"	+12"	149 ^o 13'12"
C	80 ^o 58'30"	+12"	80 ^o 58'42"
D	116 ^o 19'00"	+12"	116 ^o 19'12"
E	92 ^o 04'30"	+12"	92 ^o 04'42"
Total	539 ^o 59'00"	+60"	540 ^o 00'00"

2. Hitung azimut sisi poligon berdasarkan azimut awal dan sudut terkoreksi:

$$\alpha_{n;n+1} = \alpha_n - \beta_n + 180^{\circ} \quad (\text{karena } \beta_u \text{ adalah sudut kiri})$$

Jika $\alpha_{n;n+1} > 360^{\circ}$ maka $\alpha_{n;n+1} - 360^{\circ}$, sebaliknya jika $\alpha_{n;n+1} < 0^{\circ}$ maka $\alpha_{n;n+1} + 360^{\circ}$.

$$\alpha_{AB} = 51^{\circ}22'00'' \quad (\text{diketahui})$$

$$\alpha_{BC} = \alpha_{AB} - \beta_B + 180^{\circ} = 51^{\circ}22'00'' - 149^{\circ}13'12'' + 180^{\circ} = 82^{\circ}08'48''$$

$$\alpha_{CD} = \alpha_{BC} - \beta_C + 180^{\circ} = 82^{\circ}08'48'' - 80^{\circ}58'42'' + 180^{\circ} = 181^{\circ}10'06''$$

$$\alpha_{DE} = \alpha_{CD} - \beta_D + 180^{\circ} = 181^{\circ}10'06'' - 116^{\circ}19'12'' + 180^{\circ} = 244^{\circ}50'54''$$

$$\alpha_{EA} = \alpha_{DE} - \beta_E + 180^{\circ} = 244^{\circ}50'54'' - 92^{\circ}04'42'' + 180^{\circ} = 332^{\circ}46'12''$$

$$\alpha_{AB} = \alpha_{EA} - \beta_A + 180^{\circ} = 332^{\circ}46'12'' - 101^{\circ}24'12'' + 180^{\circ} = 411^{\circ}22'00'' - 360^{\circ} = 51^{\circ}22'00'' \quad (\text{benar!})$$

(Hasil hitungan azimut awal harus sama dengan azimut akhir).

3. Hitung selisih absis dan selisih ordinat masing-masing kaki berdasarkan jarak datar dan azimut, kemudian hitung total kesalahan selisih absis dan total kesalahan selisih ordinat:

$$\Delta X_{n;n+1} = D_{n;n+1} \sin \alpha_{n;n+1} \quad \text{dan} \quad \Delta Y_{n;n+1} = D_{n;n+1} \cos \alpha_{n;n+1}$$

$$f_x = 0 - \Sigma d \sin \alpha \quad \text{dan} \quad f_y = 0 - \Sigma d \cos \alpha$$

Kaki	Azimut (α)	Jarak (D)	$\Delta X = D \sin \alpha$	$\Delta Y = D \cos \alpha$
AB	51 ^o 22'00"	401,58	313,697	250,720
BC	82 ^o 08'48"	382,20	378,615	52,222
CD	181 ^o 10'06"	368,28	-7,509	-368,203
DE	244 ^o 50'54"	579,03	-524,130	-246,097
EA	332 ^o 46'12"	350,10	-160,193	311,301
Total		2.081,19	0,480	-0,057

4. Hitung koreksi ΔX dan koreksi ΔY serta hitung ΔX terkoreksi dan ΔY terkoreksi masing-masing kaki:

$$k_{x_i} = \frac{d_i}{\Sigma d} \cdot f_x \quad \text{dan} \quad k_{y_i} = \frac{d_i}{\Sigma d} \cdot f_y$$

Kaki	ΔX	ΔY	K_x	K_y	Adj. ΔX	Adj. ΔY
AB	313,697	250,720	-0,093	0,011	313,604	250,731
BC	378,615	52,222	-0,088	0,010	378,527	52,233
CD	-7,509	-368,203	-0,085	0,010	-7,594	-368,193
DE	-524,130	-246,097	-0,134	0,016	-524,264	-246,081
EA	-160,193	311,301	-0,081	0,010	-160,274	311,311
Total	0,480	-0,057	-0,480	0,057	0,00	0,00

5. Hitung koordinat titik-titik poligon:

$$X_{n+1} = X_n + \text{Adj.}\Delta X_{n;n+1} \quad \text{dan} \quad Y_{n+1} = Y_n + \text{Adj.}\Delta Y_{n;n+1}$$

Titik	Adj.ΔX	Adj.ΔY	X	Y
A			1000,00	1000,00
	313,604	250,731		
B			1.313,604	1.250,731
	378,527	52,233		
C			1.692,131	1.302,964
	-7,594	-368,193		
D			1.684,537	934,771
	-524,264	-246,081		
E			1.160,273	688,690
	-160,274	311,311		
A			1000,00	1000,00

6. Hitung kesalahan penutup jarak (linier) poligon:

$$f_l = \sqrt{fx^2 + fy^2} = \sqrt{(-0,057)^2 + 0,480^2} = 0,483$$

$$\text{Ketelitian} = f_l / \Sigma D = 0,483 / 2.081,19 = 1/4.305 \approx 1/4.300$$

4.4. Mengikat Ke Muka

Pada dasarnya metode mengikat ke muka adalah penentuan posisi koordinat suatu titik berdasarkan dua titik yang sudah diketahui koordinatnya. Pengikatan ke muka dapat dilakukan apabila kondisi lapangan memungkinkan alat untuk berpindah posisi pengukuran secara leluasa, misalnya pada daerah yang mempunyai permukaan datar. Alat (tedolit) ditempatkan di titik A kemudian di titik B yang diketahui koordinatnya untuk mengukur sudut horisontal β_A dan β_B .

Contoh:

Diketahui : Koordinat A (100,150)

Koordinat B (150,100)

Diukur : Sudut horisontal A (β_A) = 60°

Sudut horisontal B (β_B) = 80°

Hitunglah : Koordinat C

Jawab:

Menghitung azimut AB:

$$\alpha_{AB} = \text{arc tg } (X_B - X_A) / (Y_B - Y_A)$$

$$= \text{arc tg } (150 - 100) / (100 - 150)$$

$$= \text{arc tg } (50 / -50) \quad (\text{perhatikan } \Delta X^+ / \Delta Y^- \text{ berarti } \alpha_{AB} \text{ di kuadran II})$$

$$= 180^\circ - 45^\circ = 135^\circ$$

Menghitung jarak AB:

$$D_{AB1} = (X_B - X_A) / \sin \alpha_{AB}$$

$$= (150 - 100) / \sin 135^\circ$$

$$= 50 / 0,707 = 70,71 \text{ m}$$

$$D_{AB} = (D_{AB1} + D_{AB2}) / 2$$

$$= (70,71 + 70,71) / 2 = 70,71 \text{ m}$$

$$\text{atau} \quad D_{AB2} = (Y_B - Y_A) / \cos \alpha_{AB}$$

$$= (100 - 150) / \cos 135^\circ$$

$$= -50 / -0,707 = 70,71 \text{ m}$$

Menghitung sudut horisontal C:

$$\beta_C = 180^\circ - (\beta_A + \beta_B)$$

$$= 180^\circ - (60^\circ + 80^\circ) = 40^\circ$$

Menghitung jarak AC dan jarak BC:

$$D_{AC} = (D_{AB} / \sin \beta_C) \sin \beta_B$$

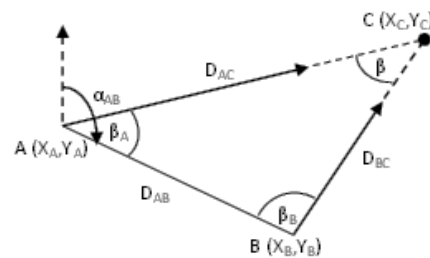
$$= (70,71 / \sin 40^\circ) \sin 80^\circ$$

$$= (70,71 / 0,643) 0,985 = 108,33 \text{ m}$$

$$\text{atau} \quad D_{BC} = (D_{AB} / \sin \beta_C) \sin \beta_A$$

$$= (70,71 / \sin 40^\circ) \sin 60^\circ$$

$$= (70,71 / 0,643) 0,866 = 95,27 \text{ m}$$



Gambar 4.17 Mengikat ke muka

Menghitung azimut AC dan azimut BC:

$$\begin{aligned}\alpha_{AC} &= \alpha_{AB} - \beta_A \\ &= 135^0 - 60^0 = 75^0\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\alpha_{BC} &= \alpha_{AB} + \beta_B - 180^0 \\ &= 135^0 + 80^0 - 180^0 = 35^0\end{aligned}$$

Menghitung koordinat C:

$$\begin{aligned}X_{C1} &= X_A + D_{AC} \sin \alpha_{AC} \\ &= 100 + (108,33 \sin 75^0) \\ &= 100 + (108,33 \times 0,966) = 204,64\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}X_c &= (X_{C1} + X_{C2})/2 \\ &= (204,64 + 204,64)/2 = 204,64\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{atau } X_{C2} &= X_B + D_{BC} \sin \alpha_{BC} \\ &= 150 + (95,27 \sin 35^0) \\ &= 150 + (95,27 \times 0,574) = 204,64\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}Y_{C1} &= Y_A + D_{AC} \cos \alpha_{AC} \\ &= 150 + (108,33 \cos 75^0) \\ &= 150 + (108,33 \times 0,259) = 178,04\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}Y_c &= (Y_{C1} + Y_{C2})/2 \\ &= (178,04 + 178,04)/2 = 178,04\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{atau } Y_{C2} &= Y_B + D_{BC} \cos \alpha_{BC} \\ &= 100 + (95,27 \cos 35^0) \\ &= 100 + (95,27 \times 0,819) = 178,04\end{aligned}$$

5. PENGUKURAN DENGAN PITA UKUR

5.1. Pengukuran Jarak

Jarak merupakan rentangan terpendek antara dua titik. Jauh rentangan antara dua titik dinyatakan dalam satuan ukuran panjang.

Kedudukan antara dua titik bisa terletak dalam:

1. Posisi datar (sejajar dengan bidang datar), jaraknya disebut jarak datar.
2. Posisi miring (membentuk sudut lancip terhadap bidang datar), jaraknya disebut jarak miring (jarak lapangan).
3. Posisi tegak (membentuk sudut 90° terhadap bidang datar), jaraknya disebut jarak tegak (beda tinggi).

Pengukuran jarak secara umum dibedakan menjadi dua cara, yaitu:

1. Pengukuran jarak secara langsung
 - Jarak antara dua titik tidak begitu jauh atau pada hamparan yang tidak luas.
 - Kondisi topografi relatif mudah (tidak banyak penghalang).
 - Alat ukurnya antara lain: galah, pita ukur, rantai ukur, dan odometer.
2. Pengukuran jarak secara tidak langsung
 - Jarak antara dua titik cukup jauh atau pada hamparan yang cukup luas.
 - Pengukuran dilakukan secara optis ataupun elektronis.
 - Alat ukur jarak optis antara lain: total station, tedolit, Boussole Tranche Montagne (BTM), waterpas.
 - Alat ukur jarak elektronis yaitu Electronic Distance Measurement (EDM).

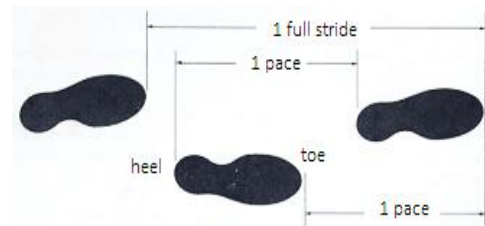
Metode Pengukuran Jarak Langsung

1. Pacing (langkah)

Adalah metode pengukuran jarak kasar dengan menggunakan langkah kaki.

Tingkat ketelitiannya antara 1:50 sampai 1:200 tergantung tingkat keahlian pengukur.

Jarak = unit langkah x jumlah langkah



Gambar 5.1. Metode pacing

2. Menggunakan roda ukur (odometer)

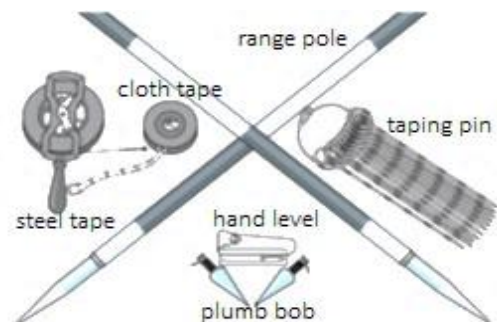
Alat ini berguna khususnya untuk mengukur jarak kasar sepanjang garis lengkung.

Tingkat ketelitiannya sekitar 1:200.

Jarak = bacaan odometer x keliling roda



Gambar 5.2. Odometer



Gambar 5.3. Peralatan taping

3. Pita ukur (taping)

Pengukuran menggunakan pita ukur secara teori adalah sederhana, akan tetapi dalam pelaksanaannya tidak mudah karena dibutuhkan keahlian dan pengalaman.

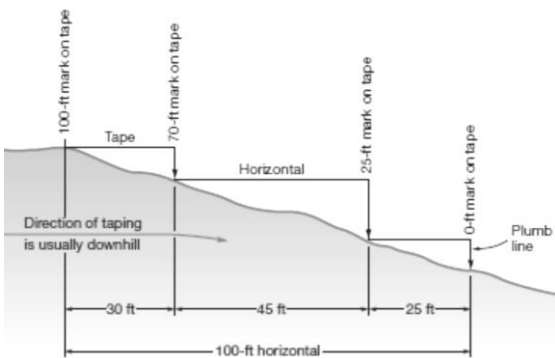
Tingkat ketelitiannya berkisar antara 1:500 sampai 1:3000, yang secara umum bisa diterapkan untuk sebagian besar survei pendahuluan.

Panjang pita ukur berkisar antara 20m – 100m. Satuan skala yang digunakan umumnya adalah meter dengan pembagian skala tiap 0,5cm – 1mm atau inci dengan pembagian skala tiap 0,125 inci - 0,1 inci.

Alat bantu yang digunakan untuk pengukuran jarak langsung dengan pita ukur antara lain:

- Jalon atau anjir adalah tongkat dari pipa besi dengan ujung runcing (seperti lembing) panjang antara 1.5m sampai 3m, diameter pipa antara 1.5cm sampai 3cm dicat merah dan putih berselang-seling. Jalon ini berguna pada pelurusan dan untuk menyatakan adanya suatu titik dilapangan pada jarak jauh.
- Pen ukur, adalah alat untuk memberi tanda titik sementara dilapangan. Terbuat dari besi dengan panjang ± 40m dan runcing diujungnya dan ujung lain lengkung.
- Unting-unting adalah alat untuk membantu memproyeksikan suatu titik terbuat dari besi atau dari kuningan.
- Water pas tangan adalah alat bantu untuk mendatarkan pita ukur.
- Prisma dan kaca sudut adalah alat bantu untuk menentukan sudut 90⁰/ siku.siku.

5.2. Pengukuran Jarak Dengan Pita Ukur (Taping)



Gambar 5.4. Taping dalam beberapa bentangan

Jarak datar dihitung dengan rumus:

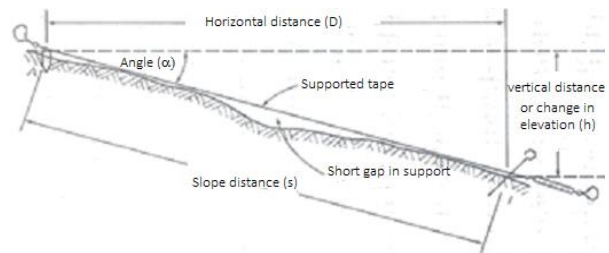
$$D = s \cos \alpha$$

Jika beda tinggi (h) antara ujung-ujung titik diukur, maka jarak datar dihitung dengan rumus:

$$D = (s^2 - h^2)^{1/2}$$

Jarak yang diperoleh dari pengukuran dengan pita ukur secara mendatar adalah jarak datar (*horizontal distance*). Jika pengukuran tidak bisa dilakukan dengan sekali membentangkan pita ukur maka jarak tersebut bisa dibagi menjadi beberapa bagian sehingga setiap bagiannya bisa diukur dengan sekali membentangkan pita ukur.

Jika pengukuran dilakukan secara langsung pada daerah miring yang curam maka yang diperoleh adalah jarak miring/*slope* (s). Untuk menentukan jarak datar (D), maka diperlukan pengukuran sudut miring (α) dengan menggunakan abney hand level dan clinometer.



Gambar 5.5. Taping pada permukaan miring

Langkah-langkah pengukuran jarak langsung dengan pita ukur sebagai berikut:

- Pelurusan arah dua titik yang akan diukur

Pelurusan dilakukan jika pengukuran tidak dapat dilakukan dengan sekali membentangkan pita karena jarak yang diukur melebihi panjang pita ukur atau kondisi tanah yang tidak datar.

Misal, akan diukur jarak dari A ke B maka pelurusan dilakukan sebagai berikut:

- Tancapkan jalon di titik A dan titik B.
- Orang pertama melihat dari belakang jalon di A sedemikian hingga jalon di A dan B terlihat menjadi satu.
- Orang kedua membawa jalon j_1 . Dengan arahan dari orang pertama, orang kedua bergeser ke kiri atau ke kanan sedemikian hingga orang pertama melihat jalon di A, j_1 , dan B terlihat menjadi satu barulah jalon j_1 ditancapkan.
- Cara yang sama dilakukan pada jalon j_2, j_3 , dan seterusnya sampai semua penggalan jarak ditandai pelurusannya.

- Pengukuran jarak.

Pengukuran jarak langsung minimal dilakukan oleh dua orang, yaitu orang pertama memegang bagian awal pita ukur dan orang kedua menarik pita ukur.

Pelaksanaan pengukuran sebagai berikut:

- Ujung awal (angka 0) pita ukur ditempatkan di titik A.



Gambar 5.6. Pelurusan

- Pita ukur ditarik secara lurus dan mendatar sampai menyinggung jalon j1.
- Tancapkan pen ukur di titik A (a1) dan di titik j1 (a2), baca dan catat skala pita ukur yang berimpit di a2.
- Lakukan hal yang sama dari a2 ke a3, dan seterusnya sampai ke titik B.

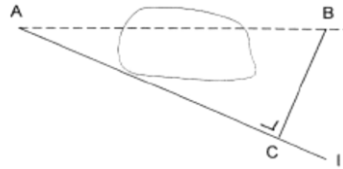
Pengukuran dari A ke B dinamakan pengukuran pergi. Selanjutnya dilakukan pengukuran pulang dari B ke A dengan cara yang sama. Hasil pengukuran pergi dan pulang kemudian dihitung nilai rata-ratanya.

Rasio ketelitian pengukuran jarak adalah:

$$(\sum D_{pergi} - \sum D_{pulang}) / D_{rata-rata}$$

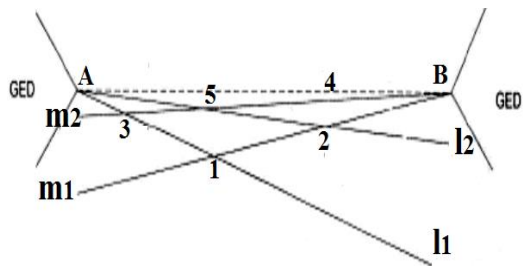
Beberapa kondisi pengukuran jarak langsung antara lain:

1. Bila titik A dan B terhalang kolom
 - Proyeksikan B pada C garis yang melalui A dititik C
 - Ukur jarak AC dan jarak BC.
 - Hitung jarak $AB = \sqrt{AC^2 + BC^2}$



Gambar 5.7. Pengukuran jarak langsung terhalang kolom

2. Bila titik A dan B tepat di tepi bangunan
 - Buat garis l1 lewat titik A, tentukan titik 1 lalu hubungkan 1 ke B sebagai garis m1.
 - Pada garis m1 tentukan titik 2 dan hubungkan A ke 2 sehingga terbentuk garis l2.
 - Tentukan titik 3 pada garis l2, hubungkan 3 ke B sehingga terbentuk garis m2.
 - Pekerjaan tersebut dilanjutkan sampai didapat:
Titik 5-4-B satu garis dan
Titik 4-5-A satu garis berarti
Titik A-5-4-B satu garis lurus
 - Selanjutnya pengukuran jarak AB



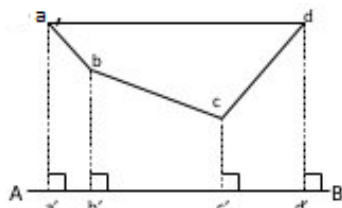
Gambar 5.8. Pengukuran jarak langsung dengan titik di tepi bangunan

5.3. Offset

Pengukuran detil dengan cara offset dilakukan dengan menggunakan alat pita ukur (rantai ukur) dan alat bantu seperti jalon, cermin sudut dan prisma, dan pen ukur. Pengukuran cara offset biasanya dilakukan pada daerah yang relatif datar dan tidak luas, sehingga kerangka dasar pemetaannya dibuat dengan cara offset juga. Peta yang dihasilkan dari pengukuran cara offset tidak menyajikan informasi tentang ketinggian.

Cara pengukuran offset ada tiga:

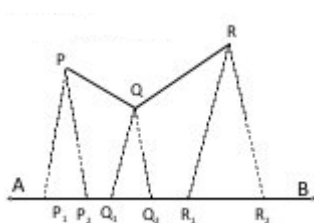
- a. Cara siku-siku (tegak lurus)



A dan B adalah titik-titik kerangka dasar sehingga garis AB adalah garis ukur. Titik a, b, c, dan d adalah titik-titik detil, sedangkan titik-titik a', b', c', dan d' adalah proyeksi titik a, b, c, dan d ke garis ukur. Diukur panjang aa', bb', cc', dan dd' serta Aa', Ab', Ac', dan Ad'. Selanjutnya posisi a, b, c, dan d bisa digambar (ditentukan).

Gambar 5.9. Pengukuran offset secara siku-siku

- b. Cara mengikat (interpolasi)



Pilih dua titik sembarang untuk mengamati titik P, misalnya P1 dan P2. Bentuk segitiga yang mendekati segitiga sama kaki. Agar titik PQR dapat direkonstruksi, ukur jarak AP1, AP2, AQ1, AQ2, AR1, AR2, PP1, PP2, QQ1, QQ2, RR1, dan RR2. Selanjutnya ukur jarak sisi-sisi detil tersebut.

Gambar 5.10. Pengukuran offset secara interpolasi

- c. Cara gabungan keduanya

Setiap titik detil diproyeksikan atau diikatkan dengan garis lurus ke garis ukur. Pilih cara pengukuran yang lebih mudah di antara kedua cara di atas.

Kesalahan yang terjadi pada pengukuran jarak dengan pita ukur:

- Pita ukur tidak betul-betul mendatar.
- Unting-unting tidak vertikal disebabkan gangguan angin atau lainnya.
- Pelurusan yang tidak sempurna.
- Panjang pita ukur tidak standar.
- Kesalahan pembacaan dan pencatatan.
- Kesalahan menghitung jumlah bentangan.

6. PENGUKURAN DENGAN TEODOLIT

6.1. Teodolit

Teodolit adalah alat yang dirancang untuk mengukur sudut secara cermat dan teliti. Pengukuran tersebut berupa sudut pada bidang vertikal maupun bidang horizontal. Pengukuran teodolit yang dilengkapi dengan pembacaan rambudapat digunakan untuk menentukan jarak dan beda tinggi.

Teodolit dapat dikelompokkan antara lain sebagai berikut:

A. Berdasarkan konstruksinya

1. Theodolit Reiterasi (Teodolit Sumbu Tunggal).

Dalam teodolit ini, lingkaran skala mendatar menjadi satu dengan klep, sehingga bacaan skala mendatarnya tidak bisa diatur. Theodolit yang termasuk ke dalam jenis ini adalah teodolit type T0 (Wild) dan type DKM-2A (Kern).

2. Theodolit Repetisi.

Konstruksinya kebalikan dengan teodolit reiterasi, yaitu bahwa lingkaran mendatarnya dapat diatur dan dapat mengelilingi sumbu tegak (sumbu I). Akibat dari konstruksi ini, maka bacaan lingkaran skala mendatar 0° , dapat ditentukan ke arah bidikkan / target yang dikehendaki. Teodolit yang termasuk ke dalam jenis ini adalah teodolit type TM 6 dan TL 60-DP (Sokkisha), TL 6-DE (Topcon), Th-51 (Zeiss).

B. Berdasarkan sistem pembacaannya

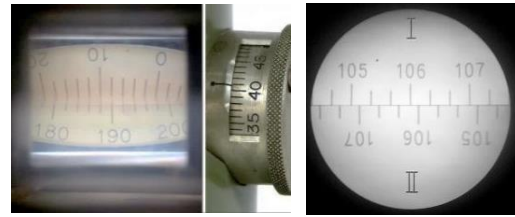
1. Teodolit sistem bacaan dengan Index Garis.
2. Teodolit sistem bacaan dengan Nonius.
3. Teodolit sistem bacaan dengan Micrometer.
4. Teodolit sistem bacaan dengan Koinsidensi.
5. Teodolit sistem bacaan dengan Digital.

C. Berdasarkan tingkat ketelitian

1. Teodolit Presisi (Tipe T3).
2. Teodolit Satu Sekon (Tipe T2).
3. Teodolit Sepuluh Sekon (Tipe TM-10C).
4. Teodolit Satu Menit (Tipe T0).
5. Teodolit Sepuluh Menit (Tipe DK-1).

Secara umum, konstruksi teodolit terbagi atas tiga bagian:

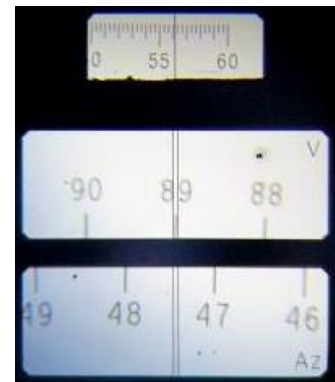
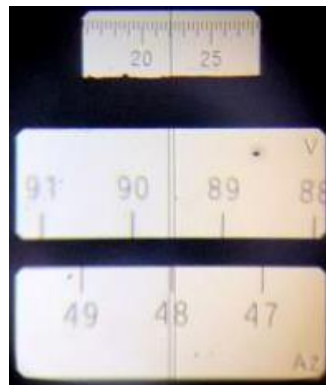
1. Bagian atas, terdiri dari sumbu kedua yang diletakkan diatas kaki penyanggah sumbu kedua. Pada sumbu kedua diletakkan suatu teropong yang mempunyai diafragma dan dengan demikian mempunyai garis bidik. Pada sumbu ini pula diletakkan plat yang berbentuk lingkaran tegak sama seperti plat lingkaran mendatar.
2. Bagian tengah, terdiri dari suatu sumbu yang dimasukkan ke dalam tabung dan diletakkan pada bagian bawah. Sumbu ini adalah sumbu tegak lurus kesatu. Diatas sumbu kesatu diletakkan lagi suatu plat yang berbentuk lingkaran yang mempunyai jari – jari plat pada bagian bawah. Pada dua tempat di tepi lingkaran dibuat alat pembaca nonius. Di atas plat nonius ini ditempatkan dua kaki yang menjadi penyanggah sumbu mendatar atau sumbu kedua dan satu nivo tabung diletakkan untuk membuat sumbu kesatu tegak lurus. Lingkaran dibuat dari kaca dengan garis–garis pembagian skala dan angka digoreskan di permukaannya. Garis – garis tersebut sangat tipis dan lebih jelas tajam bila dibandingkan hasil goresan pada logam. Lingkaran dibagi dalam derajat sexagesimal yaitu suatu lingkaran penuh dibagi dalam 360° atau dalam grades sentesimal yaitu satu lingkaran penuh dibagi dalam 400 grade.
3. Bagian bawah, terdiri dari pelat dasar dengan tiga sekrup penyetel yang menyanggah suatu tabung sumbu dan pelat mendatar berbentuk lingkaran. Pada tepi lingkaran ini dibuat pengunci limbus.



Gambar 6.2 Bacaan lingkaran Wild T0
a).horisontal $189^{\circ}40.8'$ b). vertikal $106^{\circ}04'$



Gambar 6.1 Teodolit Wild T0 (dilengkapi dengan busolle)



Gambar 6.3 Teodolit Wild T1. a). bacaan lingkaran horisontal $48^{\circ}22'$ b). bacaan lingkaran vertikal $89^{\circ}56'10''$

Fungsi bagian-bagian teodolit sebagai berikut:

- Visier, berfungsi untuk membidik secara kasar ke objek.
- Lensa okuler, berfungsi untuk memperjelas benang teropong.
- Nivo tabung, berfungsi untuk melihat kedataran alat.
- Nivo kotak, berfungsi untuk melihat kedataran alat.
- Sekrup A, B, C, berfungsi untuk mengatur gelembung nivo.
- Lensa objektif, berfungsi untuk melihat objek pengamatan.
- Sekrup pengunci sudut horisontal, berfungsi untuk mengunci teropong agar tidak bergerak secara horisontal.
- Penggerak halus horisontal, berfungsi untuk menggerakkan teropong dengan halus secara horisontal.
- Sekrup penjelas lensa fokus, berfungsi untuk memperjelas objek yang dibidik.
- Sekrup penjelas benang diafragma, berfungsi untuk memperjelas benang diafragma.
- Pengunci sudut vertikal, berfungsi untuk mengunci teropong agar tidak bergerak secara vertikal.
- Penggerak halus vertikal, berfungsi untuk menggerakkan teropong dengan halus secara vertikal.

Tahapan pengaturan teodolit sebagai berikut:

1. Buka ketiga klem kaki tripod, dirikan tripod di atas patok dengan merentangkan ketiga kakinya hingga ujung kaki tripod membentuk segitiga sama sisi dengan patok sebagai pusatnya.

2. Tarik tripod bagian atas hingga tripod setinggi dada (agar nantinya posisi teropong setinggi mata) dan pastikan kepala tripod mendatar. Jika tripod didirikan di tanah yang miring, tempatkan dua kakinya di bagian turunan bukit. Gantungkan unting-unting pada baut alat dan posisikan unting-unting tepat di atas patok dengan cara mengatur ketinggian kaki tripod. Setelah posisi kepala tripod mendatar dan unting-unting tepat di atas patok, kokohkan tripod dengan membenamkan ketiga kakinya ke dalam tanah. Setelah pengaturan selesai kencangkan semua klemnya.
3. Pasang teodolit di atas tripod, dan kunci dengan skrup tripod.

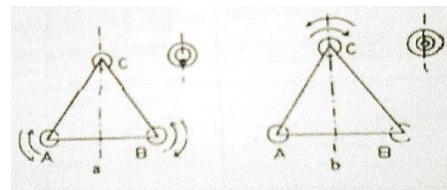


Gambar 6.4 Prosedur mendirikan tripod dan memasang teodolit

4. Pasang teodolit di atas tripod, hubungkan dengan sekrup tripod dan kencangkan. (Periksa apakah posisi unting-unting masih tepat di atas patok. Kesalahan sentering akan menyebabkan kesalahan sudut horisontal yang sangat signifikan).
5. Atur teodolit untuk memenuhi syarat berikut:
 - b. Sumbu I vertikal, syarat ini harus dipenuhi setiap kali alat didirikan.
 - c. Sumbu II (horisontal) tegak lurus sumbu I.
 - d. Garis bidik tegak lurus sumbu II.
 - e. Kesalahan indeks vertikal sama dengan nol.
 - f. Garis bidik sejajar garis arah nivo.

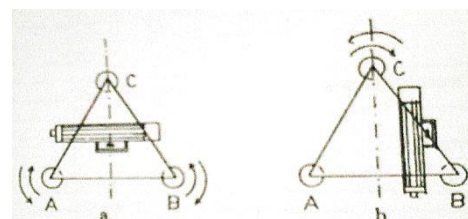
Cara mengatur sumbu I vertikal sebagai berikut:

- a. Pendekatan dengan bantuan nivo kotak.
 - Bawa gelembung nivo ke posisi antara sekrup A dan sekrup B dengan memutar sekrup penyetel A dan B bersama-sama ke arah dalam atau ke arah luar.
 - Kemudian bawa gelembung pada ke tengah dengan memutar sekrup penyetel C.



Gambar 6.5 Pengaturan nivo kotak

- b. Penghalusan dengan bantuan nivo tabung.
 - Putar teodolit pada sumbu I sehingga nivo tabung sejajar dengan sekrup penyetel A dan B. Seimbangkan gelembung dengan memutar sekrup penyetel A dan B bersama-sama ke arah dalam atau ke arah luar.
 - Putar alat 90° , bila gelembung tidak di tengah maka ketengahkan dengan memutar sekrup penyetel C.
 - Lalu putar alat pada sumbu I ke segala arah. Jika gelembung tetap di tengah berarti sumbu I sudah vertikal, jika tidak ulangi langkah di atas.



Gambar 6.6 Pengaturan nivo tabung

6.2. Pengukuran Sudut Horisontal

Sudut horisontal adalah selisih dua arah. Sudut horisontal pada pengukuran dengan teodolit adalah selisih bacaan lingkaran horisontal arah depan (FS) dan arah belakang (BS).

Sudut horisontal dalam pengukuran dibedakan menjadi:

1. Sudut horisontal tunggal
2. Sudut horisontal banyak.

Pengukuran sudut horisontal tunggal dilakukan dengan cara:

- a. Tunggal
- b. Seri:
 - Seri tunggal
 - Seri rangkap
- c. Repetisi
- d. Reiterasi

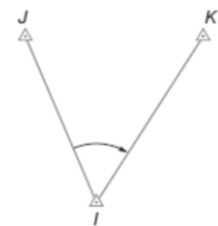
Pengukuran sudut horisontal banyak dilakukan dengan cara:

- a. Arah
- b. Bessel
- c. Scheiber

A. Pengukuran sudut tunggal

Metode ini hanya digunakan untuk pengukuran detil, bukan untuk penentuan titik kontrol. Langkah-langkah pengukurannya sebagai berikut:

1. Dirikan teodolit di titik I, lakukan sentering dan pengaturan.
2. Buka klem horisontal dan vertikal, lalu arahkan teropong ke target J bidik secara kasar menggunakan visier yang berada di atas teropong. Setelah dekat dengan sasaran matikan klem horisontal dan vertikal. Gerakkan sekrup penggerak halus alhidade horisontal sehingga garis bidik tepat pada sasaran. Baca lingkaran horisontal ke arah J, misalnya H_J .
3. Buka klem horisontal dan vertikal, bidik target di titik K dengan cara yang sama. Baca lingkaran horisontal ke arah K, misalnya H_K .



Besarnya sudut horisontal adalah: $\beta = H_K - H_J$

Gambar 6.7. Pengukuran sudut tunggal

B. Pengukuran sudut tunggal cara seri

Metode ini dibedakan menjadi:

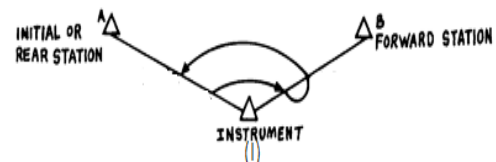
- a. Seri tunggal

Langkah pengukurannya seperti sudut tunggal, hanya diulang sebanyak seri yang diinginkan.

- b. Seri rangkap

Langkah-langkah pengukurannya sebagai berikut:

1. Dirikan teodolit di titik I, lakukan sentering dan pengaturan.
2. Buka klem horisontal dan vertikal, lalu arahkan teropong ke target A bidik secara kasar menggunakan visier yang berada di atas teropong. Setelah dekat dengan sasaran matikan klem horisontal dan vertikal. Gerakkan sekrup penggerak halus alhidade horisontal sehingga garis bidik tepat pada sasaran. Baca lingkaran horisontal ke arah A, misalnya H_A .



Gambar 6.8. Pengukuran sudut seri rangkap

3. Buka klem horisontal dan vertikal, bidik target di titik K dengan cara yang sama. Baca lingkaran horisontal ke arah B, misalnya H_B . Ini adalah posisi biasa.

Besarnya sudut horisontal biasa adalah: $\beta_{\text{Biasa}} = H_B - H_A$

4. Buka klem horisontal dan vertikal, lalu putar teropong 180° lalu arahkan lagi ke target B. Ini adalah posisi luar biasa. Bidik secara kasar menggunakan visier yang berada di atas teropong. Setelah dekat dengan sasaran matikan klem horisontal dan vertikal. Gerakkan sekrup penggerak halus alhidade horisontal sehingga garis bidik tepat pada sasaran. Baca lingkaran horisontal ke arah B, misalnya H_B' .

5. Buka klem horisontal dan vertikal, bidik target di titik A secara kasar menggunakan visier yang berada di atas teropong. Setelah dekat dengan sasaran matikan klem horisontal dan vertikal. Gerakkan sekrup penggerak halus alhidade horisontal sehingga garis bidik tepat pada sasaran. Baca lingkaran horisontal ke arah A posisi luar biasa, misalnya H_A' .

Besarnya sudut horisontal luar biasa adalah: $\beta_{\text{Luar Biasa}} = H_B' - H_A'$

Besarnya sudut horisontal satu seri rangkap adalah: $\beta = \frac{1}{2}(\beta_{\text{Biasa}} + \beta_{\text{Luar Biasa}})$

C. Pengukuran sudut tunggal cara repetisi

Alat yang digunakan adalah theodolit tipe repetisi (sumbu ganda).

Langkah-langkah pengukurannya sebagai berikut:

1. Dirikan teodolit di titik I, lakukan sentering dan pengaturan.
2. Buka klem horisontal, lalu arahkan teropong ke target J matikan klem horisontal. Buka klem dan penggerak halus limbus untuk mengatur bacaan lingkaran horisontal ke arah A sama nol atau angka lain, catat bacaannya misal p.
3. Matikan klem limbus, kemudian buka klem horisontal. Bidik titik Klalu matikan klem horisontal. Baca lingkaran horisontal ke arah K, misalnya q.
4. Bawa pembacaan q ke bidikan J dengan cara membuka klem limbus. Setelah tepat matikan klem limbus.
5. Buka klem horisontal, bidik teropong di K. Dengan cara ini diperoleh sudut β lagi. Bila ini diulang n kali akan diperoleh $n \times \beta$.

Pada cara ini cukup dicatat pembacaan awal p, pembacaan kedua q, dan pembacaan terakhir r.

$\beta = (r-p+m.360^{\circ})/n$, dimana m adalah berapa kali bacaan melewati 360° .

D. Pengukuran sudut tunggal cara reiterasi

Cara ini mirip dengan cara repetisi, yaitu setelah mengukur sudut β , pembacaan q ditambah dengan besaran sudut tertentu, misal 30° . Pembacaan ini kemudian dibawa ke J dan klem limbus dimatikan lagi. Selanjutnya klem horisontal dibuka dan teropong dibidikkan ke K lagi. Pekerjaan ini diulang sampai n kali.

Besarnya sudut reiterasi adalah: $\beta = (\sum q_i - \sum p_i)/n$

E. Pengukuran sudut banyak metode arah

1. Stel alat di titik O.
2. Teropong dalam posisi biasa membidik berturut-turut ke A, B, C, D, dan E. Baca masing-masing lingkaran horisontalnya.

α = bacaan lingkaran horisontal B - bacaan lingkaran horisontal A

β = bacaan lingkaran horisontal C - bacaan lingkaran horisontal B

γ = bacaan lingkaran horisontal D - bacaan lingkaran horisontal C

θ = bacaan lingkaran horisontal E - bacaan lingkaran horisontal D

3. Buat teropong posisi luar biasa. Bidik berturut-turut E, D, C, B, A. Baca masing-masing lingkaran horisontalnya.

α = bacaan lingkaran horisontal D - bacaan lingkaran horisontal E

β = bacaan lingkaran horisontal C - bacaan lingkaran horisontal D

γ = bacaan lingkaran horisontal B - bacaan lingkaran horisontal C

θ = bacaan lingkaran horisontal A - bacaan lingkaran horisontal B

Rangkaian ini disebut satu seri.

F. Pengukuran sudut banyak cara Bessel

- Pengukuran sudut dimulai dari kiri ke kanan
- Bidik titik A lalu B lalu C lalu D lalu E dengan kedudukan teropong biasa.
- Kemudian kembali dari E lalu D lalu C lalu B lalu A dengan kedudukan teropong luar biasa.

G. Pengukuran sudut banyak cara Schreiber

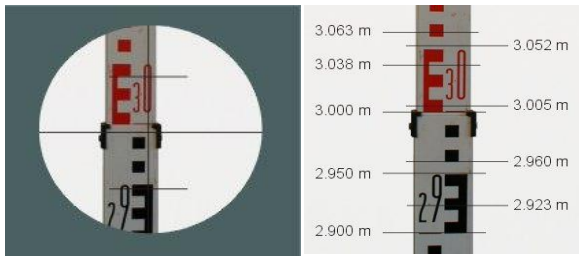
Tiap-tiap sudut tunggal diukur tersendiri.

Tiap-tiap arah digabungkan dengan arah lainnya sehingga menjadi sudut. Dari r arah, tiap arah digabung dengan $(r - 1)$ arah lainnya, sehingga jumlah sudut menjadi $\frac{1}{2} r (r - 1)$.

6.3. Pembacaan Rambu

Teodolit optik menggunakan rambu dengan pola E yang dilengkapi dengan angka di sebelahnyanya. Panjang rambu bervariasi yaitu 3, 4, atau 5 meter.

Cara pembacaan rambu dengan pola E adalah menggabungkan angka yang tertera di samping E dengan blok yang berimpit dengan garis stadia, dimana satu E = 5 blok = 5cm = 50mm. Hasil bacaannya dalam satuan meter, dengan angka perkiraan sampai 1mm.



Contoh, pada gambar 6.9:
 Benang atas = 3,040
 Benang bawah = 2,946
 Sehingga jarak rambu ke alat:
 $D = 100 \times (BA - BB) = 100 \times (3,040 - 2,946) = 9,4\text{m}$.

Gambar 6.9 Pembacaan rambu teodolit

Jarak dengan pengukuran stadia mempunyai ketelitian rendah. Kesalahan 1mm dalam pembacaan stadia menyebabkan kesalahan jarak 0,1m atau 10cm. Agar hasil pembacaan rambu tidak dihindari kesalahan, selain lensa objektif dan okuler difokuskan (bebas dari paralaks) posisi berdiri rambu juga harus benar-benar vertikal. Rambu yang condong ke depan atau ke belakang dari kedudukan vertikalnya akan menghasilkan bacaan yang lebih besar. Untuk membantu rambu dalam posisi vertikal bisa dengan memasang nivo rambu, dan memastikan gelembungnya di tengah-tengah saat rambu dibaca.

6.4. Tacheometry

Tacheometry adalah cara pengukuran jarak dan beda tinggi antara dua titik menggunakan alat optis, digital, maupun elektronik. Data yang diukur adalah sudut horisontal, sudut vertikal, bacaan rambu (benang atas/BA, benang tengah/BT, benang bawah/BB). Cara pengukuran ini digunakan terutama untuk pengukuran detail.

Sistem pengukuran tacheometry dibedakan menjadi:

- a. Sistem stadia.
- b. Sistem tangensial.

6.4.1. Sistem Stadia

Cara ini dilakukan jika lensa okuler teropong mempunyai benang stadia.

Langkah pengukuran sistem stadia adalah sebagai berikut:

1. Tempatkan alat ukur di atas titik kerangka dasar atau titik kerangka penolong dan atur alat sampai siap digunakan untuk mengukur.
2. Ukur dan catat tinggi alat (t_i) dari titik kerangka tersebut.
3. Dirikan rambu di atas titik bidik dan tegakkan rambu dengan bantuan nivo rambu (nivo kotak).
4. Arahkan teropong ke rambu ukur sehingga bayangan garis tegak diafragma berimpit dengan garis tengah rambu, lalu kencangkan kunci penggerak mendatar teropong. Baca dan catat bacaan BA, BT, dan BB. Jika memungkinkan, atur bacaan BT pada rambu di titik bidik sama dengan tinggi alat sehingga beda tinggi yang diperoleh sudah merupakan beda tinggi antara titik kerangka tempat berdiri alat dan titik detail (titik bidik).
5. Kendorkan kunci jarum magnet sehingga jarum bergerak bebas. Setelah jarum setimbang (tidak bergerak) baca dan catat azimuth magnetis dari tempat berdiri alat ke titik bidik.
6. Baca dan catat bacaan pada lingkaran vertikal.

Jika bacaan lingkaran vertikal yang diperoleh adalah zenit (z), maka untuk mengubah menjadi heling (θ) adalah sebagai berikut: $\theta = 90^\circ - z$ (posisi biasa) atau $\theta = z - 270^\circ$ (posisi luar biasa)

Rumus jarak datar adalah:

$D = 100 \times (BA - BB) \times \sin^2 z$, jika menggunakan sudut zenit

$D = 100 \times (BA - BB) \times \cos^2 \theta$, jika menggunakan sudut miring

Jarak vertikal adalah:

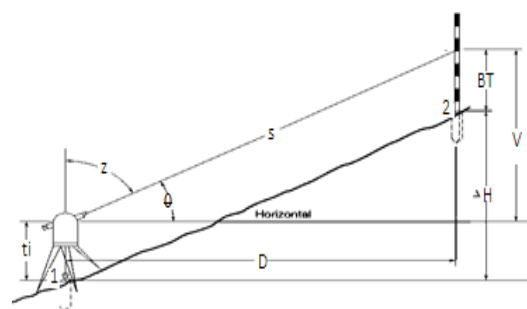
$V = D \sin z \cos z$, jika menggunakan sudut zenit

$V = D \tan \theta$, jika menggunakan sudut miring

V bernilai positif jika $z < 90^\circ$, dan bernilai negatif jika $z > 90^\circ$

Rumus beda tingginya adalah:

$\Delta H = t_i + V - BT$



Gambar 6.10. Pengukuran metode stadia

Contoh: Teodolit di titik 1 mengarah ke rambu yang berada di titik 2.

Hasil bacaan rambu (BA, BT, BB) = 1327; 1000; 677

Bacaan lingkaran vertikal (z) = $88^{\circ}20'40''$

Tinggi teodolit dari titik 1 (ti) = 1,405m

Tinggi titik 1 dari msl (H_1) = 100m

Hitunglah:

- Jarak dari titik 1 ke titik 2 (D_{1-2})
- Beda tinggi antara titik 1 dan titik 2 (ΔH_{1-2})
- Tinggi titik 2 (H_2)

Jawab:

Heling (θ) = $90^{\circ} - z = 90^{\circ} - 88^{\circ}20'40'' = 1^{\circ}39'20''$

- Jarak dari titik 1 ke titik 2

$$\begin{aligned} D_{1-2} &= 100 \times (BA - BB) \times \cos^2 \theta \\ &= 100 (1,327 - 0,677) \cos^2 1^{\circ}39'20'' \\ &= 64,946\text{m} \end{aligned}$$

- Beda tinggi dari titik 1 ke titik 2

$$\begin{aligned} \Delta H_{1-2} &= ti \pm (D \operatorname{tg} \theta) - BT \\ &= 1,405 + (64,946 \operatorname{tg} 1^{\circ}39'20'') - 1,000 \quad (\text{perhatikan } z < 90^{\circ}, \text{ sehingga nilai } (D \operatorname{tg} \theta) \text{ adalah positif}) \\ &= 2,282\text{m} \end{aligned}$$

- Tinggi titik 2

$$\begin{aligned} H_2 &= H_1 + \Delta H_{1-2} \\ &= 100 + 2,282 \\ &= 102,282\text{m} \end{aligned}$$

Contoh: Teodolit di titik A mengarah ke rambu yang berada di titik 1.

Hasil bacaan rambu (BA, BT, BB) = 1955; 1500; 1045

Bacaan lingkaran vertikal (z) = $272^{\circ}50'10''$

Tinggi teodolit dari titik A (ti) = 1,302m

Tinggi titik A dari msl (H_A) = 100m

Hitunglah:

- Jarak A-1
- Beda tinggi A-1
- Tinggi titik 1

Jawab:

Heling (θ) = $z - 270^{\circ} = 272^{\circ}50'10'' - 270^{\circ} = 2^{\circ}50'10''$

- Jarak A-1

$$\begin{aligned} D_{A-1} &= 100 \times (BA - BB) \times \cos^2 \theta \\ &= 100 (1,955 - 1,045) \cos^2 2^{\circ}50'10'' \\ &= 90,777\text{m} \end{aligned}$$

- Beda tinggi A-1

$$\begin{aligned} \Delta H_{A-1} &= ti \pm (D \operatorname{tg} \theta) - BT \\ &= 1,302 - (90,777 \operatorname{tg} 2^{\circ}50'10'') - 1,500 \quad (\text{perhatikan } z > 90^{\circ}, \text{ sehingga nilai } (D \operatorname{tg} \theta) \text{ adalah negatif}) \\ &= -4,299\text{m} \end{aligned}$$

- Tinggi titik 1

$$\begin{aligned} H_1 &= H_A + \Delta H_{A-1} \\ &= 100 - 4,299 \\ &= 95,701\text{m} \end{aligned}$$

6.4.2. Sistem Tangensial

Cara ini dilakukan jika terjadi kerusakan pada benang stadia sehingga hanya benang tengah yang tampak dalam lensa teropong.

Langkah pengukuran sistem tangensial adalah sebagai berikut:

- Tempatkan alat ukur di atas titik kerangka dasar atau titik kerangka penolong dan atur alat sampai siap digunakan untuk mengukur.
- Ukur dan catat tinggi alat (ti) dari titik kerangka tersebut.

3. Dirikan rambu di atas titik bidik dan tegakkan rambu dengan bantuan nivo rambu (nivo kotak).
4. Arahkan teropong ke rambu ukur dengan garis bidik berada di atas garis datar. Atur posisi teropong sehingga bayangan garis tegak diafragma berimpit dengan garis tengah rambu, lalu kencangkan kunci penggerak mendatar teropong. Baca dan catat bacaan rambu, misalnya BT_1 (hanya diperoleh satu bacaan saja).
5. Kendorkan kunci jarum magnet sehingga jarum bergerak bebas. Setelah jarum setimbang (tidak bergerak) baca dan catat azimuth magnetis dari tempat berdiri alat ke titik bidik.
6. Baca dan catat bacaan pada lingkaran vertikal misalnya z_1 .

Jika bacaan lingkaran vertikal yang diperoleh adalah zenit (z), maka untuk mengubah menjadi heling (θ) adalah sebagai berikut: $\theta = 90^\circ - z$ (posisi biasa) atau $\theta = z - 270^\circ$ (posisi luar biasa)

Rumus jarak datar adalah:

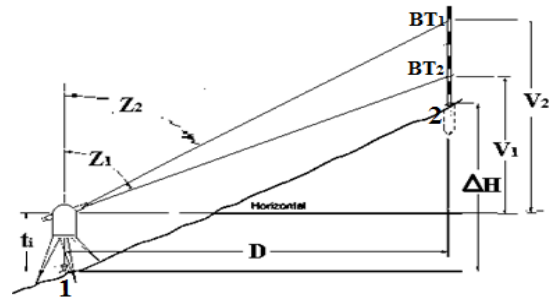
$$D = \frac{(BT_1 - BT_2)}{(Tg\theta_1 - Tg\theta_2)}$$

Jarak vertikal:

$V = D \sin z \cos z$, jika menggunakan sudut zenit

$V = D \operatorname{tg} \theta$, jika menggunakan sudut miring

V bernilai positif jika $z < 90^\circ$, dan bernilai negatif jika $z > 90^\circ$



Gambar 6.11. Pengukuran metode tangensial

Rumus beda tingginya adalah:

$$\Delta H = ti + V - BT$$

Contoh:

Dari titik 1 teodolit mengarah ke rambu di titik 2 dengan hasil bacaan sebagai berikut:

Sudut vertikal (zenit) 1 = $82^\circ 10'$

Benang tengah (BT) 1 = 2000

Sudut vertikal (zenit) 2 = $84^\circ 25'$

Benang tengah (BT) 2 = 1500

Tinggi alat di titik 1 = 1,405 m

Tinggi titik 1 = 100m di atas permukaan laut.

Hitunglah: jarak dan beda tinggi antara titik 1-2, serta tinggi titik 2.

Jawab:

Heling (θ_1) = $90^\circ - z = 90^\circ - 82^\circ 10' = 7^\circ 50'$

Heling (θ_2) = $90^\circ - z = 90^\circ - 84^\circ 25' = 5^\circ 35'$

a. Jarak dari titik 1 ke titik 2

$$D = \frac{(BT_1 - BT_2)}{(Tg\theta_1 - Tg\theta_2)} = \frac{(2,000 - 1,500)}{(Tg7^\circ 50' - Tg5^\circ 35')} = \frac{0,5}{(0,1376 - 0,0978)} = \frac{0,5}{0,0398} = 12,556m$$

b. Beda tinggi dari titik 1 ke titik 2

$$\begin{aligned} \Delta H_{1-2} &= ti + (D \operatorname{tg} \theta_1) - BT_1 \\ &= 1,405 + (12,556 \operatorname{tg} 7^\circ 50') - 2,000 \\ &= 1,132m \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{atau } \Delta H_{1-2} &= ti + (D \operatorname{tg} \theta_2) - BT_2 \\ &= 1,405 + (12,556 \operatorname{tg} 5^\circ 35') - 1,500 \\ &= 1,132m \end{aligned}$$

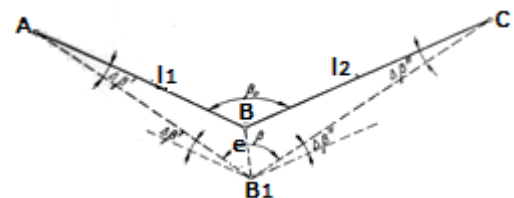
c. Tinggi titik 1

$$\begin{aligned} H_2 &= H_1 + \Delta H_{1-2} \\ &= 100 + 1,132 \\ &= 101,132m \end{aligned}$$

6.5. Kesalahan Centering

Jika pada saat centering posisi alat tidak tepat di atas patok maka akan menyebabkan kesalahan sudut horisontal sebesar:

$$\Delta\beta = \rho' \cdot e \frac{(L_1 + L_2)}{(L_1 \cdot L_2)}, \text{ dengan } \rho' = 3.438$$



Gambar 6.12. Pengaruh kesalahan centering

Misal:

Panjang L_1 dan L_2 masing-masing = 10m, dan posisi alat terhadap patok melenceng = 2mm maka kesalahan sudut horisaontal yang diukur adalah:

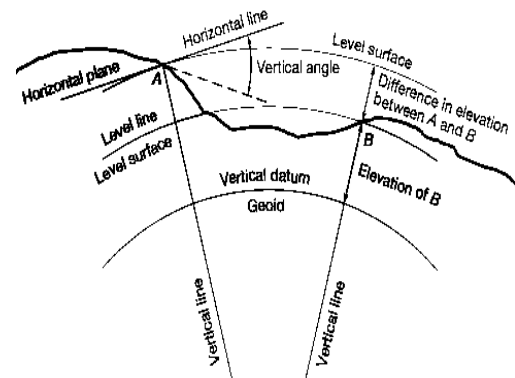
$$\Delta\beta = 3.438 \times 0,002 \frac{(10 + 10)}{(10 \times 10)} = 1,4'$$

7. PENGUKURAN SIPAT DATAR

Ketinggian suatu titik pada dasarnya menunjukkan posisi suatu titik di atas bidang datum tertentu. Koordinatnya merupakan jarak titik tersebut terhadap bidang datum sehingga hanya terdiri dari satu parameter saja (umumnya dinotasikan dengan h).

Datum ketinggian mempunyai tiga bentuk, yaitu:

1. Bidang datar
Datum ini hanya berlaku untuk daerah dengan ukuran maksimal 55 km x 55 km.
2. Elipsoid
Adalah bidang lengkung beraturan yang dibentuk oleh suatu elips yang diputar 180° terhadap sumbu pendeknya. Datum ini digunakan untuk perhitungan geodesi.
3. Geoid
Adalah bidang ekuipotensial gaya berat bumi, artinya permukaan yang mempunyai potensial gaya berat tetap/sama di setiap tempat. Permukaan geoid tidak beraturan.



Gambar 7.1 Bidang datum

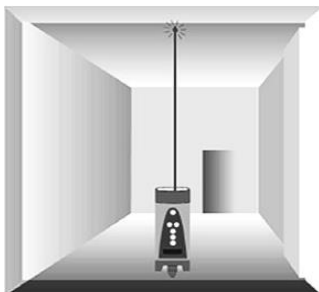
Beda tinggi antara dua titik adalah jarak antara bidang ekuipotensial yang melalui suatu titik dengan bidang ekuipotensial yang melalui titik lainnya. Pengukuran beda tinggi adalah pengukuran yang bertujuan untuk menentukan beda tinggi antar titik-titik atau tinggi suatu titik secara relatif terhadap bidang acuan tertentu. Bidang acuan (datum) untuk menentukan tinggi titik-titik di permukaan bumi adalah tinggi muka laut rata-rata (*mean sea level*) atau pun titik lokal yang sudah diketahui ketinggiannya

Yang dihasilkan dari pengukuran beda tinggi:

- Profil memanjang
- Profil Melintang
- Kontur

Hasil pengukuran beda tinggi digunakan untuk:

- Desain jalan raya, rel kereta api, saluran air, dll.
- Menggambarkan konstruksi proyek.
- Menghitung volume tanah dan material lainnya.
- Menyelidiki karakteristik drainase suatu area.
- Mengembangkan peta konfigurasi tanah secara umum.
- Mempelajari earth subsidence (penyusutan bumi) dan creostal movement (pergerakan kerak bumi).



Pengukuran beda tinggi (jarak vertikal) bisa dilakukan secara langsung maupun tidak langsung (mengggunakan metode pengukuran beda tinggi).

Pengukuran jarak vertikal secara langsung bisa menggunakan pita ukur maupun alat pengukur jarak elektronik (EDM). Pengukuran jarak vertikal dengan EDM biasanya digunakan untuk mengukur lubang bukaan tambang, tinggi lantai pada bangunan bertingkat, dan jalur pipa.

Gambar 7.2. Pengukuran jarak vertikal dengan EDM

7.1. Metode Pengukuran Beda Tinggi

Secara prinsip metode pengukuran beda tinggi (leveling) dikelompokkan menjadi tiga, yaitu:

1. Metode barometris (barometric leveling)

Penentuan beda tinggi metode barometris didasarkan pada perbedaan tekanan udara antara dua tempat. Prinsipnya adalah tekanan udara di dataran rendah (daerah pantai) akan lebih besar dibandingkan dengan tekanan udara di dataran tinggi (pegunungan).

Beda tinggi antara dua tempat secara umum dirumuskan sebagai: $dH = -dP / (\rho \cdot g)$

dh : beda tinggi

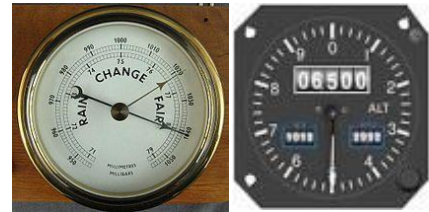
dP : perbedaan tekanan udara

ρ : kepadatan udara

g : percepatan gaya berat

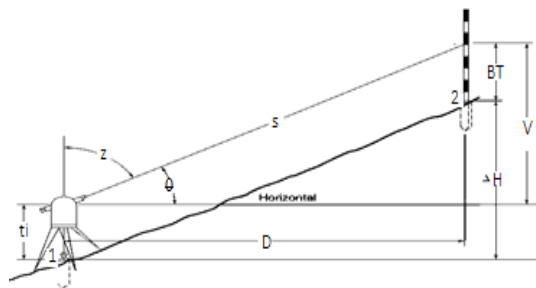
Selain tekanan udara, beda tinggi barometris juga dipengaruhi oleh temperatur udara, kelembaban udara, posisi lintang titik ukur, dan ketinggian titik ukur.

Tingkat ketelitian metode ini adalah yang paling rendah dibanding dua metode yang lain.



Gambar 7.3 Barometer dan altimeter

2. Metode trigonometris (trigonometric leveling)



Gambar 7.4. Trigonometric leveling

Pada metode ini digunakan alat ukur teodolit, sehingga garis bidik alat ukur bisa dibuat dalam keadaan miring (tidak mendatar). Alat ukur ditempatkan di atas titik ukur (1), sedangkan pada titik ukur lainnya (2) ditempatkan rambu. Data yang diukur adalah bacaan rambu (benang atas BA, benang tengah BT, benang bawah BB), sudut vertikal (z) atau sudut miring (θ), dan tinggi alat ukur (t_i). Untuk jarak dekat (<1000 feet) efek kelengkungan bumi dan refraksi diabaikan.

Beda tinggi (ΔH) titik 1 dan 2 adalah: $\Delta H = t_i \pm (D \sin z \cos z) - BT$ atau $\Delta H = t_i \pm (D \operatorname{tg} \theta) - BT$
 Jarak datar (D) adalah: $D = 100 \times (BA - BB) \times \sin^2 z$ atau $D = 100 \times (BA - BB) \times \cos^2 \theta$
 Hubungan zenit (z) dan heling (θ) adalah: $\theta = 90^\circ - z$ (posisi biasa) atau $\theta = z - 270^\circ$ (posisi luar biasa)

3. Metode sipat datar (spirit leveling)

Metode sipat datar adalah metode penentuan beda tinggi yang paling teliti dibandingkan dengan kedua metode tersebut. Alat ukur yang digunakan pada pengukuran beda tinggi metode sipat datar adalah waterpas (level), dimana garis bidiknya dalam keadaan mendatar. Beda tinggi antara dua titik adalah selisih antara dua bidang datar yang melewati kedua titik yang diukur.

HI = Elev. A + BS

Elev. B = HI - FS = Elev. A + BS - FS

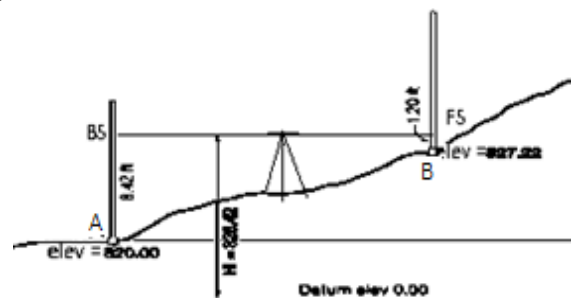
Keterangan:

HI : tinggi alat dari datum

BS : bacaan rambu belakang

FS : bacaan rambu depan

elev : tinggi titik



Gambar 7.5. Metode sipat datar

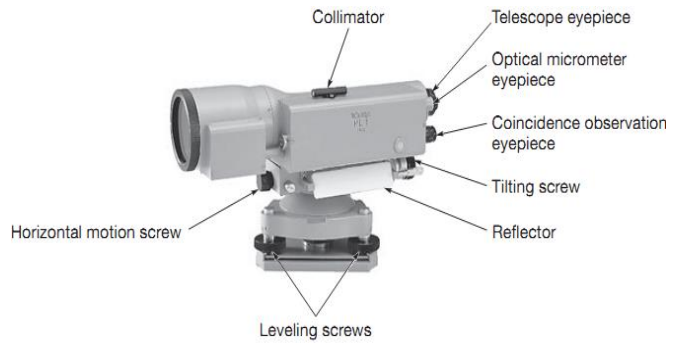
7.2. Pengukuran Sipat Datar

Peralatan yang digunakan pada pengukuran sipat datar adalah waterpas (level), tripod, rambu, dan pita ukur. Berdasarkan konstruksinya waterpas dibedakan menjadi:

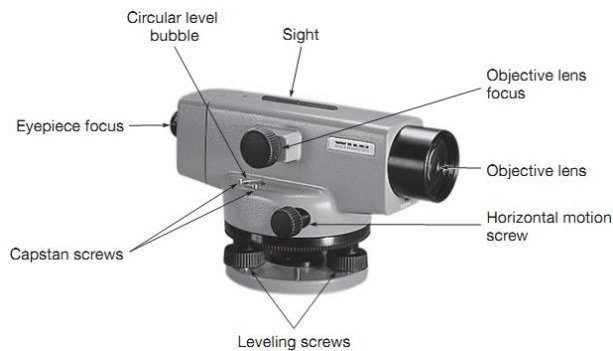
1. Tipe kekar (dumpy level)
2. Tipe jungkit (tilting level)
3. Tipe otomatis (automatic level)



Gambar 7.6 Waterpas tipe dumpy



Gambar 7.7 Bagian-bagian waterpas tipe jungkit



Gambar 7.8 Bagian-bagian waterpas tipe otomatis

7.2.1. Penempatan Waterpas

Ada tiga cara penempatan waterpas yaitu:

1. Pada posisi tepat di atas salah satu titik yang akan ditentukan adalah beda tingginya.

Beda tinggi dari A ke B: $h_{AB} = t_a - b$

Tinggi titik B: $H_B = H_A + h_{AB}$

Keterangan:

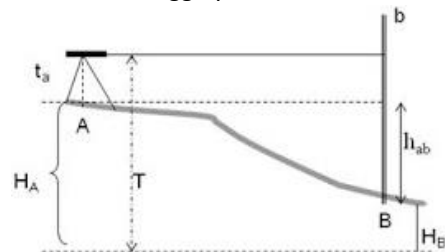
t_a : tinggi alat di A

T : tinggi garis bidik dari datum

H_A : tinggi titik A dari datum

b : bacaan rambu di B

H_B : tinggi titik B dari datum

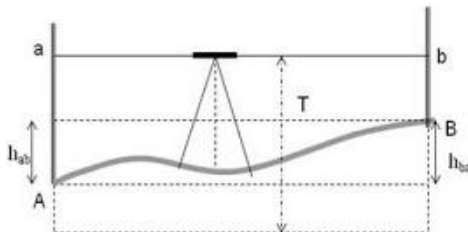


Gambar 7.9 Penempatan waterpas di salah satu titik

2. Pada posisi di tengah-tengah antara dua titik tanpa memperhatikan apakah posisi tersebut membentuk satu garis lurus atau tidak terhadap titik yang akan diukur.

Beda tinggi dari A ke B: $h_{AB} = a - b$

Tinggi titik B: $H_B = H_A + h_{AB}$



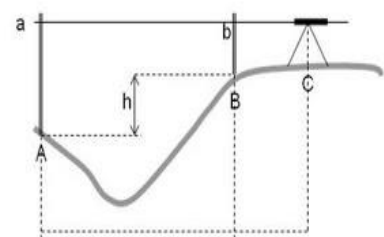
Gambar 7.10 Penempatan waterpas di tengah-tengah

3. Pada posisi selain dari kedua metode tersebut sebelumnya, dalam hal ini alat didirikan di sebelah kiri atau kanan dari salah satu titik yang akan ditentukan selisih tingginya.

$h_{ab} = a - b$ atau $h_{ba} = b - a$

Bila titik C diketahui = H_c dan tinggi garis bidik di atas titik C = T, maka:

$H_b = T - b$ dan $H_a = T - a$



Gambar 7.11 Penempatan waterpas di kanan atau di kiri titik B

Cara penempatan alat ukur yang paling baik adalah di antara dua rambu ukur, karena:

- Kesalahan yang mungkin masih ada pada pengaturan alat dapat saling memperkecil.
- Pengaruh tidak sejajarnya garis bidik dengan garis arah nivo akan hilang jika jarak antara alat ukur ke kedua rambu dibuat sama.

Sedangkan cara untuk mengukur tinggi garis bidik (collimation height) ada dua, yaitu:

1. Alat ukur sipat datar ditempatkan di atas tugu A yang diketahui tingginya (H_A)
 - Buat sumbu kesatu tegak lurus (gelembung nivo di tengah-tengah).
 - Ukur tinggi alat dari tugu (t_i) menggunakan rambu.
 - Hitung tinggi garis bidik $T_{gb} = H_A + t_i$
2. Mistar diletakkan di atas tugu A yang diketahui tingginya (H_A)
 - Buat sumbu kesatu tegak lurus (gelembung nivo di tengah-tengah).
 - Arahkan garis bidik ke rambu di titik A, dan baca benang tengahnya (BT_A).
 - Hitung tinggi garis bidik $T_{gb} = H_A + BT_A$

Penentuan tinggi garis bidik dengan cara kedua lebih teliti, karena pengukuran tinggi alat dari tugu relatif lebih sukar dan kasar. Acuan untuk pengukuran tinggi alat adalah titik tengah teropong.

7.2.2. Pengaturan Waterpas

Tahapan pengaturan waterpas sebagai berikut:

1. Buka ketiga klem kaki tripod, dirikan tripod di atas patok dengan merentangkan ketiga kakinya hingga ujung kaki tripod membentuk segitiga sama sisi dengan patok sebagai pusatnya.
2. Tarik tripod bagian atas hingga tripod setinggi dada (agar nantinya posisi teropong setinggi mata) dan pastikan kepala tripod mendatar. Jika tripod didirikan di tanah yang miring, tempatkan dua kakinya di bagian turunan bukit. Setelah posisi kepala tripod mendatar, kokohkan tripod dengan membenamkan ketiga kakinya ke dalam tanah. Setelah pengaturan selesai kencangkan semua klemnya.
3. Pasang waterpas di atas tripod, dan kunci dengan skrup tripod.



Gambar 7.12 Prosedur mendirikan tripod dan memasang waterpas

4. Atur waterpas agar memenuhi syarat berikut:
 - a. Syarat dinamis: sumbu I vertikal
 - b. Syarat statis:
 - Garis bidik teropong tegak lurus dengan garis arah nivo
 - Garis arah nivo tegak lurus sumbu I (sumbu vertikal)
 - Benang silang mendatar diafragma tegak lurus sumbu I

Cara pengaturan waterpas otomatis sedikit berbeda dengan waterpas non otomatis.

A. Pengaturan waterpas otomatis (satu nivo):

1. Membuat sumbu I vertikal, dengan menyeimbangkan nivo kotak saja menggunakan sekrop ABC.
2. Membuat benang silang horisontal tegak lurus sumbu I:
 - Arahkan teropong ke suatu titik di tembok.
 - Putar teropong terhadap sumbu I ke arah kiri/kanan. Amati apakah titik pada tembok tetap berimpit dengan benang silang horisontal atau sudah bergeser.
 - Bila bergeser betulkan dengan cara memutar diafragma dengan terlebih dulu mengendurkan sekropnya.



Gambar 7.13 Menyeimbangkan nivo kotak

B. Pengaturan waterpas non otomatis (dua nivo):

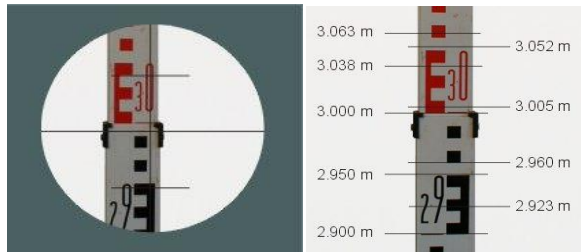
Hanya berbeda pada cara membuat sumbu I vertikal, yaitu:

- a. Menyeimbangkan nivo kotak dengan sekrup ABC
- b. Menyeimbangkan nivo tabung dengan cara:
 - ½ penyimpangan diatur dengan pen koreksi nivo
 - ½ penyimpangan yang lain diatur dengan sekrup A atau B

Sedangkan pengaturan untuk syarat yang lain sama dengan tipe otomatis.

7.2.3. Pembacaan Rambu

Rambu untuk sipat datar disesuaikan dengan jenis waterpas yang digunakan. Waterpas optik menggunakan rambu dengan pola E yang dilengkapi dengan angka di sebelahnya, atau dengan pola skala seperti penggaris.



Gambar 7.14 Pembacaan rambu sipat datar

Sementara untuk waterpas elektronik menggunakan rambu barcode. Panjang rambu bervariasi yaitu 3, 4, atau 5 meter.

Cara pembacaan rambu dengan pola E adalah menggabungkan angka yang tertera di samping E dengan blok yang berimpit dengan garis stadia, dimana satu E = 5 blok = 5cm = 50mm. Hasil bacaannya dalam satuan meter, dengan angka perkiraan sampai 1mm.

Contoh, pada gambar 7.10:

Benang atas = 3,040

Benang bawah = 2,946

Sehingga jarak rambu ke waterpas (D) = $100 \times (BA - BB) = 100 \times (3,040 - 2,946) = 9,4\text{m}$.

(Ingat, jarak dengan pengukuran stadia mempunyai ketelitian rendah. Kesalahan 1mm dalam pembacaan stadia menyebabkan kesalahan jarak 0,1m atau 10cm).

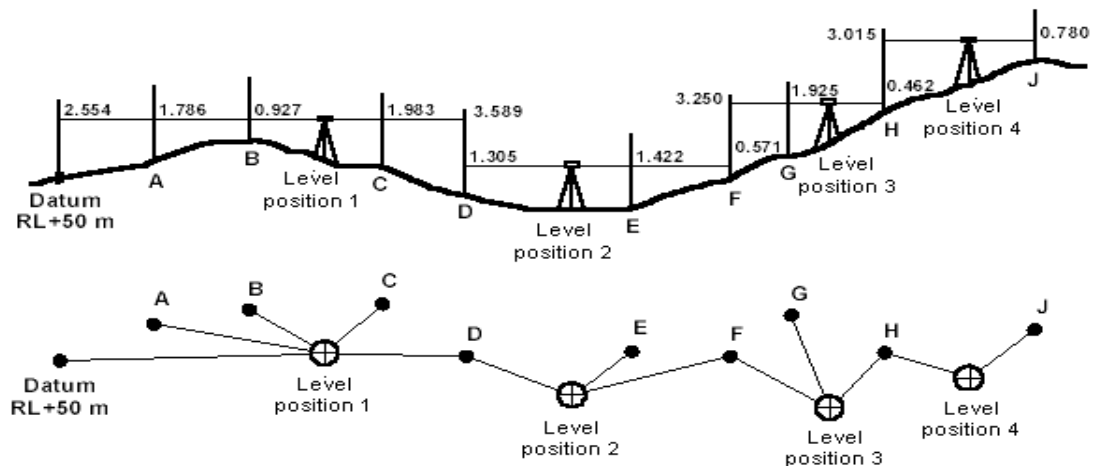
Agar hasil pembacaan rambu tidak dihindari kesalahan, selain lensa objektif dan okuler difokuskan (bebas dari paralaks) posisi berdiri rambu juga harus benar-benar vertikal. Rambu yang condong ke depan atau ke belakang dari kedudukan vertikalnya akan menghasilkan bacaan yang lebih besar. Untuk membantu rambu dalam posisi vertikal bisa dengan memasang nivo rambu, dan memastikan gelembungnya di tengah-tengah saat rambu dibaca.

7.2.4. Prosedur Pengukuran Sipat Datar

Secara umum pengukuran sipat datar sebagai berikut (lihat gambar 7.11):

1. Dirikan alat di posisi Level 1.
2. Tegakkan rambu di atas Datum (RL+50m) dan lakukan pembacaan. Ini adalah bacaan bidikan belakang (backsight), karena merupakan pembacaan rambu pertama setelah alat didirikan.
3. Pindahkan rambu ke A dan lakukan pembacaan. Ini adalah bidikan tengah (intermediate sight).
4. Pindahkan rambu ke B dan lakukan pembacaan. Ini juga merupakan bidikan tengah (intermediate sight).
5. Pindahkan rambu ke C dan lakukan pembacaan. Ini juga merupakan bidikan tengah (intermediate sight).
6. Pindahkan rambu ke D dan lakukan pembacaan. Ini adalah bidikan depan (foresight), karena setelah pembacaan maka alat akan dipindahkan. (Sebaiknya pada titik ini dipasang piringan untuk menjaga ketinggian yang sama).
7. Jarak antara stasiun harus diukur dan dicatat dalam buku lapangan. (Untuk menghilangkan kesalahan kolimasi, jarak backsight dan foresight harus sama. Panjang bidikan diusahakan kurang dari 100m).

8. Dirikan alat di posisi Level 2. Rambu D (di atas piringan) dihadapkan ke alat di Level 2, dan lakukan pembacaan. Ini adalah bidikan belakang (backsight).
9. Pindahkan rambu ke E dan lakukan pembacaan. Ini adalah bidikan tengah (intermediate sight).
10. Pindahkan rambu ke F (ditempatkan di atas piringan untuk menjaga ketinggian yang sama) dan lakukan pembacaan. Ini adalah bidikan depan (foresight), karena setelah pembacaan maka alat akan dipindahkan.
11. Selanjutnya pindahkan alat ke posisi Level 3 dan biarkan rambu di F.
12. Lakukan prosedur yang sama sampai selesai di titik J.



Gambar 7.15. Prosedur pengukuran sipat datar

7.2.5. Pencatatan Pengukuran Sipat Datar

Ada dua metode utama dalam pencatatan sipat datar, yaitu:

- a. Metode naik dan turun (rise and fall)

Berdasarkan pengukuran yang ditampilkan pada gambar 7.15, dilakukan pencatatan seperti tabel berikut:

Tabel 7.1 Pencatatan sipat datar metode rise and fall

Back-sight	Inter-mediate	Fore-sight	Rise	Fall	Reduced level	Distance	Remarks
2.554					50.000	0	Datum RL+50 m
	1.786		0.768		50.768	14.990	A
	0.927		0.859		51.627	29.105	B
	1.983			1.056	50.571	48.490	C
1.305		3.589		1.606	48.965	63.540	D / change point 1
	1.422			0.117	48.848	87.665	E
3.250		0.571	0.851		49.699	102.050	F / change point 2
	1.925		1.325		51.024	113.285	G
3.015		0.462	1.463		52.487	128.345	H / change point 3
		0.780	2.235		54.722	150.460	J
10.124		5.402	7.501	2.779	54.722		Sum of B-sight & F-sight, Sum of Rise & Fall
-5.402			-2.779		-50.000		Take smaller from greater
4.722			4.722		4.722		Difference should be equal

Cara pencatatannya sebagai berikut:

- Bacaan rambu backsight, intermediate sight, dan foresight ditulis dalam kolom yang sesuai pada baris yang berbeda, kecuali untuk titik perpindahan (contoh: titik D, F, dan H) maka backsight dan foresight ditulis pada baris yang sama.
- Ketinggian yang direduksi pertama adalah datum/benchmark (contoh: R.L.+50m).
- Jika intermediate sight atau foresight lebih kecil dari bacaan rambu sebelumnya, maka beda pembacaan ditulis di kolom rise.
- Jika intermediate sight atau foresight lebih besar dari bacaan rambu sebelumnya, maka beda pembacaan ditulis di kolom fall.

- Rise ditambahkan pada ketinggian tereduksi sebelumnya (RL) dan fall dikurangkan pada ketinggian tereduksi sebelumnya (RL).

Untuk mengecek kebenaran hitungan, beda antara jumlah backsight dan foresight harus sama.

b. Metode tinggi garis bidik (height of collimation)

Berdasarkan pengukuran yang ditampilkan pada gambar 7.15, dilakukan pencatatan seperti tabel berikut:

Tabel 7.2 Pencatatan sipat datar metode height of collimation

Back-sight	Inter-mediate	Fore-sight	Height of collimation	Reduced level	Distance	Remarks
2.554			52.554	50.000	0	Datum RL+50 m
	1.786			50.768	14.990	A
	0.927			51.627	29.105	B
	1.983			50.571	48.490	C
1.305		3.589	50.270	48.965	63.540	D / change point 1
	1.422			48.848	87.665	E
3.250		0.571	52.949	49.699	102.050	F / change point 2
	1.925			51.024	113.285	G
3.015		0.462	55.502	52.487	128.345	H / change point 3
		0.780		54.722	150.460	J
10.124		5.402		54.722		Sum of B-sight & F-sight, Difference between RL's
-5.402				-50.000		Take smaller from greater
4.722				4.722		Difference should be equal

Cara pencatatannya sebagai berikut:

- Pencatatan sama seperti pada metode rise and fall untuk backsight, intermediatesight, dan foresight. Tidak ada kolom rise atau fall, sebagai gantinya adalah kolom tinggi garis bidik.
- Bacaan backsight pertama (rambu di atas datum, benchmark, atau reduced level) ditambahkan ke RL pertama sehingga menjadi tinggi garis bidik.
- Bacaan rambu berikutnya ditulis di kolom yang sesuai tapi pada baris baru. RL untuk stasiun dihitung dengan cara mengurangi bacaan rambu dari tinggi garis bidik.
- Tinggi garis bidik berubah hanya jika alat berpindah ke posisi baru. Tinggi garis bidik yang baru dihitung dengan menambah backsight ke RL pada titik ubah (change point).

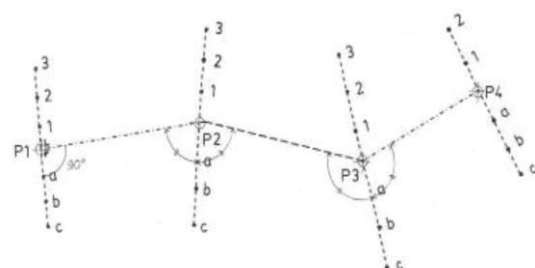
Pada metode ini tidak ada pengecekan ketelitian RL intermediate, dan kesalahan tidak dapat diketahui.

7.3. Profil Memanjang Dan Profil Melintang

Pelaksanaan pengukuran sipat datar profil memanjang tidak jauh berbeda dengan sipat datar memanjang, yaitu dilakukan sepanjang garis tengah (as) jalur pengukuran dan dilakukan pada setiap perubahan yang terdapat pada permukaan tanah. Jarak diukur dengan pita ukur dan dicek dengan jarak optis. Hasil pengukuran ini nantinya merupakan titik ikat bagi sipat datar profil melintang.

Pengukuran sipat datar profil melintang adalah pengukuran yang dilakukan untuk menentukan tinggi rendahnya tanah atau untuk mendapatkan bentuk permukaan titik sepanjang garis tertentu.

Pengukuran ini dilakukan setelah pengukuran profil memanjang selesai dilakukan. Hasil pengukuran dapat digunakan sebagai dasar dalam menentukan volume galian dan timbunan dalam perencanaan pembuatan jalan raya, jalan kereta api, saluran irigasi, dsb.



Gambar 7.16 Pengukuran profil memanjang dan melintang

Pengukuran sipat datar profil memanjang pergi-pulang sebagai berikut:

1. Siapkan peralatan, buku lapangan, dan buat sketsalapanangan yang akan diukur.
2. Tentukan dan tancapkan patok pada titik-titik yang akan dibidik (jarak antar titik ± 50 m).
3. Dirikan pesawat di antara titik P1 dan P2 kemudian lakukan penyetulan alat sampai mendatar.

4. Arahkan pesawat ke titik P1 (backsight), baca dan catat bacaan rambunya (BT).
5. Putar teropong searah jarum jam dan arahkan teropong pesawat ke titik P2 (foresight), baca dan catat bacaan rambunya.
6. Pindahkan teropong pesawat di antara titik P2 dan P3 dan lakukan penyetelan alatsampai mendatar.
7. Arahkan pesawat ke titik P2(backsight), baca dan catat bacaan rambunya.
8. Putar teropong searah jarum jam dan arahkan teropong pesawat ke titik P3 (foresight), baca dan catat bacaan rambunya.
9. Dengan cara yang sama lakukan sampai titik yang terakhir sebagai pengukuran pergi.
10. Kemudian lakukan pengukuran pulang dari arah titik terakhir sampai ke titik awal dengan cara yang sama pada pengukuran pergi.
11. Lakukan perhitungan beda tinggi dan ketinggian masing-masing titik.

Beda tinggi (Δh) antara P1 dan P2 adalah rata-rata beda tinggi pergi dan pulang:

$$\Delta h_{1-2 \text{ pergi}} = BT_{P1} - BT_{P2}$$

$$\Delta h_{1-2 \text{ pulang}} = BT_{P1} - BT_{P2}$$

$$\Delta h_{1-2} = \frac{1}{2}(\Delta h_{1-2 \text{ pergi}} + \Delta h_{1-2 \text{ pulang}})$$

...dst

Bila tinggi titik P1 = H_{P1} , maka tinggi P2 adalah:

$$H_{P2} = H_{P1} + \Delta h_{1-2}$$

$$H_{P3} = H_{P2} + \Delta h_{2-3}$$

...dst

12. Gambarkan hasil pengukuran.

Pengukuran sipat datar melintang:

1. Dirikan pesawat di antara titik P1 kemudian lakukan penyetelan alat sampai mendatar.
2. Arahkan pesawat ke rambu yang berdiri di titik-titik detail yang segaris di sebelah kiri P1, baca dan catat bacaan rambunya (BT).
3. Putar alat 180° searah jarum jam ke rambu yang berdiri di titik-titik detail yang segaris di sebelah kanan P1, baca dan catat bacaan rambunya (BT).
4. Ukurlah tinggi alat dan jarak antar titik-titik detail di sebelah kiri dan kanan.
5. Dengan cara yang sama lakukan pengukuran profil melintang dari titik awal sampai titik yang terakhir.
6. Lakukan perhitungan beda tinggi dan ketinggian masing-masing titik.

Beda tinggi (Δh) antara P1 dan titik detil adalah selisih tinggi alat di P1 (ti_{P1}) dengan bacaan rambu (BT)

$$\Delta h_{P1-a} = ti_{P1} - BT_a$$

$$\Delta h_{P1-b} = ti_{P1} - BT_b$$

...dst

Bila tinggi titik P1 = H_{P1} , maka tinggi titik detil adalah:

$$H_a = H_{P1} + \Delta h_{P1-a}$$

$$H_b = H_{P2} + \Delta h_{P2-b}$$

...dst

7. Gambarkan hasil pengukuran.

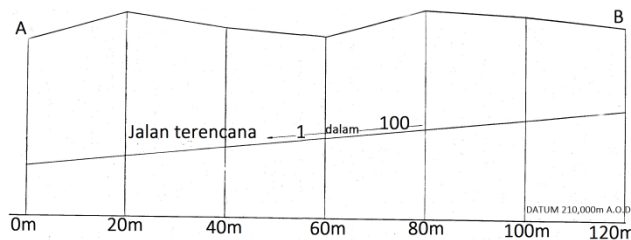
Contoh: Hasil pengukuran dan hitungan sipat datar memanjang sebagai berikut:

BS	IS	FS	Raise	Fall	RL	Jarak	Keterangan
4.365					210.210		Pilar 1
2.150		1.045	3.320		213.530	0	grs sb A
	1.580		0.570		214.100	20	grs sb
	1.880			0.300	213.800	40	grs sb
1.950		2.030		0.150	213.650	60	grs sb
	1.390		0.560		214.210	80	grs sb
	1.500			0.110	214.100	100	grs sb
1.600		1.700		0.200	213.900	120	grs sb B
1.576		3.850		2.250	211.650		
		3.006		1.430	210.220		Pilar 1
<u>11.641</u>		<u>11.631</u>	<u>4.450</u>	<u>4.440</u>	<u>210.220</u>		
<u>-11.631</u>			<u>-4.440</u>		<u>-210.210</u>		
0.010			0.010		0.010		

(keterangan: cetak miring menunjukkan hasil hitungan)

Perbedaannya hasil pengukuran dan hitungan ketinggian adalah 0,010m. Kesalahan penutup ini dapat diterima dan hitungan ketinggian dianggap memuaskan.

Selanjutnya digambarkan profil penampang dengan rasio skala horisontal dan skala vertikal 10 berbanding 1, artinya misalnya jika skala horisontal 1 : 500 maka skala vertikalnya 1 : 50.



Gambar 7.17 Penampang vertikal sepanjang garis AB (skala vertikal 1:50, skala horisontal 1:500, tinggi datum 210,000m di atas msl)

Pada gambar tersebut ketinggian titik-titik diletakan 210.000m di atas datum. Artinya ketinggian titik A = 213.350m, B = 213.900m dengan jarak 120 m dari titik A.

Perhitungan galian dan timbunan dilakukan jika ada rencanagaris kerja. Misalnya pada gambar ada rencana jalan barudengan ketinggian 211.000m pada titik A, dan rencana jalan tersebut menanjak 1m dalam 100m menuju titik B. Maka:

Tinggi rencana AB=1 dalam 100 kenaikan

Jadi kenaikan 20m= $20/100 \times 1.000 = 0.200$ m

Ketinggian tereduksi titik awal A = 211.000 m

Ketinggian tereduksi pada jarak 20 m = 211.000 + 0.200 = 211.200 m

Ketinggian tereduksi pada jarak 40 m = 211.000 + 0.400 = 211.400 m

Ketinggian tereduksi pada jarak 60 m = 211.000 + 0.600 = 211.600 m

Ketinggian tereduksi pada jarak 80 m = 211.000 + 0.800 = 211.800 m

Ketinggian tereduksi pada jarak 100 m = 211.000 + 1.000 = 212.000 m

Ketinggian tereduksi pada jarak 120 m = 211.000 + 1.200 = 212.200 m

Galian/timbunan = ketinggian tanah – ketinggian terencana. (jika hasilnya (+) = galian, (-) = timbunan).

Galian di titik awal A = 213.530 - 211.000 = 2.530 m

Galian pada jarak 20m = 214,100 - 211.200 = 2.900 m

Galian pada jarak 20m = 213,800 - 211.400 = 2.400 m

Galian pada jarak 20m = 213,650 - 211.600 = 2.050 m

Galian pada jarak 20m = 214,210 - 211.800 = 2.410 m

Galian pada jarak 20m = 214,100 - 212.000 = 2.100 m

Galian pada jarak 20m = 213,900 - 212.200 = 1.700 m

7.4. Kontur

Untuk mengetahui tinggi rendahnya suatu tempat dapat dilakukan dengan mengukur sebanyak mungkin titik-titik di tempat tersebut menggunakan sipat datar. Metode sipat datar yang sesuai untuk keperluan pengukuran detil di area yang luas adalah metode tinggi garis bidik. Hasil pengukuran berupa beda tinggi dan tinggi, yang selanjutnya digunakan untuk penggambaran kontur.

Kontur adalah garis khayal yang menghubungkan titik-titik yang mempunyai ketinggian yang sama.

Interval kontur merupakan selisih nilai dua kontur yang berdampingan. Interval kontur sama dengan beda tinggi antara kedua kontur tersebut.

Penentuan interval kontur ataupun titik tinggi didasarkan pada:

- Skala peta
- Maksud/tujuan peta
- Relief daerah pemetaan

Interval kontur menurut Jawatan Topografi = $1/2000 \times$ skala peta

Interval kontur menurut kondisi relief daerah pemetaan:

- Daerah datar = $1/1000 \times$ skala peta
- Daerah berbukit = $1/500 \times$ skala peta
- Daerah bergunung = $1/200 \times$ skala peta

Sifat-sifat kontur topografi:

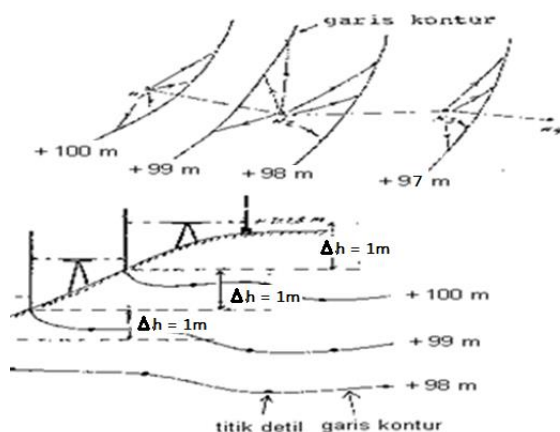
- Garis kontur selalu tegak lurus arah kemiringan lerengnya.
- Semakin landai suatu lereng maka garis konturnya semakin jarang. Sebaliknya, semakin curam suatu lereng maka garis konturnya semakin rapat.
- Garis kontur tidak akan bercabang.
- Garis-garis kontur yang berbeda nilai tidak akan berpotongan.
- Garis kontur merupakan suatu garis lengkung yang tertutup.
- Garis kontur yang memotong sungai akan melengkung ke arah hulu.
- Garis kontur yang memotong jalan akan melengkung ke arah turunnya jalan.
- Garis kontur yang memotong bangunan akan dibelokkan dan mengelilingi/sejajar batas bangunan.

7.4.1. Pengukuran kontur

Metode pengukuran titik-titik detail untuk penarikan garis kontur suatu peta adalah:

1. Metode Langsung
2. Metode Tidak Langsung
 - a. metode matematis atau interpolasi linier
 - b. metode semi matematis
 - c. metode grafis

A. Pengukuran kontur secara langsung



Gambar 7.18 Pengukuran kontur cara langsung

Metode langsung adalah menentukan titik-titik dengan ketinggian yang sama di lapangan secara langsung. Garis penghubung titik-titik yang diamati dengan ketinggian yang sama sudah langsung merupakan garis kontur.

Cara pengukurannya bisa dengan cara *tachymetri* atau cara sipat datar memanjang dan diikuti dengan pengukuran polygon. Untuk itu diperlukan titik-titik detail dalam jumlah banyak. Pengukuran secara langsung lebih rumit dan sulit pelaksanaannya dibanding dengan cara tidak langsung, namun ada jenis kebutuhan tertentu yang harus menggunakan cara pengukuran kontur cara langsung, misalnya pengukuran dan pemasangan tanda batas daerah genangan.

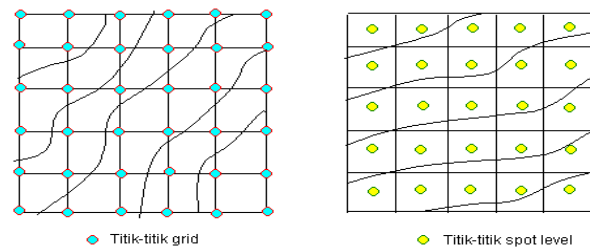
Misal, ketinggian titik ikat = 94,070 m. Alat ukur di tempat, kemudian bidik rambu pada titik ikat, misal terbaca 1630 mm. Berarti tinggi garis bidik = 95,700 m (94,070 m + 1,630 m). Apabila tinggi garis kontur yang kita kehendaki adalah 94,00 m, maka garis bidik di titik detail yang tingginya 94,00 m harus terbaca 1700 mm. Untuk itu orang yang memegang rambu harus maju atau mundur sedemikian hingga si pengamat membaca rambu pada angka tersebut. Pada titik berdirinya rambu kemudian diberi tanda dengan patok, yang menunjukkan bahwa tinggi di tempat tersebut = 94,00 m. Demikian selanjutnya untuk titik yang lain dengan tinggi yang sama, maupun untuk ketinggian yang lain, sehingga seluruh daerah yang dipetakan terbentuk garis kontur.

B. Pengukuran kontur secara tidak langsung

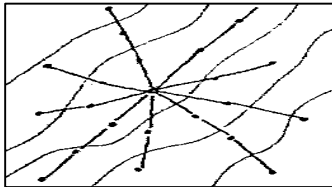
Metode pengukuran kontur tidak langsung adalah garis kontur digambar di atas kertas atas dasar ketinggian detail-detail hasil plotting yang tidak merupakan kelipatan interval kontur yang diperlukan.

Pada pengukuran garis kontur cara tidak langsung umumnya titik-titik detail tersebut mempunyai ketinggian sembarang (tidak sama).

Titik-titik detail yang tidak harus sama tinggi, dipilih mengikuti pola tertentu, yaitu: pola kotak-kotak (*spot level*), pola profil (*grid*) dan pola radial. Titik-titik detail ini, posisi horisontal dan tingginya bisa diukur dengan cara *tachymetri* - pada semua medan, sipat datar memanjang ataupun sipat datar profil - pada daerah yang relatif datar.



Gambar 7.19 Pengukuran kontur pola spot level dan grid



Pola radial digunakan untuk pemetaan topografi pada daerah yang luas dan permukaan tanahnya tidak beraturan.

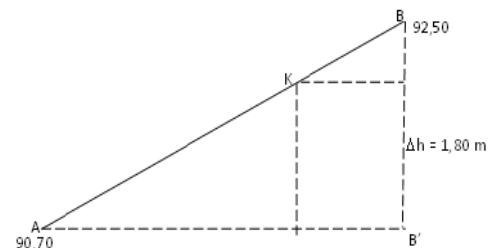
Gambar 7.20 Pengukuran kontur pola radial

Penarikan garis kontur dengan cara tidak langsung dapat dilakukan dengan:

1. Metode matematis

Cara ini disebut juga dengan interpolasi linier. Pada dasarnya menggunakan dua titik yang diketahui posisi dan ketinggiannya, hanya saja hitungan interpolasinya dikerjakan secara numeris (eksak) menggunakan perbandingan linier terhadap jaraknya.

Tujuan interpolasi adalah untuk meletakkan titik dengan ketinggian tertentu (sesuai ketinggian kontur yang akan ditarik) pada garis antara 2 titik tinggi yang telah ada.



Gambar 7.21 Interpolasi linier

Misalnya seperti pada gambar 7.21:

- Tinggi titik A = 90,70 m
- Tinggi titik B = 92,50 m
- Jarak antara titik A dan B = 20 m

Posisi titik K dengan ketinggian = 92,00 m adalah:

Beda tinggi antara A dan B = $(92,50 - 90,70) \text{ m} = 1,80 \text{ m}$

Beda tinggi antara A dan K = $(92,00 - 90,70) \text{ m} = 1,3$

Sehingga jarak AK = $(1,30/1,80) \times 20 = 14,50 \text{ m}$

2. Metode grafis

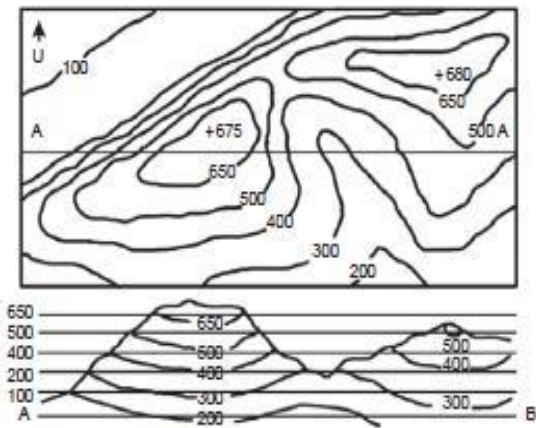
Metode ini banyak disukai karena penggambarannya lebih cepat. Biasanya digunakan untuk peta skala menengah dan kecil, yang ketelitian ketinggian tidak banyak dituntut. Namun untuk peta-peta teknik yang berskala besar, metode ini sebaiknya dihindari.

Setelah titik-titik tinggi sesuai dengan interval kontur ditentukan posisinya, kemudian ditarik garis yang melalui titik-titik dengan ketinggian yang sama, sehingga terbentuk peta kontur. Pada setiap kontur ditulis ketinggiannya dan setiap lima kontur atau angka kelipatan tertentu, garis kontur dibuat agak tebal.

Langkah penggambaran kontur adalah sebagai berikut:

1. Tentukan skala jarak untuk menggambar denah dan skala tinggi untuk menggambar potongan kontur.
2. Menggambar letak titik-titik tinggi yang akan digambar konturnya.
3. Menentukan koefisien garis tinggi yang akan digambar konturnya.
4. Interpolasi kontur dengan prinsip perbandingan antara segitiga kecil dan segitiga besar, sehingga dapat dicari jarak titik dengan ketinggian tertentu.
5. Ketinggian titik lainnya dihitung satu persatu sehingga ditemukan lokasi titiknya.
6. Menghubungkan tinggi titik-titik yang sama.

7.4.2. Cross section



Gambar 7.22 Penampang melintang pegunungan

Cross section adalah penampang permukaan bumi yang dipotong secara tegak lurus.

Cross section dikelompokkan menjadi dua yaitu *illustrative cross section* dan *predictive cross section* yang memiliki tujuan masing-masing dalam pembuatannya.

Pembuatan *cross section* ada tiga tahap, yakni memilih garis section (*section line*), memilih *dip section* dan melakukan perbesaran vertikal maupun perbesaran horizontal.

Cross section harus tegak lurus sudut lipatan baik itu dalam bentuk vertikal maupun longitudinal agar mewakili kenampakan sebenarnya dari permukaan bumi.

8. PERHITUNGAN LUAS DAN VOLUME

Perhitungan luas dan volume bisa dilakukan secara grafis dan numeris. Untuk memudahkan perhitungan gambar yang dibatasi oleh titik-titik yang berkoordinat, perhitungan luas dan volume secara numeris dapat menggunakan kalkulator berprogram maupun program komputer.

8.1. Perhitungan Luas

8.1.1. Perhitungan Luas Cara Numeris

Berdasarkan bentuk areanya, perhitungan luas secara numeris dibedakan sebagai berikut:

1. Bentuk Dasar Beraturan

a. Persegi empat

Bila panjang persegi empat P dan lebar L, maka luasnya $L_{PE} = P \times L$.

b. Segitiga

• Bila panjang satu sisi b dan tinggi segitiga pada sisi itu = h, maka luas segitiga:

$$L_{ST} = 1/2 bh$$

• Bila sudut a diketahui dan sisi pengapitnya b dan c diketahui, maka luas segitiga:

$$L_{ST} = 1/2 bc \sin a$$

• Bila ketiga sisi segitiga masing-masing a, b dan c diketahui, maka luas segitiga:

$$L_{ST} = (s(s-a)(s-b)(s-c))^{1/2} \quad \text{dengan } s = 1/2(a+b+c).$$

c. Trapesium

Bila kedua sisi sejajar trapesium b_1 dan b_2 serta tingginya h diketahui, maka luas trapesium:

$$L_{TRP} = 1/2(b_1 + b_2)h$$

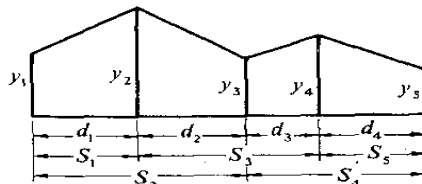
2. Bentuk Bentukan dari Bentuk Dasar Beraturan

a. Bentuk turunan trapesium

• Cara offset dengan interval tidak tetap:

$$A = 1/2(S_1y_1 + S_2y_2 + S_3y_3 + \dots + S_ny_n),$$

Dengan: $S_1 = d_1, S_2 = d_1 + d_2, S_3 = d_2 + d_3, S_4 = d_3 + d_4$ dan $S_5 = d_4$.



Gambar 8.1 Hitungan luas cara offset dengan interval tidak tetap

• Cara offset dengan interval tetap:

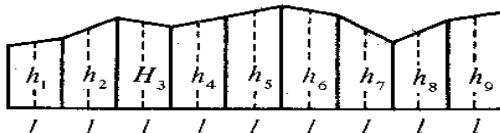
$$A = d\{(y_1+y_2)/2 + y_2 + y_3 + \dots + y_{n-1}\},$$

dengan $d_1 = d_2 = d_3 = d_4 = d$.

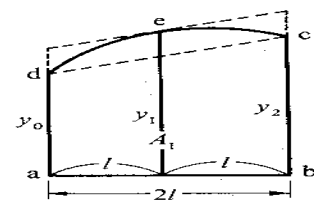
• Cara offset pusat

$$A = l(h_1 + h_2 + h_3 + \dots + h_n) = l S h_i,$$

dengan $i = 1 \dots n$.



Gambar 8.2 Hitungan luas cara offset pusat



Gambar 8.3 Hitungan luas cara Simpson 1/3

b. Bentuk turunan trapesium dan parabola

Trapesium dan parabola sebagai pendekatan bentuk yang dibatasi oleh lengkung polynomial:

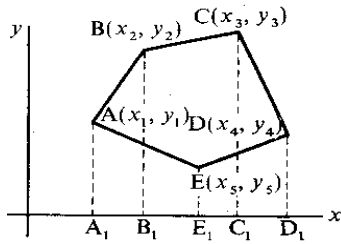
• Cara Simpson 1/3, dua bagian dianggap satu set:

$$A = l/3 (y_0 + 4y_1 + y_2)$$

• Cara Simpson 1/3 untuk offset ganda berulang:

$$A = l/3 \{y_0 + y_n + 4(y_2 + y_4 + \dots + y_{n-1}) + 2(y_3 + y_5 + \dots + y_{n-2})\}$$

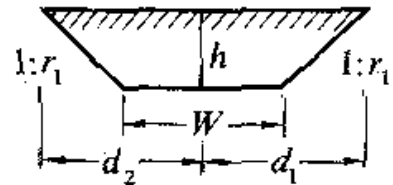
- c. Bentuk segi banyak cara koordinat
 Bila koordinat (X,Y) suatu segi banyak diketahui, maka luasnya adalah:
 $A = 1/2 \sum X(Y_{i+1} - Y_{i-1})$ atau $A = 1/2 \sum Y_i(X_{i-1} - X_{i+1})$.



Gambar 8.4 Hitungan luas cara koordinat

- d. Bentuk luas berdasarkan typical cross-section
 Typical cross section adalah bentuk potongan baku yang menunjukkan bentuk struktur bangunan pada arah potongan. Pada konstruksi jalan beraspal, typical cross section jalan menunjukkan struktur pelapisan perkerasan jalan yang juga menunjukkan cara penimbunan ataupun penggalian bila diperlukan.

- Bentuk tanah asli beraturan:
 Luas dihitung menggunakan rumus "typical" pada bentuk yang beraturan tersebut.
 Luas galian pada potongan yang ditunjukkan pada Gambar 8.5 adalah: $A = h(W + r_1h)$



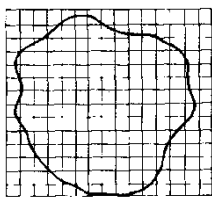
Gambar 8.5 Luas galian pada bentuk tanah asli beraturan

- Bentuk tanah asli tidak beraturan
 Hitungan luas berdasarkan potongan lintang pada bentuk tanah asli tidak beraturan menggunakan cara koordinat. Koordinat perpotongan typical cross sections dengan tanah asli harus dihitung.

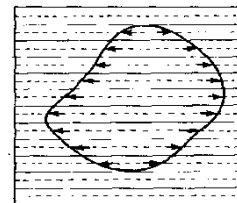
8.1.2. Perhitungan Luas Cara Grafis

Perhitungan luas secara grafis dilakukan dengan:

1. Cara kisi-kisi
 Bagian yang akan ditentukan luasnya "dirajah" dengan menempatkan kisi-kisi transparan dengan ukuran tertentu di atasnya. Luas = jumlah kelipatan kisi-kisi satuan.
2. Cara lajur
 Bagian yang akan ditentukan luasnya "dirajah" dengan menempatkan lajur-lajur transparan dengan ukuran tertentu di atasnya. Luas setiap lajur = dl, bila d adalah lebar lajur dan l panjang lajur.



Gambar 8.6 Hitungan luas grafis dengan kisi-kisi



Gambar 8.7 Hitungan luas grafis dengan lajur

8.1.3. Perhitungan Luas Cara Mekanis Grafis

Luas gambar diukur dengan menelusuri batas tepinya menggunakan pelacak pada alat planimeter. Luas kawasan yang diukur diperoleh dengan mengalikan bacaan manual luas planimeter dikalikan dengan skala gambar. Pada planimeter digital, bacaan luas planimeter secara digital direkam dan disajikan langsung oleh alat

8.2. Perhitungan Volume

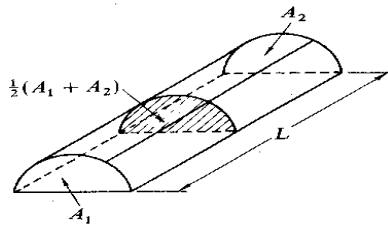
Metode perhitungan volume antara lain:

1. Metode tampang melintang
 Dibedakan menjadi:

a. Tampang melintang rata-rata

Bila A_1 dan A_2 merupakan luas dua buah penampang yang berjarak L , maka volume yang dibatasi oleh kedua penampang:

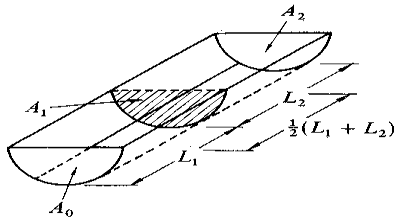
$$V = \frac{1}{2} (A_1 + A_2) L$$



Gambar 8.8 Volume cara potongan melintang rata-rata

b. Jarak rata-rata dari penampang

$$V = \frac{1}{2}(L_1 + L_2) A_0$$



Gambar 8.9 Volume cara jarak rata-rata

2. Cara prisma dan piramida

Dibedakan menjadi:

a. Cara prisma: $V = \frac{h}{6}(A_1 + 4 A_m + A_2)$

b. Cara piramida kotak: $V = \frac{h}{3}\{A_1 + (A_1 A_2)^{1/2} + A_2\}$

3. Metode ketinggian sama

a. Area berbentuk bujur sangkar

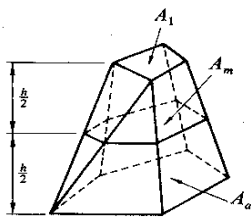
$$V = \frac{A}{4} (h_1 + 2 S h_2 + 3 S h_3 + 4 S h_4)$$

h_i = ketinggian titik-titik yang digunakan i kali dalam hitungan volume

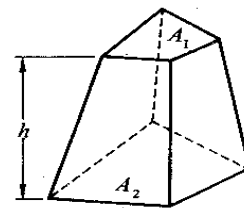
b. Area berbentuk segitiga

$$V = \frac{A}{3}(h_1 + 2S h_2 + 3S h_3 + 4S h_4 + 5S h_5 + 6S h_6 + 7S h_7 + 8S h_8)$$

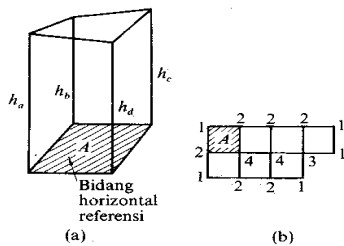
h_i = ketinggian titik-titik yang digunakan i kali dalam hitungan volume.



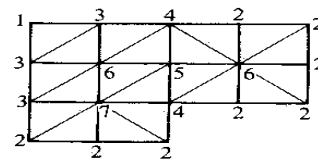
Gambar 8.10 Metode prisma



Gambar 8.11 Metode piramida kotak



Gambar 8.12 Metode area bujur sangkar



Gambar 8.13 Metode area segitiga

4. Cara Garis Kontur

a. Dengan rumus prisma

$$V = h/3 \{ A_0 + A_n + 4SA_{2r+1} + 2SA_{2r} \}$$

r pada $2r + 1$ berselang $0 \leq r \leq 1/2(n - 2)$,
r pada $2r$ berselang $0 \leq r \leq 1/2(n - 2)$.
Untuk $n = 2$ diperoleh $r = 0$, sehingga:
 $V = h/3(A_0 + A_2 + 4A_1) = h/3(A_0 + 4A_1 + A_2)$.

Bila n adalah ganjil, bagian yang terakhir dihitung dengan cara piramida kotak atau cara rerata luas penampang awal dan akhir.

- b. Cara garis kontur dengan rumus piramida kotak

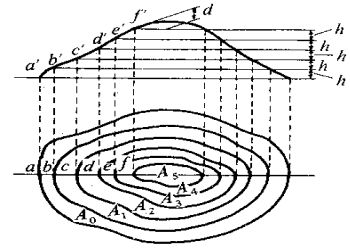
$$V = h/3 \{ A_0 + A_n + 2SA_r + S(A_{r-1}A_r)^{1/2} \}$$

r pada $2SA_r$ berselang $1 \leq r \leq n - 1$,
r pada $S(A_{r-1}A_r)^{1/2}$ berselang $1 \leq r \leq n$.
Untuk $n = 1$ diperoleh:
 $V = h/3 \{ A_0 + A_1 + (A_0A_1)^{1/2} \} = V = h/3 \{ A_0 + (A_0A_1)^{1/2} + A_1 \}$

- c. Cara garis kontur dengan luas rata-rata

$$V = h/2 \{ A_0 + A_n + 2S A_r \}$$

R bernilai $1 \leq r \leq n - 1$.
Untuk $n = 1$ diperoleh $V = h/2 (A_0 + A_1)$



Gambar 8.14 Volume cara kontur

DAFTAR PUSTAKA

1. Basuki, S., 2012, *Ilmu Ukur Tanah (Edisi Revisi)*, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
2. Davis, R.E., and Foote, F.S., 1981, *Surveying, Theory And Practice 5th Edition*, Mc Graw Hill Book Company, Inc, New York
3. Ghilani, C.D., Wolf, P.R., 2012, *Elementary Surveying, An Introduction to Geomatics*, Prentice Hall, New Jersey
4. Harvey, B.R., 2013, *Survey Computations version 27/06/2013*, Surveying and Geospatial Engineering, School of Civil & Environmental Engineering, The University of New South Wales, Sydney
5. Singh, R., Artman, D., Taylor, D.W., Brinton, D., 2000, *Basic Surveying-Theory and Practice*, 9th Annual Seminar, Oregon Department of Transportation Geometric Unit, Oregon
6. Subagio, 2002, *Pengetahuan Peta*, Penerbit ITB, Bandung
7. Wongsotjitro, S., 1980, *Ilmu Ukur Tanah*, Penerbit Yayasan Kanisius, Yogyakarta