

DIKTAT KULIAH ILMU UKUR TANAH



**Oleh:
D.M Priyantha Wedagama, ST., MT., MSc., PhD**

**JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS UDAYANA
2013**

KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan kehadirat Ida Sang Hyang Widi Wasa / Tuhan Yang Maha Esa atas karunia-NYA Bahan Ajar Kuliah Ilmu Ukur Tanah ini dapat diselesaikan. Diktat ini disusun berdasarkan Silabus dan Satuan Acara Pengajaran Kuliah Ilmu Ukur Tanah tahun 2012. Bahan Ajar ini diharapkan dapat membantu proses pemahaman mata kuliah ilmu ukur tanah bagi mahasiswa S1 Teknik Sipil.

Diktat ini memuat konsep dasar dan rumus analitis yang banyak digunakan pada pengukuran jarak, sudut dan penentuan posisi obyek di muka bumi. Disamping itu juga diuraikan mengenai aplikasi ilmu ukur tanah untuk teknik sipil serta beberapa contoh soal dan penyelesaiannya. Dengan pesatnya perkembangan teknologi informasi serta untuk meningkatkan pemahaman mengenai konsep-konsep pemetaan terkini diharapkan juga para mahasiswa mengambil referensi dari sumber-sumber lain baik dari buku teks *online* maupun referensi lainnya dari internet.

Kami menyadari bahwa diktat ini masih banyak memiliki kekurangan oleh karenanya kritik dan saran untuk penyempurnaan diktat ini diterima dengan senang hati. Kami juga mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu sehingga terselesaikannya Diktat ini.

Denpasar, April 2013

Penyusun

DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR TABEL	iv
DAFTAR GAMBAR	v
Bab.I Pendahuluan	1
I.1 Maksud dan Tujuan Ilmu Ukur Tanah	2
I.2 Bidang Perantara dan Referensi	4
I.3 Sistem Koordinat	5
I.4 Satuan Panjang dan Satuan Sudut	7
I.5 Pengertian Skala dan Peta	8
BAB II Metode Sederhana Untuk Pengukuran Sudut dan Jarak	11
II.1 Pengukuran Titik-titik Detail (Situasi) dengan Metode Offset	11
II.2 Pengukuran Titik-titik Kerangka Dasar dengan Metode Offset	13
II.3 Penarikan Garis Tegak Lurus di Lapangan	14
II.4 Penarikan Garis Lurus Sejajar Garis Ukur di Lapangan	16
II.5 Memasang Titik Sepanjang Garis Ukur di Lapangan	17
II.6 Alat Pembuat Sudut Sikur-Siku	18
BAB III Peralatan Ukur Tanah	20
III.1 Theodolit	20
III.2 Pemeriksaan dan Pengaturan Theodolit	24
III.3 Alat Penyipat Datar (Waterpas)	25
III.4 Pemeriksaan dan Pengaturan Alat Penyipat Datar	27
III.5 Peralatan-Peralatan lainnya	27
III.6 Pengukuran Sudut Mendatar	28
III.7 Pengukuran Tegak	30
III.8 Pembacaan Sudut Pada Theodolit	32
BAB IV Pengukuran Horizontal	33
IV.1 Arti Posisi dan Jarak Horizontal	33
IV.2 Arti Sudut Mendatar dan Sudut Jurusan	38
IV.3 Metode Penentuan Posisi Horizontal	40
IV.3.1 Metode Polar	41
IV.3.2 Metode Perpotongan Ke Muka	41
IV.3.3 Metode Perpotongan Ke Belakang	42
IV.3.4 Metode Poligon	44
IV.3.5 Metode Triangulasi	48
IV.3.6 Metode Triangulasi	49
BAB V Pengukuran Vertikal	51
V.1. Pengukuran Jarak Secara Optis	51
V.2. Cara-Cara Pengukuran	53
V.3. Macam-Macam Pengukuran	57

BAB VI Pengukuran Situasi	63
VI.1. Jarak Optis, Jarak Mendatar dan Beda Tinggi	64
VI.2. Cara Pengukuran	64
BAB VII Perhitungan Luas dan Volume Tanah	66
VII.1 Perhitungan Luas Tanah dari Data Ukur	66
VII.1 Perhitungan Volume Tanah dari Data Ukur	69
BAB VIII Teknik Pematokan (Stake Out)	73
VIII.1. Penentuan Titik Potong Busur	74
VIII.2. Penentuan Titik Detail Lengkungan	76
BAB IX Metode GPS dan Remote Sensing	79
IX.1. Sistem Penentuan Posisi Global (<i>Global Positioning System/GPS</i>)	79
IX.2. Penginderaan Jauh (<i>Remote Sensing</i>)	81
BAB X Contoh Soal dan Penyelesaiannya	85
X.1. Pengukuran Horizontal	85
X.2. Pengukuran Vertikal	114
X.3. Perhitungan Luas dan Volume	118
DAFTAR PUSTAKA	122

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Besaran-besaran Elipsoida BESSEL dan SNI	5
Tabel 1.2 Hubungan Satuan Metrik dan Satuan British	7
Tabel 1.3 Skala Peta dan Penggunaannya	9
Tabel 4.1 Contoh Tabel Perhitungan Koordinat Banyak Titik	50
Tabel 6.1 Formulir Pengukuran Situasi	65

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Elipsoida Bumi dan Geoid	4
Gambar 1.2 Sistem Koordinat Kartesian Bidang Datar	6
Gambar 2.1 Metode Siku-siku	11
Gambar 2.2 Cara Mengikat	12
Gambar 2.3 Cara Mengikat	12
Gambar 2.4 Cara Siku-Siku	13
Gambar 2.5 Cara Mengikat	14
Gambar 2.6 Cara Pertama	14
Gambar 2.7 Cara Kedua	15
Gambar 2.8 Cara Ketiga	15
Gambar 2.9 Cara Keempat	15
Gambar 2.10 Cara Pertama	16
Gambar 2.11 Cara Kedua	16
Gambar 2.12 Cara Ketiga	16
Gambar 2.13 Membuat Garis Lurus	17
Gambar 2.14 Garis Ukur Terhalang	18
Gambar 2.15 Titik Kerangka Tidak Saling Terlihat	18
Gambar 3.1 Bagian-bagian suatu Theodolit	21
Gambar 3.2 Bagian-Bagian Alat Theodolit WILD-T2	24
Gambar 3.3 Bagian-bagian Alat Penyipat Datar (Waterpas)	26
Gambar 3.4 Rambu Tinggi Teliti dan Landasan Rambu	27
Gambar 3.5 Rambu Ukur	28
Gambar 3.6 Pengukuran Sudut Mendatar	29
Gambar 3.7 Pengukuran Sudut Tegak dengan Theodolit	30
Gambar 3.8 Pembagian Skala Tegak	31
Gambar 3.9 Sudut Horizontal dan Vertikal pada Theodolit WILD-T3	32
Gambar 3.10 Sudut Horizontal dan Vertikal pada Theodolit WILD-T0	32
Gambar 4.1 Arti Posisi Horizontal	33
Gambar 4.2 Sistem Pembagian Kwadran	34
Gambar 4.3 Arti Jarak	37
Gambar 4.4 Arti Sudut Mendatar dan Sudut Jurusan	38
Gambar 4.5 Penentuan Posisi Titik Kerangka Horizontal	39
Gambar 4.6 Penentuan Sudut Jurusan	40
Gambar 4.7 Metode Polar	41
Gambar 4.8 Metode Perpotongan Ke Muka	42
Gambar 4.9 Metode Perpotongan Ke Belakang Cara COLLINS	43
Gambar 4.10 Poligon Terbuka	44
Gambar 4.11 Poligon Tertutup	44
Gambar 4.12 Poligon Tertutup	45
Gambar 4.13 Poligon Bercabang	45
Gambar 4.14 Poligon Terbuka	46
Gambar 4.15 Triangulasi Rangkaian Segitiga	48
Gambar 4.16 Trilaterasi Segitiga	49

Gambar 5.1 Benang Diafragma pada Teropong Alat Sipat Datar	52
Gambar 5.2 Ilustrasi Istilah Pengukuran Beda Tinggi	54
Gambar 5.3 Cara Pertama Pengukuran dengan Alat Sipat Datar	55
Gambar 5.4 Cara Kedua Pengukuran dengan Alat Sipat Datar	56
Gambar 5.5 Cara Ketiga Pengukuran dengan Alat Sipat Datar	56
Gambar 5.6 Pengukuran Sipat Datar Memanjang	58
Gambar 5.7 Garis Rencana Proyek	60
Gambar 5.8 Gambar Profil Memanjang	61
Gambar 5.9 Profil Melintang	61
Gambar 5.10 Sipat Datar Luas	62
Gambar 6.1. Pengukuran Titik-Titik Situasi	63
Gambar 7.1 Segitiga	67
Gambar 7.2 Pengukuran Luas dengan Cara Simpson	68
Gambar 7.3 Pengukuran Luas dengan Cara Koordinat	68
Gambar 7.4 Volume End Area	69
Gambar 7.5 Volume Prismoidal	70
Gambar 7.6 Volume dengan menggunakan garis kontur	71
Gambar 7.7. Volume dengan Borrow Pit untuk galian	72
Gambar 8.1 Garis dan Sudut Tangent	74
Gambar 8.2 Keluk Lingkaran	75
Gambar 8.3 Selisih Busur Sama Panjang	76
Gambar 8.4 Selisih Absis Sama Panjang	77
Gambar 8.5 Perpanjangan Tali Busur	78
Gambar 9.1 Konsep pengukuran dengan GPS	80
Gambar 9.2 Contoh Citra Satelit Hasil Penginderaan Jauh	83

BAB I

PENDAHULUAN

Survei dan pemetaan mempunyai peranan yang penting di dalam pekerjaan ketekniksipil seperti pada pekerjaan proyek irigasi dan bangunan air, konstruksi jalan dan jembatan, terowongan, saluran drainase perkotaan, pengembangan wilayah kota, konstruksi pelabuhan kapal laut dan udara, dll. Pekerjaan survei dan pemetaan mendahului dan mendampingi perencanaan dan pelaksanaan konstruksi bangunan teknik sipil.

Pekerjaan proyek di bidang teknik sipil dapat dibagi dalam tiga tahap (Tumewu, 1981):

- a. *Feasibility Study*. Pada tahap ini akan dipelajari keuntungan dan kerugian dinilai dari segi sosial, ekonomi, politik, teknik, kebudayaan, lingkungan, dsb, untuk membenarkan dan memungkinkan proyek bersangkutan.
- b. Perencanaan Teknis berdasarkan pada pengumpulan data dan penyuluhan untuk keperluan desain proyek baru atau perbaikan (*betterment*) proyek yang kebutuhannya sudah tidak memenuhi syarat lagi. Target tahap ini adalah untuk mendapatkan lokasi proyek terbaik yang sesuai dengan perencanaan.
- c. Lokasi dan konstruksi bangunan-bangunan seperti: jembatan, terowongan, dam, saluran irigasi, kompleks gedung-gedung dan sebagainya.

Pada semua tahap diatas akan diperlukan informasi berupa peta dengan ketelitian yang diperlukan, dengan resiko yang bisa diabaikan. Peta-peta untuk setiap tahap akan berbeda dalam hal skala, metode pengukuran, macam dan jumlah informasi dengan menggunakan teknik dan peralatan yang relevan. Jika suatu pekerjaan harus diulangi karena tidak memenuhi ketelitian yang dikehendaki, maka ini berarti bahwa biaya pengukuran akan menjadi kuadrat dari rencana biaya pengukuran semula.

Pada saat ini teknologi pemetaan dan informasi spasial mengalami perkembangan yang pesat seperti penggunaan teknologi Sistem Penentuan Posisi Global (*Global Positioning System/GPS*) dan teknologi pengolahan dan analisis data spasial yaitu Sistem Informasi Geografis (*Geographic Information System/GIS*). Teknologi ini merupakan suatu kemajuan yang signifikan dan sangat membantu di dalam pengukuran terestris (topografi) yang memerlukan banyak waktu dan biaya yang lebih tinggi. Walaupun dengan adanya teknologi pemetaan tersebut, konsep ilmu ukur tanah

merupakan dasar dan cikal bakal dari kedua metode pengukuran canggih tersebut. Konsekuensinya, pemahaman mengenai konsep-konsep dasar ilmu ukur tanah tetap harus dipahami oleh mahasiswa Teknik Sipil.

I.1 Maksud dan Tujuan Ilmu Ukur Tanah

Berdasarkan bidang pengukurannya, ilmu ukur tanah dapat dibedakan menjadi dua yaitu pengukuran horizontal dan pengukuran vertikal. Adapun besaran-besaran yang diukur adalah sebagai berikut:

- a. Pengukuran horisontal meliputi:
 - Sudut jurusan
 - Sudut mendatar dan sudut miring
 - Jarak (mendatar dan miring)
- b. Pengukuran vertikal meliputi:
 - Jarak (mendatar dan miring)
 - Beda tinggi (jarak vertikal)

Setelah diperoleh besaran sudut dan jarak diatas maka langkah selanjutnya adalah penentuan posisi titik-titik obyek tersebut dengan menghitung koordinatnya yaitu absis, ordinat dan tinggi dengan notasi umum (X, Y, Z) pada suatu sistem koordinat tertentu.

Jadi maksud dari ilmu ukur tanah adalah melakukan pengukuran besaran-besaran bidang horizontal dan vertikal diatas sedangkan tujuan akhirnya adalah memperoleh data dan informasi mengenai posisi atau lokasi titik-titik obyek di muka bumi.

Peta sebagai produk dari kegiatan ilmu ukur tanah dibuat melalui tiga tahapan pekerjaan yaitu (Purworahardjo, 1986):

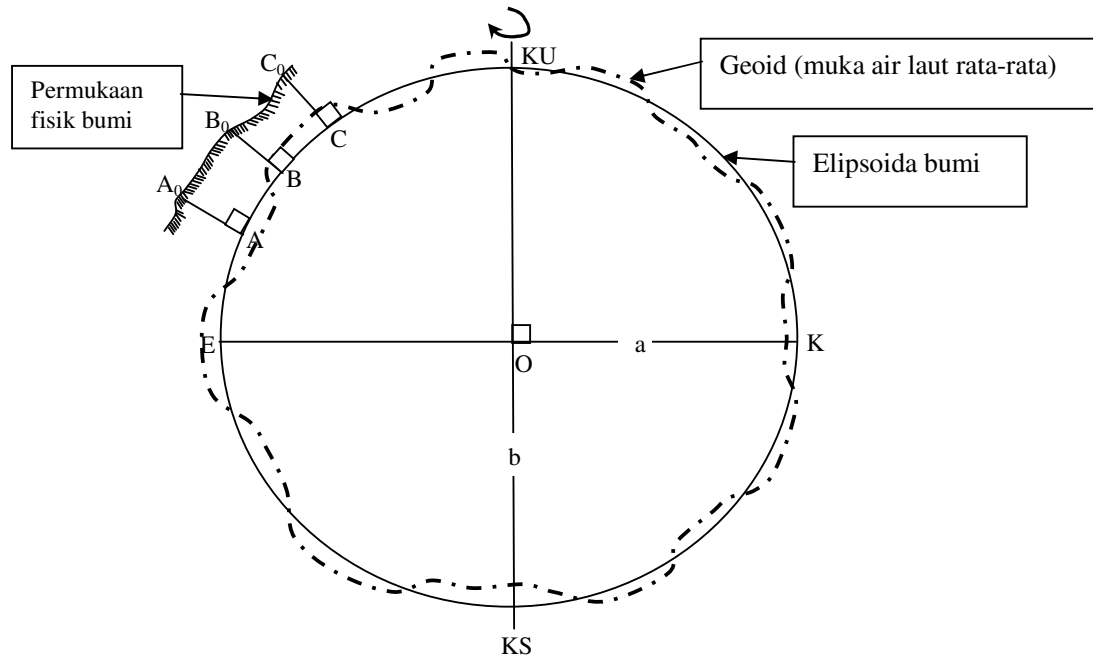
- a. Melakukan pengukuran-pengukuran pada dan diantara titik-titik dimuka bumi (Surveying).
- b. Menghimpun dan menghitung hasil ukuran dan memindahkannya pada bidang datar peta.
- c. Melakukan interpretasi fakta-fakta yang ada di permukaan bumi dan menggambarannya dengan simbol-simbol. Misalnya, simbol untuk sungai, saluran irigasi, bangunan, bentuk permukaan tanah, dll.

Pengukuran-pengukuran dilakukan untuk menentukan posisi (koordinat dan ketinggian) titik-titik di muka bumi (Purworahardjo, 1986). Titik-titik di muka bumi

yang diukur, dikelompokkan ke dalam dua kelompok besar yaitu titik-titik kerangka dasar dan titik-titik detail. Titik-titik kerangka dasar adalah sejumlah titik-titik (ditandai dengan patok terbuat dari kayu atau beton) yang dibuat dengan kerapatan tertentu yang akan digunakan untuk menentukan koordinat dan ketinggian titik-titik detail. Sedangkan titik-titik detail adalah titik-titik yang telah ada di lapangan yaitu titik-titik sepanjang pinggiran sungai, jalan, pojok-pojok bangunan, dll. Titik-titik kerangka dasar dapat dibagi menjadi dua macam yaitu titik-titik kerangka dasar horizontal dan titik-titik kerangka dasar vertikal. Titik-titik tersebut digunakan untuk menentukan koordinat horizontal dan ketinggian titik-titik lainnya (titik-titik detail). Pengukuran untuk menentukan koordinat horizontal dinamakan pengukuran horizontal sedangkan untuk ketinggian disebut pengukuran vertikal (tinggi).

Disamping prinsip dasar pengukuran yaitu penentuan posisi setiap titik di muka bumi, pengukuran untuk pemetaan memakai pula prinsip bekerja dari besar ke kecil (*working from whole to part*), baik untuk pemetaan daerah kecil atau besar. Maksudnya adalah bahwa pertama kali kita bekerja adalah melakukan pengukuran titik kerangka dasar (horizontal dan vertikal) yang mencakup seluruh daerah yang akan dipetakan. Mengingat fungsinya pengukuran titik kerangka dasar harus dilakukan dengan ketelitian paling tinggi dibandingkan ketelitian pengukuran lainnya. Setelah itu baru dilanjutkan dengan kegiatan pengukuran titik-titik detail atau sering disebut dengan titik-titik situasi. Ide bekerja seperti diatas bertujuan untuk mencegah penumpukan kesalahan-kesalahan pengukuran, mengontrol dan melokalisir kesalahan-kesalahan.

Untuk menghitung koordinat titik-titik di muka bumi (baik titik kerangka maupun detail) diperlukan adanya bidang hitungan tertentu. Mengingat bahwa permukaan bumi fisik sangat tidak beraturan, permukaannya tidak dapat digunakan sebagai bidang hitungan. Di dalam ilmu geodesi, permukaan bumi yang tidak beraturan tersebut diganti dengan bidang yang teratur yaitu bidang yang mempunyai bentuk dan ukuran mendekati geoid yaitu permukaan air laut rata-rata dalam keadaan tidak terganggu (tenang). Bidang teratur atau bidang geoid tersebut secara global mendekati bentuk permukaan sebuah elips putar (elipsoida). Permukaan elipsoida inilah yang digunakan sebagai bidang hitungan. Pada Gambar 1.1 menggambarkan perbandingan bentuk geoid dan bentuk elipsoid.



Gambar 1.1 Elipsoida Bumi dan Geoid
(Sumber: Purworahardjo, 1986)

Keterangan:

- O : Pusat Bumi (pusat elipsoida bumi)
- Ku : Kutub Utara Bumi
- Ks : Kutub Selatan Bumi
- Ku.Ks : Sumbu rotasi elipsoida bumi
- EK : Ekuator bumi
- a : Jari-jari ekuator = $\frac{1}{2}$ sumbu panjang
- b : $\frac{1}{2}$ sumbu pendek
- f : $\frac{a-b}{a}$ = pegepangan

I.2 Bidang Perantara dan Referensi

Setelah data ukuran dihitung pada elipsoida kemudian hasilnya 'dipindahkan' ke bidang datar peta dengan menggunakan aturan-aturan menurut ilmu proyeksi peta. Elipsoida bumi disamping sebagai bidang hitungan dinamakan sebagai bidang perantara di dalam memindahkan keadaan dari permukaan yang tidak beraturan dan melengkung ke bidang datar peta. Sebagian permukaan elipsoida yang mempunyai ukuran terbesar kurang dari 100km dapat dianggap sebagai permukaan sebuah bola dengan jari-jari tertentu. Bila luas permukaan di bumi mempunyai ukuran terbesar tidak melebihi 55km permukaannya dapat dianggap sebagai bidang datar. Apabila permukaan bumi mempunyai luas lebih besar dari 5500 km², permukaan tersebut tidak dapat lagi dianggap sebagai permukaan bola maupun bidang datar. Konsekuensinya di dalam perhitungan penentuan koordinat, faktor-faktor

kelengkungan bumi harus diperhitungkan dan tidak dibahas lebih lanjut pada buku ini. Sementara itu sebuah elipsoida dengan bentuk dan ukuran tertentu yang digunakan untuk perhitungan-perhitungan geodesi (termasuk perhitungan ukur tanah) disebut sebagai elipsoida referensi.

Di Indonesia pekerjaan-pekerjaan ukur tanah sudah dimulai sejak tahun 1860, digunakan Elipsoida BESSEL (1841) sebagai bidang referensi. Pertimbangannya karena Elipsoida BESSEL pada waktu itu adalah yang terbaru. Sejak tahun 1971, disamping Elipsoida BESSEL, di Indonesia digunakan juga SFEROID NASIONAL INDONESIA (SNI) sebagai Elipsoida referensi. Nama SNI ditetapkan berdasarkan Surat Keputusan Badan Koordinasi Survei dan Pemetaan Nasional (BAKOSURTANAL) tahun 1971.

Tabel 1.1 Besaran-besaran Elipsoida BESSEL dan SNI
(Sumber: Purworahardjo, 1986)

Nama	Tahun	a	f
BESSEL	1841	6.377.397 m	1: 299,150
SNI	1971	6.378.160 m	1: 298,247

dengan

a : jari-jari ekuator atau setengah sumbu panjang

b : setengah sumbu pendek

$f : = \frac{a-b}{a}$ = pegepengan, parameter untuk menentukan bentuk elipsoida,

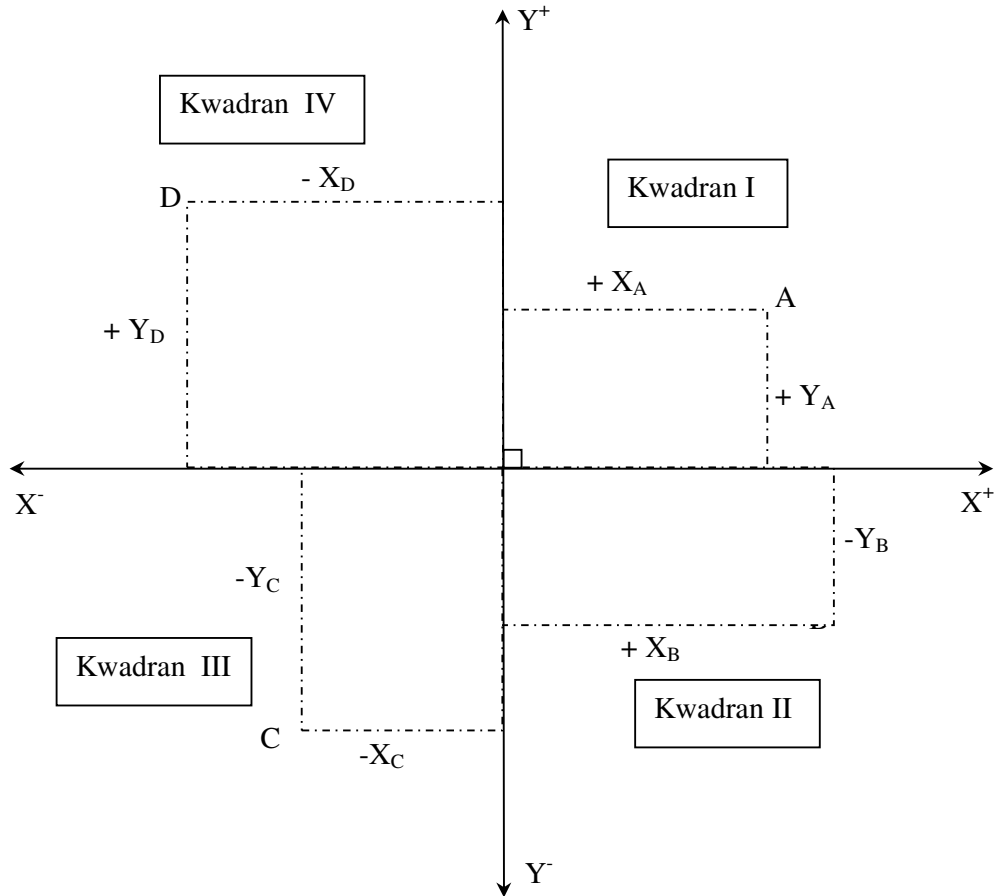
Tabel 1.1 memuat mengenai besaran-besaran pada kedua elipsoida diatas. Disamping itu dengan adanya pengukuran dengan GPS maka sebagai elipsoida referensi (datum) digunakan datum WGS 1984. Akan tetapi datum resmi Indonesia bukan WGS 1984 sehingga jika melakukan pengukuran dengan GPS harus ada kegiatan transformasi koordinat antara WGS 84 ke SNI 1971.

I.3 Sistem Koordinat

Posisi titik-titik di muka bumi (A_0 , B_0 dan C_0 pada Gambar 1.1) diproyeksikan menjadi titik-titik A, B dan C pada elipsoida bumi dinyatakan oleh perpotongan garis bujur dan garis lintang. Dengan cara tersebut diatas dikatakan bahwa titik-titik A, B dan C tersebut dinyatakan dalam sistem koordinat yang disebut Sistem Koordinat Geodesi/Geografi. Per definisi Koordinat Geodesi/Geografi suatu titik di muka bumi berarti bahwa titik tersebut dinyatakan dalam Lintang (L) dan Bujur (B).

Apabila titik-titik tersebut akan dilukiskan pada bidang datar (bidang peta) maka titik-titik tersebut dinyatakan dengan Sistem Koordinat Kartesian. Umumnya notasi

yang digunakan adalah posisi pada arah sumbu horizontal dinyatakan dengan absis (simbol X) dan pada sumbu vertikal dinyatakan dengan ordinat (simbol Y). Pada Gambar 1.2 memperlihatkan mengenai Sistem Koordinat Kartesian dengan pembagian kuadran. Perihal kuadran akan diberikan pada pembahasan penentuan koordinat pada bab selanjutnya.



Gambar 1.2 Sistem Koordinat Kartesian Bidang Datar
(Sumber: Purworahardjo, 1986)

Di dalam buku ini asumsi yang digunakan adalah luas permukaan yang dikaji adalah luas permukaan di bumi yang mempunyai ukuran terbesar tidak melebihi 55km sehingga permukaannya dapat dianggap sebagai bidang datar, sehingga rumus-rumus proyeksi peta (rumus transformasi koordinat dari bidang lengkung ke bidang datar) tidak diuraikan lebih lanjut.

I.4 Satuan Panjang dan Satuan Sudut

Pada sub bab ini akan diperlihatkan mengenai satuan panjang dan sudut yang lazim digunakan pada ilmu ukur tanah.

a. Satuan panjang

Ada dua satuan panjang (jarak) yang digunakan yaitu satuan metrik (*metric units*) seperti kilometer (km), meter (m), desimeter (dm), centimeter (cm), milimeter (mm), dst, dan satuan British (*British units*) antara lain *foot* (ft), *inches*, *yard*, *mile*, dst. Hubungan antara kedua satuan tersebut dapat dilihat pada Tabel 1.2.

Tabel 1.2 Hubungan Satuan Metrik dan Satuan British
(Sumber: Purworahardjo, 1986)

Meter	foot	inches	yard
1	3,2808	39,37	1,0936
Kilometer	Nautical Miles (mil laut)	Miles (mil darat)	
1	0,53996	0,6214	

b. Satuan sudut

Ada beberapa sistem untuk menyatakan besarnya sudut yaitu:

- Sistem Seksagesimal (keliling lingkaran dibagi dalam 360 bagian yang sama besar). Tiap 1 bagian disebut satu derajat (1°). Tiap 1° dibagi menjadi 60 menit ($60'$) dan setiap menit dibagi ke dalam 60 detik/sekon ($60''$).
- Sistem Sentisimal (keliling lingkaran dibagi dalam 400 bagian yang sama besar) Tiap 1 bagian disebut satu grade (1^g). Tiap 1^g dibagi menjadi 100 bagian yang tiap bagiannya disebut centigrade (c) dan setiap 1 grade dibagi ke dalam 100 bagian yang setiap bagiannya disebut centi centigrade (cc). $1^g = 100^c$; $1^c = 100^{cc}$.
- Sistem radial (keliling lingkaran dibagi dalam bagian-bagian yang sama jaring-jarinya). Tiap bagiannya disebut 1 radial.
- Sistem waktu (digunakan dalam pengukuran astronomi) yaitu $360^\circ = 24$ jam; 1 jam = 15° .

Hubungan antara ketiga satuan pertama adalah sebagai berikut:

$$2\pi \text{ radial} = 360^\circ = 400^g$$

$$1 \text{ radial} = 57^\circ,295779 = 3437,7467' = 206264'',8$$

$$1 \text{ radial} = 63^g, 661977 = 6366^c1977 = 636619^{cc},77$$

$$1^\circ = 1^g,11111\dots\dots\dots 1^g = 0^\circ,9$$

$$1' = 1^c, 851851\dots\dots\dots 1^c = 0',54$$

$$1'' = 3^{cc},08641975\dots\dots\dots 1^{cc} = 0'',324$$

I.5 Pengertian Skala dan Peta

Skala peta adalah merupakan perbandingan jarak antara dua titik di peta dengan jarak yang bersangkutan di permukaan bumi (jarak mendatar). Ada beberapa cara untuk menyatakan skala peta meliputi:

- Dengan menuliskan hubungan antara jarak di peta dengan jarak di muka bumi dalam bentuk persamaan. Misalnya $1 \text{ cm} = 100 \text{ m}$, ini berarti bahwa 1 cm di peta sesuai dengan 100 m di lapangan. Tipe skala demikian disebut skala teknis (*engineer's scale*).
- Dengan menuliskan angka perbandingan. Misalnya 1: 5000, artinya 1 cm di peta sesuai dengan 5000 cm di lapangan = 50 m di lapangan. Tipe skala demikian disebut skala numeris atau skala pecahan (*numerical scale* atau *fractional scale*).
- Dengan menuliskan secara grafis. Suatu garis lurus dibagi ke dalam bagian-bagian yang sama, misalnya tiap bagian panjangnya 1 cm. Pada setiap ujung bagian garis dituliskan angka jarak yang sebenarnya, misalnya 1 km. Ini berarti bahwa 1 cm di peta sesuai dengan 1 km di lapangan. Tipe skala demikian disebut skala grafis (*graphical scale*).

Pada prinsipnya besar kecilnya skala peta akan mencerminkan ketelitian serta banyaknya informasi yang disajikan. Misalnya ketika mengukur jarak antara dua titik pada peta skala 1:5000 dan 1:20000, kesalahannya 0,1 mm. Ini berarti pada peta skala 1:5000 memberikan kesalahan jarak di lapangan sebesar $0,1 \times 5000 \text{ mm} = 500 \text{ mm} = 0,5 \text{ m}$ sedangkan pada skala 1:20000 memberikan kesalahan jarak $0,1 \times 20000 \text{ mm} = 2,0 \text{ m}$. Informasi yang disajikan pada peta skala besar dapat lebih lengkap dan mendetail dibandingkan dengan peta skala kecil. Dalam contoh diatas peta dengan skala 1:5000 disebut peta skala besar dan 1:20000 sebagai peta skala kecil.

Selain mencerminkan ketelitian dan kelengkapan informasi, skala merupakan salah satu penunjuk bagi si pengukur tentang ketelitian pengukuran yang harus dicapai. Misalnya untuk pengukuran jarak, normalnya batas ketelitian di dalam plotting titik pada peta adalah 0,1 mm. Bila skala peta dimana plotting dilakukan adalah 1:500, 0,1 mm di peta tersebut akan sesuai dengan 5 cm di lapangan. Maka dalam hal ini jarak-jarak harus diukur dengan ketelitian di bawah 5 cm.

Berdasarkan skalanya peta dikelompokkan ke dalam peta skala besar, skala sedang dan skala kecil. Akan tetapi batasan-batasan skala untuk masing-masing kelompok

peta tersebut tidak jelas. Umumnya skala 1:10000 dan lebih besar digolongkan ke dalam skala besar, skala antara 1:10000 s.d 1:100000 digolongkan peta skala menengah, skala 1:100000 dan lebih kecil digolongkan ke dalam skala kecil (Purworahardjo, 1986).

Peta tanpa skala akan kurang dan tidak berguna. Skala peta ditulis atau digambar dibagian bawah gambar peta. Pada Tabel 1.3 diperlihatkan beberapa contoh skala peta dan penggunaannya.

Tabel 1.3 Skala Peta dan Penggunaannya
(Sumber: Purworahardjo, 1986)

Skala	Penggunaan
1:500	Perencanaan lokasi, dam, bangunan
1:500 s.d 1: 2500	Perencanaan lokasi, jalan, irigasi
1:5000 s.d 1:10000	Perencanaan kota
1:25000 s.d 1:100000	Perencanaan umum

Sementara itu menurut isinya, dikenal berbagai macam peta antara lain:

- Peta Hidrografi: peta yang memuat informasi tentang keadaan dasar lautan, kedalaman air serta keterangan-keterangan lain yang diperlukan untuk pelayaran (navigasi).
- Peta Geologi: peta yang memuat informasi tentang keadaan geologis suatu daerah, bahan-bahan yang membentuk lapisan tanah dan lain-lain.
- Peta Kadaster: peta yang memuat informasi mengenai batas-batas pemilikan tanah, kelas tanah dan lain-lain.
- Peta Irigasi: peta yang memuat informasi jaringan irigasi di suatu wilayah pengairan, baik saluran-saluran pembawa maupun saluran pembuang, bangunan irigasi dan lain-lain.
- Peta Jalan: peta yang memuat informasi jaringan jalan di suatu wilayah untuk keperluan transportasi/perhubungan.
- Peta Kota: peta yang memuat jaringan jalan, lokasi gedung, perumahan, dll.

Menurut skalanya peta dikelompokkan ke dalam:

- Peta Teknis: peta yang memuat informasi umum tentang keadaan permukaan bumi yang mencakup wilayah yang tidak luas. Peta teknis digunakan untuk merencanakan dan melaksanakan pekerjaan-pekerjaan teknik sipil antara lain konstruksi gedung, jalan raya, jalan kereta api, jembatan, irigasi, dll. Besar

kecilnya skala disesuaikan dengan besar kecilnya pekerjaan, umumnya dibuat dengan skala 1: 10000 atau lebih besar.

- Peta Topografi: peta yang memuat informasi umum tentang keadaan permukaan bumi di dalam wilayah yang luas, misalnya wilayah suatu negara. Peta ini dikenal sebagai peta dasar yang digunakan sebagai sarana perencanaan umum untuk suatu pekerjaan perencanaan pengembangan suatu wilayah yang cakupannya sangat luas. Peta topografi umumnya dibuat berwarna dengan skala antara 1:10000 sampai 1:100000. Peta topografi di Indonesia dibagi menjadi wilayah-wilayah berukuran 20' x 20' yang dinamakan bagian derajat (36 km x 36 km).
- Peta Geografi: peta ini merupakan peta ikhtisar dibuat berwarna dengan skala lebih kecil dari 1: 100000. Contoh, atlas, peta dinding.

Peta-peta diatas merupakan tipe peta yang memberikan gambaran umum keadaan suatu area tertentu pada permukaan bumi. Disamping tipe peta tersebut terdapat macam-macam peta khusus seperti peta cuaca, peta kependudukan, peta distribusi barang, dll.

Agar peta mudah 'dibaca' maka pada peta digunakan simbol-simbol diberi berwarna. Daftar simbol dengan keterangannya dinamakan Legenda. Simbol-simbol digunakan untuk membedakan misalnya antara:

- Jalan raya, jalan kereta api, jalan setapak
- Sungai, saluran irigasi, selokan
- Laut, danau
- Sawah, ladang, padang rumput, padang alang-alang
- Macam-macam tanaman, misalnya perkebunan teh, kopi, karet, kelapa, dll

Warna-warna digunakan untuk membedakan misalnya antara:

- Kampung, kota: kampung diberi warna hijau, kota diberi warna merah
- Sungai, danau, laut diberi warna biru
- Garis kontur diberi warna coklat, dll

Disamping adanya simbol dan skala peta, pada peta harus pula digambarkan garis yang menunjukkan arah utara. Arah utara didasarkan kepada arah utara geografi di titik awal/titik nol sistem proyeksi peta (sistem umum).

BAB II

METODE SEDERHANA UNTUK PENGUKURAN SUDUT DAN JARAK

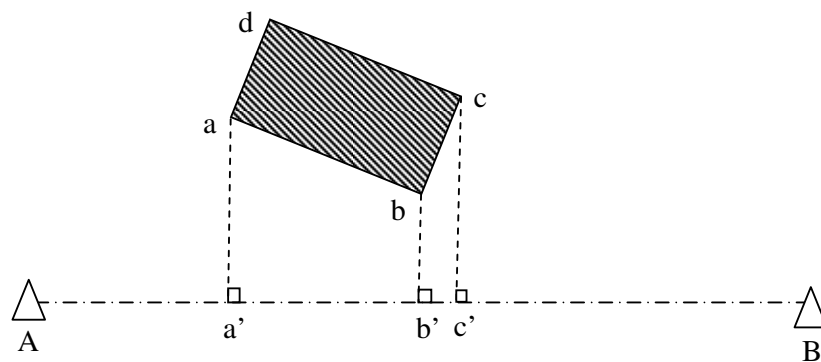
Sudut dan jarak memegang peranan penting di dalam ukur tanah, karena pada hakikatnya penentuan posisi atau koordinat di muka bumi dihitung dari hasil ukuran sudut dan jarak. Pada Bab ini diperlihatkan kegiatan pengukuran sudut dan jarak dengan menggunakan peralatan yang sederhana. Peralatan yang dimaksud adalah cermin sudut, prisma untuk membuat sudut siku-siku, jalon dan pen ukur (*marking pen*). Metode dengan peralatan diatas disebut dengan pengukuran dengan metode offset.

II.1 Pengukuran Titik-titik Detail (Situasi) dengan Metode Offset

Terdapat 2 cara untuk melakukan pengukuran titik-titik detail dengan cara offset yaitu:

- a. Metode siku-siku (metode garis tegak lurus)

Pada metode ini setiap titik detail diproyeksikan siku-siku terhadap garis ukur (garis lurus yang menghubungkan dua titik kerangka dasar), kemudian diukur jarak-jaraknya. Gambar 2.1 memperlihatkan metode siku-siku tersebut.



Gambar 2.1 Metode Siku-siku
(Sumber: Purworhardjo, 1986)

Keterangan:

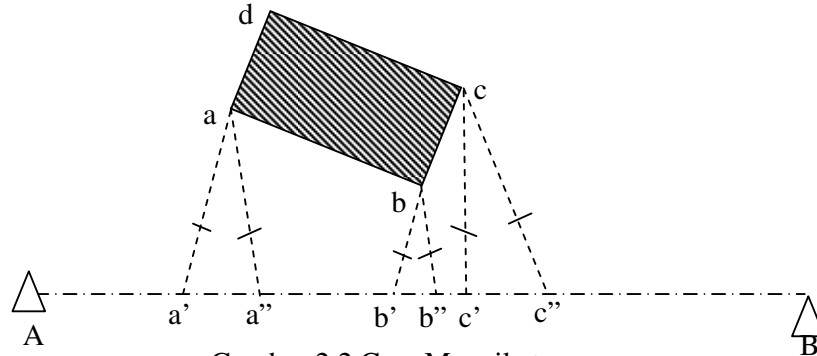
- A, B merupakan titik kerangka dasar
- Garis AB: garis ukur
- a,b,c,d merupakan titik-titik detail (pojok-pojok bangunan)

Garis aa', bb' dan cc' adalah garis-garis tegak lurus pada garis ukur AB. Dengan mengukur jarak-jarak Aa', aa', a'b', bb' dan b'c', cc' posisi titik a, b dan c relatif terhadap garis ukur AB dapat ditentukan/digambarkan. Permasalahannya adalah

bagaimana memperoleh titik-titik a' , b ; dan c' pada garis ukur AB yang merupakan proyeksi dari titik-titik a , b dan c . Untuk itu digunakan alat penolong cermit sudut atau prisma dan 3 buah jalon.

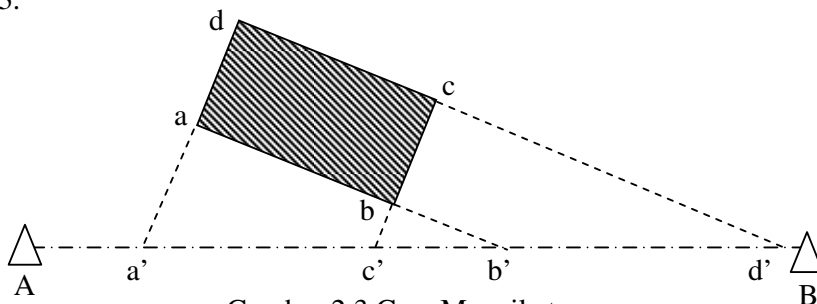
b. Metode mengikat (interpolasi)

Berbeda dengan metode siku-siku, pada metode mengikat titik-titik diikat dengan garis lurus pada garis ukur seperti yang diperlihatkan pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Cara Mengikat
(Sumber: Purworhardjo, 1986)

Segitiga $a'a''a$, $b'b''b$ dan $c'c''c$ merupakan segitiga sama sisi atau sama kaki. Dengan mengukur jarak-jarak Aa' , $a'a''$, $a'a''$, $a''a$, $a''b'$, $b'b''$, $b'b$, $b''b$ kemudian $b''c$, $c'c''$, $c''c$ maka posisi titik-titik a, b, c dapat ditentukan/digambarkan. Cara mengikat ini akan lebih sederhana apabila dilakukan dengan menarik garis lurus yang merupakan garis hubung titik detail sampai memotong garis ukur, seperti yang diperlihatkan pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Cara Mengikat
(Sumber: Purworhardjo, 1986)

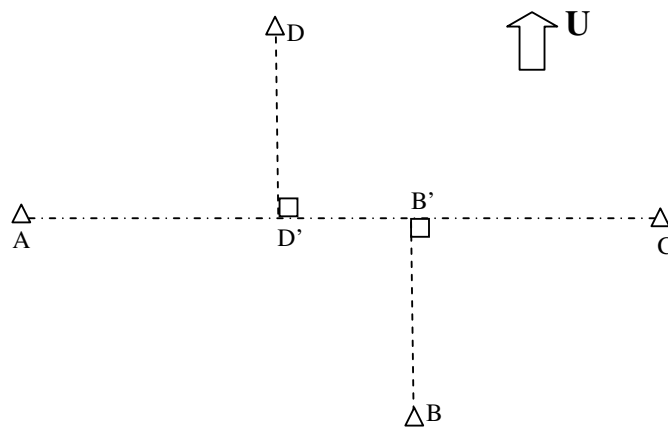
Garis-garis da , ab , cb , dan dc diperpanjang hingga memotong garis ukur AB di titik-titik a' , b' , c' dan d' . Kemudian ukur jarak-jarak: Aa' , $a'c'$, $c'b'$, $b'd'$, $d'B$, $a'a$, ad , $c'b$, bc , $b'b$, ba , $d'c$, cd . Dari jarak-jarak ini titik-titik detail a , b , c dan d dapat diplot.

Dalam prakteknya pengukuran kedua cara offset diatas digunakan secara bersamaan (kombinasi). Ada kemungkinan titik-titik detail di suatu tempat lebih mudah diukur dengan cara siku-siku akan tetapi di tempat lain lebih mudah diukur dengan cara mengikat. Disamping itu salah satu cara dapat digunakan sebagai pengontrol cara lainnya.

II.2 Pengukuran Titik-titik Kerangka Dasar dengan Metode Offset

Titik – titik kerangka dasar harus ditempatkan sedemikian rupa agar setiap garis ukur yang terbentuk dapat digunakan untuk mengukur titik detail sebanyak mungkin. Pengukuran titik-titik kerangka dasar dapat dilakukan dengan berbagai cara seperti Triangulasi, Trilaterasi atau Poligon. Akan tetapi untuk pengukuran titik detail secara offset, biasanya pengukuran kerangka dasarnya dilakukan dengan cara offset pula, mengingat pengukuran cara offset digunakan untuk pemetaan daerah kecil dan relatif datar. Pengukuran kerangka dasar dengan cara offset dapat dilakukan dengan cara siku-siku mengikat atau cara segitiga (trilaterasi).

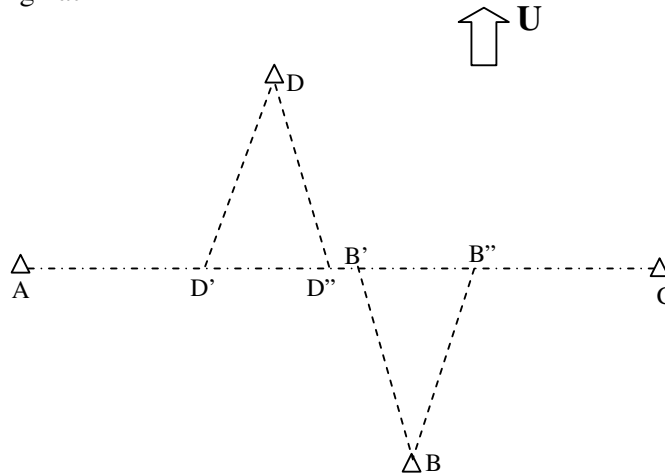
a. Metode siku-siku (metode garis tegak lurus)



Gambar 2.4 Cara Siku-Siku
(Sumber: Purworhardjo, 1986)

Gambar 2.4 memperlihatkan bahwa titik-titik kerangka dasar A, B, C dan D telah diletakkan di lapangan. Misalkan garis AC digunakan sebagai garis ukur. Tentukan titik-titik D' dan B' pada garis ukur AC dimana $DD' \perp AC$ dan $BB' \perp AC$. Kemudian ukur jarak AC' , AD' , $D'D$, $D'B'$, $B'B$ dan $B'C$. Dengan demikian titik-titik A, B, C dan D dapat digambarkan di peta. Sebagai kontrol dapat diukur pula jarak AD, DC, CB dan BA.

b. Cara Mengikat



Gambar 2.5 Cara Mengikat
(Sumber: Purworhardjo, 1986)

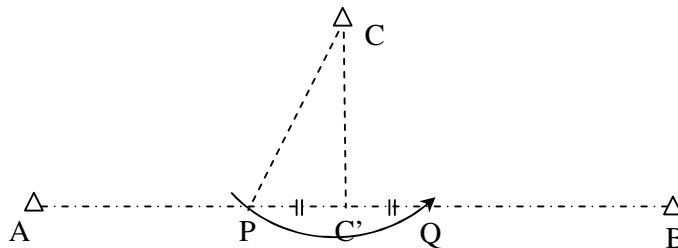
Tentukan sembarang titik-titik D' , D'' , B' , B'' pada garis ukur AC. Ukur jarak AC, AD' , $D'D''$, $D''B'$, $B'B''$, $B''C$, $D'D$, $B'B$ dan $B''B$. Dengan jarak-jarak tersebut titik-titik A, B, C dan D dapat digambarkan pada peta. Sebagai kontrol ukur jarak-jarak AB, BC, DC dan DA.

Untuk menjaga agar tidak terjadi kesalahan penggambaran di peta, hendaknya pada waktu pengukuran dibuat gambar situasi sederhana (sketsa) dengan mencantumkan penunjuk arah utara (kira-kira).

II.3 Penarikan Garis Tegak Lurus di Lapangan

Terdapat beberapa cara untuk menarik garis tegak lurus di lapangan antara lain:

a. Cara Pertama

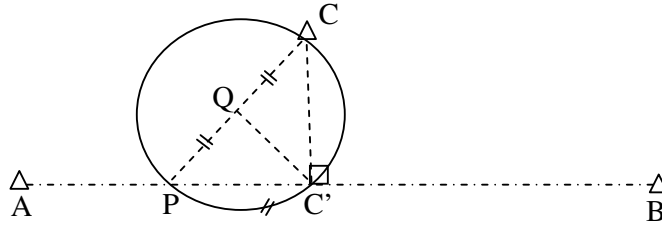


Gambar 2.6 Cara Pertama
(Sumber: Purworhardjo, 1986)

Tentukan titik P pada AB, kemudian bentangkan pita ukur dari C ke P. Dengan memegang ujung pita ukur pada titik C buat lingkaran dengan jari-jari CP. Lingkaran

ini memotong AB di Q. Garis PQ dibagi menjadi 2 bagian yang sama panjang maka $CC' \perp AB$.

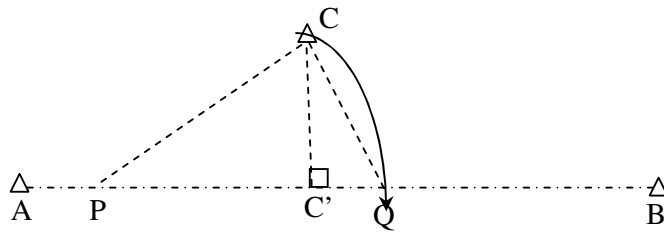
b. Cara Kedua



Gambar 2.7 Cara Kedua
(Sumber: Purworhardjo, 1986)

Tentukan titik P pada garis AB dan kemudian tentukan titik Q di tengah garis CP. Dengan pita ukur buat lingkaran dengan jari-jari QP. Lingkaran ini memotong AB di C', maka $CC' \perp AB$.

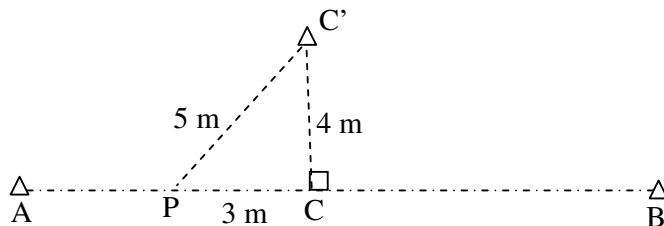
c. Cara Ketiga



Gambar 2.8 Cara Ketiga
(Sumber: Purworhardjo, 1986)

Tentukan titik P pada AB dan dengan pita ukur buat lingkaran dengan jari-jari PC. Lingkaran ini memotong AB di Q. Ukur dari Q sepanjang garis BA jarak $QC' = \frac{QC^2}{2PQ}$ maka $CC' \perp AB$.

d. Cara Keempat (Kaidah Phytagoras)



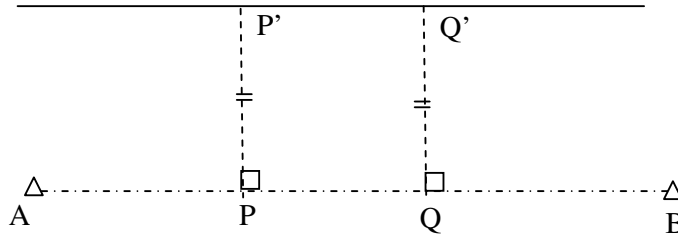
Gambar 2.9 Cara Keempat
(Sumber: Purworhardjo, 1986)

Tentukan titik P sejauh 3 m dari titik C. Dengan berpusat di P dan C dibuat lingkaran berjari-jari 5 m dan 4 m. Kedua lingkaran berpotongan di titik C', maka $CC' \perp AB$.

II.4 Penarikan Garis Lurus Sejajar Garis Ukur di Lapangan

Terdapat beberapa cara untuk menarik garis lurus sejajar di lapangan antara lain:

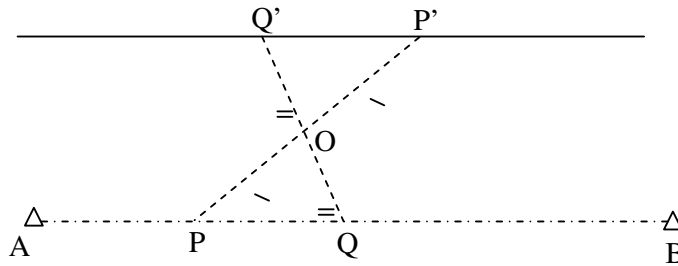
a. Cara Pertama



Gambar 2.10 Cara Pertama
(Sumber: Purworhardjo, 1986)

Tentukan titik P dan Q pada AB, kemudian tarik garis-garis tegak lurus di P dan Q. Ukurkan $PP' = QQ'$ maka $P'Q' \parallel AB$.

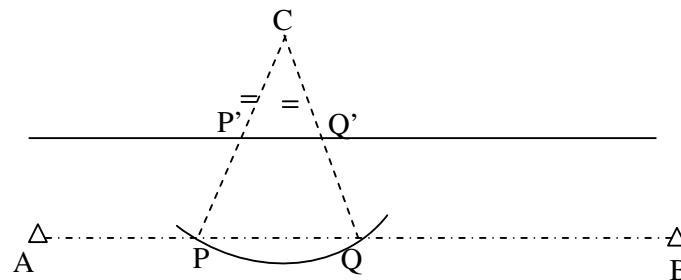
b. Cara Kedua



Gambar 2.11 Cara Kedua
(Sumber: Purworhardjo, 1986)

Tentukan titik P dan Q pada AB, kemudian tentukan titik O sembarang. Ukur jarak PO dan QO. Pada perpanjangan garis PO dan QO ukurkan $OP' = OQ'$ maka $Q'P' \parallel AB$.

c. Cara Ketiga



Gambar 2.12 Cara Ketiga
(Sumber: Purworhardjo, 1986)

Tentukan titik C sembarang. Buat lingkaran dengan pusat C sehingga memotong AB di P dan Q. Tarik garis CP dan CQ. Pada garis-garis CP dan CQ tentukan titik P' dan Q' sehingga $CP' = CQ'$, maka $Q'P' // AB$.

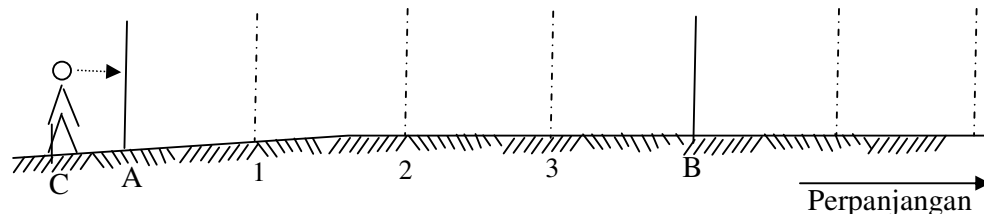
II.5 Memasang Titik Sepanjang Garis Ukur di Lapangan

Ada beberapa kemungkinan yang dapat dijumpai di dalam pengukuran situasi (detail) dengan cara offset.

- a. Kemungkinan pertama: jarak antara dua titik kerangka dasar terlalu jauh sehingga diantaranya diperlukan titik-titik penolong.

Misalkan pada Gambar 2.11 panjang garis ukur $AB = 100$ m akan dibagi dalam 4 bagian masing-masing panjangnya ± 25 m. Maka untuk tiap bagian perlu ditandai (sebagai tanda) dapat digunakan patok kayu atau pen ukur. Tanda-tanda tersebut harus terletak pada garis lurus AB, dengan cara sebagai berikut:

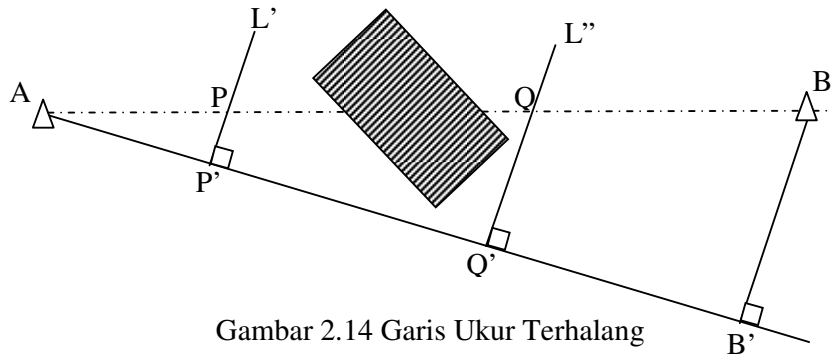
Di titik A dan B dipasang jalon. Pengukur berdiri di C sedemikian hingga jalan A dan B nampak menjadi satu. Pasang jalon lain kira-kira berjarak 25 m dari A dan kira-kira berada pada garis AB. Geserkan jalon ini sedemikian hingga oleh pengukur jalan A, jalon 1 dan jalon B nampak berhimpit. Kemudian letak jalon 1 diberi tanda dengan patok atau pen ukur. Dengan cara yang sama lalukan pekerjaan untuk pemasangan titik 2 dan 3.



Gambar 2.13 Membuat Garis Lurus
(Sumber: Purworhardjo, 1986)

- b. Kemungkinan kedua: jarak antara dua titik kerangka dasar terlalu pendek sehingga perlu diperpanjang. Apabila garis ukur AB perlu diperpanjang pada arah AB pengukur berdiri di titik C. Titik-titik penolong 1, 2, dst dipasang pada perpanjangan garis AB seperti yang terlihat pada Gambar 2.13.
- c. Kemungkinan ketiga: garis ukur terhalang oleh bangunan.
Seperti terlihat pada Gambar 2.14, pada garis ukur AB akan dipasang titik-titik P dan Q dengan cara melalui titik A dibuat garis ukur sembarang L. Pada L tentukan titik-titik B', Q' dan P' dimana $BB' \perp L$. Kemudian di titik-titik P' dan

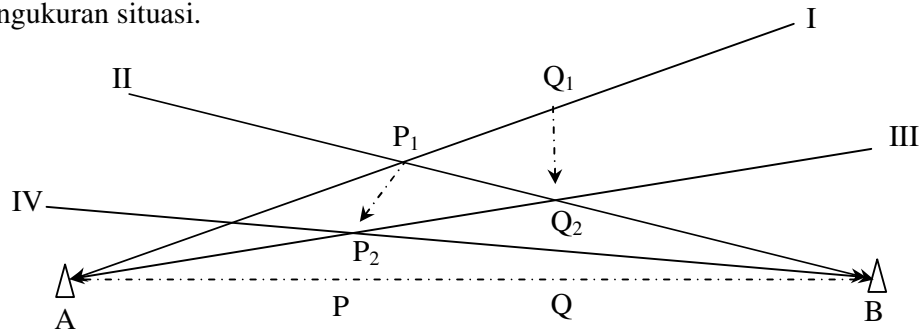
Q' ditarik garis-garis tegak lurus pada L, misalnya garis L' dan L''. Ukur jarak AP', P'Q', Q'B'' dan B'B''. Tentukan pada garis L' titik P sedemikian hingga $P'P = \frac{AP'}{AB'} \times BB'$. Tentukan pada garis L'' titik Q sedemikian hingga $QQ' = \frac{AQ'}{AB'} \times BB'$. Dengan demikian titik-titik P dan Q akan terletak pada garis ukur AB. Tandailah titik P dan Q dengan patok kayu. Dengan demikian kita dapat mengukur detail dengan menggunakan garis-garis ukur AP dan QB.



Gambar 2.14 Garis Ukur Terhalang
(Sumber: Purworhardjo, 1986)

d. Kemungkinan keempat: bila kedua titik kerangka dasar hanya dapat dilihat dari titik diantaranya. Misalnya diantara kedua titik kerangka dasar tanahnya lebih tinggi. Diantara A dan B terdapat bagian tanah yang agak tinggi sehingga dari A tidak dapat melihat B dan sebaliknya. Untuk memasang titik P dan Q pada garis ukur AB dengan cara seperti yang diperlihatkan pada Gambar 2.15.

Pasang jalon di P₁ dan Q₁ sehingga dengan jalon di A segaris. Geserkan jalon Q₁ ke Q₂ sehingga jalon-jalon P₁ dan Q₂ dan B segaris. Geserkan jalon P₁ ke P₂ sehingga jalon-jalon Q₂, P₂ dan A segaris. Demikian seterusnya sehingga diperoleh titik P dan Q pada garis AB. Kemudian titik P dan Q ditandai dengan patok kayu. Dengan demikian garis ukur AP, PQ dan QB dapat digunakan untuk pengukuran situasi.



Gambar 2.15 Titik Kerangka Tidak Saling Terlihat
(Sumber: Purworhardjo, 1986)

II.6 Alat Pembuat Sudut Sikur-Siku

Untuk maksud yang serupa dengan pengukuran jarak diatas dapat pula dilakukan dengan peralatan optik sederhana yaitu dengan cermin sudut atau prisma. Pada cermin sudut terdiri dari tabung dengan 3 celah. Di dalamnya terdapat 2 cermin yang membentuk sudut 45° . Jika bayangan dua buah jalon A dan B (yang dipasang dengan posisinya 90° satu dengan yang lainnya) nampak berhimpit (segaris) pada cermin maka dapat dipastikan bahwa jalon A dan B tersebut saling tegak lurus di lapangan.

Untuk membuat sudut siku-siku pada garis ukur, cemin sudut dipegang oleh pengukur dengan pusatnya terletak tepat pada garis ukur (cermin sudut digantungi unting-unting yang tepat di atas garis ukur). Dua celah di cermin diarahkan ke salah satu jalon. Kemudian pengukur maju atau mundur sepanjang garis ukur sehingga dapat melihat kedua buah jalon berhimpit. Pada saat ini dikatakan bahwa dua buah garis berada pada posisi saling tegak lurus, kemudian titik perpotongannya ditandai dengan patok.

Sementara itu untuk alat lainnya yaitu prisma mempunyai beberapa tipe antara lain prisma segitiga, prisma segilima dan prisma ganda yang terdiri dari 2 prisma segitiga atau 2 segilima dipasang bertumpuk. Dengan dwi prisma disamping dapat membuat sudut siku-siku dapat pula membuat sudut 180° . Prisma segilima lebih banyak digunakan daripada prisma segitiga karena medan penglihatannya lebih lebar, titik potong sinar cahaya yang masuk dan yang keluar terletak di dalam prisma dan tidak banyak kehilangan sinar cahaya, karena sinar cahaya masuk tegak lurus prisma.

BAB III

PERALATAN UKUR TANAH

Di dalam ukur tanah, peralatan yang digunakan dapat dikelompokkan menjadi dua kategori yaitu peralatan untuk pengukuran horizontal dan pengukuran vertikal. Di dalam bab ini akan dibahas secara umum mengenai alat ukur theodolit dan alat penyipat datar (waterpas). Juga diperlihatkan alat-alat lainnya yang juga sebagai alat pendukung yang sering digunakan untuk membantu pengukuran sudut dan jarak.

III.1 Theodolit

Terdapat beberapa macam alat theodolit yang dibedakan menurut konstruksinya, sistem pembacaannya dan kelasnya. Menurut konstruksinya theodolit dibedakan menjadi:

1. Theodolit repetisi (tipe sumbu ganda)
2. Theodolit reiterasi (tipe sumbu tunggal)

Menurut sistem pembacaannya theodolit dibedakan menjadi:

1. Sistem dengan indeks garis
2. Sistem dengan nonius
3. Sistem dengan mikrometer
4. Sistem koinsidensi
5. Sistem digital

Menurut kelasnya theodolit diklasifikasikan ke dalam:

1. Theodolit presisi (teliti) misalnya WILD-T3
2. Theodolit satu sekon misalnya WILD-T2
3. Theodolit puluhan sekon misalnya SOKKISHA TM 10C
4. Theodolit satu menit misalnya WILD T0
5. Theodolit puluhan menit misalnya KERN DK-1

Secara umum sebuah theodolit terdiri dari bagian atas, tengah, bawah dan statip (tripod), seperti yang diperlihatkan pada Gambar 3.1. Pada bagian atas theodolit terdapat:

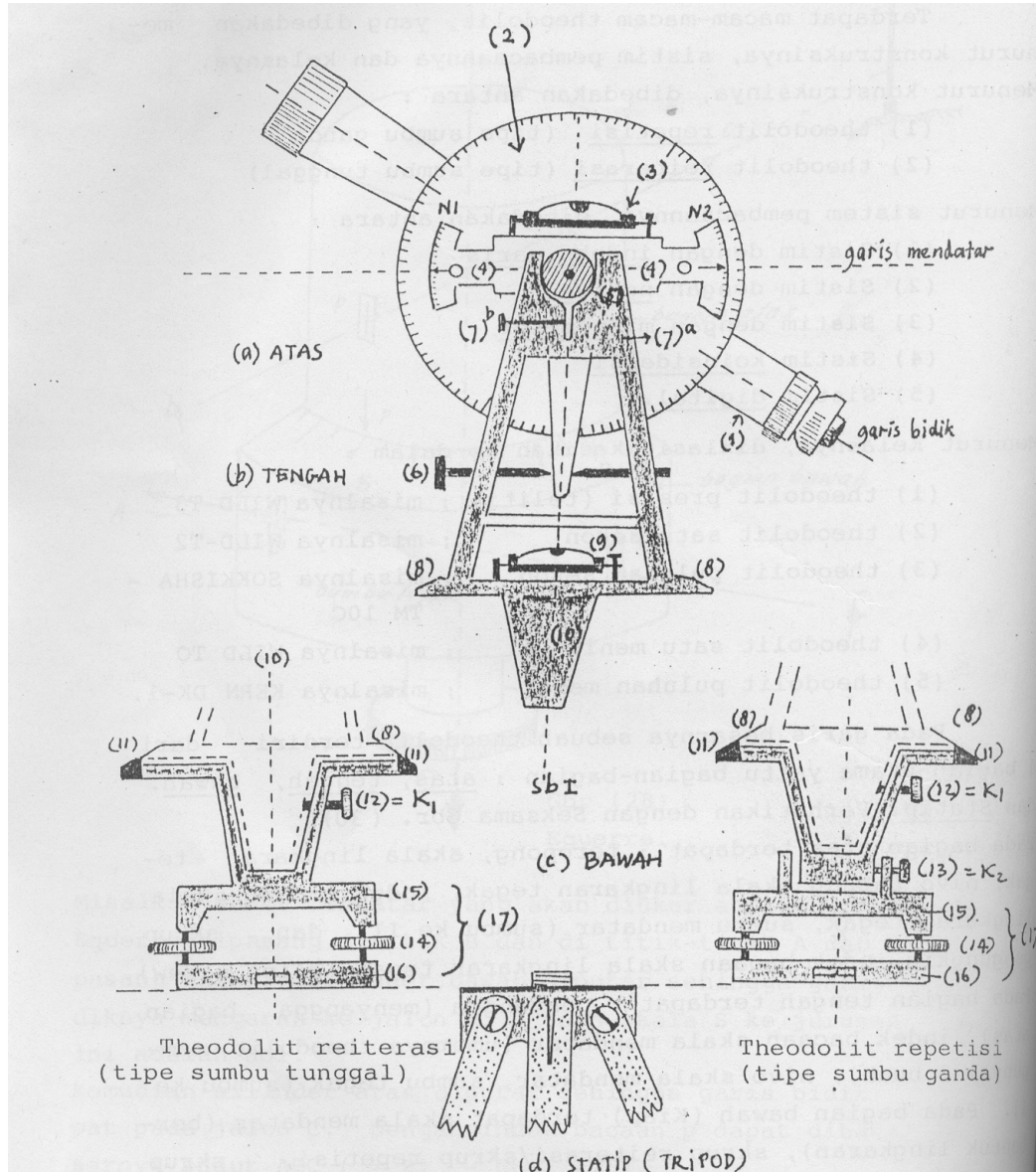
- | | |
|--------------------------------------|---|
| 1. Teropong | 4. Indeks bacaan skala lingkaran tegak (2 buah) |
| 2. Skala lingkaran tegak | 5. Sumbu mendatar (sumbu II) |
| 3. Nivo tabung skala lingkaran tegak | 6. Skrup pengungkit indeks bacaan skala lingkaran tegak |

Pada bagian tengah terdapat:

- | | |
|--|---------------------------|
| 7a. Penyangga (menyangga bagian atas) | 9. Nivo skala mendatar |
| 7b. Skrup pengatur sumbu II | 10. Sumbu tegak (sumbu I) |
| 8. Indeks bacaan skala mendatar (2 buah) | |

Pada bagian bawah(kiap) terdapat:

- | | |
|--|-----------------------|
| 11. Skala mendatar (berbentuk lingkaran) | 15. Tribrach |
| 12. Skrup reiterasi | 16. Trivet |
| 13. Skrup repetisi (skrup kiap) | 17. Kiap (base plate) |
| 14. Skrup kiap/penyetel | |



Gambar 3.1 Bagian-bagian suatu Theodolit
(Sumber: Purworhardjo, 1986)

Bagian atas theodolit ini berporos pada sumbu mendatar yang disangga oleh bagian tengah. Teropong dan pelat lingkaran berskala tegak menjadi satu dan tegak lurus pada sumbu mendatar. Teropong dan skala lingkaran tegak dapat berputar ke atas dan ke bawah dengan berporos sumbu mendatar (sumbu II). Pusat dari skala mendatar adalah sumbu mendatar.

Teropong dan pelat skala tegak dihubungkan dengan bagian tengah menggunakan skrup pengatur gerakan teropong. Pada umumnya theodolit mempunyai 2 macam skrup yaitu skrup untuk gerakan halus dan gerakan kasar.

Indeks bacaan skala tegak digunakan untuk membaca besarnya sudut tegak. Indeks bacaan ini harus dalam keadaan mendatar (tidak ikut berputar bersama-sama teropong). Untuk mendatarkan indeks bacaan ini digunakan skrup pengungkit dan nivo tabung skala tegak. Dengan skrup pengungkit diusahakan agar gelembung nivo terletak di tengah-tengah. Bila gelembung tepat ditengah-tengah artinya indeks bacaan telah mendatar.

Pada bagian tengah yang berfungsi sebagai penyangga bagian atas terdapat indeks bacaan skala mendatar (umumnya 2 buah), nivo tabung skala mendatar dan sumbu tegak (sumbu I). Pada Gambar 3.1 alat-alat tersebut ditunjukkan oleh nomor 8, 9 dan 10. Sumbu tegak (no. 10) digunakan sebagai poros putar gerakan mendatar teropong, indeks bacaan (no. 8) digunakan sebagai penunjuk bacaan mendatar dan nivo tabung (no. 9) digunakan untuk menegakkan sumbu I atau mendatarkan skala bacaan mendatar.

Bagian tengah theodolit pada theodolit reiterasi ditempatkan pada bagian bawah yang mempunyai skala bacaan mendatar (no. 11), skrup pengunci gerakan mendatar yaitu skrup reiterasi (no.12), dan skrup penyetel/skrup kiap (no.14). Skrup penyetel (no.14) dan nivo tabung (no. 9) digunakan untuk menegakkan sumbu I.

Bagian tengah pada theodolit repetisi ditempatkan pada bagian bawah yang terdiri dari 2 'tabung'. Pada 'tabung' atas terdapat skala bacaan mendatar (no. 11) dan skrup reiterasi (no. 12). Untuk mengunci skala bacaan skala mendatar dengan bagian atas, 'tabung' atas ini ditempatkan pada 'tabung' bawah yang padanya terdapat skrup repetisi (no. 13) dan skrup penyetel (no. 14). Skrup repetisi (no. 13) digunakan untuk mengunci 'tabung' atas agar skala bacaan mendatar (no. 11) tidak dapat berputar. Skrup penyetel (no. 14) dan nivo tabung (no. 9) digunakan untuk menegakkan sumbu I. Pemakaian skrup repetisi dan reiterasi pada theodolit repetisi digunakan pada pengukuran sudut mendatar.

- Bila skrup repetisi dikencangkan (skala mendatar diam) dan skrup reiterasi dikendorkan, teropong dapat digerakkan pada arah mendatar, bacaan skala mendatar berubah.
- Bila skrup repetisi dikendorkan dan skrup reiterasi dikencangkan, teropong dapat digerakkan pada arah mendatar tetapi bacaan skala mendatar tetap (tidak berubah).
- Bila skrup repetisi dan skrup reiterasi dikendorkan, teropong dapat digerakkan pada arah mendatar tetapi bacaan mendatarnya tidak beraturan.
- Pada theodolit repetisi, pada waktu pengukuran sudut mendatar salah satu skrup (no. 12) atau (no. 13) harus terkunci tergantung cara pengukuran sudut yang dilakukan.

Nivo adalah alat penolong yang digunakan untuk:

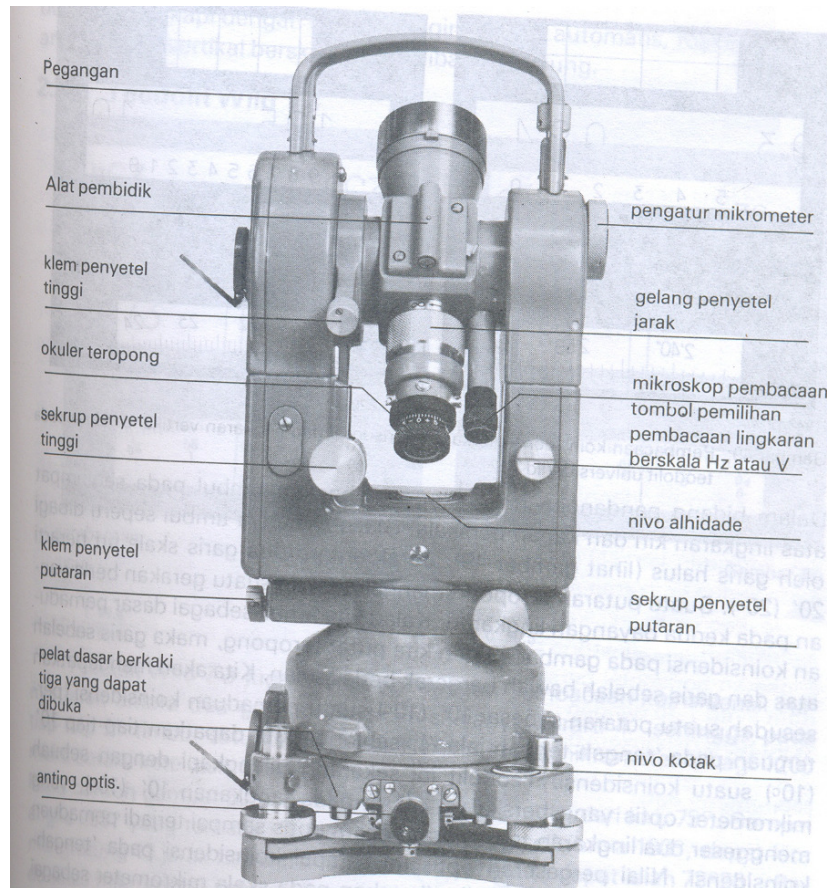
- Membuat suatu garis lurus letaknya mendatar,
- Membuat suatu bidang agar letaknya mendatar dan,
- Membuat suatu garis lurus letaknya tegak.

Nivo yang diletakkan pada suatu theodolit (berjumlah lebih dari satu) digunakan untuk:

- a. Membuat mendatar garis indeks bacaan skala tegak. Nivo yang dimaksud adalah nivo skala tegak (no. 3).
- b. Membuat mendatar sumbu II, nivo yang digunakan adalah nivo tunggang yang tidak menempel tetap pada theodolit.
- c. Membuat skala lingkaran mendatar dalam keadaan mendatar karena sumbu I theodolit oleh pabrik telah dibuat tegak lurus pada skala lingkaran mendatar, maka nivo tersebut (no. 9) digunakan untuk menegakkan sumbu I. Nivo yang demikian disebut nivo skala mendatar atau nivo sumbu tegak.

Sementara statip atau tripod berfungsi untuk menyangga ketiga bagian diatas. Pada alat ini terdapat alat pengunci dan alat penggantung unting-unting seperti yang diperlihatkan pada Gambar 3.1.(d).

Gambar 3.2 memperlihatkan bagian-bagian alat theodolit yang terdapat pada Tipe WILD-T2.



Gambar 3.2 Bagian-Bagian Alat Theodolit WILD-T2
(Sumber : Frick, 1979)

III.2 Pemeriksaan dan Pengaturan Theodolit

Sebelum alat theodolit digunakan untuk pengukuran terlebih dahulu harus diperiksa dan jika diperlukan dilakukan pengaturan-pengaturan (*adjustment*). Pemeriksaan bertujuan untuk memastikan apakah bagian-bagian alat yang terdapat pada theodolit berfungsi dengan baik atau tidak. Misalnya pemeriksaan skrup-skrup kiap, skrup repetisi, skrup reiterasi, tombol focus, skrup pengungkit, skrup penggerak halus, dll. Pemeriksaan cukup dilakukan di laboratorium/kantor.

Alat theodolit agar dapat digunakan di dalam pengukuran harus memenuhi beberapa persyaratan sebagai berikut:

1. Sumbu I harus tegak lurus sumbu II.

2. Garis bidik harus tegak lurus sumbu II. Artinya garis bidik harus berhimpit dengan sumbu optis teropong (sumbu optis teropong telah dibuat tegak lurus sumbu II).
3. Garis jurusan nivo skala tegak lurus sejajar garis indeks skala tegak.
4. Garis jurusan nivo skala mendatar harus tegak lurus sumbu I.

Apabila syarat-syarat tersebut diatas belum dipenuhi maka perlu dilakukan pengaturan-pengaturan agar syarat-syarat tersebut dipenuhi. Pengaturan-pengaturan syarat-syarat diatas disebut pengaturan tetap (*permanent adjustment*) yang umumnya dilakukan di lapangan. Pada saat pengukuran akan dimulai, alat theodolit diatur agar:

1. Sumbu I harus tegak dan tepat diatas titik pengukuran (stasion pengukuran). Penempatan sumbu I tepat diatas titik pengukuran disebut sentring (*centring*).
2. Bayangan target dan benang silang diafragma nampak jelas. Pekerjaan ini disebut *focusing*.

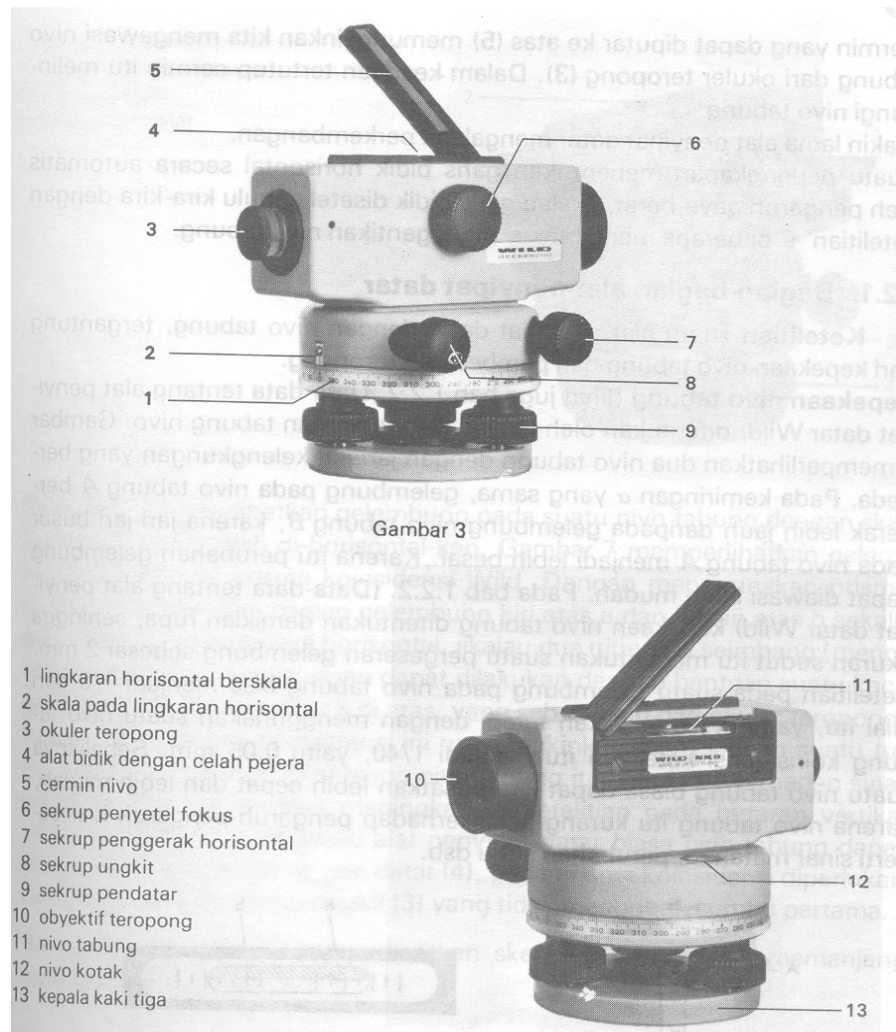
Pekerjaan sentring dan *focusing* disebut pengaturan sesaat (*temporary adjustment*). Setelah pekerjaan pengaturan selesai dilakukan, barulah pengukuran dimulai. Disamping alat theodolit, untuk pengukuran diperlukan alat-alat lainnya yaitu target (jalon atau reflektor). Target harus dipasang tegak dan tepat berdiri di titik yang diukur.

III.3 Alat Penyipat Datar (Waterpas)

Untuk menentukan beda tinggi pada jarak jauh dengan teliti, garis bidik harus ditentukan dengan suatu alat bidik yang teliti tanpa ada paralaks dan untuk membaca rambu ukur diperlukan sebuah teropong. Berdasarkan pertimbangan tersebut dibuat suatu alat penyipat datar seperti yang diperlihatkan pada Gambar 3.3.

Pada Gambar 3.3 tersebut diperlihatkan bagian-bagian alat penyipat datar yang terdiri dari sebuah teropong dengan garis bidiknya dapat dibuat horizontal dengan sebuah nivo tabung. Untuk mencari target, teropong dan nivo tabung dapat diputar pada sumbu pertama yang dapat diatur pada tiga sekrup pendatar. Dengan sekrup penyetel fokus bayangan rambu ukur dapat diset tajam. Dengan sekrup penggerak horizontal bayangan dapat diset tajam. Sinar cahaya yang masuk pada obyektif membentuk bayangan antara diafragma suatu bayangan terbalik dari rambu ukur yang diperhatikan. Bayangan rambu dapat diperbesar oleh okuler. Okuler teropong harus diputar sampai benang silang dapat dilihat tepat dan tajam. Penyetelan ini tidak usah

diubah lagi untuk mata yang sama. Titik potong pada benang silang menjadi titik pusat pada objektif dan garis bidik teropong. Agar jarak pada benang silang dapat diukur ada tambahan dua benang horizontal yang dinamakan benang stadia dengan jarak yang ditentukan demikian sehingga ukuran pada rambu ukur yang dilihat diantaranya dikalikan dengan 100 adalah jarak antara alat penyipat datar dan rambu ukur. Karena jarak itu biasanya lebih kecil dari 100m, teropong dilengkapi dengan suatu lensa koreksi supaya bayangan selalu dapat diset tajam. Jarak terkecil tergantung pada alat penyipat datar adalah antara 0.8m dan 2.2m.



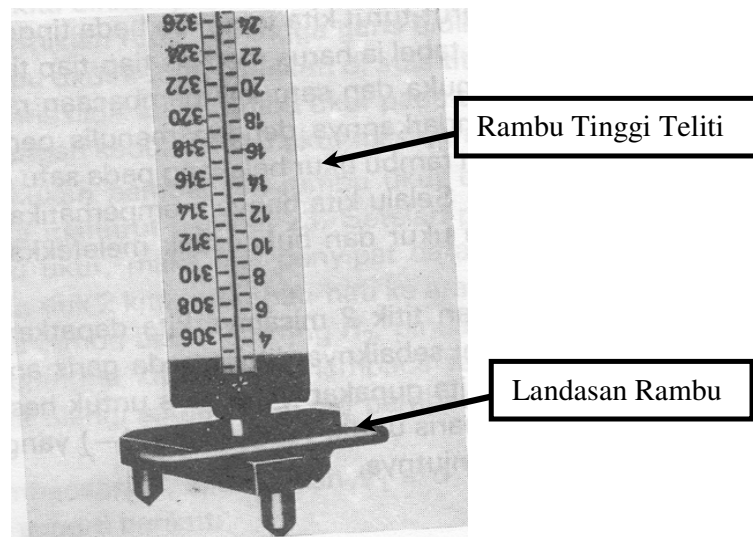
Gambar 3.3 Bagian-bagian Alat Penyipat Datar (Waterpas)
(Sumber: Frick, 1979)

III.4 Pemeriksaan dan Pengaturan Alat Penyipat Datar

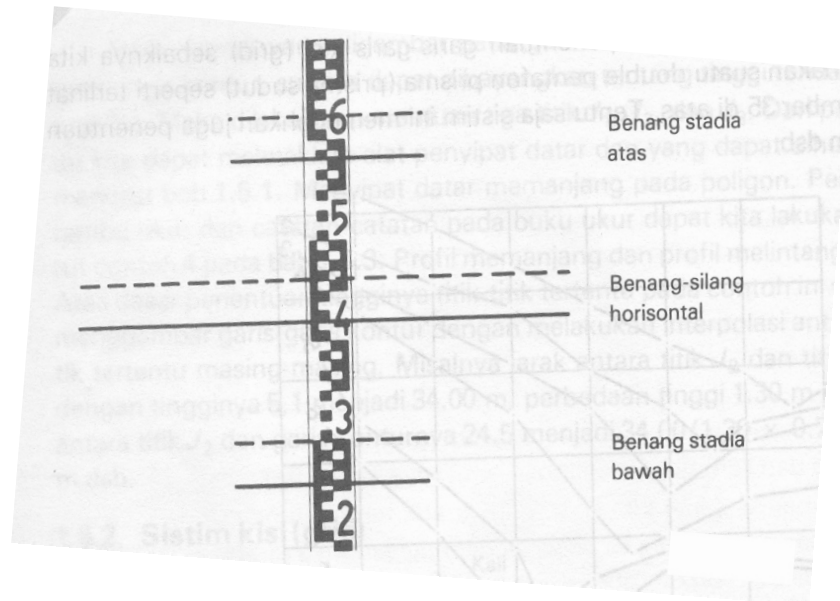
Pada prinsipnya hanya satu syarat yang harus dipenuhi untuk kegiatan menyipat tetap yaitu garis bidik harus horizontal kalau nivo tabung diset horizontal/sejajar. Jika syarat ini tidak dipenuhi maka nilai yang dibaca pada rambu ukur akan dihindangi kesalahan. Agar memenuhi syarat tersebut maka alat penyipat datar dibuat mendatar dengan nivo kotak dan teropong diarahkan melalui salah satu sekrup pendatar. Teropong kemudian diputar 180° kemudian diatur kembali gelembung nivo agar selalu berada ditengah-tengah. Demikian seterusnya sehingga jika teropong diputar ke segala arah, posisi gelembung nivo selalu ditengah-ditengah kotak.

III.5 Peralatan-Peralatan lainnya

Selain peralatan yang diuraikan diatas terdapat beberapa peralatan lainnya yang sering digunakan pada pengukuran tanah di lapangan yaitu rambu, landasan rambu atau tempat untuk meletakkan rambu, jalon yang umumnya digunakan sebagai target, unting-unting untuk memastikan arah gaya berat bumi, pita ukur seperti pita ukur baja, *marking pen* untuk menandai suatu titik (bantu). Gambar 3.4 memperlihatkan rambu yang digunakan pada pengukuran tinggi teliti dan landasan rambu sementara Gambar 3.5 memperlihatkan rambu yang sering digunakan pada pengukuran horizontal dan vertikal.



Gambar 3.4 Rambu Tinggi Teliti dan Landasan Rambu
(Sumber : Frick, 1979)

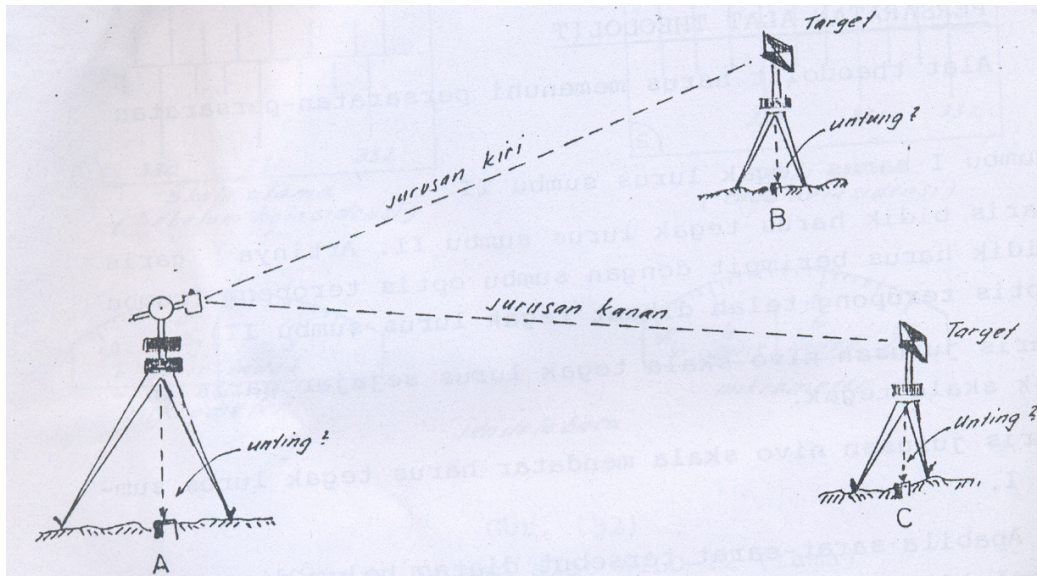


Gambar 3.5 Rambu Ukur
(Sumber : Frick, 1979)

Gambar 3.5 memperlihatkan rambu ukur yang digunakan baik pada pengukuran horizontal maupun vertikal. Jika pada pengukuran dengan waterpas terdapat tiga benang yaitu benang atas, tengah dan bawah yang dibaca. Pada contoh Gambar 3.5 diatas bacaan benang tengah (garis solid) menunjukkan 0,419m. Untuk koreksi ukuran bacaan pada pengukuran dengan waterpas berlaku syarat $BT = \frac{BA + BB}{2}$, dimana BT adalah nilai bacaan benang tengah, BA adalah nilai bacaan benang atas dan BB adalah nilai bacaan benang bawah.

III.6 Pengukuran Sudut Mendatar

Untuk mengukur satu sudut mendatar, alat theodolit dan target dipasang seperti pada Gambar 3.6. Sudut mendatar antara dua jurusan (jurusan AB dan jurusan AC) dapat diukur dengan dua cara yaitu cara repetisi dan reiterasi. Tipe alat theodolit untuk cara repetisi menggunakan theodolit repetisi sedangkan untuk cara reiterasi menggunakan theodolit reiterasi atau theodolit repetisi dengan catatan skrup repetisi harus selalu terkunci. Pengukuran sudut cara repetisi dinamakan pengukuran sudut sedangkan cara reiterasi dinamakan pengukuran jurusan/arah. Pengukuran cara repetisi hanya digunakan untuk mengukur satu sudut (dua jurusan) sedangkan cara reiterasi digunakan untuk dua atau lebih jurusan. Pada buku ini hanya diuraikan cara repetisi.



Gambar 3.6 Pengukuran Sudut Mendatar
(Sumber: Purworahardjo, 1986)

Cara Repetisi

Dengan cara repetisi sudut diukur berulang-ulang (nX). Banyaknya pengulangan tergantung dari tingkat ketelitian yang dikehendaki. Makin banyak makin teliti. Apabila di satu stasion terdapat beberapa arah atau beberapa sudut maka dengan cara repetisi pengukurannya dilakukan sudut persudut. Misalkan sudut yang diukur adalah sudut BAC dan ditetapkan akan diukur $3X$. Perhatikan Gambar 3.1 dan Gambar 3.6. Cara pengukurannya adalah sebagai berikut:

- d. Kencangkan skrup k_2 , kendorkan k_1 . Arahkan teropong ke target B (jurusan kiri didahulukan). Setelah garis bidik tepat mengarah ke B kencangkan k_1 . Baca skala mendatarnya. Misalkan bacaannya L_B .
- e. Kendorkan k_1 arahkan teropong ke target C (jurusan kanan). Setelah garis bidik tepat mengarah ke C kencangkan k_1 . Baca skala mendatarnya. Misalkan nilai bacaannya L_C . Sampai disini sudut BAC telah diukur $1X$.
- f. Kendorkan k_2 (k_1 tetap kencang) arahkan teropong ke C. Kemudian kencangkan k_2 . Bacaan mendatarnya tetap L_C .
- g. Kendorkan k_1 (k_2 tetap kencang) arahkan teropong ke B, kemudian kencangkan k_1 . Bacaannya adalah L_C' . Sampai disini sudut BAC telah diukur $2X$.
- h. Kendorkan k_2 (k_1 tetap kencang) arahkan teropong ke B, kemudian kencangkan k_2 . Bacaannya adalah tetap L_C' .

- i. Kendorkan k_1 (k_2 tetap kencang) arahkan teropong ke C, kemudian kencangkan k_1 . Bacaannya adalah L_C'' . Sampai disini sudut BAC telah diukur $3X$.

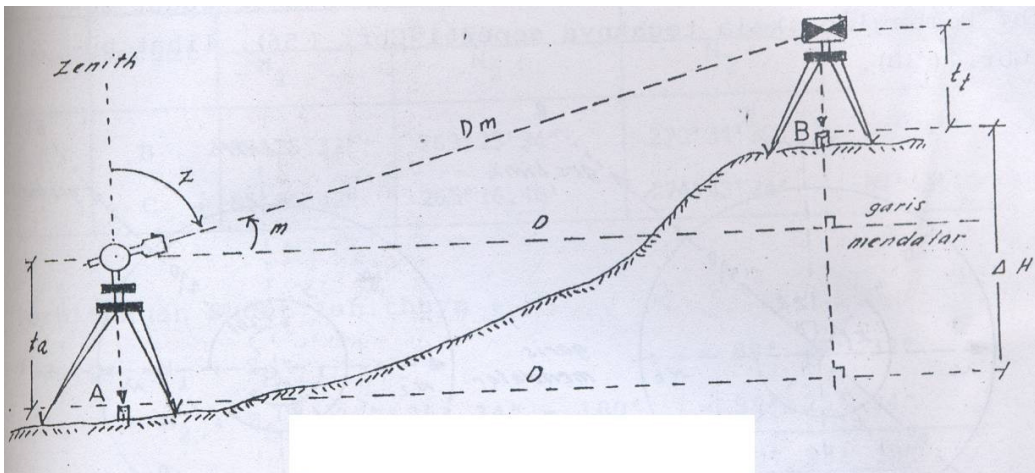
Untuk menghitung sudut BAC adalah sebagai berikut:

- Dari ukuran pertama : Sudut BAC = $(L_C - L_B)$ atau jurusan kanan – jurusan kiri.
- Dari ukuran kedua : Sudut BAC = $(L_C' - L_C)$.
- Dari ukuran ketiga : Sudut BAC = $(L_C'' - L_C)$.

Besaran sudut yang digunakan adalah rata-rata dari ketiga besaran sudut diatas.

III.7 Pengukuran Tegak

Sudut tegak dapat diukur dengan theodolit reiterasi atau repetisi. Perhatikan Gambar 3.7. Misalkan hendak diukur sudut tegak dari A ke B. Theodolit dipasang di A sementara target diletakkan di B.



Gambar 3.7 Pengukuran Sudut Tegak dengan Theodolit
(Sumber Purworahardjo, 1986)

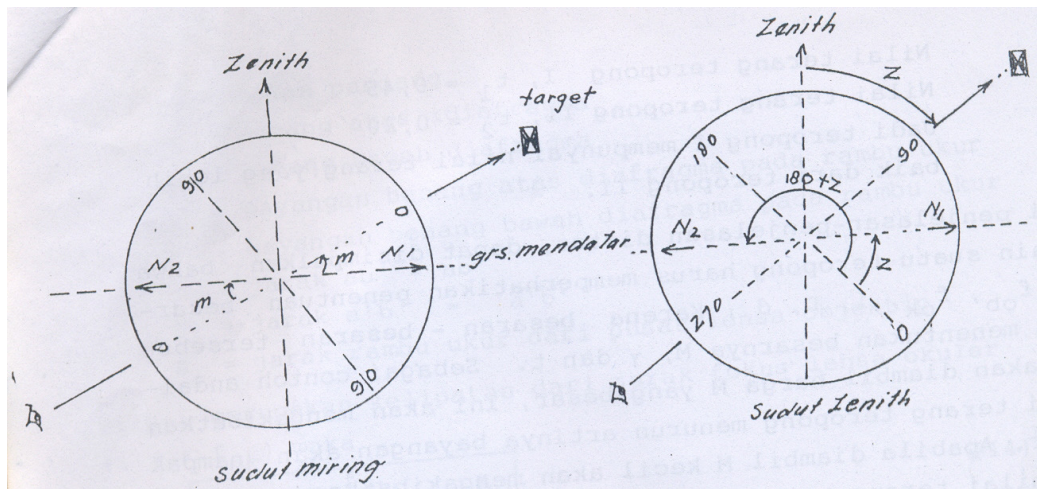
Cara Pengukurannya adalah sebagai berikut (Perhatikan juga Gambar 3.1 dan Gambar 3.7):

- a. Pada kedudukan biasa (skala tegak sebelah kiri teropong) arahkan teropong ke target. Bila gelembung nivo lingkaran tegak tidak di tengah, ketengahkan dengan skrup pengungkit. Ini dilakukan agar indeks bacaan (indeks nonius) mendatar.
- b. Baca skala tegak. Tergantung theodolitnya bacaan dapat memberikan sudut miring (m) atau sudut zenith (z).

- c. Putar balik teropong menjadi posisi luar biasa (skala tegak sebelah kanan teropong) dan arahkan lagi ke target. Bila gelembung nivo skala tegak berpindah dari kedudukan di tengah, ketengahkan kembali dengan skrup pengungkit, kemudian baca lagi skala tegaknya. Dengan demikian akan diperoleh 2 sudut tegak yaitu dari posisi teropong biasa dan luar biasa. Dari kedua ukuran kemudian diambil harga rata-ratanya.

Skala Lingkaran Tegak

Skala lingkaran tegak digunakan untuk menentukan besarnya sudut tegak (sudut miring atau sudut zenith) ke jurusan target yang diukur. Skala lingkaran tegak ini menjadi satu dengan teropong pada theodolit, sehingga apabila teropong digerakkan ke atas atau ke bawah skala lingkaran tegak ini turut pula bergerak. Tergantung cara menuliskan angka skala pada lingkaran tegaknya theodolit dibedakan antara theodolit pengukur sudut miring dan sudut zenith seperti yang diperlihatkan pada Gambar 3.8.



Gambar 3.8 Pembagian Skala Tegak
(Sumber : Purworahardjo, 1986)

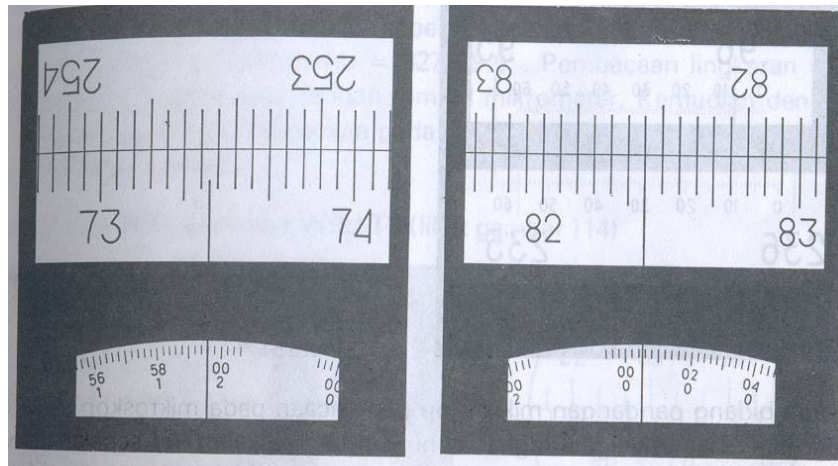
Keterangan:

N_1, N_2 : Indeks bacaan skala tegak m : Sudut miring z : Sudut zenith

Pada theodolit pengukur sudut miring, bacaan sudut miring dengan N_1 dan N_2 besarnya sama. Pada theodolit pengukur sudut zenith bacaan sudut dengan N_1 adalah z , sedangkan dengan N_2 adalah $(180^\circ + z)$. Misalnya pembacaan dengan N_2 adalah 240° maka besarnya sudut zenith adalah $240^\circ - 180^\circ = 60^\circ$. Persyaratan lainnya yang harus dipenuhi adalah N_1 dan N_2 harus dalam keadaan mendatar. Hal ini dapat tercapai dengan menggunakan bantuan nivo tabung skala tegak, yaitu dengan menggunakan skrup pengungkit, gelembung nivo diketengahkan.

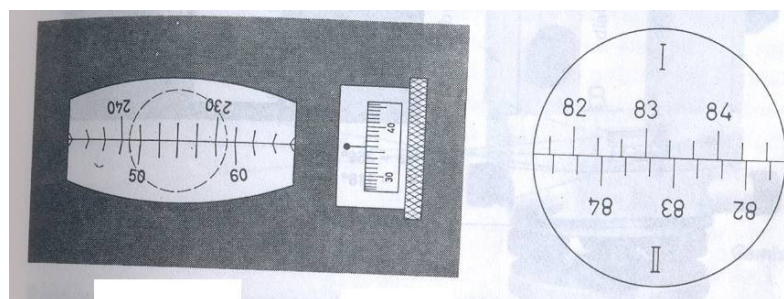
III.8 Pembacaan Sudut Pada Theodolit

Pada Theodolit mempunyai alat pembacaan sudut horizontal dan vertikal. Kedua sudut tersebut (horizontal dan vertikal) harus dibaca dan dicatat pada saat pengukuran di lapangan. Pada Gambar 3.9 dan 3.10 diperlihatkan beberapa contoh pembacaan sudutnya.



Gambar 3.9 Sudut Horizontal dan Vertikal pada Theodolit WILD-T3
(Sumber: Frick, 1979)

Pada Gambar 3.9 pembacaan sudut horizontal (sebelah kiri) memberikan hasil $73^{\circ} 27' 59,6''$ (dibaca 73 derajat 27 menit 59,6 detik) sementara sudut vertikal (sebelah kanan) memberikan hasil $82^{\circ} 24' 0,5''$ (dibaca 82 derajat 24 menit 0,5 detik). Pada Gambar 3.10 pembacaan sudut horizontal (sebelah kiri) memberikan hasil $54^{\circ} 36'$ (dibaca 54 derajat 36 menit) sementara sudut vertikal (sebelah kanan) memberikan hasil $83^{\circ} 12'$ (dibaca 83 derajat 12 menit).



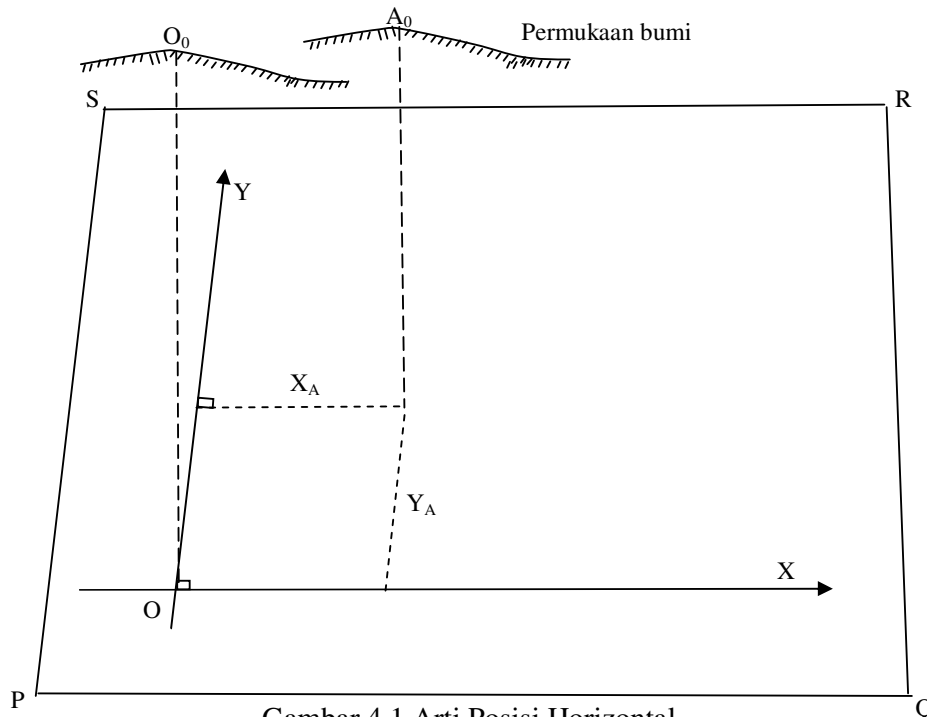
Gambar 3.10 Sudut Horizontal dan Vertikal pada Theodolit WILD-T0
(Sumber: Frick, 1979)

BAB IV PENGUKURAN HORIZONTAL

Pada Bab ini diuraikan beberapa metode pengukuran dalam bidang horizontal untuk penentuan titik kerangka horizontal. Titik-titik kerangka tersebut koordinatnya dinyatakan dalam sistem koordinat kartesian.

IV.1 Arti Posisi dan Jarak Horizontal

Dalam ilmu ukur tanah posisi titik di muka bumi, misalnya titik A_0 pada bidang datarnya dinyatakan oleh absis X_A dan ordinat Y_A dalam sistem koordinat kartesian. Sebagai sumbu Y dalam sistem kartesian adalah dipilih garis meridian yang melalui satu titik. Pada Gambar 4.1 meridian yang dipilih adalah meridian melalui titik O. Titik ini selanjutnya ditetapkan sebagai titik awal (titik nol) sistem koordinat. Sebagai sumbu X adalah garis tegak lurus (\perp) sumbu Y di titik nol.



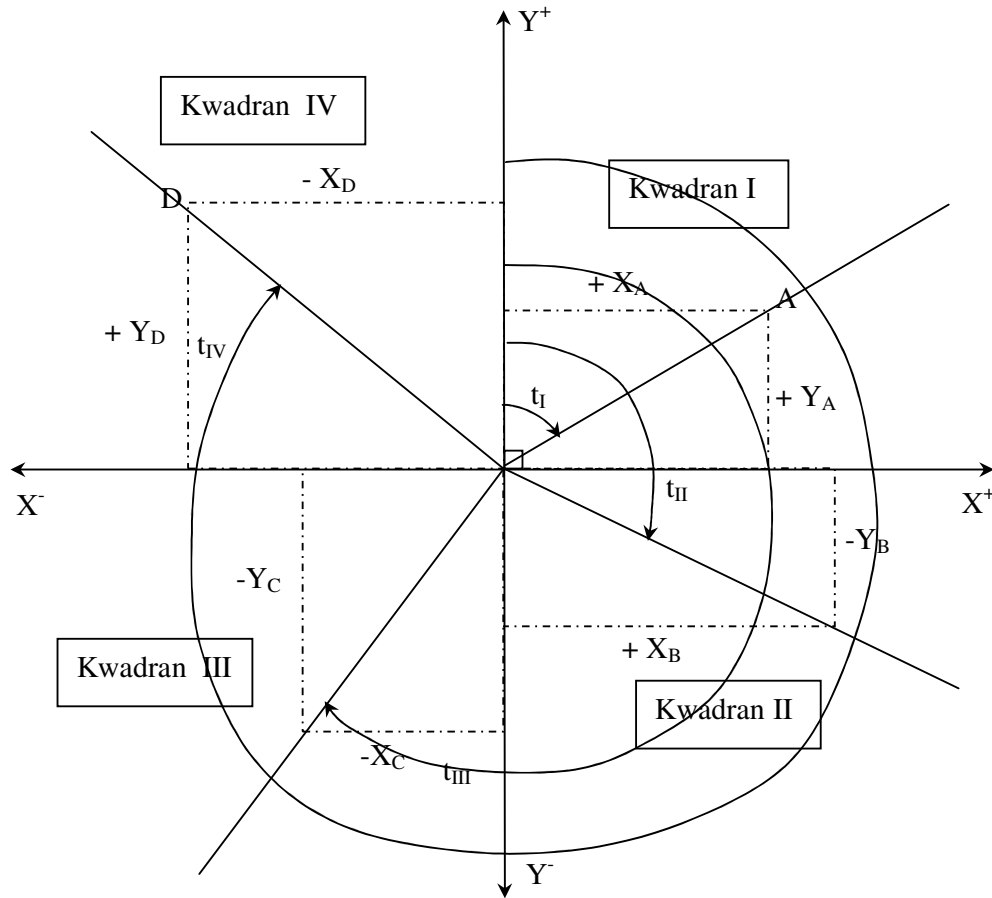
Gambar 4.1 Arti Posisi Horizontal
(Sumber: Purworahardjo, 1986)

Keterangan:

- PQRS : Merupakan bidang datar (merupakan sebagian kecil permukaan ellipsoida)
- Sumbu Y : Merupakan garis meridian melalui titik O
- Sumbu X : Garis tegak lurus Y di titik O
- Garis O_0O : Garis normal bidang PQRS
- Garis A_0A : Garis normal bidang PQRS (garis $A_0A \parallel O_0O$)
- X_A, Y_A : Koordinat planimetris titik A_0
- Z : Merupakan ketinggian A_0 diatas bidang PQRS

Di dalam ilmu ukur tanah berlaku perjanjian-perjanjian sebagai berikut:

1. Sumbu Y positif dihitung ke arah utara
2. Sumbu X positif dihitung ke arah timur
3. Kwadran I terletak antara Y^+ dan X^+
4. Kwadran II terletak antara Y^- dan X^+
5. Kwadran III terletak antara Y^- dan X^-
6. Kwadran IV terletak antara Y^+ dan X^-



Gambar 4.2 Sistem Pembagian Kwadran
(Sumber: Purworahardjo, 1986)

Karena sudut-arah t bisa menempatkan diri dalam lingkaran antara $0^\circ - 360^\circ$, sumbu koordinat akan membagi lingkaran atas empat kwadran yang ditentukan seperti yang terlihat pada Gambar 4.2 dimana:

- | | |
|-------------------------------------|---------------------------------------|
| Kwadran I : $0^\circ - 90^\circ$ | Kwadran III : $180^\circ - 270^\circ$ |
| Kwadran II : $90^\circ - 180^\circ$ | Kwadran IV : $270^\circ - 360^\circ$ |

Fungsi geometris \sin , \cos , \tan dan \cotan sudut yang sama besar pada keempat kwadran dapat dibedakan menurut tandanya (+, -) dan oleh co-fungsi pada kwadran II dan IV sebagai pengganti fungsi pada kwadran I dan kwadran III, yaitu $t_I = t_{II} - 90^\circ =$

$t_{III} - 180^\circ = t_{IV} - 270^\circ$. Dinyatakan dalam bentuk pembagian kuadran adalah sebagai berikut:

IV	I
$\text{Sin } t_{IV} = -\text{Cos } (t_{IV} - 270^\circ)$	$\text{Sin } t_I = +$
$\text{Cos } t_{IV} = +\text{Sin } (t_{IV} - 270^\circ)$	$\text{Cos } t_I = +$
$\text{Sin } t_{III} = -\text{Sin } (t_{III} - 180^\circ)$	$\text{Sin } t_{II} = +\text{Cos } (t_{II} - 90^\circ)$
$\text{Cos } t_{III} = -\text{Cos } (t_{III} - 180^\circ)$	$\text{Cos } t_{II} = -\text{Sin } (t_{II} - 90^\circ)$
III	II

Catatan:	$\frac{\Delta X}{\text{Sin}}$	$\frac{\Delta Y}{\text{Cos}}$	
	Kuadran I di kanan atas, maka fungsi	+	+
	Kuadran I di kanan bawah, maka co-fungsi	+	-
	Kuadran I di kiri bawah, maka fungsi	-	-
	Kuadran I di kiri atas, maka co-fungsi	-	+

Co-fungsi ditentukan oleh tanda (+, -) yang berbeda.

Contoh-contoh soal berikut penyelesaiannya terkait dengan perhitungan sudut jurusan adalah sebagai berikut:

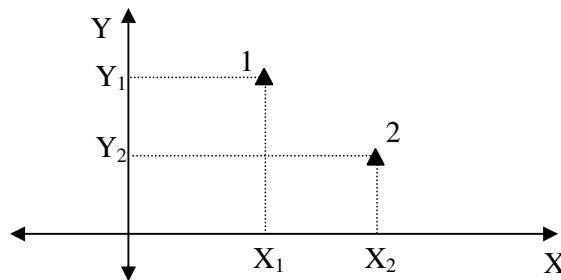
1. Diketahui koordinat 1(X_1, Y_1) dan 2(X_2, Y_2) sebagai berikut:

Titik	X(meter)	Y(meter)
1	999,990	999,984
2	1130,527	924,221

Hitung sudut jurusan α_{12} dan α_{21} !

Solusi:

a. Gambar titik 1 dan 2 dalam sistem koordinat kartesian untuk memperoleh ilustrasi awal letak titik-titik tersebut pada kwadran ilmu ukur tanah! (Asumsi: sumbu Y sejajar dengan arah utara)



Dari posisi titik-titik tersebut maka terlihat bahwa sudut jurusan α_{12} terletak pada kwadran II dan sudut jurusan α_{21} terletak pada kwadran IV.

b. Hitung ΔX_{12} , ΔY_{12} , ΔX_{21} dan ΔY_{21} !

$$\begin{aligned}\Delta X_{12} &= X_2 - X_1 = +130,537 \\ \Delta Y_{12} &= Y_2 - Y_1 = -75,763 \quad \text{Terletak di kwadran II}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta X_{21} &= X_1 - X_2 = -130,537 \\ \Delta Y_{21} &= Y_1 - Y_2 = +75,763 \quad \text{Terletak di kwadran IV}\end{aligned}$$

c. Hitung α_{12} dan α_{21} !

$$\begin{aligned}\alpha_{12} &= \tan^{-1} \left| \frac{-75,763}{130,537} \right| = \tan^{-1} (0,58039483) \\ &= 30^\circ 07' 50,37'' + 90^\circ \quad (\text{karena terletak di kwadran II}) \\ \alpha_{12} &= 120^\circ 07' 50,37''\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\alpha_{21} &= \tan^{-1} \left| \frac{75,763}{-130,537} \right| = \tan^{-1} (0,58039483) \\ &= 30^\circ 07' 50,37'' + 270^\circ \quad (\text{karena terletak di kwadran IV}) \\ \alpha_{21} &= 300^\circ 07' 50,37''\end{aligned}$$

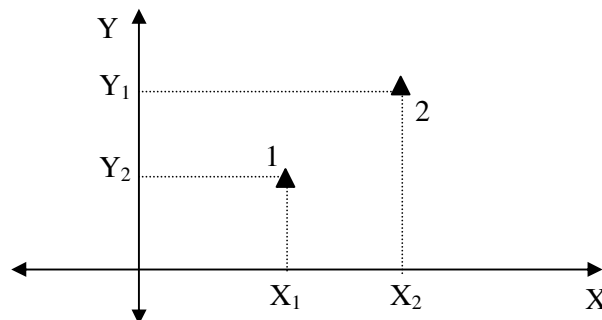
2. Diketahui koordinat 1(X_1 , Y_1) dan 2(X_2 , Y_2) sebagai berikut:

Titik	X(meter)	Y(meter)
1	1000,000	1000,000
2	1500,000	1200,000

Hitung sudut jurusan α_{12} dan α_{21} !

Solusi:

a. Gambar titik 1 dan 2 dalam sistem koordinat kartesian. (Asumsi: sumbu Y sejajar dengan arah utara).



Dari posisi titik-titik tersebut maka terlihat bahwa sudut jurusan α_{12} terletak pada kwadran I dan sudut jurusan α_{21} terletak pada kwadran III.

b. Hitung ΔX_{12} , ΔY_{12} , ΔX_{21} dan ΔY_{21} !

$$\begin{aligned}\Delta X_{12} &= X_2 - X_1 = + 500,000 \\ \Delta Y_{12} &= Y_2 - Y_1 = + 200,000 \quad \text{Terletak di kwadran I}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta X_{21} &= X_1 - X_2 = - 500,000 \\ \Delta Y_{21} &= Y_1 - Y_2 = - 200,000 \quad \text{Terletak di kwadran III}\end{aligned}$$

c. Hitung α_{12} dan α_{21} !

$$\alpha_{12} = \tan^{-1} \left| \frac{500,000}{200,000} \right| = \tan^{-1} (2,5)$$

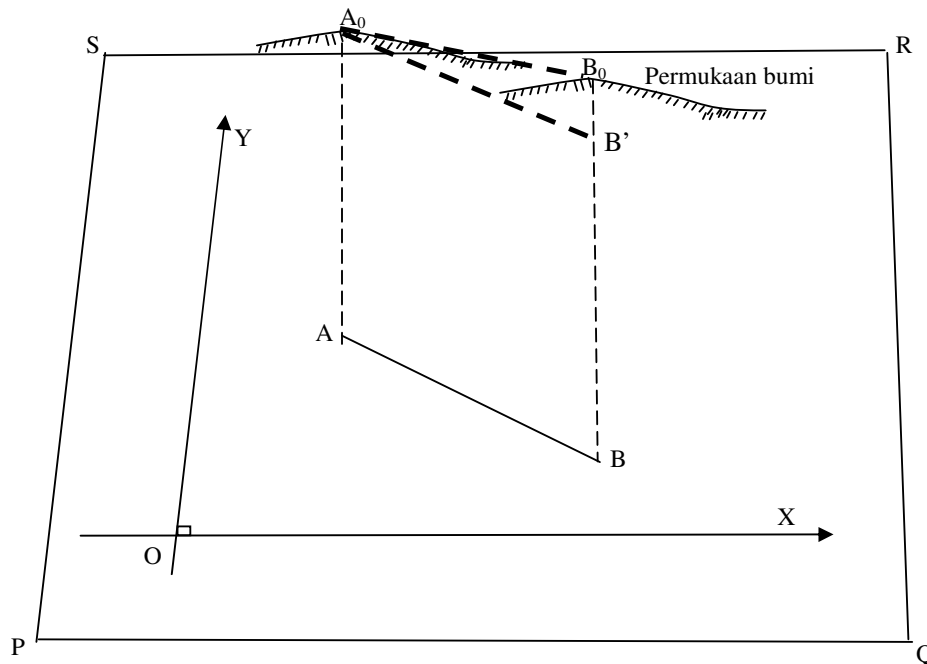
$$\alpha_{12} = 68^\circ 11' 54,93''$$

$$\alpha_{21} = \tan^{-1} \left| \frac{-500,000}{-200,000} \right| = \tan^{-1} (2,5)$$

$$= 68^\circ 11' 54,93'' + 180^\circ \quad (\text{karena terletak di kwadran III})$$

$$\alpha_{21} = 248^\circ 11' 54,93''$$

Catatan: Perhatikan rumusan penentuan sudut jurusan pada kwadran I & III berbeda dengan kwadran II & IV (penyebut dan pembilang pada rumus inverse tangen).



Gambar 4.3 Arti Jarak
(Sumber: Purworahardjo, 1986)

Keterangan:

AB : Jarak Mendatar

$A_0 B_0$: Jarak Miring

$B_0 B'$: Beda Tinggi

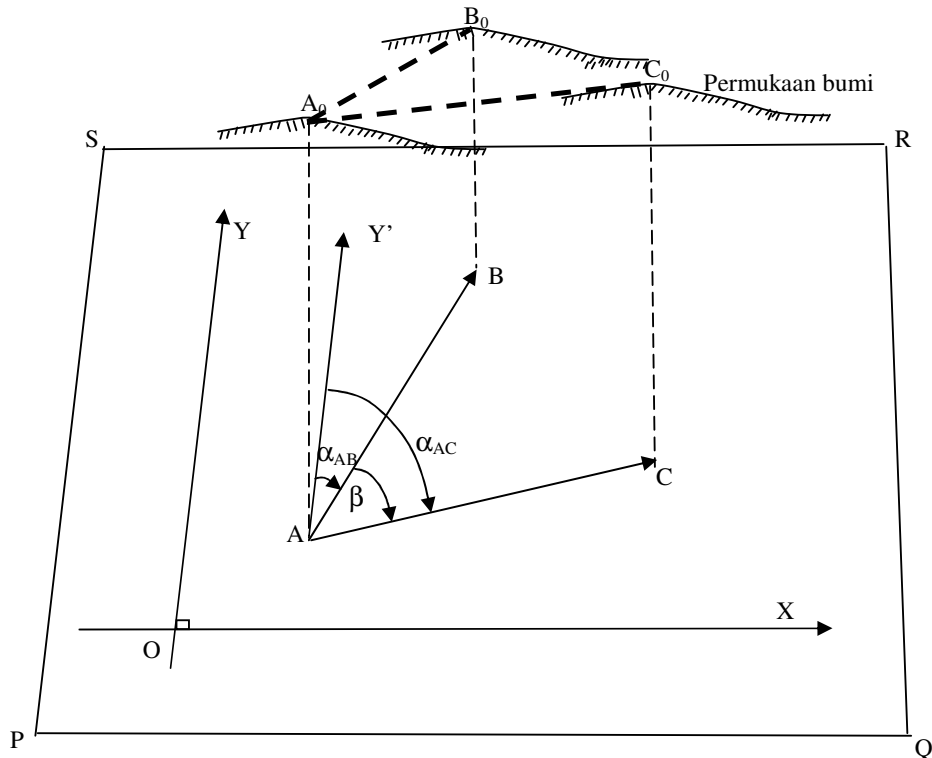
Sementara itu pada Gambar 4.3 digambarkan arti dari jarak horizontal dimana titik A_0 dan B_0 terletak di permukaan bumi. Garis penghubung lurus $A_0 B_0$ disebut sebagai jarak miring (*slope distance*). Garis-garis $A_0 A$ dan $B_0 B$ merupakan garis-garis sejajar dan tegak lurus bidang PQRS. Jarak antara kedua garis ini disebut jarak mendatar dari A_0 ke B_0 ($AB = A_0 B' =$ jarak mendatar / *horizontal distance*).

Jarak $B_0 B'$ disebut jarak tegak (*vertical distance*) dari A_0 ke B_0 dan lazim disebut sebagai beda tinggi. Sudut $B_0 A_0 B'$ disebut sebagai sudut miring dimana komplementernya (penyikunya) disebut sebagai sudut zenith. Antara sudut miring, jarak miring, jarak mendatar dan beda tinggi terdapat hubungan matematik sebagai berikut:

Bila besar sudut miring $B_0 A_0 B' = m$, komplementernya adalah $z = (90-m)$, maka:

- $A_0 B' = AB = A_0 B_0 \cos m = A_0 B_0 \sin z$
- $B_0 B' = A_0 B_0 \sin m = A_0 B_0 \cos z$
- $(A_0 B_0)^2 = (AB)^2 + (B_0 B')^2$

IV.2 Arti Sudut Mendatar dan Sudut Jurusan



Gambar 4.4 Arti Sudut Mendatar dan Sudut Jurusan
(Sumber: Purworahardjo, 1986)

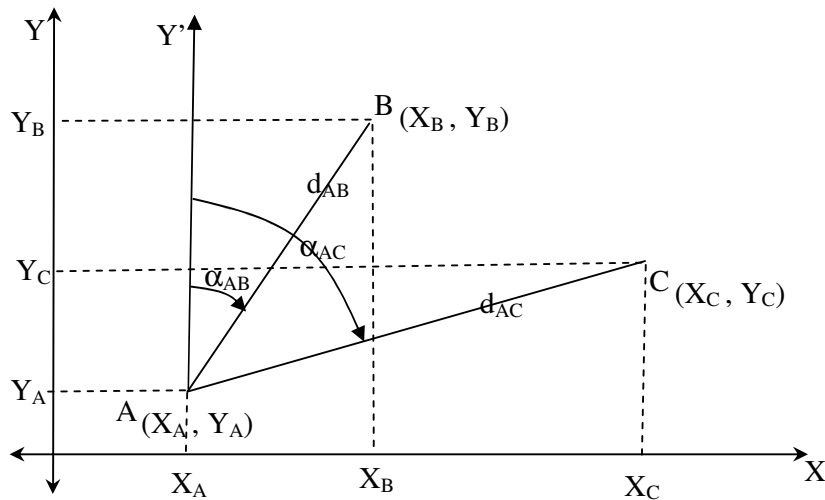
Pada Gambar 4.4 sudut mendatar di A_0 adalah sudut yang dibentuk oleh bidang-bidang normal $A_0 B_0 B A$ dengan $A_0 C_0 C A$. Sudut BAC disebut sudut mendatar

($BAC = \beta$). Sudut antara sisi AB dengan garis Y' yang sejajar dengan sumbu Y disebut sudut jurusan sisi AB, α_{AB} . Sudut jurusan sisi AC adalah α_{AC} . Dalam ilmu ukur tanah terdapat perjanjian untuk sudut jurusan sebagai berikut:

'Sudut jurusan satu sisi dihitung dari sumbu Y positif (arah utara) berputar searah putaran jarum jam (ke kanan) sampai sisi yang bersangkutan. Sudut jurusan mempunyai harga dari 0° sampai 360° .'

Dengan adanya perjanjian tersebut diatas maka dalam hal ini sudut mendatar yaitu $\beta = \alpha_{AC} - \alpha_{AB}$.

Seperti yang diperlihatkan pada Gambar 4.5 dapat dimengerti bahwa koordinat titik A adalah (X_A, Y_A) , jarak mendatar dari A ke B adalah d_{AB} , dari A ke C adalah d_{AC} dan sudut jurusan dari A ke B adalah α_{AB} , dari A ke C adalah α_{AC} .



Gambar 4.5 Penentuan Posisi Titik Kerangka Horizontal
(Sumber: Purworahardjo, 1986)

Penentuan koordinat B dilakukan dengan rumus:

$$X_B = X_A + \Delta X_{AB} \text{ dan } Y_B = Y_A + \Delta Y_{AB} \dots\dots\dots(4.1)$$

dimana $\Delta X_{AB} = X_B - X_A$ & $\Delta Y_{AB} = Y_B - Y_A$.

Jika d_{AB} , dan α_{AB} diketahui ΔX_{AB} dapat dihitung dengan cara $\frac{\Delta X_{AB}}{d_{AB}} = \sin \alpha_{AB}$.

Dengan cara yang sama maka $\frac{\Delta Y_{AB}}{d_{AB}} = \cos \alpha_{AB}$, sehingga persamaan (4.1) dapat

disubstitusi menjadi:

$$X_B = X_A + d_{AB} \sin \alpha_{AB} \text{ dan } Y_B = Y_A + d_{AB} \cos \alpha_{AB} \dots\dots\dots(4.2), \text{ dan}$$

$$X_C = X_A + d_{AC} \sin \alpha_{AC} \text{ dan } Y_C = Y_A + d_{AC} \cos \alpha_{AC} \dots \dots \dots (4.3).$$

Apabila koordinat titik A, B dan C diketahui besarnya maka :

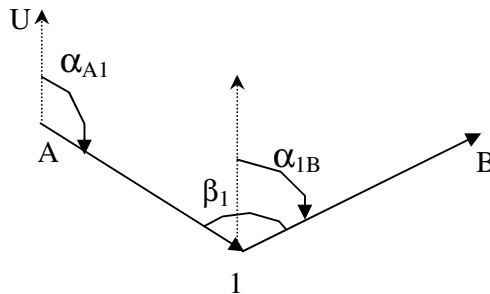
$$d_{AB} = \frac{X_B - X_A}{\sin \alpha_{AB}} = \frac{Y_B - Y_A}{\cos \alpha_{AB}} = \sqrt{(X_B - X_A)^2 + (Y_B - Y_A)^2} \dots \dots \dots (4.4)$$

$$d_{AC} = \frac{X_C - X_A}{\sin \alpha_{AC}} = \frac{Y_C - Y_A}{\cos \alpha_{AC}} = \sqrt{(X_C - X_A)^2 + (Y_C - Y_A)^2} \dots \dots \dots (4.5)$$

$$\alpha_{AB} = \arctan \frac{X_B - X_A}{Y_B - Y_A} = \arctan \frac{Y_B - Y_A}{X_B - X_A} \dots \dots \dots (4.6)$$

$$\alpha_{AC} = \arctan \frac{X_C - X_A}{Y_C - Y_A} = \arctan \frac{Y_C - Y_A}{X_C - X_A} \dots \dots \dots (4.7)$$

Dari Gambar 4.5 dapat dimengerti bahwa α_{AB} dan α_{BA} berselisih 180° , sehingga $\alpha_{AB} = \alpha_{BA} - 180^\circ$. Sebagai contoh diperlihatkan ilustrasi pada Gambar 4.6.



Gambar 4.6 Penentuan Sudut Jurusan

Maka sudut jurusan α_{BC} dapat dihitung dengan cara : $\alpha_{1B} = \alpha_{A1} + \beta_1 - 180^\circ$. Apabila jumlah titik sudutnya adalah n buah maka diperoleh persamaan umum

$$\text{penentuan sudut jurusan : } \alpha_{AKHIR} = \alpha_{AWAL} + \sum_i^n \beta_i - n \cdot 180^\circ \dots \dots \dots (4.8).$$

IV.3 Metode Penentuan Posisi Horizontal

Maksud dari penentuan posisi horizontal adalah menentukan koordinat titik baru dari satu atau beberapa titik yang telah diketahui koordinatnya. Metode penentuan posisi horizontal dapat dikelompokkan ke dalam metode penentuan titik tunggal (satu titik) dan metode penentuan banyak titik.

Metode yang termasuk penentuan koordinat titik tunggal adalah sebagai berikut:

- a. Metode Polar,
- b. Metode Perpotongan Ke Muka,

c. Metode Perpotongan Ke Belakang.

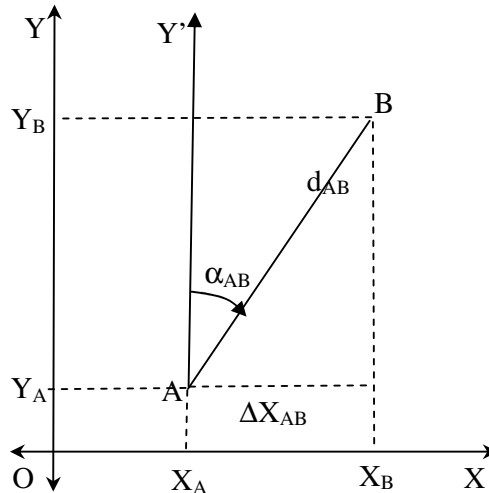
Sedangkan metode yang termasuk penentuan koordinat banyak titik adalah sebagai berikut:

- j. Metode Poligon
- k. Metode Triangulasi
- l. Metode Trilaterasi

IV.3.1 Metode Polar

Seperti yang diperlihatkan pada Gambar 4.7 metode polar adalah menghitung satu titik dari satu titik yang telah diketahui koordinatnya, sementara jarak AB (d_{AB}) dan sudut jurusan AB (α_{AB}) diukur di lapangan. Koordinat titik B dihitung dengan rumus:

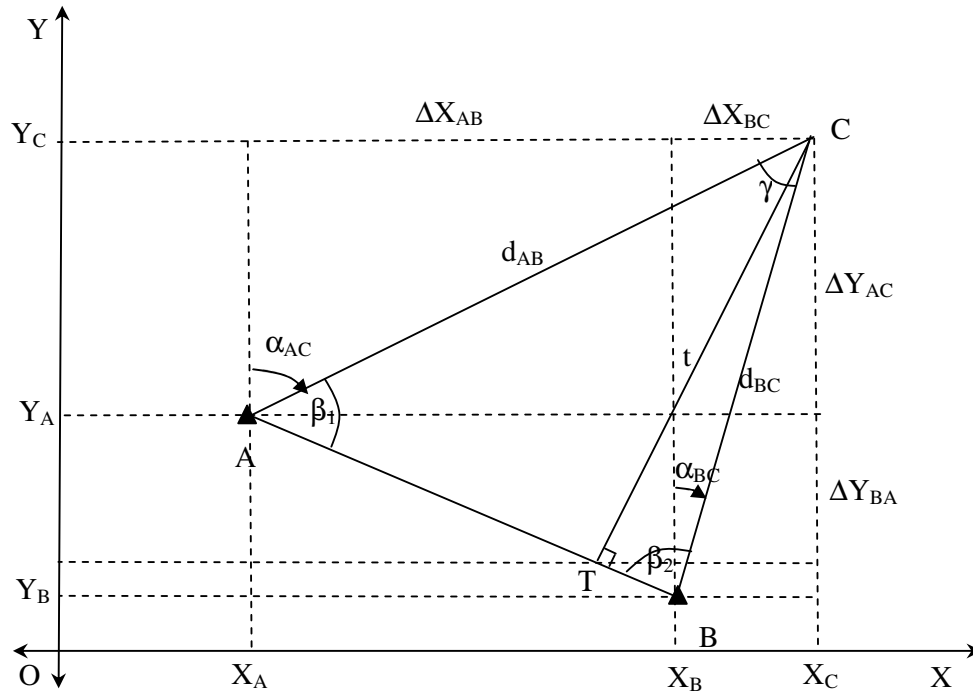
$$X_B = X_A + d_{AB} \sin \alpha_{AB} \text{ dan } Y_B = Y_A + d_{AB} \cos \alpha_{AB} \dots \dots \dots (4.9).$$



Gambar 4.7 Metode Polar
(Sumber: Purworahardjo, 1986)

IV.3.2 Metode Perpotongan Ke Muka

Seperti yang diperlihatkan pada Gambar 4.8 untuk metode perpotongan Ke Muka maka data yang diperlukan adalah diketahui koordinat A dan B yaitu (X_A, Y_A) dan (X_B, Y_B) serta diukur di lapangan sudut mendatar di A dan B yaitu β₁ dan β₂. Koordinat C dapat dihitung dengan menggunakan rumus sinus dan pertolongan garis tinggi t.



Gambar 4.8 Metode Perpotongan Ke Muka
(Sumber: Purworahardjo, 1986)

Di dalam buku ini hanya diuraikan ilustrasi menghitung koordinat C dengan rumus sinus. Segitiga ABC pada Gambar 4.8 mempunyai unsur-unsur β_1 , β_2 dimana sudut mendatar $\gamma = 180^\circ - (\beta_1 + \beta_2)$ dan jarak mendatar AB (d_{AB}) dihitung dengan menggunakan rumus $d_{AB} = \sqrt{(X_B - X_A)^2 + (Y_B - Y_A)^2}$. Dengan besaran-besaran tersebut dapat dihitung d_{BC} sebagai berikut:

$$d_{AC} = \frac{d_{AB}}{\sin \gamma} \cdot \sin \beta_2 \quad \text{dan} \quad d_{BC} = \frac{d_{AB}}{\sin \gamma} \cdot \sin \beta_1 \dots\dots\dots(4.10).$$

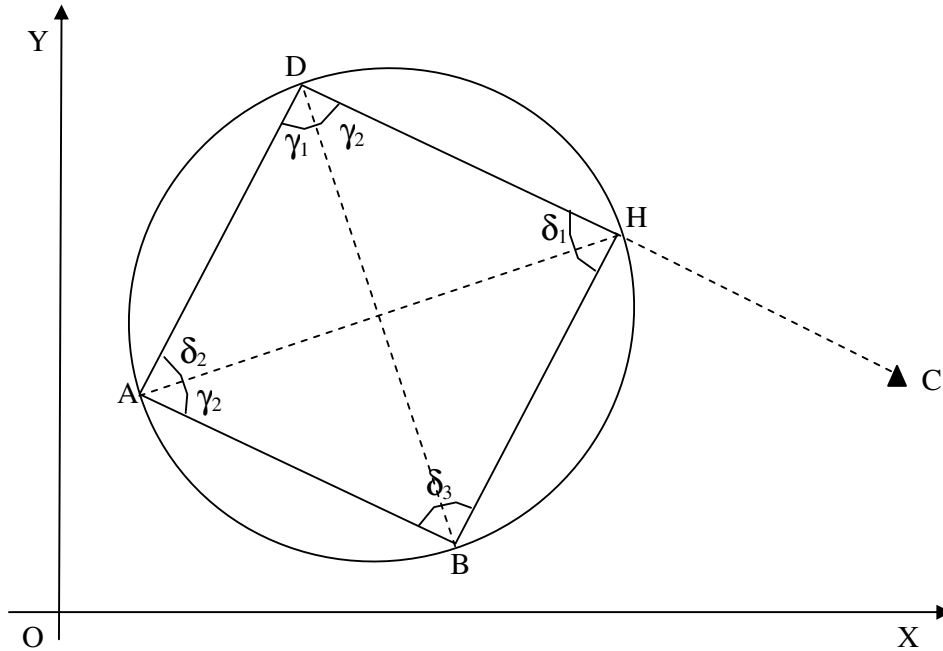
Dari koordinat A, B dan sudut-sudut β_1 dan β_2 , dapat dihitung α_{AB} , α_{AC} dan α_{BC} , dimana $\alpha_{AB} = \arctan \frac{X_B - X_A}{Y_B - Y_A}$ dengan $\alpha_{AC} = \alpha_{AB} - \beta_1$ dan $\alpha_{BC} = \alpha_{AB} + 180^\circ + \beta_2$.

Koordinat C dapat dihitung : $X_C = X_A + d_{AC} \sin \alpha_{AC}$ dan $Y_C = Y_A + d_{AC} \cos \alpha_{AC}$.

IV.3.3 Metode Perpotongan Ke Belakang

Pada metode perpotongan ke belakang minimal diketahui koordinat A, B dan C yaitu (X_A, Y_A) , (X_B, Y_B) dan (X_C, Y_C) , sedangkan sudut-sudut mendatar di titik D yaitu γ_1 dan γ_2 diukur di lapangan. Untuk menentukan koordinat D dari A, B dan C

dapat digunakan metode perpotongan ke belakang cara COLLINS dan CASSINI. Di dalam buku ini hanya diuraikan dengan cara COLLINS.



Gambar 4.9 Metode Perpotongan Ke Belakang Cara COLLINS
(Sumber: Purworahardjo, 1986)

Lingkaran melalui A, B dan D memotong garis DC di H disebut titik penolong COLLINS. Dengan data dalam segitiga ABH dapat dihitung α_{AH} dan d_{AH} .

$$d_{AH} = \frac{d_{AB}}{\sin \gamma_1} \cdot \sin (\gamma_1 + \gamma_2), \quad \alpha_{AH} = \alpha_{AB} - \gamma_2; \quad \alpha_{HA} = \alpha_{AH} + 180^\circ, \text{ dengan } d_{AB} \text{ dan}$$

α_{AB} dapat dihitung dengan cara yang sama seperti pada rumus (4.4) sampai (4.7).

Koordinat H dihitung dengan $X_H = X_A + d_{AH} \sin \alpha_{AH}$ dan $Y_H = Y_A + d_{AH} \cos \alpha_{AH}$.

Oleh karena H terletak pada garis DC, maka $\alpha_{DH} = \alpha_{DC} = \arctan \frac{X_C - X_H}{Y_C - Y_H}$ dengan

$\alpha_{HD} = \alpha_{DH} + 180^\circ$. Sudut δ_1 dan δ_2 besarnya : $\delta_1 = \alpha_{HD} - \alpha_{HA}$ dan $\delta_2 = 180^\circ - (\gamma_1 + \gamma_2 + \delta_1)$, maka koordinat H dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

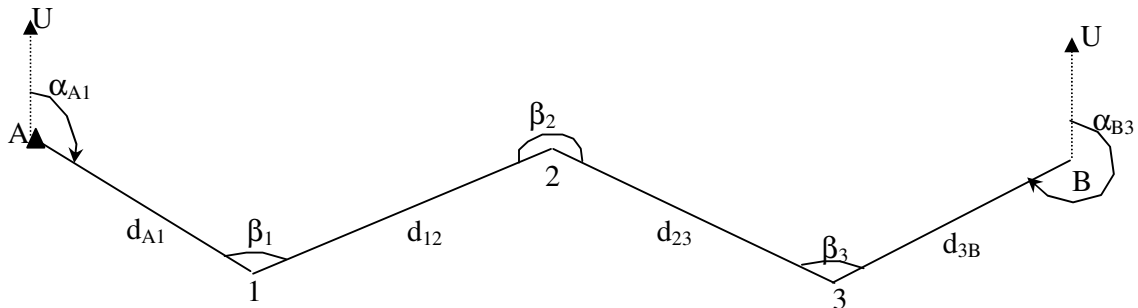
$$X_D = X_A + d_{AD} \sin \alpha_{AD} = X_H + d_{HD} \sin \alpha_{HD} \text{ dan,}$$

$$Y_D = Y_A + d_{AD} \cos \alpha_{AD} = Y_H + d_{HD} \cos \alpha_{HD}, \text{ dimana:}$$

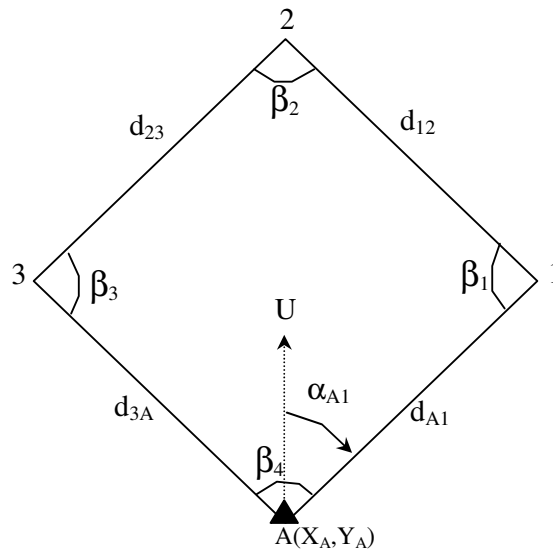
$$d_{AD} = \frac{d_{AH}}{\sin (\gamma_1 + \gamma_2)} \cdot \sin (\delta_1); \quad d_{HD} = \frac{d_{AH}}{\sin (\gamma_1 + \gamma_2)} \cdot \sin (\delta_2); \quad \alpha_{AD} = \alpha_{AH} - \delta_2.$$

IV.3.4 Metode Poligon

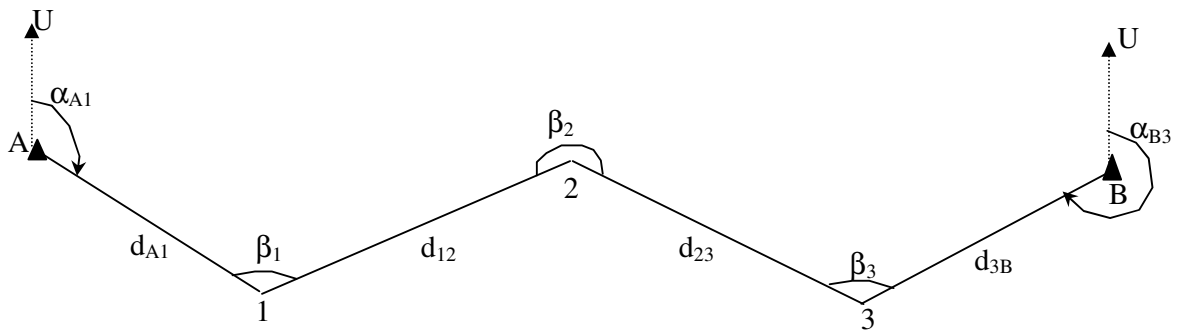
Metode Poligon adalah cara untuk penentuan posisi horizontal banyak titik dimana titik yang satu dengan lainnya dihubungkan satu dengan yang lain dengan pengukuran jarak dan sudut sehingga membentuk rangkaian titik-titik (Poligon). Ditinjau dari cara menyambungkan titik satu dengan yang lainnya Poligon dapat digolongkan sebagai Poligon terbuka, Poligon tertutup, Poligon bercabang atau kombinasi dari dua atau ketiganya. Gambar 4.10 sampai 4.13 memperlihatkan masing-masing tipe Poligon tersebut. Di dalam perhitungan poligon minimal satu titik diketahui koordinatnya, satu sudut jurusan atau α_i (umumnya sudut jurusan awal), jarak antara masing-masing titik (d_{ij}) dan sudut-sudut mendatar (β_i) harus diukur di lapangan.



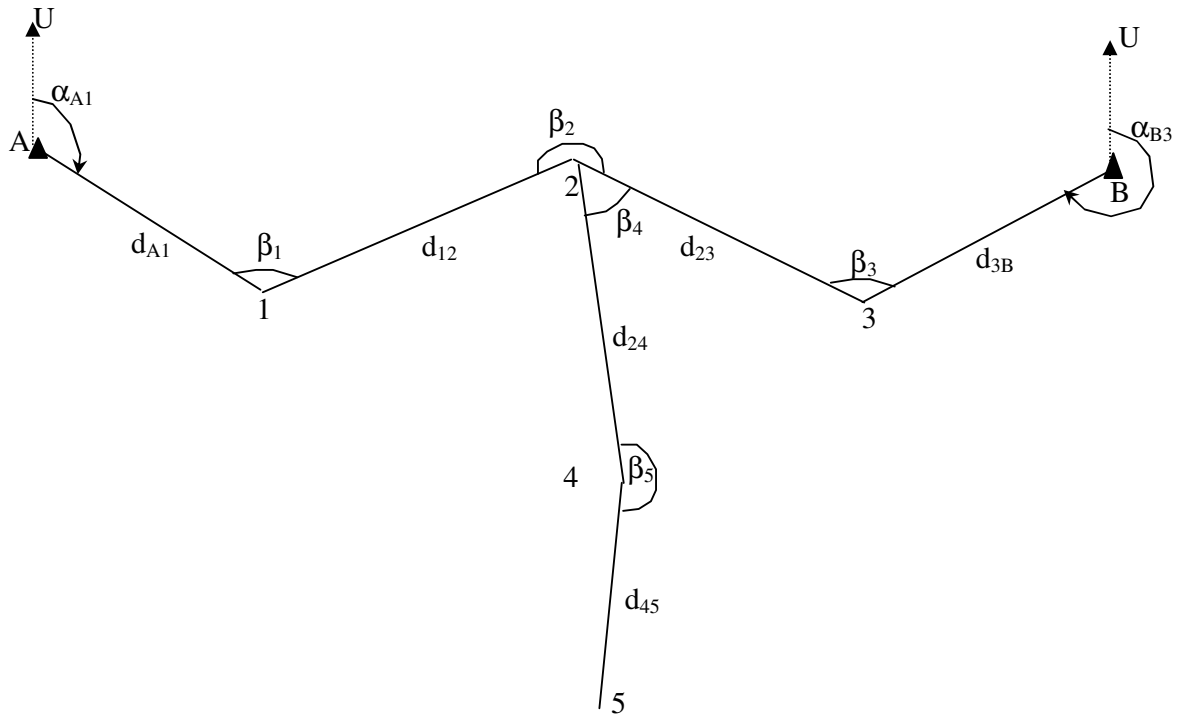
Gambar 4.10 Poligon Terbuka
(Hanya 1 Titik Kerangka yang diketahui-titik A)



Gambar 4.11 Poligon Tertutup
(Titik Awal dan Akhir pada satu titik yang diketahui-titik A)

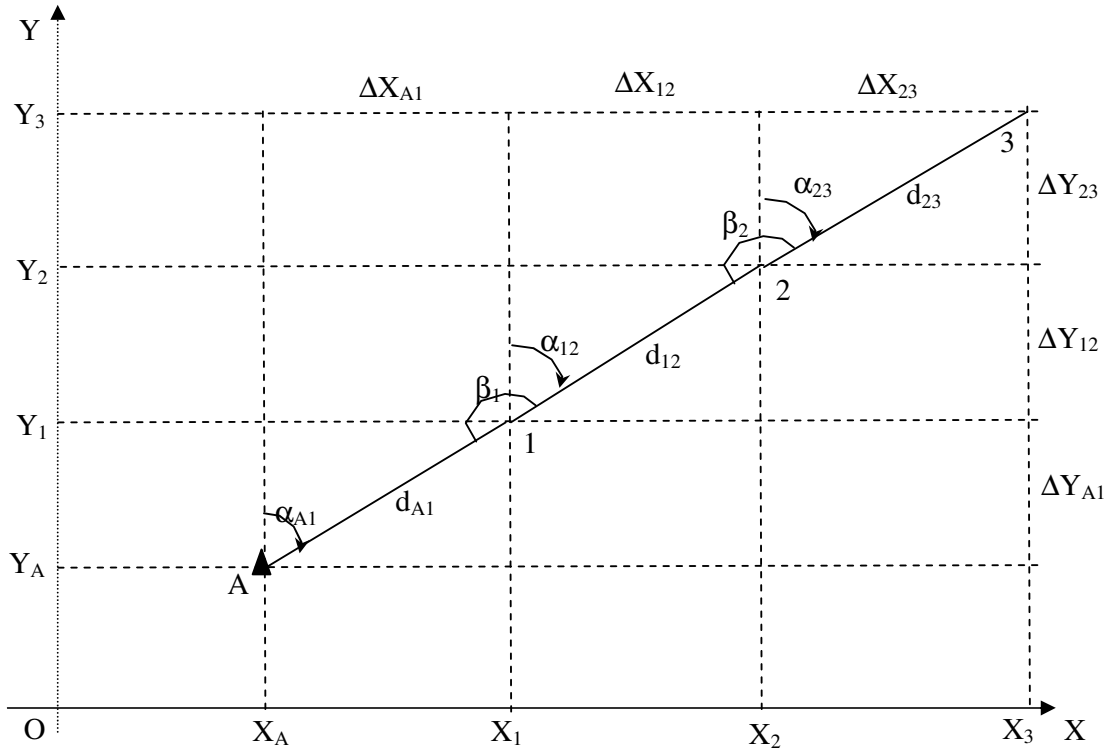


Gambar 4.12 Poligon Tertutup
(Titik Awal dan Akhir pada titik yang berbeda dan diketahui-titik A dan titik B)



Gambar 4.13 Poligon Bercabang

Pada gambar 4.14 diperlihatkan suatu contoh poligon terbuka yaitu hanya satu koordinat titik yang diketahui yaitu titik A (X_A, Y_A). Sudut jurusan dari A ke 1 atau α_{A1} , jarak-jarak mendatar dari satu titik ke titik lainnya d_1, d_2, d_3 , serta sudut-sudut mendatar yaitu β_1 dan β_2 diukur di lapangan.



Gambar 4.14 Poligon Terbuka
(Sumber: Purworahardjo, 1986)

Untuk perhitungan banyak titik (poligon) yaitu titik 1, 2 dan 3 seperti diatas maka tahapan perhitungannya adalah sebagai berikut:

$$\alpha_{12} = \alpha_{A1} + \beta_1 - 180^\circ, \alpha_{23} = \alpha_{12} + \beta_2 - 180^\circ = \alpha_{A1} + (\beta_1 + \beta_2) - 2 \times 180^\circ.$$

Koordinat titik-titik 1,2 dan 3 dihitung dari titik A dengan rumus:

$$X_1 = X_A + d_{A1} \sin \alpha_{A1} ; Y_1 = Y_A + d_{A1} \cos \alpha_{A1},$$

$$X_2 = X_1 + d_{12} \sin \alpha_{12} ; Y_2 = Y_1 + d_{12} \cos \alpha_{12},$$

$$X_3 = X_2 + d_{23} \sin \alpha_{23} ; Y_3 = Y_2 + d_{23} \cos \alpha_{23}, \text{ sehingga}$$

$$X_3 = X_A + d_{A1} \sin \alpha_{A1} + d_{12} \sin \alpha_{12} + d_{23} \sin \alpha_{23},$$

$$Y_3 = Y_A + d_{A1} \cos \alpha_{A1} + d_{12} \cos \alpha_{12} + d_{23} \cos \alpha_{23}.$$

$$X_3 = X_A + \Delta X_{A1} + \Delta X_{12} + \Delta X_{23}; Y_3 = Y_A + \Delta Y_{A1} + \Delta Y_{12} + \Delta Y_{23},$$

Apabila titik 3 diketahui koordinatnya, maka harus dipenuhi:

$$X_3 - X_A = \Delta X_{A1} + \Delta X_{12} + \Delta X_{23} = \sum d \sin \alpha ;$$

$$Y_3 - Y_A = \Delta Y_{A1} + \Delta Y_{12} + \Delta Y_{23} = \sum d \cos \alpha.$$

Apabila sudut jurusan α_{23} diketahui maka harus dipenuhi:

$\alpha_{23} - \alpha_{A1} = (\beta_1 + \beta_2) - 2 \times 180^\circ$, sehingga dapat ditulis persamaan secara umum:

$$X_{AKHIR} - X_{AWAL} = \sum d \sin \alpha;$$

$$Y_{AKHIR} - Y_{AWAL} = \sum d \cos \alpha;$$

$$\alpha_{AKHIR} - \alpha_{AWAL} = \sum_i^n \beta_i - n \cdot 180^\circ, \text{ dimana } n \text{ menyatakan jumlah titik sudut mendatar.}$$

Karena pengukuran-pengukuran jarak dan sudut selalu dihindangi kesalahan maka persamaan-persamaan diatas umumnya tidak dapat dipenuhi. Bila perbedaannya ditulis sebagai berikut:

$$f_x = (X_{AKHIR} - X_{AWAL}) - \sum d \sin \alpha;$$

$$f_y = (Y_{AKHIR} - Y_{AWAL}) - \sum d \cos \alpha;$$

$$f_\alpha = (\alpha_{AKHIR} - \alpha_{AWAL}) - \sum_i^n \beta_i - n \cdot 180^\circ.$$

Sebelum koordinat titik 1, dan 2 dihitung sudut-sudut β_1 dan selisih-selisih absis dan ordinat diberi koreksi terlebih dahulu agar persamaan-persamaan umum menjadi dipenuhi. Adapun koreksi-koreksi yang dimaksud adalah:

- Koreksi untuk tiap-tiap sudut β besarnya adalah $\frac{1}{n} \cdot f_\alpha$.
- Koreksi untuk selisih-selisih absis besarnya adalah $\frac{d_i}{\sum d_i} \cdot f_x$.
- Koreksi untuk selisih-selisih ordinat besarnya adalah $\frac{d_i}{\sum d_i} \cdot f_y$.

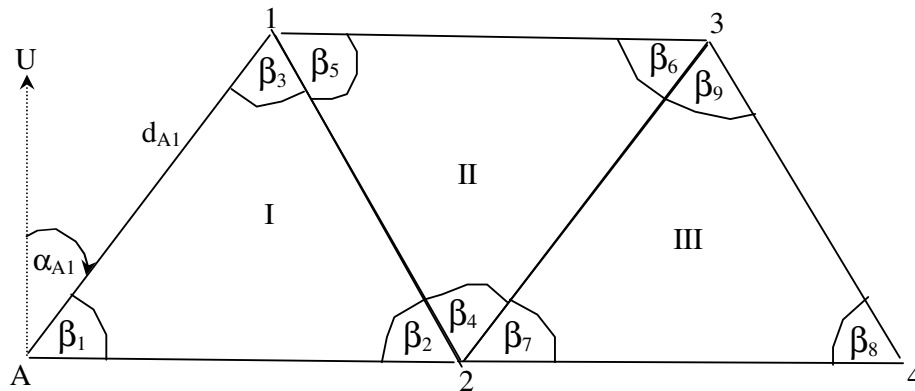
Rumus koreksi diatas disebut rumus koreksi BOWDITCH, sementara itu metode pemberian koreksi berdasarkan cara TRANSIT adalah sebagai berikut:

- Koreksi untuk tiap-tiap sudut β besarnya adalah $\frac{1}{n} \cdot f_\alpha$.

- Koreksi untuk selisih-selisih absis besarnya adalah $\frac{\Delta X_{ij}}{\sum \Delta X_{ij}} \cdot f_x$.
- Koreksi untuk selisih-selisih ordinat besarnya adalah $\frac{\Delta Y_{ij}}{\sum \Delta Y_{ij}} \cdot f_y$.

IV.3.5 Metode Triangulasi

Metode Triangulasi adalah titik yang satu dengan yang lainnya dihubungkan sedemikian hingga membentuk rangkaian segitiga atau jaring segitiga. Adapun besaran-besaran yang diukur di lapangan adalah setiap sudut dalam setiap segitiga disamping diperlukan satu titik yang koordinatnya diketahui sebelumnya, satu sisi segitiga diketahui jarak dan sudut jurusannya. Gambar 4.15 memperlihatkan contoh rangkaian triangulasi.



Gambar 4.15 Triangulasi Rangkaian Segitiga

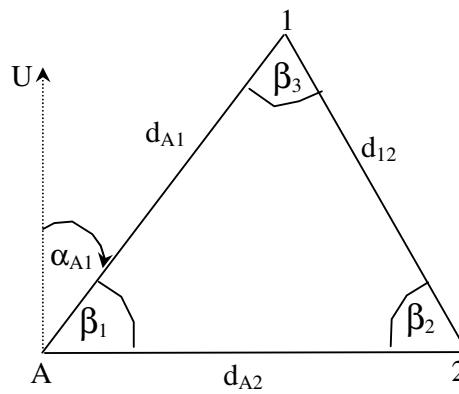
Pada Gambar 4.15 diketahui koordinat titik A (X_A , Y_A), sudut jurusan A ke 1 yaitu α_{A1} , jarak dari A ke 1 yaitu d_{A1} sementara diukur sudut-sudut mendatar dalam jaring triangulasi yaitu β_1 , β_2 , β_3 , β_4 , β_5 , β_6 , β_7 , β_8 , dan β_9 .

- Karena sudut-sudut yang diukur di lapangan selalu dihindangi kesalahan maka masing-masing sudut tersebut harus diberi koreksi sebesar $\frac{1}{3} \cdot W$, dimana $W_I = (\beta_1 + \beta_2 + \beta_3) - 180^\circ$.
- Hitung kemudian sudut jurusan setiap sisi.
- Hitung jarak setiap sisi dari d_{A1} melalui sudut-sudut dalam segitiga dengan menggunakan rumus sinus.

- Dari titik A koordinat masing-masing titik 1, 2, 3 dan 4 dapat dihitung melalui cara poligon.

IV.3.6 Metode Trilaterasi

Bentuk geometri trilaterasi adalah seperti triangulasi hanya perbedaannya bukan sudut-sudut yang diukur di lapangan tetapi semua sisi segitiga. Untuk menyelesaikan atau menghitung titik-titik pada rangkaian trilaterasi minimal harus diketahui satu koordinat misalnya titik A (X_A, Y_A), sudut jurusan A ke 1 α_{A1} , serta diukur jarak dari A ke 1 d_{A1} , dan d_{A2} seperti yang diperlihatkan pada Gambar 4.16.



Gambar 4.16 Trilaterasi Segitiga

Pelaksanaan hitungan dengan metode trilaterasi adalah sebagai berikut:

- Dengan rumus cosinus dalam segitiga dapat dihitung sudut β_1 , β_2 dan β_3 . Jika jumlah sudut-sudut tersebut tidak sama dengan 180° maka masing-masing sudut diberi koreksi $\frac{1}{3}W$, dimana $W = (\beta_1 + \beta_2 + \beta_3) - 180^\circ$. Contoh rumus

cosinus untuk penentuan sudut β_1 , β_2 dan β_3 adalah sebagai berikut:

$$\cos \beta_1 = \frac{d_{12}^2 - d_{A1}^2 - d_{A2}^2}{2d_{A1} d_{A2}}$$

$$\cos \beta_2 = \frac{d_{A1}^2 - d_{12}^2 - d_{A2}^2}{2d_{12} d_{A2}}$$

$$\cos \beta_3 = \frac{d_{A2}^2 - d_{A1}^2 - d_{12}^2}{2d_{A1} d_{12}}$$

- Dari α_{A1} dapat dihitung sudut jurusan sisi lain, seperti pada cara triangulasi.
- Dari titik A dapat dihitung koordinat titik-titik lain, misalnya seperti pada metode triangulasi.

Untuk memudahkan perhitungan, terutama untuk perhitungan banyak titik dan terdapat hitungan pemberian koreksi, dianjurkan untuk menggunakan tabel perhitungan seperti yang diperlihatkan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Contoh Tabel Perhitungan Koordinat Banyak Titik

Titik	β_i Koreksi	α_{ij}	d_{ij} (meter)	(d sin α) _{ij} Koreksi	(d cos α) _{ij} Koreksi	X_i (meter)	Y_i (meter)
A						0,000	0,000
		45° 01' 02''	35	24,756	24,741		
1	89° 58' 59''			+0,262	-0,086	25,018	24,655
	+22,75''	315° 00' 23,75''	36	-25,453	25,459		
2	89° 59' 45''			+0,270	-0,089	-0,165	50,025
	+22,75''	225° 00' 31,5''	35,5	-25,106	-25,098		
3	89° 59' 50''			+0,266	-0,087	-25,005	24,840
	+22,75''	135° 00' 44,25''	35	24,743	-24,754		
A	89° 59' 55''			+0,262	-0,086	0,000	0,000
	+22,75''						
			$\Sigma d = 141,5$	$\Sigma d \sin \alpha = -1,06$	$\Sigma d \cos \alpha = +0,348$		
$\Sigma \beta_i = 359^\circ 58' 29''$ $(n-2) 180^\circ = 360^\circ$ $f\alpha = \frac{\Sigma \beta_i - (n-2) 180^\circ}{n-2} = \frac{359^\circ 58' 29'' - 360^\circ}{3} = -0^\circ 01' 31''$ Koreksi = $\frac{1}{4} f\alpha = +0^\circ 00' 22,75''$				$f_x = \Sigma d \sin \alpha = -1,06$ $Koreksi = \frac{d_i}{\Sigma d_i} f_x = \frac{d_i}{141,5} (-1,06)$			
				$f_y = \Sigma d \cos \alpha = +0,348$ $Koreksi = \frac{d_i}{\Sigma d_i} f_y = \frac{d_i}{141,5} (-0,348)$			

BAB V

PENGUKURAN VERTIKAL

Pengukuran beda tinggi bermaksud untuk menentukan beda tinggi antara titik-titik di muka bumi serta menentukan ketinggian terhadap suatu bidang referensi atau bidang datum ketinggian tertentu. Per definisi bidang referensi atau bidang datum adalah suatu bidang nivo tertentu dimana ketinggian titik-titik mulai dihitung. Bidang geoid atau permukaan air laut rata-rata (*mean sea level/MSL*) merupakan bidang referensi ketinggian yang umum digunakan di dalam praktek.

Bidang nivo sendiri merupakan suatu permukaan dimana arah gaya berat pada setiap titik padanya selalu tegak lurus. Contoh sederhana dari bidang nivo adalah permukaan air dalam keadaan tenang seperti permukaan air di dalam gelas, permukaan air danau atau air laut.

Sementara itu ketinggian didefinisikan sebagai jarak tegak di bawah atau di atas bidang referensi. Beda tinggi antara dua titik adalah merupakan jarak tegak antara dua bidang nivo yang melalui kedua titik tersebut. Di dalam pengukuran beda tinggi dikenal istilah *benchmark* yaitu suatu titik tetap yang diketahui ketinggiannya terhadap suatu bidang referensi tertentu. Ujung dari *benchmark* ini dapat terbuat dari pilar beton dengan tanda diatas/disampingnya sebagai titik ketinggiannya.

Pengukuran beda tinggi antara dua titik dapat ditentukan dengan cara-cara antara lain sebagai berikut:

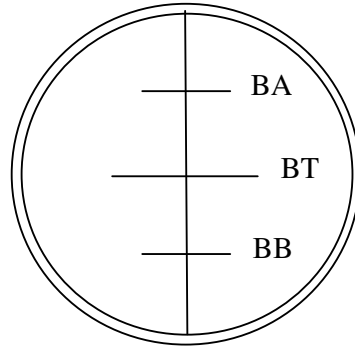
1. Cara Sipat Datar,
2. Cara Trigonometris,
3. Cara Barometris.

Cara sipat datar memberikan ketelitian hasil pengukuran yang lebih baik dibandingkan kedua cara lainnya (Purworahardjo, 1986). Di dalam buku ini hanya diuraikan mengenai cara pengukuran beda tinggi dengan cara sipat datar.

V.1. Pengukuran Jarak Secara Optis

Pada pengukuran jarak secara optis dapat kita menentukan suatu jarak atas dasar sudut paralaktis dan suatu rambu dasar. Pengukuran jarak secara optis pada saat ini sebenarnya sudah agak jarang digunakan karena adanya peralatan ukur tanah dengan cara elektronis saat ini (Frick, 1979).

Pada pembacaan alat ukur sipat datar terdapat tiga benang mendatar diafragma yang digunakan sebagai acuan untuk membaca tinggi titik pada rambu. Ketiga benang tersebut adalah benang mendatar atas (BA), benang mendatar tengah (BT) benang mendatar bawah (BB). Ketiga benang pada teropong sipat datar tersebut seperti yang diperlihatkan pada Gambar 5.1.



Gambar 5.1 Benang Diafragma pada Teropong Alat Sipat Datar

Dengan mengikuti geometri jalannya sinar bayangan dari benang-benang mendatar pada rambu dapat dibuktikan rumus jarak optis adalah sebagai berikut:

$$D = K (BB - BA) + K_0,$$

dimana:

- BB = pembacaan skala rambu menggunakan benang bawah
- BA = pembacaan skala rambu menggunakan benang atas
- $K_0 = c + f =$ konstanta

Oleh pabrik pembuat alat jarak benang atas dan bawah dibuat sedemikian rupa sehingga umumnya:

$$K = \frac{f}{p} = 100, \text{ dimana } K \text{ adalah konstanta pengali jarak (stadia constant).}$$

Karena membaca skala rambu dengan benang atas dan benang bawah masing-masing sering mempunyai keragu-raguan ± 1 mm, maka karena faktor 100 (BB-BA) akan memberikan keragu-raguan pada jarak optis D sebesar $100 \times 2 \text{ mm} = 0,2 \text{ mm}$, dimana harga ini lebih besar dari K_0 , sehingga K_0 dapat diabaikan. Dengan demikian rumus jarak optis dapat ditulis:

$$D = 100 (BB - BA) \dots\dots\dots(5.1)$$

V.2. Cara-Cara Pengukuran

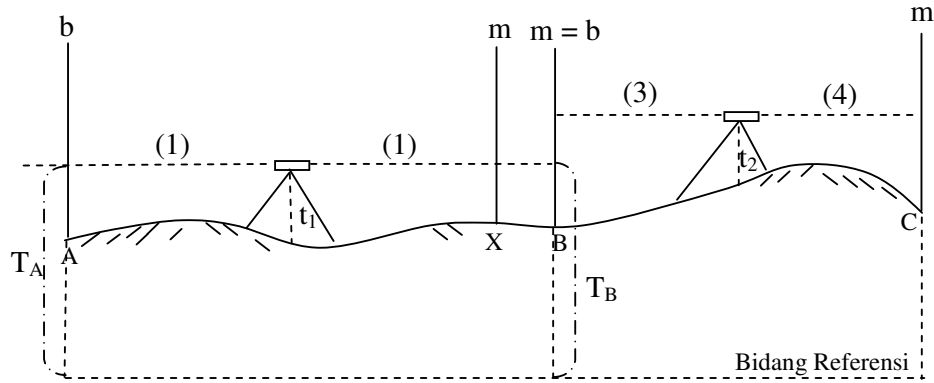
Keadaan lapangan serta jarak antara kedua titik yang hendak ditentukan beda tingginya sangat menentukan pada pengukuran beda tinggi antara dua titik dengan alat sipat datar. Persyaratan yang harus dipenuhi sebelum alat sipat datar digunakan adalah *garis bidik harus sejajar dengan garis jurusan nivo*.

Karena interval skala rambu umumnya 1cm maka agar kita dapat menaksir bacaan skala dalam 1cm dengan teliti, jarak antara alat sipat datar dengan rambu (jarak pandang) disarankan tidak lebih besar dari 60m. Jadi jarak antara dua titik yang akan diukur beda tingginya tidak lebih besar dari 120 m dan alat sipat datar ditempatkan ditengah-tengah.

Ada beberapa istilah yang sering digunakan di dalam pengukuran beda tinggi dengan alat sipat datar yaitu:

- a. Stasion adalah titik dimana rambu ukur ditegakkan dan bukan tempat dimana alat sipat datar ditempatkan. Pada pengukuran horizontal, stasion adalah titik dimana alat theodolit ditempatkan.
- b. Tinggi alat adalah tinggi garis bidik di atas tanah (di atas stasion) dimana alat sipat datar didirikan.
- c. Tinggi garis bidik adalah tinggi garis bidik di atas bidang referensi ketinggian (permukaan air laut rata-rata).
- d. Pengukuran ke belakang adalah pengukuran ke rambu yang ditegakkan di stasion yang diketahui ketinggiannya, maksudnya untuk mengetahui tingginya garis bidik. Rambunya disebut rambu belakang.
- e. Pengukuran ke muka adalah pengukuran ke rambu yang ditegakkan di stasion yang belum diketahui ketinggiannya. Rambunya disebut rambu muka.
- f. Titik putar adalah stasion dimana pengukuran ke belakang dan ke muka dilakukan pada rambu yang ditegakkan di stasion tersebut.
- g. Stasion antara adalah titik antara dua titik putar, dimana hanya dilakukan pengukuran ke muka untuk menentukan ketinggian stasion tersebut.
- h. Seksi adalah jarak antara dua stasion yang berdekatan, yang sering pula disebut dengan istilah "*slag*".

Untuk memberikan ilustrasi dari istilah-istilah diatas adalah seperti yang diperlihatkan pada Gambar 5.2.



Gambar 5.2 Ilustrasi Istilah Pengukuran Beda Tinggi
(Sumber: Purworahardjo, 1986)

Keterangan:

A, B dan C : Stasion

X : Stasion antara

Jika stasion A diketahui tingginya maka :

(1) : Pengukuran ke belakang

b : Rambu belakang

(2) : Pengukuran ke muka

m : Rambu muka

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

(3) : Pengukuran ke belakang

(4) : Pengukuran ke muka

B : Stasion titik putar

Jarak AB dan BC : Seksi atau slag

t_i : Tinggi alat

T_i : Tinggi garis bidik

Dari istilah-istilah diatas maka pengertian beda tinggi antara dua titik akan didefinisikan sebagai selisih pengukuran ke belakang dan pengukuran ke muka.

Cara-cara pengukuran dengan alat sipat datar adalah sebagai berikut:

1. Cara Pertama

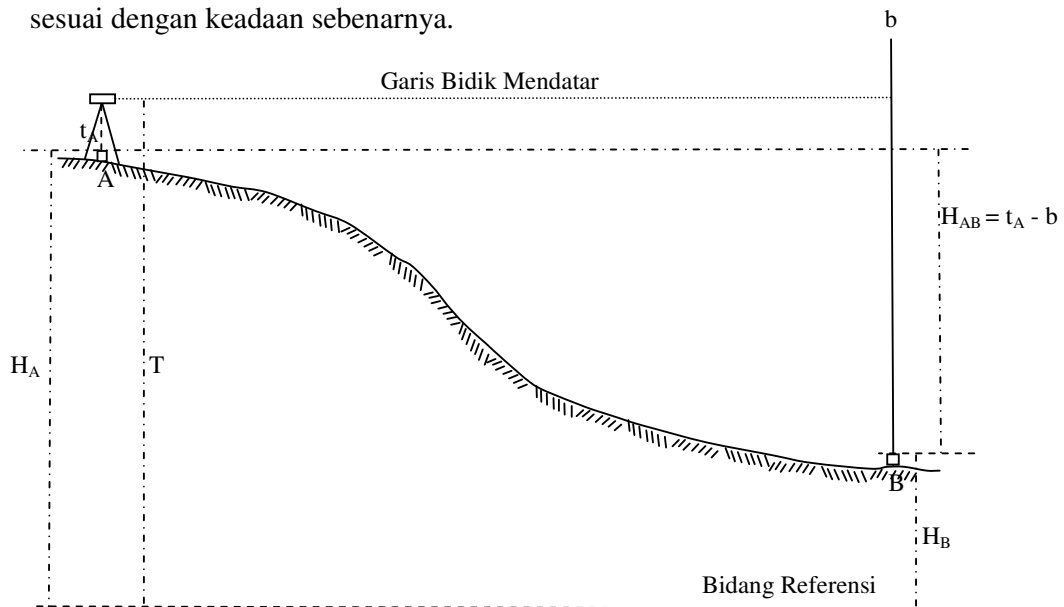
Alat sipat datar ditempatkan di stasion yang diketahui ketinggiannya. Dengan demikian dengan mengukur tinggi alat, tinggi garis bidik dapat dihitung. Apabila pembacaan rambu di stasion lain diketahui maka tinggi stasion ini dapat pula dihitung seperti yang diperlihatkan pada Gambar 5.3. Untuk mengitung tinggi stasion B digunakan rumus sebagai berikut:

$$H_B = T - b; H_B = H_A + t_a - b; H_B = H_A + h_{AB} \dots \dots \dots (5.2).$$

Cara demikian disebut juga cara tinggi garis bidik.

Terdapat beberapa catatan dengan kondisi seperti diatas yaitu sebagai berikut:

- t_a dapat dianggap hasil pengukuran ke belakang karena stasion A diketahui tingginya. Dengan demikian beda tinggi dari A ke B yaitu $h_{AB} = t_a - b$. Hasil ini menunjukkan bahwa h_{AB} adalah negatif (karena $t_a < b$) sesuai dengan keadaan dimana stasion B lebih rendah dari stasion A.
- Beda tinggi dari B ke A yaitu $h_{BA} = b - t_a$ hasilnya adalah positif. Jadi apabila H_B dihitung dengan rumus $H_B = H_A + h_{AB}$ hasilnya tidak sesuai dengan keadaan dimana B harus lebih rendah dari A.
- Dari (a) dan (b) dapat disimpulkan bahwa $h_{BA} = - h_{AB}$ agar diperoleh hasil sesuai dengan keadaan sebenarnya.



Gambar 5.3 Cara Pertama Pengukuran dengan Alat Sipat Datar
(Sumber: Purworahardjo, 1986)

Keterangan:

- t_A : Tinggi alat di A
 T : Tinggi garis bidik
 H_A : Tinggi stasion A
 b : Bacaan rambu di B
 H_B : Tinggi stasion B
 h_{AB} : Beda tinggi dari A ke B = $t_A - b$

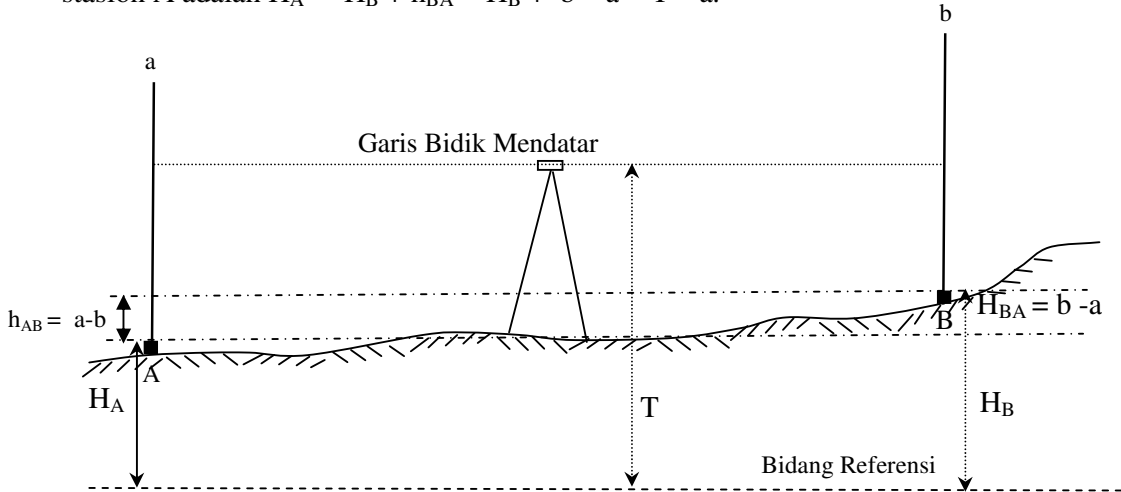
2. Cara Kedua

Alat sipat datar ditempatkan diantara dua stasion (tidak perlu segaris) seperti yang diperlihatkan pada Gambar 5.4. Dari gambar tersebut dapat dimengerti bahwa beda tinggi :

$$h_{AB} = a - b \text{ dan } h_{BA} = b - a \dots\dots\dots(5.3).$$

Bila tinggi stasion A adalah H_A , maka tinggi stasion B adalah:

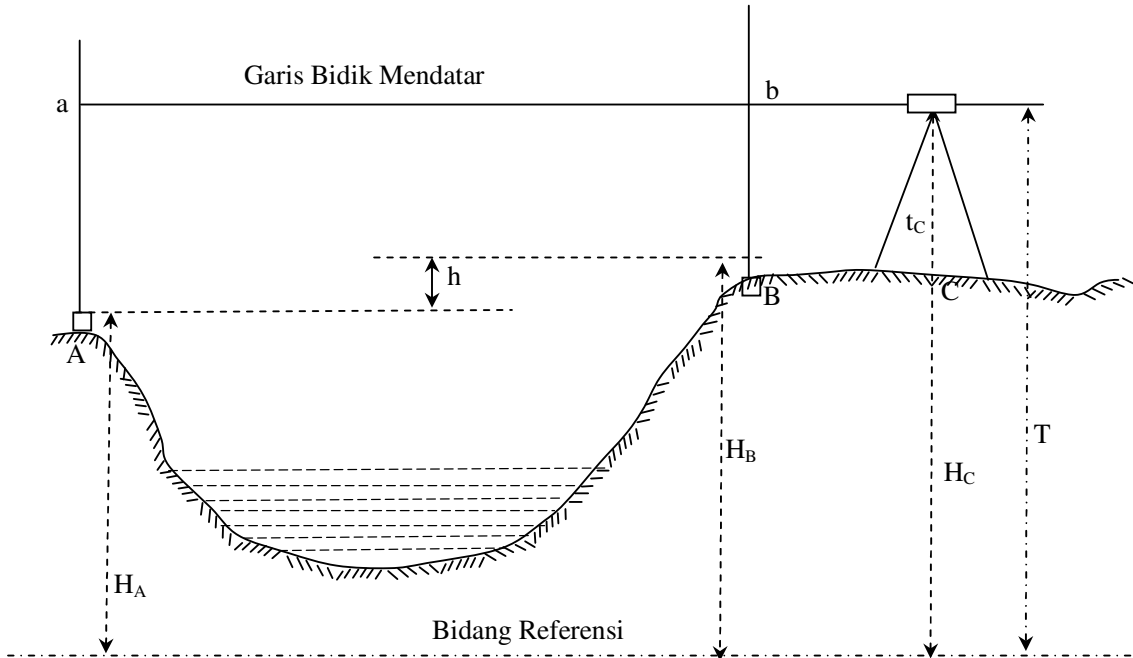
$H_B = H_A + h_{AB} = H_A + a - b = T - b$ dan bila tinggi stasion B adalah H_B maka tinggi stasion A adalah $H_A = H_B + h_{BA} = H_B + b - a = T - a$.



Gambar 5.4 Cara Kedua Pengukuran dengan Alat Sipat Datar
(Sumber: Purworahardjo, 1986)

3. Cara Ketiga

Alat sipat datar tidak ditempatkan diantara atau pada stasion seperti yang diperlihatkan pada Gambar 5.5.



Gambar 5.5 Cara Ketiga Pengukuran dengan Alat Sipat Datar
(Sumber: Purworahardjo, 1986)

Dari gambar tersebut dapat dimengerti bahwa:

$$h_{AB} = a - b \text{ dan } h_{BA} = b - a \dots\dots\dots(5.4).$$

Bila tinggi stasion C adalah H_C , maka tinggi stasion B adalah:

$H_B = H_C + t_C - b = T - b$ dan $H_A = H_C + t_C - a = T - a$. Bila tinggi stasion A diketahui maka $H_B = H_A + h_{AB} = H_A + a - b$ dan bila tinggi stasion B diketahui maka $H_A = H_B + h_{BA} = H_B + b - a$.

Dari ketiga cara diatas, cara kedua akan memberikan hasil lebih teliti dibandingkan kedua cara lainnya. Pada cara pertama pengukuran t_A kurang teliti dibandingkan dengan pengukuran b . Pada cara ketiga pembacaan a kurang teliti pembacaan a kurang teliti dibandingkan dengan pembacaan b . Sedangkan pada cara kedua pembacaan a dan b dapat diusahakan sama teliti yaitu dengan menempatkan alat sipat datar tepat ditengah-tengah antara stasion A dan B (jarak pandang ke A = jarak pandang ke B). Disamping itu dengan cara demikian hasil ukuran akan bebas dari pengaruh kesalahan-kesalahan garis bidik, refraksi udara serta kelengkungan bumi.

V.3. Macam-Macam Pengukuran

Tergantung dari maksud dan tujuannya pengukuran sipat datar digolongkan ke dalam:

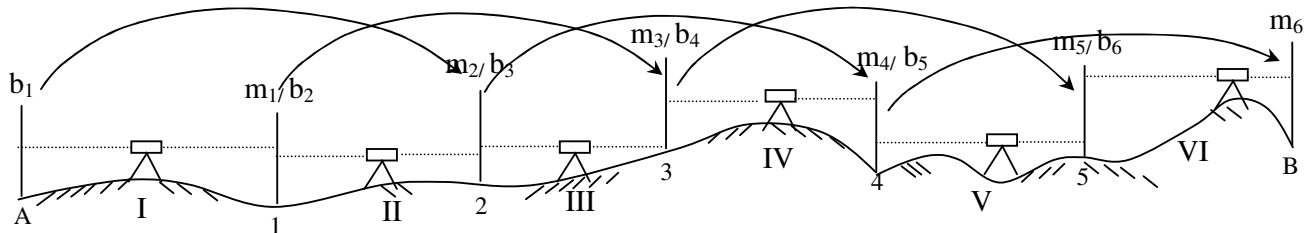
1. Pengukuran sipat datar memanjang. Digunakan apabila jarak antara dua stasion yang akan ditentukan beda tingginya sangat berjauhan (di luar jangkauan jarak pandang). Jarak antara kedua stasion tersebut dibagi dalam jarak-jarak pendek yang disebut seksi atau slag. Jumlah aljabar beda tinggi setiap seksi akan menghasilkan beda tinggi antara kedua stasion tersebut.
2. Pengukuran profil memanjang. Digunakan untuk menentukan ketinggian titik-titik sepanjang garis tertentu (profil memanjang), misalnya profil lapangan (tanah asli) sepanjang garis rencana jalan/rencana saluran irigasi (garis proyek).
3. Pengukuran profil melintang (*cross sectioning*). Digunakan untuk menentukan ketinggian titik-titik sepanjang garis tegak lurus garis proyek.
4. Pengukuran sipat datar luas. Digunakan untuk menentukan ketinggian titik-titik yang menyebar dengan kerapatan tertentu untuk membuat garis-garis ketinggian (kontur).

5. Pengukuran sipat datar resiprokal. Pengukuran sipat datar dimana alat sipat datar tidak ditempatkan di antara dua stasion. Misalnya pengukuran sipat datar menyeberangi sungai/lembah yang lebar.
6. Pengukuran sipat datar teliti. Pengukuran sipat datar yang menggunakan aturan serta peralatan sipat datar teliti.

Di dalam silabus Ilmu Ukur Tanah, macam pengukuran yang termasuk dalam pembahasan adalah dari no. 1 sampai dengan no.4.

1. Pengukuran Sipat Datar Memanjang

Misalkan titik A dan B akan ditentukan beda tingginya. Jarak antara A dan B kurang lebih 0,6km. Dengan sipat datar memanjang jarak A dan B dibagi ke dalam seksi-seksi. Jarak setiap seksi kurang lebih 100m. Setiap seksi kemudian diukur beda tingginya. Jumlah beda tinggi setiap seksi dari A ke B akan memberikan beda tinggi dari A ke B.



Gambar 5.6 Pengukuran Sipat Datar Memanjang

Keterangan:

- 1, 2, 3, 4, 5 : Titik putar
- b_i : Bacaan rambu belakang (A diketahui tingginya)
- m_i : Bacaan rambu muka

- a. Misalkan titik A diketahui tingginya maka rambu yang diletakkan di titik A selanjutnya disebut rambu belakang. Rambu yang lain diletakkan di titik putar 1 dan alat waterpas diletakkan diantara stasion A dan titik 1 atau pada seksi I. Pertama kali baca rambu b_1 kemudian rambu m_1 .
- b. Pindahkan rambu b_1 ke titik 2 dan selanjutnya disebut rambu m_2 . Alat ukur diletakkan antara titik 1 dan 2 dan disebut sebagai seksi II. Rambu yang di titik 1 selanjutnya disebut sebagai rambu b_2 .
- c. Pindahkan rambu b_2 ke titik 3 dan selanjutnya disebut rambu m_3 . Alat ukur diletakkan antara titik 2 dan 3 dan disebut sebagai seksi III. Rambu yang di titik

2 selanjutnya disebut sebagai rambu b_3 . Demikian seterusnya sampai ke pengukuran b_6 dan m_6 .

d. Untuk perhitungan beda tinggi setiap seksi adalah sebagai berikut:

$h_i = b_i - m_i$, sedangkan beda tinggi antara A dan B adalah :

$$h_{AB} = \sum_{i=1}^n h_i = \sum_{i=1}^n (b_i - m_i) = \sum_{i=1}^n b_i - \sum_{i=1}^n m_i \dots\dots\dots(5.5),$$

maka tinggi $H_B = H_A + h_{AB}$.

Catatan:

- Pada Gambar 5.6 banyaknya seksi $n = 6$.
- Bacaan benang tengah BT ke rambu belakang b_i dan ke rambu muka m_i masing-masing seksi harus dicatat pada saat pengukuran.
- Untuk mengontrol pembacaan BT dan untuk mendapatkan jarak optis (D) dibaca juga BA dan BB, dimana $BT = \frac{1}{2} (BB-BA)$ dan $D = 100 (BB - BA)$.
- Jika titik A dan B diketahui ketinggiannya maka untuk setiap seksi harus diberikan koreksi Δh_i agar ketinggian titik 1-5 dihitung dari A atau B memberikan hasil yang sama. Besarnya Δh_i dihitung dengan rumus:

$$\Delta h_i = \frac{1}{n} \cdot W \dots\dots\dots(5.6)$$

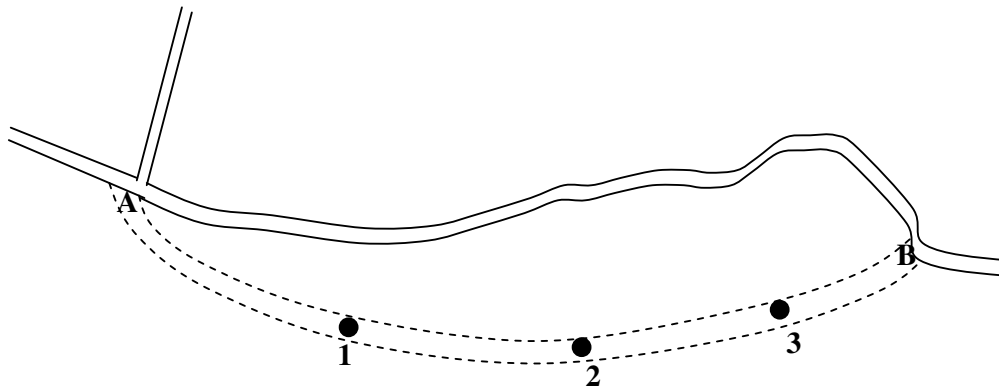
dimana:

- n : Jumlah seksi
- W : Salah penutup tinggi = $h_{AB} - \hat{h}_{AB}$
- h_{AB} : Σh_i
- \hat{h}_{AB} : $H_B - H_A$
- Koreksi = - Kesalahan atau $\Delta h = - W$

2. Pengukuran Profil Memanjang

Pengukuran profil memanjang adalah untuk menentukan ketinggian titik-titik sepanjang suatu garis rencana proyek sehingga dapat digambarkan irisan tegak keadaan lapangan sepanjang garis rencana proyek tersebut. Gambar irisan tegak keadaan lapangan sepanjang garis rencana proyek disebut profil memanjang.

Di lapangan, sepanjang garis rencana proyek dipasang patok-patok dari kayu atau beton yang menyatakan sumbu proyek. Patok-patok ini digunakan untuk pengukuran profil memanjang seperti yang diperlihatkan pada Gambar 5.7.



Gambar 5.7 Garis Rencana Proyek

Keterangan:

- ===== : Garis rencana proyek (misal jalan baru)
- A, 1, 2, 3, B : Patok-patok sepanjang garis rencana proyek
- A : Patok awal diketahui tingginya
- B : Patok akhir

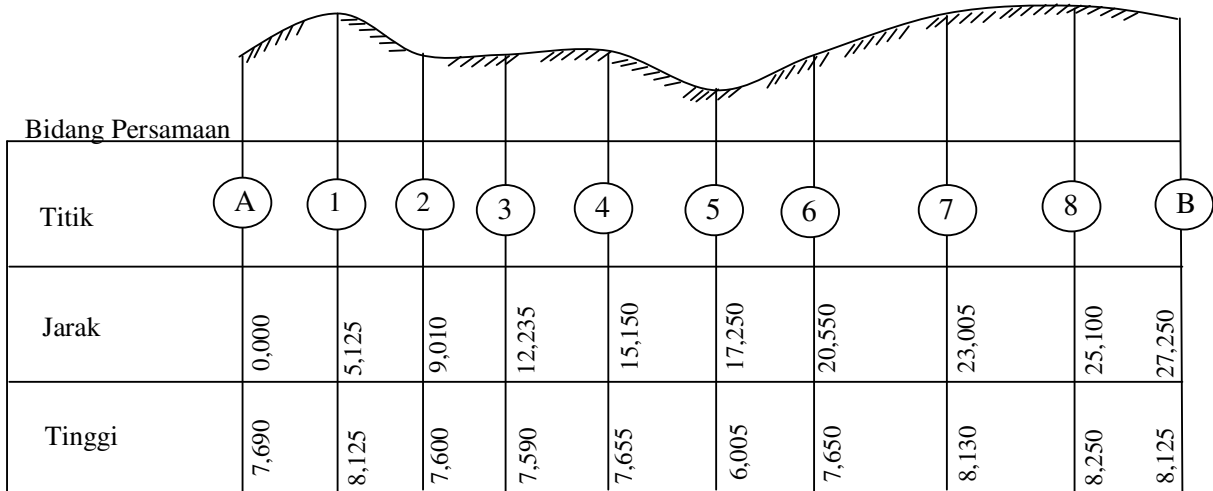
Sepanjang garis rencana proyek dari A ke B akan digambarkan irisan tegak permukaan tanahnya. Terlebih dahulu dipasang patok-patok sepanjang garis proyek misalnya titik 1, 2 dan 3. Jarak masing-masing seksi kurang lebih 100m. Dengan sipat datar memanjang ketinggian titik 1, 2, 3 dan B akan ditentukan dari titik A. Prosedur pengukuran profil memanjang dapat menggunakan prosedur seperti sipat datar memanjang, hanya jarak antara masing-masing seksi diperpendek. Disamping itu jumlah titik patok pada garis proyek diusahakan sebanyak (serapat) mungkin agar diperoleh deskripsi bentuk permukaan tanah mendekati bentuk aslinya. Rumus untuk perhitungan beda tinggi dapat digunakan seperti pada sipat datar memanjang.

Prosedur Penggambaran

Untuk menggambarkan profil memanjang terlebih dahulu harus ditentukan skala untuk jarak dan tinggi. Karena jarak dan akan lebih panjang dari tinggi maka skala untuk jarak dan tinggi diambil berbeda. Skala jarak lebih kecil dari skala tinggi. Misalnya skala jarak 1: 1000 sedangkan skala tinggi 1:100.

Untuk efisiensi penggunaan kertas gambar, sebaiknya ketinggian titik-titik ditranslasikan terhadap bidang persamaan ketinggian, sehingga titik-titik terhadap bidang persamaan akan menjadi lebih kecil. Penggambaran akan lebih cepat jika dilakukan diatas kertas milimeter. Dibuat 4 garis mendatar, dimana garis pertama merupakan bidang persamaan. Pada garis kedua ditentukan titik-titik yang diukur disesuaikan dengan jarak dan skala jarak. Diantara garis kedua dan ketiga dituliskan

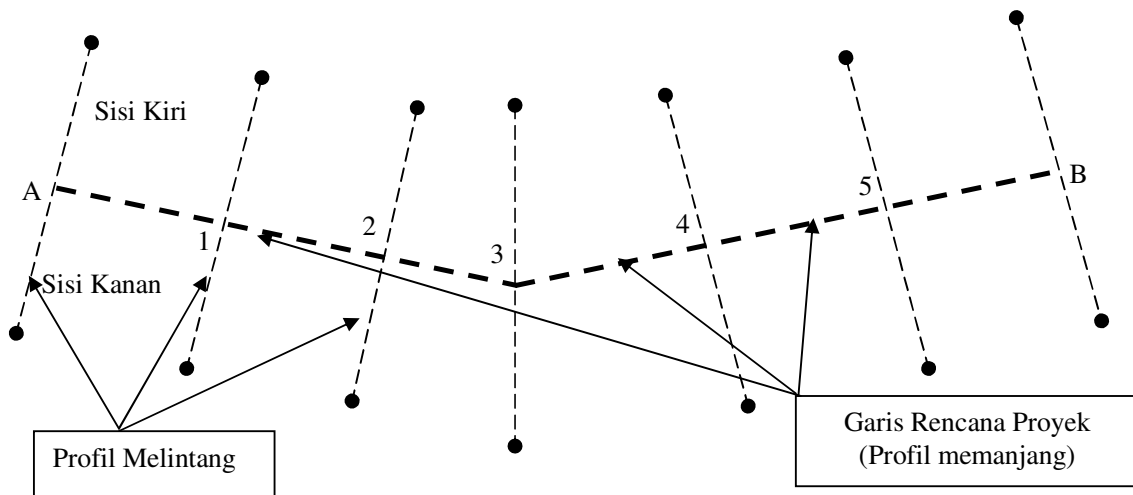
jarak pada garis tegak di titik-titik yang diukur. Diantara garis ketiga dan keempat dituliskan angka ketinggian yang sesungguhnya untuk setiap titik.



Gambar 5.8 Gambar Profil Memanjang

3. Pengukuran Profil Melintang

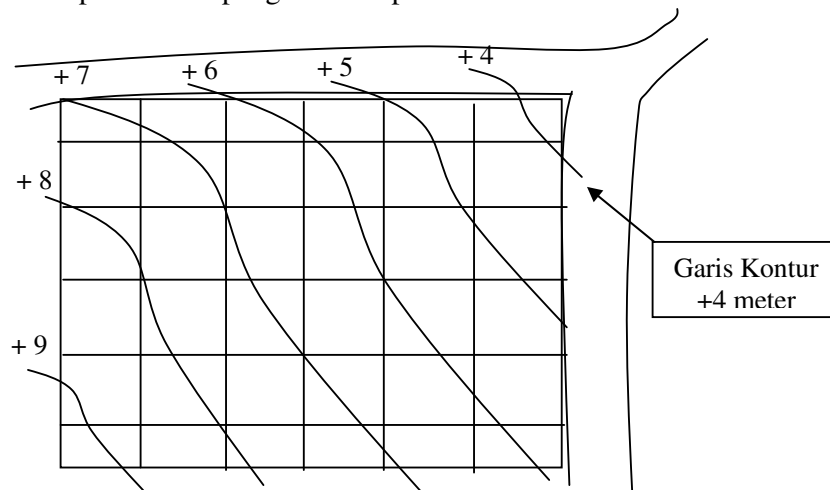
Profil melintang diperlukan untuk mengetahui profil lapangan pada arah tegak lurus garis rencana proyek atau untuk mengetahui profil lapangan ke arah yang membagi sudut sama besar antara dua garis rencana yang berpotongan seperti diperlihatkan pada Gambar 5.9 dimana arah pengukuran dari A ke B. Profil melintang dalam gambar tersebut mempunyai dua sisi yaitu sisi kiri dan sisi kanan. Proses pengukuran, perhitungan serta proses penggambarannya serupa dengan profil memanjang.



Gambar 5.9 Profil Melintang

4. Pengukuran Sipat Datar Luas

Untuk merencanakan bangunan-bangunan, seringkali ingin diketahui keadaan tinggi rendahnya permukaan tanah. Untuk itu dilakukan pengukuran sipat datar luas dengan mengukur sebanyak mungkin titik-titik detail. Kerapatan dan letak titik detail diatur sesuai dengan keperluan. Makin rapat titik akan dapat memberikan gambaran permukaan tanah lebih baik. Bentuk permukaan tanah akan digambarkan oleh garis-garis yang menghubungkan titik-titik yang mempunyai ketinggian yang sama atau lazim disebut garis kontur. Supaya pengukuran lebih berjalan dengan cepat maka tempatkan alat sipat datar sedemikian rupa sehingga dari tempat tersebut dapat dibidik sebanyak mungkin titik-titik di sekitarnya. Gambar 5.9 memperlihatkan pengukuran sipat datar luas.



Gambar 5.10 Sipat Datar Luas

Cara pengukuran sipat datar luas adalah dengan memasang patok-patok mengikuti pola grid (bujursangkar/kotak-kotak) seperti pada Gambar 5.10. Kemudian satu tempat dipilih sebagai posisi alat ukur. Dari tempat ini akan dibidik titik-titik di sekitarnya, jika ada beberapa titik tidak terlihat pindahkan alat ke titik yang telah diukur sebelumnya dan memungkinkan untuk membidik titik yang sebelumnya tidak kelihatan tersebut.

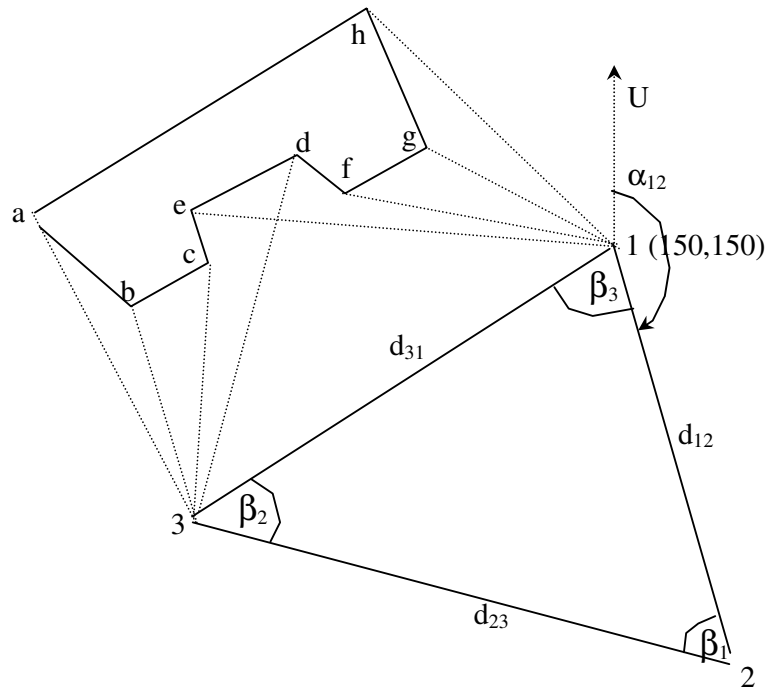
Perhitungan beda tinggi atau ketinggian titik-titik detail adalah seperti profil memanjang. Untuk proses penggambaran adalah dengan menggunakan skala untuk jarak dan tinggi masing-masing titik detail tersebut. Selanjutnya di dalam penggambaran garis kontur adalah dengan menggunakan teknik interpolasi yaitu garis diestimasi dengan menggunakan informasi ketinggian masing-masing titik-titik detail.

BAB VI PENGUKURAN SITUASI

Untuk pengukuran situasi seringkali digunakan cara TACHYMETRY yaitu untuk pemetaan luas dengan bentuk-bentuk detail yang tidak beraturan. Dengan cara ini juga bentuk permukaan tanah dapat dengan mudah dipetakan. Jadi yang dimaksud dengan pemetaan situasi atau detail adalah memetakan semua unsur-unsur yang ada di permukaan tanah pada suatu area atau luasan tertentu. Unsur-unsur yang dimaksud dapat berupa unsur alam seperti ketinggian tanah, batas vegetasi, batas sungai maupun unsur buatan manusia seperti bangunan, saluran air, pagar.

Untuk dapat memetakan dengan cara tachymetry diperlukan alat yang dapat mengukur arah dan sekaligus jarak seperti pada Theodolit WILD-T0. Dengan alat tersebut dapat diukur besarnya sudut tegak dan jarak optis karena pada teropongnya menggunakan benang silang diafragma (BA, BT dan BB). Dari jarak optis dan sudut tegak dapat dihitung jarak mendatar dan beda tingginya.

Tergantung jaraknya dengan cara diatas titik-titik detail dapat diukur dari titik kerangka dasar atau titik ikat dan atau dari titik penolong yang diikatkan ke titik kerangka dasar/titik ikat. Besaran-besaran yang diukur adalah arah utara peta (dapat juga dengan bantuan kompas), jarak (optis) dan sudut tegak.



Gambar 6.1. Pengukuran Titik-Titik Situasi

Pada Gambar 6.1 terdapat bangunan yang mempunyai pojok-pojok bangunan dari titik a sampai h yang disebut titik-titik situasi (untuk unsur buatan). Titik 1, 2 dan 3 merupakan titik kerangka dasar atau titik ikat yang berfungsi sebagai stasiun penempatan alat ukur. Tujuan dari pengukuran situasi seperti pada contoh gambar diatas adalah untuk memetakan semua titik-titik pojok bangunan. Selain titik-titik pojok bangunan tidak menutup kemungkinan bahwa ketinggian titik-titik tanah disekitar bangunan juga harus diukur (unsur alam) sehingga dapat digambarkan garis kontur untuk memperoleh bentuk permukaan tanah di sekitar bangunan tersebut.

VI.1. Jarak Optis, Jarak Mendatar dan Beda Tinggi

Jarak antara dua titik di lapangan dapat diukur secara langsung maupun tidak langsung. Secara langsung digunakan pita atau rantai ukur, sedangkan secara tidak langsung digunakan cara pengukuran optis yaitu dengan menggunakan bantuan benang silang diafragma pada theodolit dengan rumus (Purworahardjo, 1986):

$$D = 100 (BA - BB) \dots \dots \dots (6.1),$$

dimana dalam hal ini D merupakan jarak optis antara dua buah titik. Apabila garis bidik kedudukannya miring dengan sudut miring m, maka jarak optis dalam hal ini merupakan jarak optis sepanjang garis bidik yang miring. Untuk menghitung jarak miring D_m , maka rumus (6.1) menjadi (Purworahardjo, 1986):

$$D_m = 100 (BA - BB) \text{ Cos } m \dots \dots \dots (6.2).$$

Dengan melakukan berbagai penurunan matematis dapat dihitung jarak mendatar (S) antara dua buah titik yaitu dengan menggunakan rumus (Purworahardjo, 1986):

$$S = 100 (BA - BB) \text{ Cos}^2 m \dots \dots \dots (6.3)$$

Sementara itu rumus untuk menghitung beda tinggi dapat dilakukan dengan menggunakan rumus (Purworahardjo, 1986):

$$\Delta h = \left[\frac{100}{2} (BA - BB) \text{ Sin } (2.m) \right] + TA - BT \dots \dots \dots (6.4),$$

dimana TA = tinggi alat dan BT = bacaan benang tengah.

VI.2. Cara Pengukuran

Peralatan yang digunakan untuk pengukuran situasi dengan cara tachymetri adalah sebagai berikut:

1. Theodolit yang teropongnya mempunyai tiga benang silang.
2. Statip dan unting-unting

3. Rambu ukur
4. Pita ukur

Sedangkan besaran-besaran yang diukur dari masing-masing titik adalah:

1. Arah utara geografi dengan menggunakan bantuan kompas
2. Sudut jurusan.
3. Jarak (dengan pembacaan benang atas, benang tengah dan benang bawah)
4. Sudut miring.
5. Tinggi alat ukur tepatnya diukur dari titik stasion pengukuran sampai ke sumbu mendatar theodolit.

Prosedur pengukuran adalah sebagai berikut:

1. Alat ukur ditempatkan di atas titik pengukuran (titik kerangka dasar atau titik penolong). Kemudian dilakukan pengaturan sesaat dengan bantuan nivo skala mendatar dan unting-unting. Rambu ukur ditegakkan dan diamati tegaknya rambu ukur dengan bantuan nivo kotak.
2. Dengan menggunakan kompas tetapkan arah utara pada titik tersebut. Arahkan teropong sesuai dengan arah utara tersebut. Bacaan sudut mendatar dibuat menjadi 0° pada arah utara.
3. Arahkan teropong ke rambu ukur sedemikian hingga bayangan benang tegak diafragma berhimpit dengan tengah rambu ukur (poros rambu ukur).
4. Keraskan kunci gerakan mendatar dan tegak teropong. Baca kedudukan BA, BT dan BB pada rambu serta sudut miring. Catat pula tinggi alat.

Untuk memudahkan pengukuran situasi sebaiknya formulir ukuran digunakan seperti yang diperlihatkan pada Tabel 6.1.

Tabel 6.1 Formulir Pengukuran Situasi

Sta	Titik diukur	Jarak			Sudut Jurusan	Sudut miring	Keterangan
		BA	BT	BB			
1							Tinggi alat =.....m
	a						As jalan
	b						As jalan
	c						Pojok bangunan
	d						Pertigaan jalan
Tanggal :		Alat:					
Pengukur:							

BAB VII

PERHITUNGAN LUAS DAN VOLUME TANAH

Di dalam pekerjaan teknik sipil terdapat pekerjaan yang disebut pekerjaan tanah (*earth work*) yaitu pekerjaan yang menyangkut penggalian, penimbunan dan pemindahan tanah. Untuk keperluan tersebut diperlukan pekerjaan pengukuran profil memanjang dan melintang untuk mengetahui besarnya volume tanah yang akan digali maupun ditimbun. Sebagai contoh, dalam suatu pembuatan jalan baru dari titik A ke B dengan jarak 1km. Untuk pekerjaan tanah diperlukan profil memanjang dari A ke B serta beberapa profil melintang dengan lebar sesuai dengan lebar jalan yang direncanakan. Misal lebar jalan adalah 10 m maka sisi kiri dan sisi kanan profil melintang masing-masing mempunyai lebar 5m. Sementara itu jika jarak antara profil melintang yang satu dengan yang lainnya adalah sepanjang 25m maka diperlukan $1000/25 = 40$ buah profil melintang.

Setelah gambar profil memanjang dan melintang selesai dibuat kemudian pada kedua tipe profil tersebut ditarik garis-garis rencana jalan. Berdasarkan hal tersebut dapat diketahui dimana diperlukan penggalian, penimbunan dan volume tanahnya.

VII.1 Perhitungan Luas Tanah dari Data Ukur

Pengukuran luas dapat dilakukan langsung di lapangan dengan mengukur jarak-jarak dari suatu bidang tanah sehingga berbentuk suatu segitiga, segi empat, trapesium dan atau dengan mengukur sudut-sudutnya. Juga luas dapat dilakukan dengan pengukuran jarak simpangan dari suatu garis ukur/garis lurus dan juga dapat dilakukan dengan cara pengukuran poligon dari batas-batas bidang tanahnya sehingga diperoleh harga koordinat titik-titik tersebut disamping tentunya dengan mekanik atau grafis.

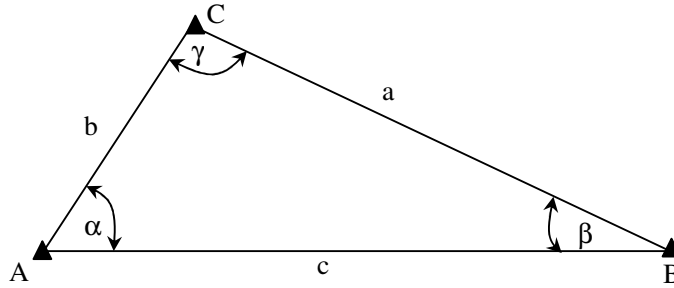
Di dalam buku ini diuraikan beberapa cara pengukuran luas dari data ukur yaitu dengan menggunakan:

- a. Metode segitiga
- b. Metode garis ukur
- c. Metode koordinat

Uraian dari masing-masing cara pengukuran luas tersebut adalah sebagai berikut:

a. Metode segitiga

Pengukuran jarak antara titik-titik atau sisi-sisi bidang tanah dan pengukuran sudut di titik-titik yang membentuk segitiga seperti yang diperlihatkan pada Gambar 7.1. Apabila sebuah bidang akan diukur luasnya dan bidang tersebut dibagi-bagi menjadi beberapa segitiga dimana yang diukur adalah sisi-sisi segitiga dan atau dengan sudut-sudutnya, maka luas bidang tersebut dapat dihitung sebagai berikut:



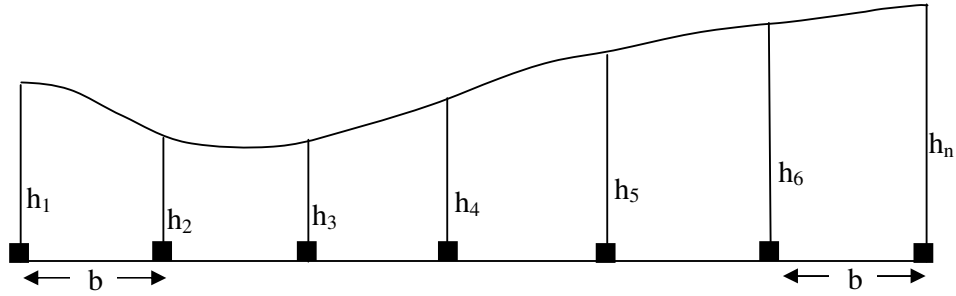
Gambar 7.1 Segitiga
(Sumber : Hendriatiningsih, 1995)

Diukur	Dicari	Rumus
α, β, a	$\gamma, b, c, \text{Luas}$	$\gamma = 180^\circ - (\alpha + \beta); b = \frac{a}{\sin \alpha} \cdot \sin \beta; c = \frac{a}{\sin \alpha} \cdot \sin \gamma;$ $\text{Luas} = \frac{1}{2} a \cdot b \cdot \sin \gamma \dots\dots\dots(7.1)$
α, a, b	$\gamma, \beta, c, \text{Luas}$	$\gamma = 180^\circ - (\alpha + \beta); \sin \beta = \frac{\sin \alpha}{a} \cdot b; c = \frac{a}{\sin \alpha} \cdot \sin \gamma;$ $\text{Luas} = \frac{1}{2} a \cdot b \cdot \sin \gamma = \frac{1}{2} a \cdot c \sin \beta = \frac{1}{2} b \cdot c \sin \alpha \dots\dots(7.2)$
γ, a, b	$c, \alpha, \beta, \text{Luas}$	$c = (a^2 + b^2 - 2 \cdot a \cdot b \cos \gamma)^{1/2};$ $\frac{1}{2} (\alpha + \beta) = 90^\circ - \frac{1}{2} \gamma;$ $\text{Luas} = \frac{1}{2} a \cdot b \cdot \sin \gamma = \frac{1}{2} a \cdot c \sin \beta = \frac{1}{2} b \cdot c \sin \alpha \dots\dots(7.3)$

b. Metode garis ukur

Metode garis ukur yang diuraikan disini adalah dengan cara Simpson sebab memberikan hasil ketelitian pengukuran luas yang sangat teliti. Pada umumnya cara Simpson ini digunakan pada batas bidang tanah yang berupa garis lengkung/bentuknya tidak beraturan dan cara ini mempunyai syarat sebagai berikut:

- Jarak antara simpangan harus dengan interval yang sama yaitu = b.
- Banyaknya simpangan harus ganjil atau n ganjil ($n = 1, 2, 3, \dots\dots\dots n$).



Gambar 7.2 Pengukuran Luas dengan Cara Simpson
(Sumber : Hendriatiningsih, 1995)

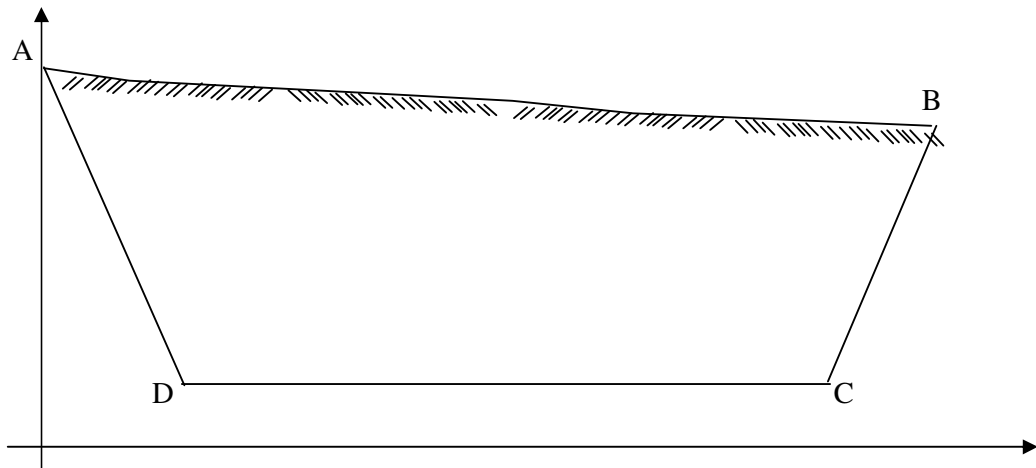
Menghitung luas untuk kasus seperti yang diperlihatkan pada Gambar 7.2 dengan cara Simpson adalah sebagai berikut:

$$\text{Luas} = \frac{b}{3} \{ [h_1 + h_n] + 2 \cdot \sum h_{\text{ganjil}} + 4 \cdot \sum h_{\text{genap}} \} \dots\dots\dots(7.4),$$

dengan n ganjil dimana $h_{\text{ganjil}} = 3, 5, 7, \dots, n-2$ dan $h_{\text{genap}} = 2, 4, 6, \dots, n-1$.

c. Metode koordinat

Apabila suatu bidang tanah akan diukur luasnya, maka dapat dilakukan dengan pengukuran poligon tertutup, pada batas-batas bidang tanah tersebut dengan mengukur jarak dan sudut. Dari hasil pengukuran sudut dan jarak serta sudut jurusan awal pada batas bidang tersebut, maka data ukuran dapat diolah sehingga mendapat koordinat dari titik-titik poligon yang diukur tadi. Dengan koordinat tiap titik sudut dari bidang tanah itu maka dapat dihitung luas bidang tanah tersebut dengan cara sebagai berikut:



Gambar 7.3 Pengukuran Luas dengan Cara Koordinat

Titik	Absis	Ordinat
A	X_A	Y_A
B	X_B	Y_B
C	X_C	Y_C
D	X_D	Y_D
A	X_A	Y_A

Sehingga:

$$2 (\text{Luas}) = X_A \cdot Y_B + X_B \cdot Y_C + X_C \cdot Y_D + X_D \cdot Y_A - (X_B \cdot Y_A + X_C \cdot Y_B + X_D \cdot Y_C + X_A \cdot Y_D.)$$

VII.2 Perhitungan Volume Tanah dari Data Ukur

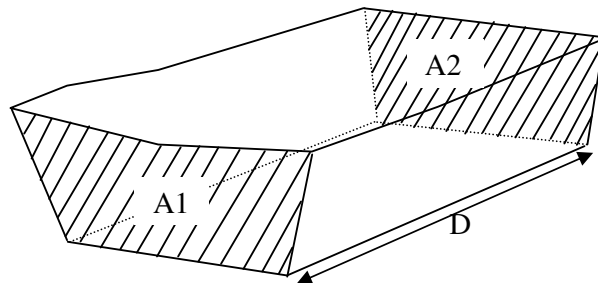
Terdapat tiga metode untuk menghitung volume tanah dari data ukur yaitu dengan menggunakan luas :

1. Penampang melintang (cross section)
2. Garis kontur
3. Menggunakan tinggi titik

Untuk menghitung volume dengan menggunakan luas penampang melintang dapat dilakukan dengan rumus-rumus sebagai berikut:

a. Volume End Area

Metode yang paling sederhana untuk menghitung volume antara kedua penampang yang berjarak D, dengan luas penampang awal adalah A1 dan luas penampang kedua adalah A2 adalah volume dengan rumus End Area.



Gambar 7.4 Volume End Area
(Sumber : Hendriatiningsih, 1995)

Volume End Area adalah sebagai berikut:

$$V_a = \frac{1}{2} \cdot D (A_1 + A_2) \dots \dots \dots (7.5)$$

b. Volume Trapeziodal

Apabila penampang melintangnya banyak yaitu dari 1 sampai n sehingga luas penampang melintangnya menjadi $A_1 \dots A_n$, dengan jarak antara penampang melintang adalah D , maka volume dari penampang awal sampai dengan penampang akhir disebut dengan volume trapeziodal. Rumusnya adalah sebagai berikut:

$$V_t = D \left[\frac{1}{2} (A_1 + A_n) + (A_2 + A_3 + \dots + A_{n-1}) \right] \dots \dots \dots (7.6)$$

c. Volume Simpson

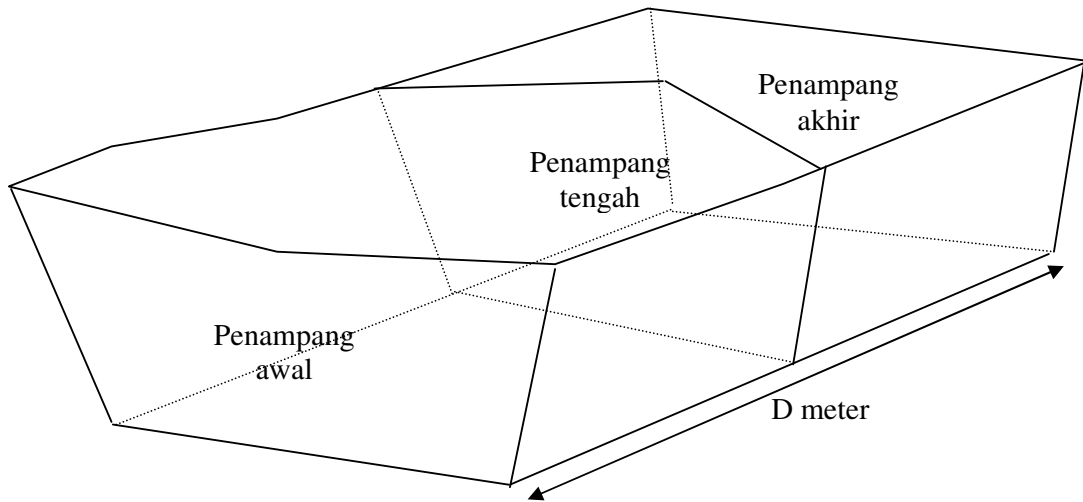
Volume dengan cara Simpson pada prinsipnya sama dengan cara menghitung luas metode Simpson yaitu menggunakan syarat sebagai berikut:

- Banyaknya penampang harus ganjil (n ganjil)
- Jarak antara penampang = D

Volume Simpson adalah sebagai berikut:

$$V_s = \frac{D}{3} (A_1 + A_n + 2 \sum A_{\text{ganjil}} + 4 \sum A_{\text{genap}}) \dots \dots \dots (7.7)$$

d. Volume Prismoidal



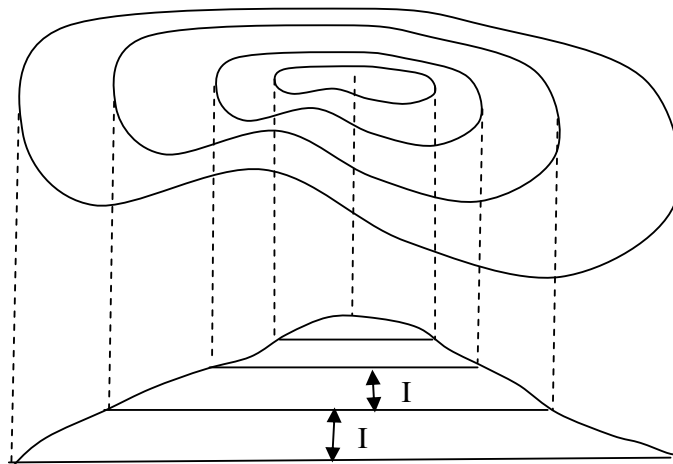
Gambar 7.5 Volume Prismoidal
(Sumber : Hendriatiningsih, 1995)

Volume Prismoidal adalah sama dengan menghitung cara Simpson tetapi banyaknya penampang hanya tiga buah (penampang awal, penampang tengah dan penampang akhir). Jadi banyaknya n hanya 3 (tiga) buah seperti yang diperlihatkan pada Gambar 7.5. Volume prismoidal mempunyai rumus sebagai berikut:

$$V_p = \frac{D}{6} (A_{awal} + 4 \cdot A_{tengah} + A_{akhir}) \dots\dots\dots(7.8)$$

Menggunakan rumus volume ini lebih teliti dibandingkan menggunakan rumus volume End Area.

Untuk menghitung luas penampang untuk keperluan volume dengan menggunakan garis kontur pada umumnya rumus hitungan volume sama saja dengan hitungan volume yang menggunakan penampang melintang. Bidang tanah yang dibatasi oleh garis kontur dapat dihitung luasnya dengan menggunakan alat planimeter atau secara grafis. Untuk menghitung volumenya dapat menggunakan rumus-rumus (7.5), (7.6), (7.7) dan (7.8) hanya dengan mengubah jarak antara penampang D menjadi I yaitu merupakan interval kontur. Sebagai contoh misalnya volume prismaoidal dengan menggunakan interval kontur I akan menjadi $V_p = \frac{I}{6} (A_{awal} + 4 \cdot A_{tengah} + A_{akhir})$.



Gambar 7.6 Volume dengan menggunakan garis kontur
(Sumber : Hendriatiningsih, 1995)

Untuk perhitungan volume dengan menggunakan tinggi titik disebut juga dengan metode Borrow Pit. Menghitung volume dengan Borrow Pit dari suatu daerah harus dilakukan dengan pengukuran tinggi pada titik-titik yang letaknya teratur yaitu berbentuk kisi-kisi dengan jarak tertentu. Sebagai contoh, perhatikan Gambar 7.7. Daerah yang tergambar pada Gambar 7.7 adalah daerah yang dibatasi oleh titik-titik 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 1 dengan jarak antara titik = a meter. Titik-titik tersebut diukur tingginya dan misalnya disebut T1, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8. Apabila daerah tersebut akan digali pada ketinggian Tg, maka volume galian sampai dengan ketinggian Tg adalah sebagai berikut:

$$V = A \cdot \frac{\{1\sum h_1 + 2\sum h_2 + 3\sum h_3 + 4\sum h_4\}}{4} \dots\dots\dots(7.9),$$

dimana:

- A : Luas alas satu kotak segi empat.
- A : $a \times a = a^2$
- h1 : Tinggi titik yang dipakai satu kali yaitu titik 1, 3, 4, 6, 7.
- h2 : Tinggi titik yang dipakai dua kali yaitu titik 2, 8.
- h3 : Tinggi titik yang dipakai tiga kali yaitu titik 5.
- h4 : Tinggi titik yang dipakai empat kali, dalam kasus ini tidak ada titiknya

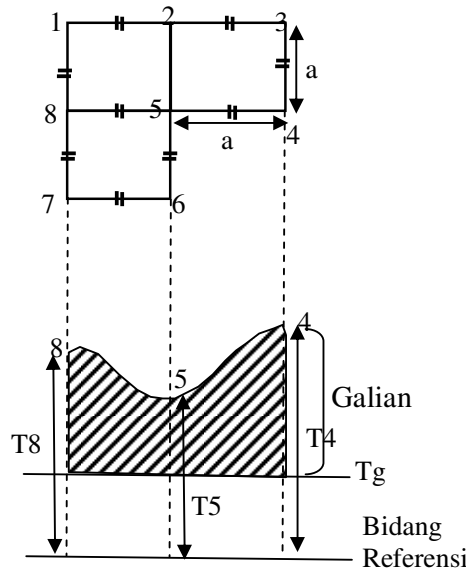
Untuk menghitung $\sum h_1$, $2.\sum h_2$, $3.\sum h_3$ dan $4.\sum h_4$ adalah sebagai berikut:

$$1\sum h_1 = 1 ((T_1-T_g) + (T_3-T_g)+(T_4-T_g)+(T_6-T_g)+(T_7-T_g));$$

$$2\sum h_2 = 2 ((T_2-T_g) + (T_8-T_g));$$

$$3\sum h_3 = 3 ((T_5-T_g));$$

$$4\sum h_4 = 4 (0) = 0;$$



Gambar 7.7. Volume dengan Borrow Pit untuk galian
(Sumber : Hendriatiningsih, 1995)

Untuk kasus menghitung volume timbunan adalah sama dengan cara volume galian yaitu dengan menggunakan rumus 7.9 diatas. Apabila alasnya berupa segitiga maka rumus volume Borrow Pit adalah:

$$V = A \cdot \frac{t_1 + t_2 + t_3}{3} \dots\dots\dots(7.10),$$

dimana:

- A : Luas alas berbentuk segitiga = $\frac{1}{2} (a \times a) = \frac{1}{2} a^2$
- t1, t2, t3 : Beda tinggi antara titik di permukaan tanah dengan tinggi galian atau timbunan

BAB VIII

TEKNIK PEMATOKAN (STAKE OUT)

Pematokan atau Stake Out adalah memindahkan atau mentransfer titik-titik dari peta perencanaan (titik-titik rencana) ke lapangan. Titik-titik yang direncanakan tersebut di patok di lapangan dari titik-titik ikat yang diketahui. Pengertian titik rencana disini adalah titik yang direncanakan di peta, tetapi di lapangan belum ada titiknya. Sedangkan titik ikat atau titik kerangka adalah titik yang diketahui koordinatnya dan titik tersebut terlihat di peta dan ada bentuk fisiknya di lapangan.

Pematokan ini merupakan bagian sangat penting di dalam suatu proyek teknik sipil seperti pembangunan jalan raya, jalan kereta api, saluran untuk pengairan dan pelayaran, saluran pipa, saluran listrik dan telepon, lintasan udara (airways), dsb. Pekerjaan yang demikian sering juga disebut dengan istilah survei rute atau *Route Survey*. Survei Rute ini mencakup semua pekerjaan lapangan dan perhitungan termasuk pembuatan peta-peta, profil-profil yang berhubungan dengan perencanaan dan pembuatan suatu rute.

Desain atau perencanaan suatu rute tergantung pada survei rute terutama pada penentuan trase dan penempatan jalur ini di lapangan. Misalnya pada perencanaan suatu jalan raya harus diketahui antara tempat mana, jumlah jalur dan lebar trase, kemiringan maksimum, jari-jari lengkungan minimum, jarak pandangan minimum, maksud jalan.

Pada jalan kereta api toleransi kemiringan dan jari-jari lengkungan berbeda dengan untuk jalan raya. Pada saluran pengairan atau kanal, kemiringan adalah kecil (< 0,005%) dan rutenya sedapat mungkin lurus karena terkait dengan erosi dan agar airnya tidak cepat terbuang ke laut.

Meskipun hubungan yang terpendek antara 2 titik atau tempat merupakan suatu garis lurus, tetapi untuk jalan raya yang lurus dan terlalu panjang adalah kurang baik karena pengemudi dapat cepat menjadi bosan dan mengantuk sehingga kurang awas dan dapat menimbulkan kecelakaan lalu lintas (Hendriatiningsih, 1995).

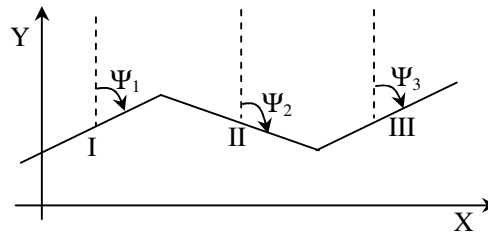
Kesimpulannya adalah bahwa setiap proyek mempunyai karakteristik atau sifat yang tersendiri.

VIII.1 Penentuan Titik Potong Busur

Bentuk rute adalah suatu alinyemen geometris yang dapat dihitung, Bentuk yang paling sederhana adalah garis lurus dengan sudut-sudut seperti pada saluran transmisi. Pada jalan raya sudut-sudut 'dilicinkan' dengan keluk-keluk, sesuai dengan keperluan. Umumnya keluk horizontal merupakan lingkaran dan keluk vertikal merupakan parabola.

Bagian yang lurus dari suatu rute seringkali dinamakan tangent. Untuk menghitung koordinat-koordinat dari patok-patok kilometer dibuat persamaan berikut:

- Persamaan dari tangent I adalah $y = m_1 \cdot x + p_1$
- Persamaan dari tangent II adalah $y = m_2 \cdot x + p_2$, dimana $m = \cotan \psi$(8.1)



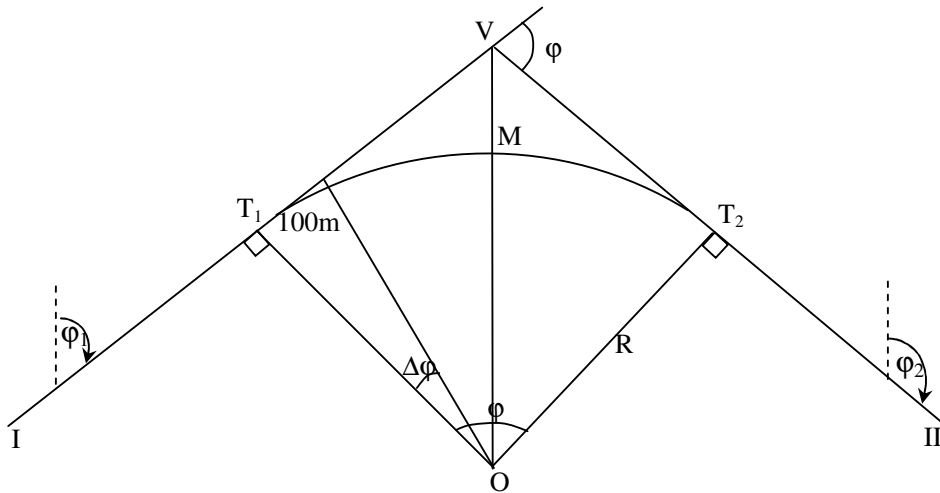
Gambar 8.1 Garis dan Sudut Tangent
(Sumber: Hendriatiningsih, 1995)

Dua jalan lurus yang berpotongan disambung dengan keluk lingkaran antara kedua jalan lurus ini. Sambungan lingkaran ini disesuaikan dengan syarat-syarat yang terletak pada bagian lurus atau tangent seperti yang diperlihatkan pada Gambar 8.2.

Titik perpotongan V disebut dengan istilah *Point of Intersection* atau PI. Sudut perpotongan dari tangent I dan tangent I adalah $\phi = \Psi_1 - \Psi_2$. Persamaan dari kedua tangent ini adalah:

- $y = m_1 \cdot x + p_1$; $m_1 = \cotan \Psi_1$ dan $y = m_2 \cdot x + p_2$;
- $m_2 = \cotan \Psi_2$, sehingga
- $X_v = - \frac{p_1 - p_2}{m_1 - m_2}$ dan $Y_v = \frac{m_1 p_2 - m_2 p_1}{m_1 - m_2}$ (8.2)
- $T_1V = T_2V = R \cdot \tan(\frac{1}{2} \cdot \phi)$,

dengan R = radius atau jari-jari busur lingkaran (untuk jalan besar R = 500 sampai dengan 5000 m).



Gambar 8.2 Keluk Lingkaran
(Sumber: Hendriatiningsih, 1995)

Keterangan:

- O : Titik Pusat Lingkaran
- V : Titik Perpotongan Garis Lurus Tangent I dan Garis Lurus Tangent II
- T₁ & T₂ : Titik Awal dan Titik Akhir dari Busur Lingkaran
- M : Titik Tengah dari Busur Lingkaran

Cara Perhitungan dan Pemasangan Patok

- a. Hitung koordinat titik V dari persamaan tangent I dan tangent II, sehingga diperoleh nilai X_v dan Y_v.
- b. Hitung $T_1V = T_2V = R \cdot \tan\left(\frac{1}{2} \cdot \phi\right)$.
- c. Hitung sudut $\Delta\phi$ yang meliputi bagian busur = 100 m (jarak antara dua patok) dimana $\Delta\phi = \frac{100}{R}$ radial.
- d. Koordinat tiap titik di tangent I dapat dihitung dengan persamaan :
 - $X_v = X_P + d_{PV} \sin \Psi_1$ dan $Y_v = Y_P + d_{PV} \sin \Psi_2$, dimana titik P(X_P, Y_P) terletak pada tangent I.
- e. Koordinat T₁ dihitung dengan jarak $T_1V = R \cdot \tan\left(\frac{1}{2} \cdot \phi\right)$.
- f. Titik-titik hektometer (setiap jarak 100m) dihitung dengan menambah sudut $\Delta\phi$, sehingga seluruhnya menjadi ϕ .
- g. Koordinat terakhir dari busur lingkaran setelah $n \times \Delta\phi = \phi$ harus sama dengan koordinat di titik T₂.
- h. T₂ adalah titik pertama dari tangent II dengan persamaan $Y = m_2 \cdot x + p_2$.

- i. Sebagai kontrol koordinat titik T_2 dihitung juga rumus $T_2V = R \cdot \tan\left(\frac{1}{2} \cdot \phi\right)$.

Untuk pemasangan, patok pertama-tama dipasang pada titik-titik utama yang berjumlah 5 yaitu titik O, titik V, titik T_1 , titik T_2 dan titik M. Kemudian dipasang patok pada titik hektometer (setiap jarak 100m) dari hasil hitungan. Di bagian lingkaran dengan jarak 100m dan dibagian tangent dengan jarak 400m – 500m.

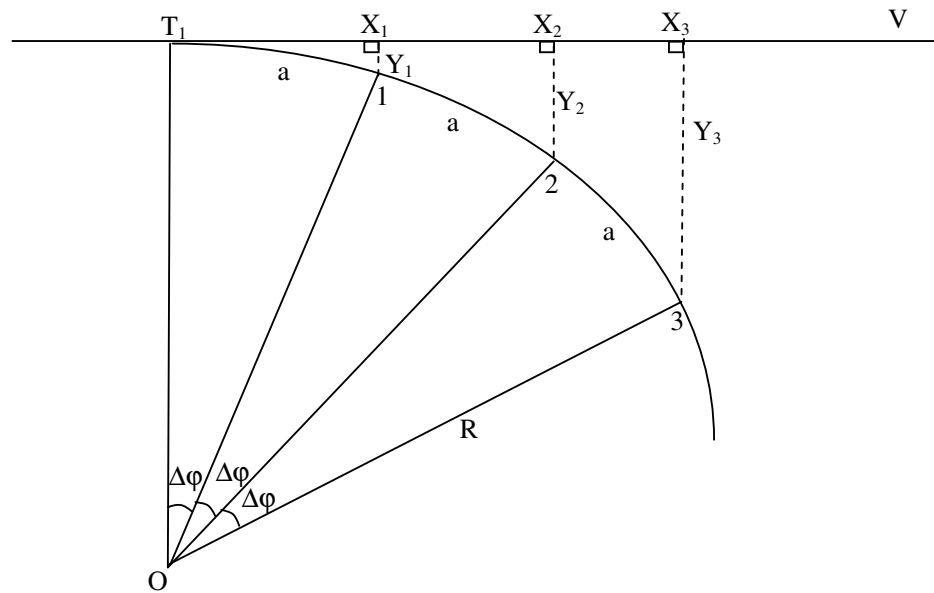
VIII.2 Penentuan Titik Detail Lengkungan

Terdapat beberapa cara untuk penentuan titik-titik detail lengkungan di lapangan yaitu:

- Dengan selisih busur yang sama panjang,
- Dengan selisih absis yang sama panjang,
- Dengan perpanjangan tali busur,
- Dengan koordinat polar, dan
- Dengan membuat suatu poligon.

Di dalam buku ini hanya akan diuraikan metode a, b dan c sedangkan metode d dan e tidak dijelaskan.

- Dengan selisih busur yang sama panjang



Gambar 8.3 Selisih Busur Sama Panjang
(Sumber: Hendriatiningsih, 1995)

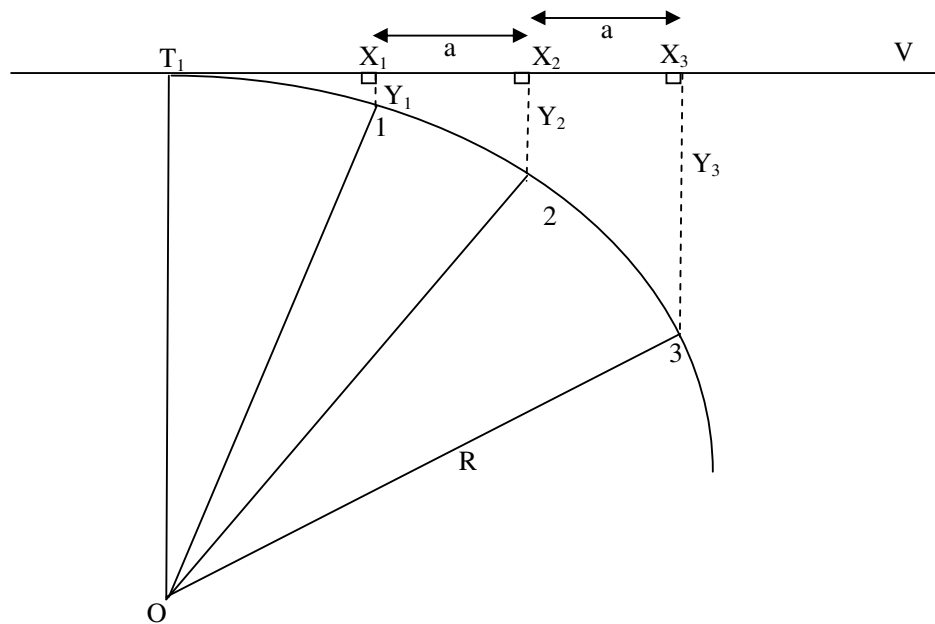
Panjang busur = a dengan sudut $\Delta\phi$.

$$\Delta\phi = \frac{ax360^\circ}{2\pi R} = \frac{180^\circ}{\pi} \cdot \frac{a}{R} \dots\dots\dots(8.3)$$

- Untuk titik 1: $X_1 = R \sin \Delta\phi$ dan $Y_1 = R (1 - \cos \Delta\phi) = 2 R \sin^2 \frac{\Delta\phi}{2}$.
- Untuk titik 2: $X_2 = R \sin (2.\Delta\phi)$ dan $Y_2 = R (1 - \cos (2.\Delta\phi)) = 2 R \sin^2 \Delta\phi$.
- Untuk titik 3: $X_3 = R \sin (3.\Delta\phi)$ dan $Y_3 = R (1 - \cos (3.\Delta\phi)) = 2 R \sin^2 \frac{3\Delta\phi}{2}$.
- Untuk titik ke-n: $X_n = R \sin (n. \Delta\phi)$ dan $Y_n = R (1 - \cos (n.\Delta\phi)) = 2 R \sin^2 \frac{n\Delta\phi}{2}$.

Dengan menggunakan cara ini memerlukan banyak hitungan tetapi dengan bantuan program komputer hal ini tidak menjadi masalah. Keuntungan dari cara ini adalah titik-titik terletak teratur di atas busur lingkaran.

b. Dengan selisih absis yang sama panjang



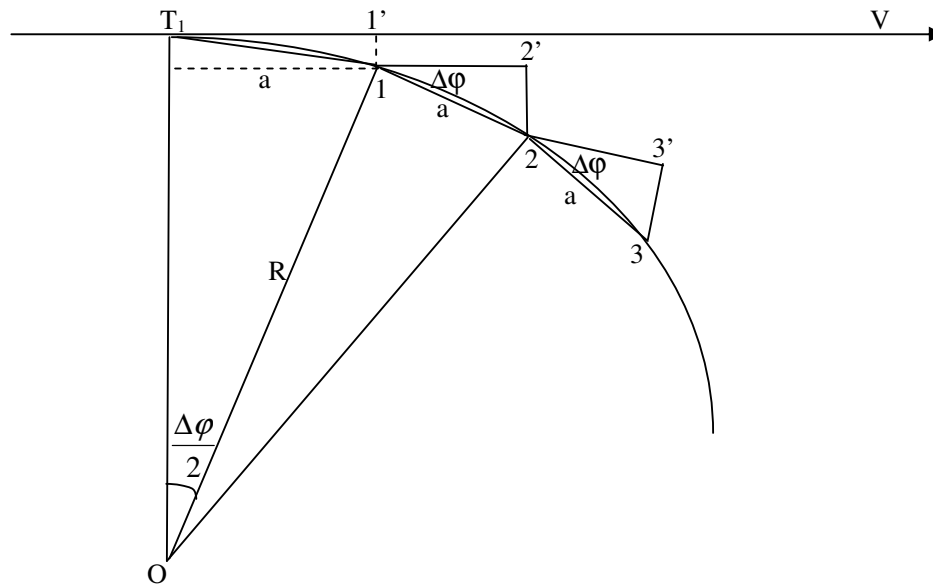
Gambar 8.4 Selisih Absis Sama Panjang
(Sumber: Hendriatiningsih, 1995)

- Untuk titik 1: $X_1 = a$ dan $Y_1 = R - \sqrt{R^2 - x_1^2} = \sqrt{R^2 - a^2} = R[1 - (1 - \frac{R^2}{R^2})^{1/2}]$.
- Untuk titik 2: $X_2 = 2.a$ dan $Y_2 = R - \sqrt{R^2 - x_2^2} = \sqrt{R^2 - 4a^2} = R[1 - (1 - \frac{4a^2}{R^2})^{1/2}]$.
- Untuk titik 3: $X_3 = 3.a$ dan $Y_3 = R - \sqrt{R^2 - x_3^2} = \sqrt{R^2 - 9a^2}$.

Cara ini mempunyai jumlah perhitungan yang kurang dibandingkan cara yang pertama tetapi titik-titik detail tidak terletak beraturan diatas busur lingkaran. Semakin jauh letak titik dari titik T, semakin panjang busur lingkaran.

c. Dengan perpanjangan tali busur

Titik-titik detail diproyeksikan pada perpanjangan tali busur yang melalui titik detail belakangnya.



Gambar 8.5 Perpanjangan Tali Busur
(Sumber: Hendriatiningsih, 1995)

Panjang tali busur = a. Untuk titik 1. $\sin \frac{\Delta\phi}{2} = \frac{a}{R}$, sudut $\frac{\Delta\phi}{2}$ dan $\Delta\phi$ dapat dihitung.

$$T_11' = a \cos \frac{\Delta\phi}{2} ; 11' = a \sin \frac{\Delta\phi}{2} = \frac{a}{R}.$$

Dengan ini titik 1 dapat ditentukan untuk titik 2 yaitu $12' = a \cos \Delta\phi$; $2'2 = a \sin \Delta\phi$.

Untuk titik 3, $23' = a \cos \Delta\phi$; $3'3 = a \sin \Delta\phi$.

Dengan cara ini $a \cos \Delta\phi$ dan $a \sin \Delta\phi$ dapat dipakai terus.

BAB IX

METODE GPS DAN REMOTE SENSING

Pada Bab ini diperkenalkan secara umum teknologi pemetaan terkini yang banyak digunakan untuk keperluan pekerjaan teknik sipil yaitu teknologi Sistem Penentuan Posisi Global (*Global Positioning System/GPS*) dan Penginderaan Jauh (*Remote Sensing*). Pada bab ini tidak menjelaskan secara detail mengenai rumusan analitis dan cara pengukurannya di lapangan. Pembaca yang tertarik lebih jauh dengan teknologi ini dapat membaca buku referensinya seperti yang ada pada Daftar Pustaka. Sementara itu materi mengenai Sistem Informasi Geografis (*Geographic Information System/GIS*) hanya diberikan pada tingkat Strata 2 (S2) Teknik Sipil Universitas Udayana.

IX.1 Sistem Penentuan Posisi Global (*Global Positioning System/GPS*)

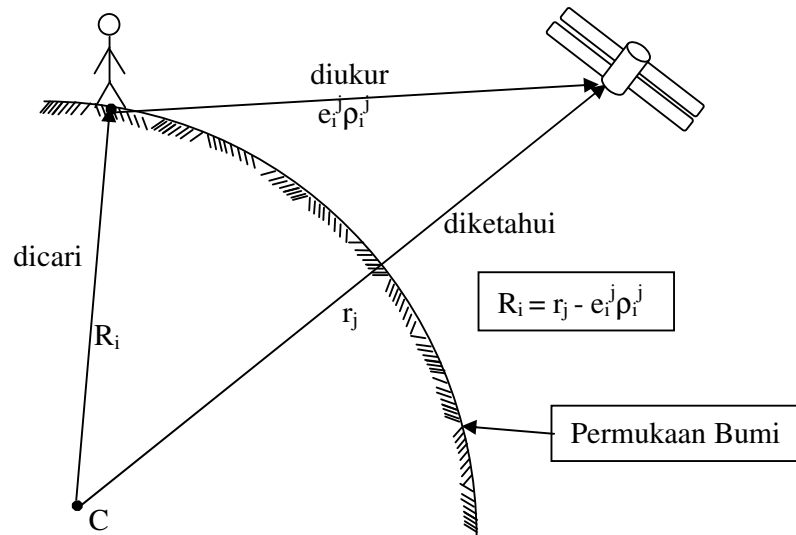
Sistem penentuan posisi global atau dikenal dengan nama The NAVSTAR (*Navigation Satellite Time and Ranging*) GPS (*Global Positioning System*) adalah suatu sistem radio navigasi dan penentuan posisi menggunakan satelit yang dimiliki dan dikelola oleh Amerika Serikat (Abidin, 1995; Abidin, *et.al*, 1995). Dengan adanya kata sistem, maka GPS merupakan kumpulan dari tiga segmen yaitu segmen angkasa (*space segment*) yang terdiri dari atas satelit-satelit, segmen sistem kontrol (*control system segment*) yang terdiri atas stasiun pemonitor dan pengontrol satelit dan segmen pemakai (*user segment*) yang terdiri atas pemakai GPS termasuk alat-alat penerima dan pengolah sinyal dan data GPS. Satelit-satelit tersebut bisa dianalogikan sebagai stasiun radio di angkasa yang dilengkapi dengan antena-antena untuk mengirim dan menerima sinyal-sinyal gelombang.

Setiap satelit GPS secara kontinyu memancarkan sinyal-sinyal gelombang pada dua frekuensi L-band yang dinamakan L1 dan L2 (Leick, 1990). Sinyal L1 berfrekuensi 1575,42 Mhz dan sinyal L2 berfrekuensi 1227,60 Mhz. Sinyal L1 membawa dua buah kode biner yang dinamakan kode-P (*P-code, Precise or Private Code*) dan kode-C/A (*C/A code, Clear Access or Coarse Acquisition*) sedangkan sinyal L2 hanya membawa kode C/A. Dengan mengamati sinyal-sinyal dari satelit dalam jumlah dan waktu yang cukup surveyor kemudian dapat mengolah sinyal tersebut untuk mendapatkan informasi mengenai posisi, kecepatan atau waktu. Satelit-satelit GPS disusun dalam enam orbit yang berinklinasi sebesar 55° dari garis

katulistiwa. Setiap orbit akan berputar mengelilingi bumi dengan ketinggian 20183 km.

Segmen kontrol terdiri atas stasiun monitor di Diego Garcia, Ascension Island, Kwajalein dan Hawaii dan stasiun kontrol udara di Colorado Springs. Sistem kontrol ini berfungsi untuk memonitor kesehatan satelit, menentukan orbit satelit dan jam atomnya serta mengirimkan pesan-pesan kepada satelit. Sementara itu, segmen pengguna meliputi semua pengguna (militer dan sipil). Receiver GPS menerima kode atau fase atau keduanya dan juga informasi waktu dari satelit. Jika data dari empat satelit di kombinasikan dengan deskripsi orbit maka posisi tiga dimensi koordinat geosentrik dapat ditentukan.

Dari ketiga segmen tersebut konsep yang mendasari prinsip pengukuran dengan GPS adalah seperti digambarkan pada Gambar 9.1 (Wells, 1987):



Gambar 9.1 Konsep pengukuran dengan GPS
(Sumber: Wells, 1987)

Dari gambar tersebut terlihat bahwa posisi receiver (R_i) akan dicari nilai koordinatnya. Posisi satelit dari pusat bumi (C) diketahui dan yang diukur adalah range vector $e_i^j \rho_i^j$ antara receiver dan satelit. Beberapa keunggulan GPS antara lain:

- Dapat digunakan setiap saat tanpa tergantung cuaca serta meningkatkan efisiensi waktu dan biaya operasional survei.
- Dapat mencakup wilayah yang luas (tidak tergantung batas politik dan alam).
- Tidak terpengaruh kondisi topografi
- Posisi mengacu ke datum global (WGS 1984) sehingga memudahkan di dalam penggabungan peta.

- e. Ketelitian posisi dalam jangkauan yang bervariasi (dari orde tinggi sampai rendah).
- f. Sampai saat ini tidak dikenakan biaya oleh pemilik satelit yaitu Departemen Pertahanan Amerika Serikat).
- g. Receiver GPS cenderung lebih kecil dan murah harganya serta kualitas data yang diberikan cukup andal.
- h. Pengoperasian GPS cukup mudah dan tidak memerlukan banyak tenaga seperti pengukuran konvensional.
- i. Kualitas data terjamin karena surveyor tidak dapat memanipulasi data GPS.

Sedangkan keterbatasan-keterbatasan yang dimiliki oleh GPS adalah:

- a. Tidak boleh ada penghalang antara receiver dengan satelit seperti adanya pepohonan.
- b. Datum resmi Indonesia bukan WGS 1984 sehingga ada kegiatan transformasi koordinat.
- c. Data tinggi GPS mengacu ke ellipsoid sedangkan untuk keperluan praktis di Indonesia digunakan muka air laut rata-rata (*MSL/Mean Sea Level*). Jadi harus ada kegiatan transformasi data ketinggian GPS ke tinggi orthometris (*MSL*).
- d. Pemrosesan data GPS dan analisa data GPS bukan suatu proses yang mudah.
- e. Sumber daya manusia yang menguasai teknologi ini secara komprehensif belum begitu banyak.

IX.2 Penginderaan Jauh (*Remote Sensing*)

Teknik Penginderaan Jauh sebenarnya telah dikembangkan sejak awal abad 20 dengan menggunakan balon udara /pesawat udara untuk memotret suatu area di muka bumi dari angkasa. Sejalan dengan perkembangan teknologi berkembang pula teknologi pemetaan dengan teknik penginderaan jauh (*remote sensing*). Penginderaan jauh dapat dibedakan menjadi 2 bagian yaitu:

- a. Penginderaan Jauh Fotografik
- b. Penginderaan Jauh Non Fotografik meliputi:
 - Sistem Termal
 - Sistem Gelombang Mikro dan Sistem Radar
 - Sistem Satelit.

Hingga periode tahun 1950-an, penginderaan jauh berarti penginderaan jauh sistem fotografik yang dikenal dengan interpretasi foto udara. Sekitar periode 1962-an mulai digunakan istilah penginderaan jauh karena memang telah digunakan teknik penginderaan jauh di luar sistem fotografik (Sutanto, 1987). Penginderaan jauh fotografik suatu teknik pemetaan obyek-obyek di bumi yang dilakukan dari udara atau antariksa dengan pesawat udara yang dilengkapi menggunakan kamera sebagai sensor, film sebagai detektor, dan tenaga elektromagnetik berupa spektrum tampak atau saluran inframerah dekat atau saluran ultraviolet dekat (sinar matahari sebagai sumber utama juga sinar bulan atau sinar buatan lainnya jika pemotretan dilakukan pada malam hari).

Keluaran dari sistem fotografik ini adalah foto udara atau foto satelit yang juga sering disebut dengan citra satelit. Foto udara merupakan media untuk menyampaikan data/informasi yang sangat penting. Seorang yang hendak menggunakan media ini harus mempunyai kemampuan interpretasi foto udara yang memadai dalam menggali informasi yang terkandung di dalam foto tersebut. Jadi dapat dikatakan bahwa foto udara ini merupakan masukan di dalam sistem lainnya termasuk GIS.

Aplikasi dari foto udara ini sebagai contoh adalah untuk studi lalu lintas yaitu di dalam rincian data seperti jaringan jalan, volume kendaraan, tempat parkir, dsb. Pada skala besar seperti 1:5000, dengan bantuan stereoskop komposisi lalu lintas seperti kendaraan berat, kendaraan ringan, sepeda motor dapat diidentifikasi. Untuk menyajikan data yang lebih bersifat detail, foto udara yang lebih baik sementara untuk perencanaan yang bersifat makro untuk area yang lebih luas biaya pengadaan foto udara lebih mahal, sehingga untuk kasus ini citra satelit lebih sesuai untuk digunakan.

Sementara itu pada penginderaan jauh non fotografik sistem termal adalah teknik pemetaan dengan memanfaatkan tenaga kinetik dan radiasi panas yang dimiliki oleh obyek-obyek di bumi. Sebagai contoh, batuan geologi (seperti basalt, tanah lempung, granit, sandstone, kuarsit, kerikil berpasir) memiliki sifat termal yang berbeda-beda. Salah satu keunggulan teknik ini adalah dapat dilakukan baik pada siang maupun malam hari pada saat cuaca cerah. Keluaran dari teknik ini adalah citra (gambaran dua dimensi obyek di bumi dalam bentuk inframerah termal) dan non-citra yang berupa garis atau kurva spektral, satu angka atau serangkaian angka yang mencerminkan suhu pancaran obyek.

Untuk kegiatan interpretasi citra, maka unsur rona dan warna (karakteristik spektral) merupakan unsur utama. Rona sangat berkaitan dengan nilai pantulan obyek di bumi. Seorang interpreter akan mengamati persamaan dan perbedaan rona dan warna obyek yang satu dengan yang lainnya. Setelah itu obyek diklasifikasikan berdasarkan karakteristik spasialnya meliputi bentuk, ukuran, tekstur, pola, bayangan dan asosiasinya.



Gambar 9.2 Contoh Citra Satelit Hasil Penginderaan Jauh

Untuk penginderaan jauh non fotografik sistem gelombang mikro dan sistem radar merupakan teknik penginderaan jauh untuk segala cuaca (berawan maupun hujan). Foto udara hanya dapat dibuat pada siang hari pada cuaca cerah, sementara sistem termal hanya dapat dilakukan pada siang dan malam hari pada cuaca cerah. Sistem gelombang mikro merupakan penginderaan jauh sistem pasif yang menggunakan gelombang mikro sedangkan yang bersifat aktif disebut sistem radar. Sensor yang digunakan di dalam sistem ini adalah sama dengan pada sistem termal yaitu radiometer (alat untuk mengukur radiasi elektromagnetik) dan penyiam (antena) hanya perbedaannya terletak pada panjang gelombang yang digunakan.

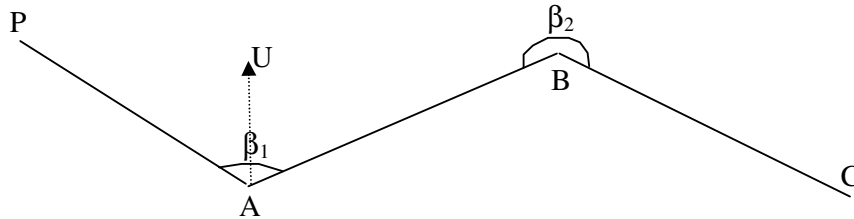
Untuk sistem radar dapat dibedakan menjadi dua jenis yaitu sistem RAR (*Real Aperture Radar*) dan sistem SAR (*Synthetic Aperture Radar*). Perbedaan antara keduanya adalah masing-masing antena menghasilkan resolusi spasial yang berbeda. Aplikasi dari sistem ini misalnya untuk bidang hidrologi meliputi analisis kelembaban tanah, pemetaan DAS, pemetaan air permukaan, pemetaan banjir.

Dalam uraian sebelumnya satelit juga telah digunakan untuk sistem fotografik, non fotografik sistem termal, gelombang mikro dan sistem radar. Prinsip citra satelit pada teknik-teknik tersebut adalah sama dengan penginderaan jauh non fotografik sistem satelit. Satelit di antarika sampai saat ini telah berjumlah ribuan untuk berbagai keperluan seperti telekomunikasi, militer, pengamatan cuaca, dll. Citra satelit penginderaan jauh sendiri dapat dibedakan berdasarkan kegiatan utamanya yaitu satelit sumber daya bumi, satelit sumber daya laut, satelit cuaca dan satelit penginderaan benda antariksa. Citra satelit yang banyak digunakan adalah citra Landsat, SPOT, MOS-1 dan ERS-1. Beberapa contoh aplikasi citra Landsat antara lain digunakan untuk analisis sumber daya air meliputi penentuan batas air dan daratan, penghitungan luas permukaan air dan volume air, pemetaan banjir dan dataran banjir, pengukuran sedimen dan pola kekeruhan air, penentuan kedalaman air, deliniasi daerah irigasi dan inventarisasi danau.

BAB X
CONTOH SOAL DAN PENYELESAIANNYA

X.1. Pengukuran Horizontal

1. Terdapat suatu poligon terbuka sebagai berikut:



Diketahui:

sudut jurusan $\alpha_{AP} = 334^{\circ} 10' 46''$; sudut jurusan $\alpha_{CB} = 313^{\circ} 57' 45''$

sudut mendatar $\beta_2 = 224^{\circ} 36' 41''$

Hitung sudut mendatar β_1 !

Solusi:

Ingat: $\alpha_{akhir} = \alpha_{awal} + \Sigma\beta - n.180^{\circ}$

a. Menghitung sudut jurusan α_{BC} dan α_{PA}

$$\alpha_{BC} = \alpha_{CB} - 180^{\circ} = 313^{\circ} 57' 45'' - 180^{\circ} = 133^{\circ} 57' 45''$$

$$\alpha_{PA} = \alpha_{AP} - 180^{\circ} = 334^{\circ} 10' 46'' - 180^{\circ} = 154^{\circ} 10' 46''$$

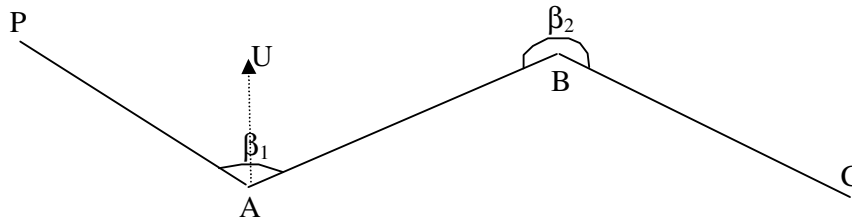
b. Menghitung sudut mendatar β_1 :

$$\alpha_{BC} = \alpha_{PA} + \beta_1 + \beta_2 - 2(180^{\circ}):$$

$$133^{\circ} 57' 45'' = 154^{\circ} 10' 46'' + \beta_1 + 224^{\circ} 36' 41'' - 360^{\circ}$$

$$\beta_1 = 115^{\circ} 10' 18''$$

2. Terdapat suatu poligon terbuka sebagai berikut:



Diketahui:

sudut jurusan $\alpha_{AP} = 334^{\circ} 10' 46''$; sudut jurusan $\alpha_{CB} = 313^{\circ} 57' 45''$

sudut mendatar $\beta_1 = 115^{\circ} 10' 18''$

Hitung sudut jurusan α_{AB} dan sudut mendatar β_2 !

Solusi:

Ingat: $\alpha_{akhir} = \alpha_{awal} + \Sigma\beta - n.180^{\circ}$

a. Menghitung sudut jurusan α_{AB} :

$\alpha_{AB} = \alpha_{PA} + \beta_1 - 180^{\circ}$ dimana

$\alpha_{PA} = \alpha_{AP} - 180^{\circ} = 334^{\circ} 10' 46'' - 180^{\circ} = 154^{\circ} 10' 46''$ maka,

$\alpha_{AB} = 154^{\circ} 10' 46'' + 115^{\circ} 10' 18'' - 180^{\circ} = 89^{\circ} 21' 04''$

b. Menghitung sudut mendatar β_2 :

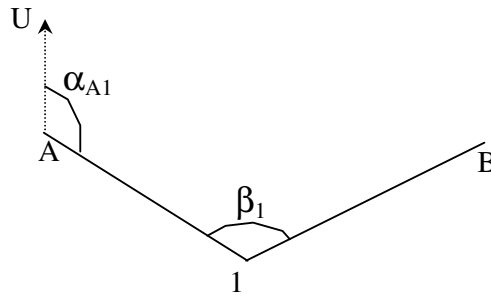
$\alpha_{BC} = \alpha_{AB} + \beta_2 - 180^{\circ}$ dimana

$\alpha_{BC} = \alpha_{CB} - 180^{\circ} = 313^{\circ} 57' 45'' - 180^{\circ} = 133^{\circ} 57' 45''$ maka,

$133^{\circ} 57' 45'' = 89^{\circ} 21' 04'' + \beta_2 - 180^{\circ}$

$\beta_2 = 224^{\circ} 36' 41''$

3. Hitung koordinat B (X_B , Y_B) dari poligon titik-titik seperti dibawah ini:



Diketahui koordinat titik-titik:

Titik	X(meter)	Y(meter)
1	250,000	500,000

Sudut jurusan $\alpha_{A1} = 120^\circ 15' 15''$; sudut mendatar $\beta_1 = 70^\circ 30' 30''$ dan jarak mendatar dari titik 1 ke titik B (d_{1B}) = 100,000 meter.

Hitung koordinat B!

Solusi:

Penentuan koordinat B dilakukan dengan rumus $X_B = X_1 + d_{1B} \sin \alpha_{1B}$ dan

$Y_B = Y_1 + d_{1B} \cos \alpha_{1B}$, akan tetapi sudut jurusan α_{1B} belum diketahui sehingga ditentukan dahulu dengan cara:

$$\alpha_{1B} = \alpha_{A1} + \beta_1 - n \cdot 180^\circ = 120^\circ 15' 15'' + 70^\circ 30' 30'' - 180^\circ = 10^\circ 45' 45''$$

maka:

$$X_B = X_1 + d_{1B} \sin \alpha_{1B} = 250,000 + (100,000) \sin (10^\circ 45' 45'')$$

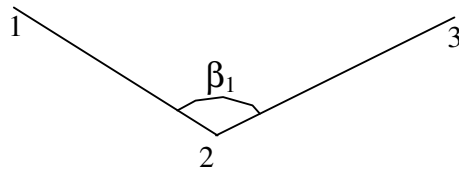
$$X_B = 268,674 \text{ meter.}$$

$$Y_B = Y_1 + d_{1B} \cos \alpha_{1B} = 500,000 + (100,000) \cos (10^\circ 45' 45'')$$

$$Y_B = 598,241 \text{ meter.}$$

Jadi koordinat B = (268,674 ; 598,241) meter

4. Hitung koordinat 1(X_1, Y_1) dari poligon titik-titik seperti dibawah ini:



Diketahui koordinat titik-titik:

Titik	X(meter)	Y(meter)
2	250,000	300,000
3	750,000	650,000

Sudut mendatar $\beta_1 = 110^\circ 50' 43''$ dan jarak mendatar dari titik 1 ke titik 2 (d_{12}) = 210,000 meter.

Solusi:

Koordinat 1 dihitung dengan rumus $X_2 = X_1 + d_{12} \sin \alpha_{12}$ dan $Y_2 = Y_1 + d_{12} \cos \alpha_{12}$, akan tetapi sudut jurusan α_{12} belum diketahui, sehingga dihitung terlebih dahulu sudut jurusan α_{23} karena $\alpha_{23} = \alpha_{12} + \beta_1 - n.180^\circ$

$$\begin{aligned} \Delta X_{23} &= X_3 - X_2 = + 500,000 \\ \Delta Y_{23} &= Y_3 - Y_2 = + 350,000 \quad \text{Terletak di kwadran I} \end{aligned}$$

$$\alpha_{23} = \tan^{-1} \left| \frac{500,000}{350,000} \right| = \tan^{-1} (1,42857)$$

$$\alpha_{23} = 55^\circ 00' 28,63''$$

$$\alpha_{23} = \alpha_{12} + \beta_1 - n.180^\circ \rightarrow 55^\circ 00' 28,63'' = \alpha_{12} + 110^\circ 50' 43'' - 180^\circ$$

maka $\alpha_{12} = 124^\circ 09' 45,63''$, setelah itu koordinat 1 dapat dihitung dengan cara:

$$X_2 = X_1 + d_{12} \sin \alpha_{12} \rightarrow 250,000 = X_1 + (210,000) \sin (124^\circ 09' 45,63'')$$

$$X_1 = 76,236 \text{ meter.}$$

$$Y_2 = Y_1 + d_{12} \cos \alpha_{12} \rightarrow 300,000 = Y_1 + (210,000) \cos (124^\circ 09' 45,63'')$$

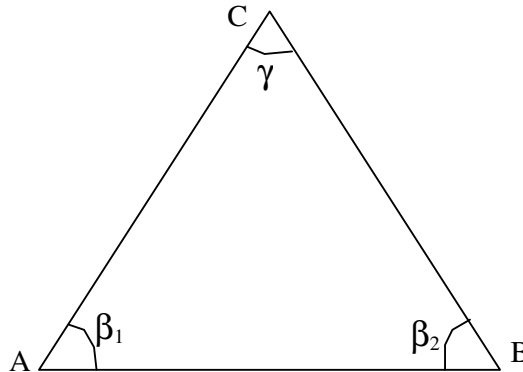
$$Y_1 = 417,924 \text{ meter.}$$

Jadi koordinat 1 = (76,236 ; 417,924) meter

5. Diketahui suatu jaring segitiga dengan koordinat A(X_A , Y_B) dan B(X_A , Y_B) sebagai berikut:

Titik	X(meter)	Y(meter)
A	1000,000	500,000
B	1500,000	500,000

Diketahui pula sudut mendatar $\beta_1 = 59^\circ 48' 12''$ dan $\beta_2 = 60^\circ 50' 15''$



Hitung koordinat C!

Solusi:

Penentuan koordinat titik C dari titik A dan titik B menggunakan rumus:

$$X_C = X_A + d_{AC} \sin \alpha_{AC} ; Y_C = Y_A + d_{AC} \cos \alpha_{AC}$$

$$X_C = X_B + d_{BC} \sin \alpha_{BC} ; Y_C = Y_B + d_{BC} \cos \alpha_{BC}$$

Koordinat X_A & Y_A , X_B & Y_B sudah kita ketahui maka tahapan selanjutnya adalah mencari jarak (d_{AC} & d_{BC}) dan sudut jurusan (α_{AC} & α_{BC}).

a. Mencari panjang/jarak d_{AC} & d_{BC}

Aturan sudut segitiga

$$\beta_1 + \beta_2 + \gamma = 180^\circ ; \gamma = 180^\circ - (59^\circ 48' 12'' + 60^\circ 50' 15'') = 59^\circ 21' 33''$$

Dari koordinat A & B kita dapat menghitung jarak AB (d_{AB})

$$d_{AB} = ((X_B - X_A)^2 + (Y_B - Y_A)^2)^{0.5} = ((500)^2 + (0)^2)^{0.5} = 500 \text{ meter}$$

Aturan perbandingan jarak dan sudut pada segitiga

$$d_{AC} = \frac{d_{AB}}{\sin \gamma} \cdot \sin \beta_2 \quad ; \quad d_{AC} = 507,475 \text{ meter}$$

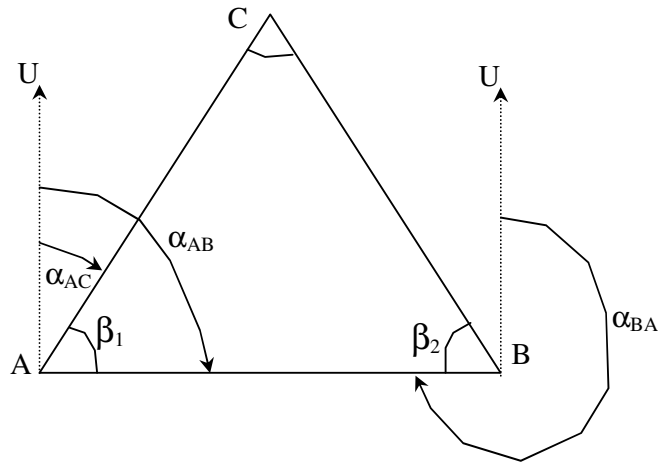
$$d_{BC} = \frac{d_{AB}}{\sin \gamma} \cdot \sin \beta_1 \quad ; \quad d_{BC} = 502,281 \text{ meter}$$

b. Mencari sudut jurusan α_{AC} & α_{BC}

$$\begin{aligned} \Delta X_{AB} &= X_B - X_A = +500,000 \\ \Delta Y_{AB} &= Y_B - Y_A = 0 \end{aligned} \quad \text{Terletak di kwadran I}$$

$$\alpha_{AB} = \tan^{-1} \left| \frac{500,000}{0,000} \right|$$

$$\alpha_{AB} = 90^\circ 00' 00''$$



sehingga

$$\alpha_{AC} = \alpha_{AB} - \beta_1 = 30^\circ 11' 48'' \quad \text{dan} \quad \alpha_{BC} = \alpha_{BA} + \beta_2 \quad \text{dimana} \quad \alpha_{BA} = \alpha_{AB} + 180^\circ = 270^\circ$$

$$\text{yang membuat} \quad \alpha_{BC} = 270^\circ + \beta_2 = 330^\circ 50' 15''$$

Jadi:

$$X_C = 1000 + (507,475) \sin (30^\circ 11' 48'') = 1255,245 \text{ meter} \rightarrow \text{dari titik A}$$

$$X_C = 1500 + (502,281) \sin (330^\circ 50' 15'') = 1255,245 \text{ meter} \rightarrow \text{dari titik B}$$

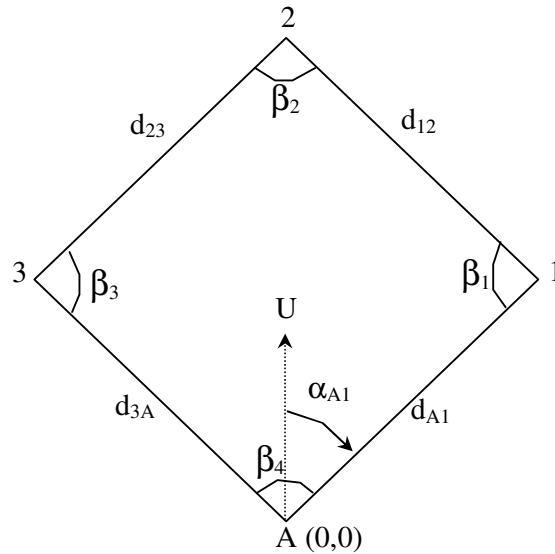
dan

$$Y_C = 500 + (507,475) \cos (30^\circ 11' 48'') = 938,613 \text{ meter} \rightarrow \text{dari titik A}$$

$$Y_C = 500 + (502,281) \cos (330^\circ 50' 15'') = 938,613 \text{ meter} \rightarrow \text{dari titik B}$$

Koordinat C (1255,245; 938,613) dihitung dari titik A dan B memberikan hasil yang sama!

6. Dari suatu poligon tertutup yang mempunyai titik-titik sebagai berikut:



diketahui:

koordinat titik A (0,0) ; sudut jurusan $\alpha_{A1} = 45^{\circ} 01' 02''$

sudut mendatar:

$$\beta_1 = 89^{\circ} 58' 59'', \beta_2 = 89^{\circ} 59' 45'',$$

$$\beta_3 = 89^{\circ} 59' 50'', \beta_4 = 89^{\circ} 59' 55''$$

Jarak mendatar: $d_{A1} = 35$ m; $d_{12} = 36$ m; $d_{23} = 35.5$ m; $d_{3A} = 35$ m

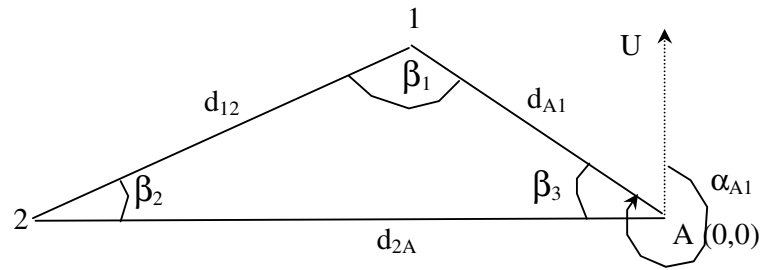
Hitung koordinat titik 1, 2 dan 3!

Solusi:

- Karena polygon tertutup (titik akhir dan awal sama yaitu titik A) maka terdapat hitungan perataan yaitu dengan pemberian koreksi terhadap sudut mendatar (β_i) dan ΔX ($d \sin \alpha$) dan ΔY ($d \cos \alpha$) agar diperoleh koordinat titik 1, 2 & 3 yang benar.
- Harus diingat bahwa untuk kasus poligon tertutup ada perbedaan koreksi sudut mendatar untuk sudut mendatar sebelah luar dan sebelah dalam poligon. Untuk kasus diatas yang diketahui adalah sudut mendatar sebelah dalam poligon. Lihat buku ajar sebagai referensi untuk rumus-rumus pemberian koreksi!
- Untuk memudahkan perhitungan maka dibuat suatu tabel sbb:

Titik	β_i Koreksi	α_{ij}	d_{ij} (meter)	$(d \sin \alpha)_{ij}$ Koreksi	$(d \cos \alpha)_{ij}$ Koreksi	X_i (meter)	Y_i (meter)
A						<u>0,000</u>	<u>0,000</u>
		<u>45° 01' 02''</u>	<u>35</u>	24,756	24,741		
1	<u>89° 58' 59''</u>			+0,262	-0,086	25,018	24,655
	+22,75''	315° 00' 23,75''	<u>36</u>	-25,453	25,459		
2	<u>89° 59' 45''</u>			+0,270	-0,089	-0,165	50,025
	+22,75''	225° 00' 31,5''	<u>35,5</u>	-25,106	-25,098		
3	<u>89° 59' 50''</u>			+0,266	-0,087	-25,005	24,840
	+22,75''	135° 00' 44,25''	<u>35</u>	24,743	-24,754		
A	<u>89° 59' 55''</u>			+0,262	-0,086	0,000	0,000
	+22,75''						
			$\Sigma d = 141,5$	$\Sigma d \sin \alpha = -1,06$	$\Sigma d \cos \alpha = + 0,348$		
$\Sigma \beta_i = 359^\circ 58' 29''$ $(n-2) 180^\circ = 360^\circ$ $\frac{\quad}{\quad} (-)$ $f\alpha = -0^\circ 01' 31''$ $\text{Koreksi} = \frac{1}{4} f\alpha = +0^\circ 00' 22,75''$				$f_x = \Sigma d \sin \alpha = -1,06$ $\text{Koreksi} = \frac{d_i}{\Sigma d_i} f_x = \frac{d_i}{141,5} (1,06)$ $f_y = \Sigma d \cos \alpha = + 0,348$ $\text{Koreksi} = \frac{d_i}{\Sigma d_i} f_y = \frac{d_i}{141,5} (-0,348)$			

7. Dari suatu poligon tertutup yang mempunyai titik-titik sebagai berikut:



diketahui:

koordinat titik A (0,0) ; sudut jurusan $\alpha_{A1} = 305^\circ 05' 05''$

sudut mendatar:

$$\beta_1 = 87^\circ 14' 05'', \beta_2 = 45^\circ 50' 30'',$$

$$\beta_3 = 45^\circ 50' 25''$$

Jarak mendatar: $d_{A1} = 110$ m; $d_{12} = 120$ m; $d_{2A} = 115$ m

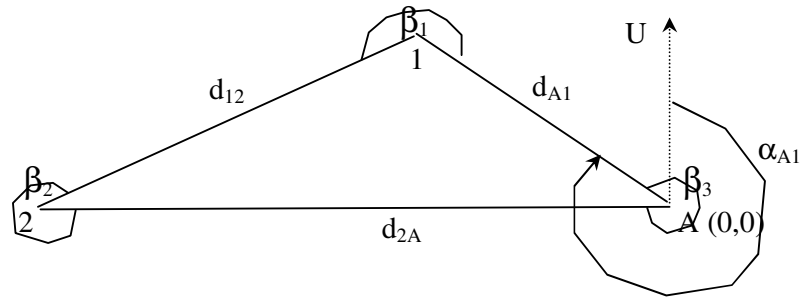
Hitung koordinat titik 1 dan 2!

Solusi:

- Serupa dengan contoh soal sebelumnya, pada polygon tertutup (titik akhir dan awal sama yaitu titik A) terdapat hitungan perataan yaitu dengan pemberian koreksi terhadap sudut mendatar (β_i) dan ΔX ($d \sin \alpha$) dan ΔY ($d \cos \alpha$) agar diperoleh koordinat titik 1 & 2 yang benar.
- Pada kasus diatas yang diketahui adalah sudut mendatar sebelah dalam polygon.
- Untuk memudahkan perhitungan maka dibuat suatu tabel sbb:

Titik	β_i Koreksi	α_{ij}	d_{ij} (meter)	$(d \sin \alpha)_{ij}$ Koreksi	$(d \cos \alpha)_{ij}$ Koreksi	X_i (meter)	Y_i (meter)
A						<u>0,000</u>	<u>0,000</u>
		<u>305° 05' 05''</u>	<u>110</u>	-90,013	63,227		
1	<u>87° 14' 05''</u>			+13,380	4,975	-76,633	68,202
	+21' 40''	212° 40' 50''	<u>120</u>	-64,795	-101,003		
2	<u>45° 50' 30''</u>			+14,597	5,427	-126,831	-27,374
	+21' 40''	78° 53' 00''	<u>115</u>	112,842	22,173		
A	<u>45° 50' 25''</u>			+13,989	5,201	0,000	0,000
	+21' 40''						
			$\Sigma d = 345$	$\Sigma d \sin \alpha = -41,966$	$\Sigma d \cos \alpha = -15,603$		
$\Sigma \beta_i = 178^\circ 55' 00''$ $(n-2) 180^\circ = 180^\circ$ $f\alpha = \frac{\Sigma \beta_i - (n-2) 180^\circ}{3} = \frac{178^\circ 55' 00'' - 180^\circ}{3} = -1^\circ 05' 00''$				$f_x = \Sigma d \sin \alpha = -41,966$ $Koreksi = \frac{d_i}{\Sigma d_i} f_x = \frac{d_i}{345} (41,966)$			
$Koreksi = \frac{1}{3} f\alpha = +0^\circ 21' 40''$				$f_y = \Sigma d \cos \alpha = -15,603$ $Koreksi = \frac{d_i}{\Sigma d_i} f_y = \frac{d_i}{345} (15,603)$			

8. Pada poligon tertutup (titik ikat akhir dan awal sama yaitu titik A) diketahui sudut mendatar luar poligon (β_1) mempunyai titik-titik sebagai berikut:



diketahui:

koordinat titik A (0,0) ; sudut jurusan $\alpha_{A1} = 305^\circ 05' 05''$

sudut mendatar:

$$\beta_1 = 272^\circ 45' 55'', \beta_2 = 314^\circ 09' 30'',$$

$$\beta_3 = 314^\circ 09' 35''$$

Jarak mendatar: $d_{A1} = 110$ m; $d_{12} = 120$ m; $d_{2A} = 115$ m

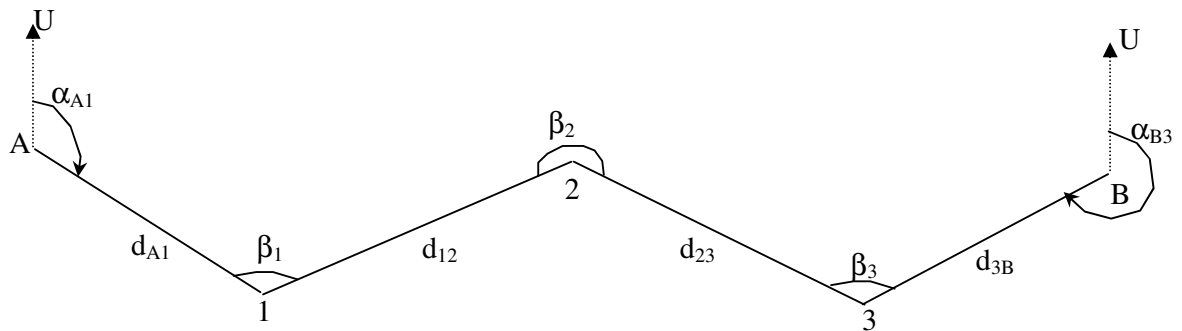
Hitung koordinat titik 1 dan 2!

Solusi:

- Perhatikan bahwa sudut mendatar yang diketahui adalah sudut luarnya sehingga koreksi untuk sudut mendatarnya mempunyai perbedaan dengan soal poligon tertutup sebelumnya.
- Untuk memudahkan perhitungan maka dibuat dalam bentuk tabel sebagai berikut (angka yang digarisbawahi merupakan data yang diketahui).

Titik	β_i Koreksi	α_{ij}	d_{ij} (meter)	$(d \sin \alpha)_{ij}$ Koreksi	$(d \cos \alpha)_{ij}$ Koreksi	X_i (meter)	Y_i (meter)
A						<u>0,000</u>	<u>0,000</u>
		258° 53' 00''	<u>115</u>	-112,842	-22,173		
2	<u>314° 09' 30''</u>			-13,989	-5,201	-126,831	-27,374
	-21' 40''	32° 40' 50''	<u>120</u>	64,795	101,003		
1	<u>272° 45' 55''</u>			-14,597	-5,427	-76,633	68,202
	-21' 40''	<u>125° 05' 05''</u>	<u>110</u>	90,013	-63,226		
A	<u>314° 09' 35''</u>			-13,380	-4,976	<u>0,000</u>	<u>0,000</u>
	-21' 40''						
			$\Sigma d = 345$	$\Sigma d \sin \alpha = +41,966$	$\Sigma d \cos \alpha = +15,604$		
$\Sigma \beta_i = 901^\circ 05' 00''$ $(n+2) 180^\circ = 900^\circ$ $\frac{\quad}{\quad} (-)$ $f\alpha = +1^\circ 05' 00''$				$f_x = \Sigma d \sin \alpha = +41,966$ $\text{Koreksi} = \frac{d_i}{\Sigma d_i} f_x = \frac{d_i}{345} (-41,966)$			
$\text{Koreksi} = \frac{1}{3} f\alpha = -0^\circ 21' 40''$				$f_y = \Sigma d \cos \alpha = +15,604$ $\text{Koreksi} = \frac{d_i}{\Sigma d_i} f_y = \frac{d_i}{345} (-15,604)$			

9. Dari suatu poligon terbuka terikat sempurna (mempunyai 2 titik ikat yaitu titik A dan B yang tidak bertemu pada satu titik) berikut diketahui:



koordinat titik A (100,100) dan titik B(450,120);

sudut jurusan $\alpha_{A1} = 120^\circ 50' 30''$ dan sudut jurusan $\alpha_{B3} = 250^\circ 25' 35''$;

sudut mendatar $\beta_1 = 144^\circ 45' 30''$, $\beta_2 = 200^\circ 10' 15''$, $\beta_3 = 144^\circ 49' 35''$;

Jarak mendatar: $d_{A1} = 85$ m; $d_{12} = 90$ m; $d_{23} = 89$ m; $d_{3B} = 87$ m;

Hitung koordinat titik 1, 2, dan 3!

Solusi:

a. Karakteristik poligon terbuka terikat sempurna ialah titik ikat awal dan akhir diketahui dan tidak bertemu di satu titik seperti pada poligon tertutup serta diketahui juga sudut jurusan awal dan akhirnya.

Sudut jurusan akhir disini ialah $\alpha_{3B} = 250^\circ 25' 35''$ sedangkan dari data diketahui sudut jurusan α_{B3} maka, $\alpha_{3B} = \alpha_{B3} - 180^\circ = 250^\circ 25' 35'' - 180^\circ = 70^\circ 25' 35''$ sedangkan sudut jurusan awal adalah $\alpha_{A1} = 120^\circ 50' 30''$.

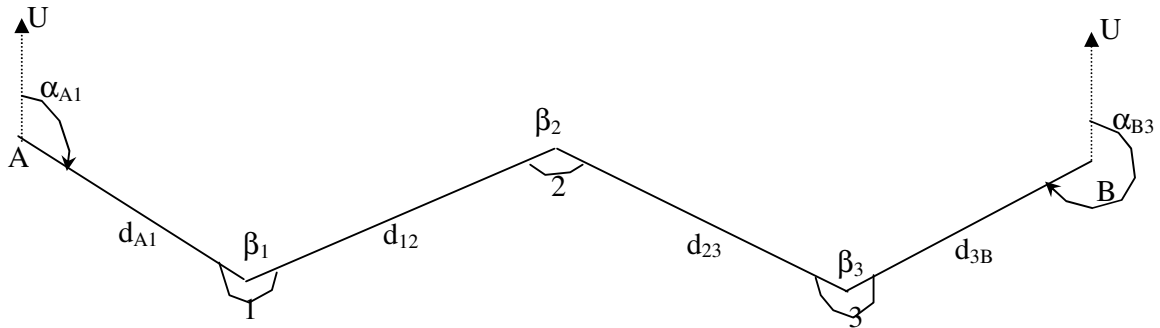
b. Karena pada poligon terbuka terikat sempurna ini terdapat titik ikat awal dan titik ikat akhir maka harus dilakukan hitungan perataan untuk memperoleh titik 1, 2 dan 3 yang benar.

c. Untuk memudahkan perhitungan maka dibuat tabel sebagai berikut:

Titik	β_i Koreksi	α_{ij}	d_{ij} (meter)	$(d \sin \alpha)_{ij}$ Koreksi	$(d \cos \alpha)_{ij}$ Koreksi	X_i (meter)	Y_i (meter)
A						<u>100,000</u>	<u>100,000</u>
		<u>120° 50' 30''</u>	<u>85</u>	72,980	-43,577		
1	<u>144° 45' 30''</u>			+4,752	+12,461	177,732	68,884
	-03' 25''	85° 32' 35''	<u>90</u>	89,728	6,994		
2	<u>200° 10' 15''</u>			+5,031	+13,194	272,491	89,072
	-03' 25''	105° 39' 25''	<u>89</u>	85,698	-24,019		
3	<u>144° 49' 35''</u>			+4,975	+13,047	363,164	78,100
	-03' 25''	70° 25' 35''	<u>87</u>	81,972	29,146		
B				+4,864	+12,754	<u>450,000</u>	<u>120,000</u>
			$\Sigma d = 351$	$\Sigma d \sin \alpha = 330,378$	$\Sigma d \cos \alpha = -31,455$		
$\alpha_{AKHIR} - \alpha_{AWAL} = -50^\circ 24' 55''$ $\Sigma \beta_i = 489^\circ 45' 20''$ $n \cdot 180^\circ = 540^\circ$ $f\alpha = -0^\circ 10' 15''$ $Koreksi = \frac{1}{3} f\alpha = -0^\circ 03' 25''$				$X_{AKHIR} - X_{AWAL} = 350$ $\Sigma d \sin \alpha = 330,378$ $f_x = 19,622$ $Koreksi = \frac{d_i}{\Sigma d_i} f_x = \frac{d_i}{351} (19,622)$		$Y_{AKHIR} - Y_{AWAL} = 20,000$ $\Sigma d \sin \alpha = -31,455$ $f_x = +51,455$ $Koreksi = \frac{d_i}{\Sigma d_i} f_x = \frac{d_i}{351} (51,455)$	

Catatan: Perhatikan aturan tanda (-) dan (+) pada pemberian koreksi dan bandingkan dengan pemberian koreksi pada poligon tertutup

10. Serupa dengan soal poligon terbuka terikat sempurna sebelumnya akan tetapi yang diketahui sudut mendatarnya dalam situasi yang berlawanan:



koordinat titik A (100,100) dan titik B(450,120);

sudut jurusan $\alpha_{A1} = 120^\circ 50' 30''$ dan sudut jurusan $\alpha_{B3} = 250^\circ 25' 35''$;

sudut mendatar $\beta_1 = 215^\circ 14' 30''$, $\beta_2 = 159^\circ 49' 45''$, $\beta_3 = 215^\circ 10' 25''$;

Jarak mendatar: $d_{A1} = 85$ m; $d_{12} = 90$ m; $d_{23} = 89$ m; $d_{3B} = 87$ m;

Hitung koordinat titik 1, 2, dan 3!

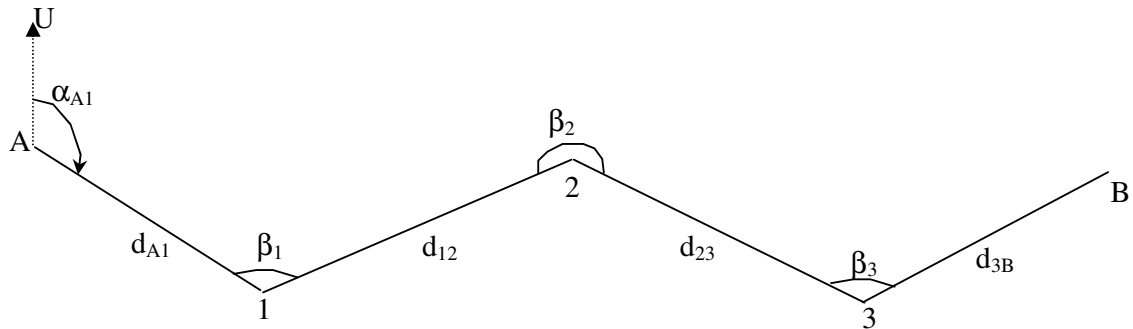
Solusi:

a. Karena letak sudut mendatar poligon terbuka terikat sempurna tersebut seperti diatas maka arah perhitungan adalah dari B ke A, sehingga sudut jurusan awal adalah α_{B3} sedangkan sudut jurusan akhir adalah $\alpha_{1A} = \alpha_{A1} + 180^\circ = 300^\circ 50' 30''$

b Untuk memudahkan perhitungan maka dibuat tabel sebagai berikut:

Titik	β_i Koreksi	α_{ij}	d_{ij} (meter)	$(d \sin \alpha)_{ij}$ Koreksi	$(d \cos \alpha)_{ij}$ Koreksi	X_i (meter)	Y_i (meter)
B						<u>450,000</u>	<u>120,000</u>
		<u>250° 25' 35''</u>	<u>87</u>	-81,972	-29,146		
3	<u>215° 10' 25''</u>			-4,864	-12,754	363,164	78,100
	+03' 25''	285° 39' 25''	<u>89</u>	-85,698	24,019		
2	<u>159° 49' 45''</u>			-4,975	-13,047	272,491	89,072
	+03' 25''	265° 32' 35''	<u>90</u>	-89,728	-6,994		
1	<u>215° 14' 30''</u>			-5,031	-13,194	177,732	68,884
	+03' 25''	300° 50' 30''	<u>85</u>	-72,980	43,577		
A				-4,752	-12,461	<u>100</u>	<u>100</u>
			$\Sigma d = 351$	$\Sigma d \sin \alpha = 330,378$	$\Sigma d \cos \alpha = -31,456$		
$\alpha_{AKHIR} - \alpha_{AWAL} = +50^\circ 24' 55''$ $\Sigma \beta_i = 590^\circ 14' 40''$ $\frac{\Sigma \beta_i}{n} = \frac{590^\circ}{3} = 196^\circ 40'$ $n \cdot 180^\circ = 540^\circ$ $f\alpha = 196^\circ 40' - 540^\circ = -343^\circ 20'$ $f\alpha = +0^\circ 10' 15''$ $Koreksi = \frac{1}{3} f\alpha = 0^\circ 03' 25''$				$X_{AKHIR} - X_{AWAL} = -350$ $\Sigma d \sin \alpha = -330,378$ $fx = \frac{-330,378}{3} = -110,126$ $Koreksi = \frac{d_i}{\Sigma d_i} fx = \frac{d_i}{351} (-110,126)$		$Y_{AKHIR} - Y_{AWAL} = -20,000$ $\Sigma d \cos \alpha = 31,455$ $fy = \frac{31,455}{3} = 10,485$ $Koreksi = \frac{d_i}{\Sigma d_i} fy = \frac{d_i}{351} (10,485)$	

11. Pada poligon terbuka (hanya diketahui 1 titik ikat saja yaitu titik A) berikut diketahui:



koordinat titik A (100,100) ; sudut jurusan $\alpha_{A1} = 120^\circ 50' 30''$

sudut mendatar:

$\beta_1 = 144^\circ 45' 30''$, $\beta_2 = 200^\circ 10' 15''$, $\beta_3 = 144^\circ 49' 35''$

Jarak mendatar: $d_{A1} = 85$ m; $d_{12} = 90$ m; $d_{23} = 89$ m; $d_{3B} = 87$ m

Hitung koordinat titik 1, 2, 3 dan B!

Solusi:

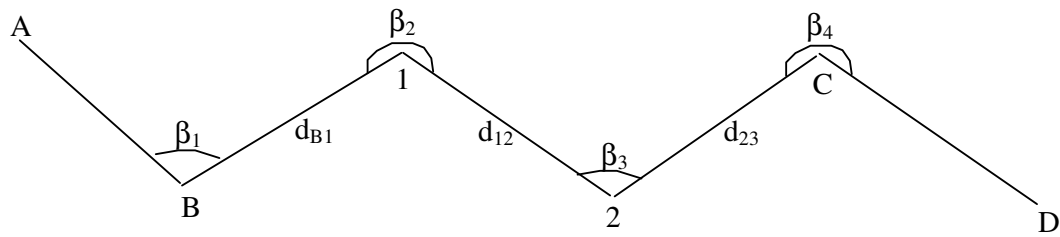
a. Suatu poligon terbuka yang hanya diketahui 1 titik ikat saja yaitu dalam hal ini titik A tidak ada koreksi (hitungan perataan) untuk sudut dan selisih jarak.

b. Untuk memudahkan perhitungan dibuat dalam bentuk tabel sebagai berikut:

Titik	β_i	α_{ij}	d_{ij} (m)	$(d \sin \alpha)_{ij}$	$(d \cos \alpha)_{ij}$	X_i (m)	Y_i (m)
A						<u>100</u>	<u>100</u>
		<u>$120^\circ 50' 30''$</u>	<u>85</u>	72,980	-43,577		
1	<u>$144^\circ 45' 30''$</u>					172,980	56,423
		$85^\circ 36' 00''$	<u>90</u>	89,735	6,905		
2	<u>$200^\circ 10' 15''$</u>					262,715	63,328
		$105^\circ 46' 15''$	<u>89</u>	85,650	-24,189		
3	<u>$144^\circ 49' 35''$</u>					348,365	39,139
		$70^\circ 35' 50''$	<u>87</u>	82,059	28,902		
B						430,424	68,041

Catatan: Bandingkan koordinat titik-titik 1, 2, 3 dan B dengan contoh soal poligon terbuka terikat sempurna

12. Pada poligon terbuka terikat sempurna (diketahui 4 titik ikat yaitu titik A, B, C dan D) diketahui:



koordinat titik A (100,100), B (150,25), C (420,80) dan D(470,5) ;

sudut mendatar:

$$\beta_1 = 157^\circ 06' 58'', \beta_2 = 200^\circ 15' 15'', \beta_3 = 157^\circ 07' 05'', \beta_4 = 205^\circ 30' 05'';$$

Jarak mendatar: $d_{B1} = 91$ m; $d_{12} = 89$ m; $d_{2C} = 90$ m;

Hitung koordinat titik 1 dan 2!

Solusi:

a. Hitung sudut jurusan α_{AB} dan α_{CD}

$$\Delta X_{AB} = X_B - X_A = 50\text{m}$$

Terletak di kwadran II

$$\Delta Y_{AB} = Y_B - Y_A = -75\text{m}$$

$$\alpha_{AB} = \tan^{-1} \left| \frac{-75}{50} \right|$$

$$\alpha_{AB} = 56^\circ 18' 35,76'' + 90^\circ = 146^\circ 18' 35,7''$$

$$\Delta X_{CD} = X_D - X_C = 50\text{m}$$

Terletak di kwadran II

$$\Delta Y_{CD} = Y_D - Y_C = -75\text{m}$$

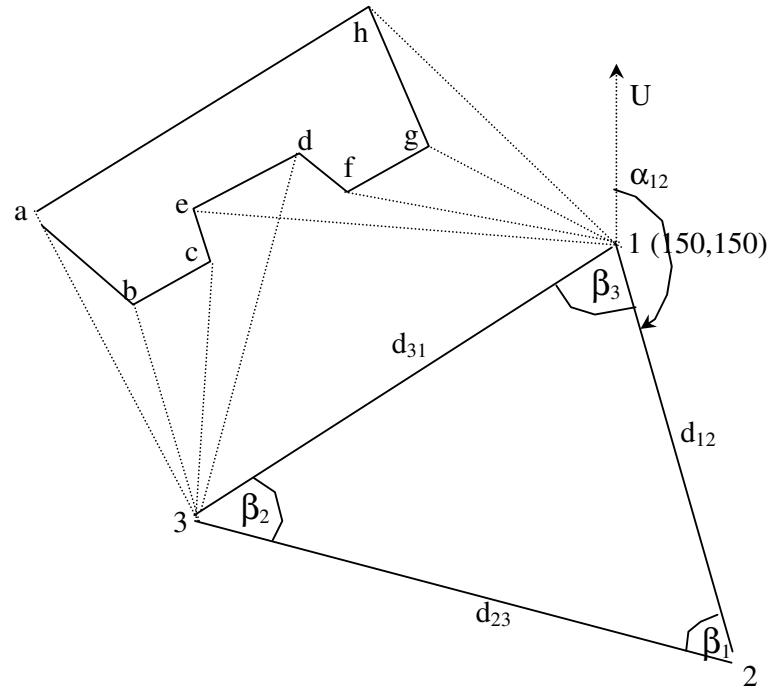
$$\alpha_{AB} = \tan^{-1} \left| \frac{-75}{50} \right|$$

$$\alpha_{AB} = 56^\circ 18' 35,76'' + 90^\circ = 146^\circ 18' 35,7''$$

b. Hitungan perataan untuk memperoleh koordinat titik 1 dan 2 dalam bentuk tabel:

Titik	β_i Koreksi	α_{ij}	d_{ij} (meter)	$(d \sin \alpha)_{ij}$ Koreksi	$(d \cos \alpha)_{ij}$ Koreksi	X_i (meter)	Y_i (meter)
A						<u>50,000</u>	<u>100,000</u>
		<u>146° 18' 35,7''</u>					
B	<u>157° 06' 58''</u>					<u>150,000</u>	<u>25,000</u>
	+09' 25''	123° 25' 42,9''	<u>91</u>	75,946	-50,132		
1	<u>200° 15' 15''</u>			+21,586	+75,138	247,532	50,006
	+09' 25''	143° 41' 7,2''	<u>89</u>	52,707	-71,714		
2	<u>157° 07' 05''</u>			+21,111	+73,487	321,350	51,779
	+09' 25''	120° 48' 21,4''	<u>90</u>	77,302	-46,092		
C	<u>205° 30' 05''</u>			+21,348	+74,313	<u>420</u>	<u>80</u>
	+09' 25''	<u>146° 18' 35,7''</u>					
D						<u>470</u>	<u>5</u>
			$\Sigma d = 270$	$\Sigma d \sin \alpha = 205,955$	$\Sigma d \cos \alpha = -167,938$		
$\alpha_{AKHIR} - \alpha_{AWAL} = 0^\circ 00' 00''$ $\Sigma \beta_i = 719^\circ 59' 23''$ $\text{-----} (-)$ $n. 180^\circ = 720^\circ$ $\text{-----} (+)$ $f\alpha = +0^\circ 00' 37''$ $\text{Koreksi} = \frac{1}{4} f\alpha = 0^\circ 00' 9,25''$				$X_{AKHIR} - X_{AWAL} = +270$ $\Sigma d \sin \alpha = +205,955$ $\text{-----} (-)$ $f_x = +64,045$ $\text{Koreksi} = \frac{d_i}{\Sigma d_i} f_x = \frac{d_i}{270} (64,045)$		$Y_{AKHIR} - Y_{AWAL} = -55$ $\Sigma d \sin \alpha = -167,938$ $\text{-----} (-)$ $f_x = 222,938$ $\text{Koreksi} = \frac{d_i}{\Sigma d_i} f_x = \frac{d_i}{270} (222,938)$	

13. Pada suatu pengukuran situasi dengan poligon tertutup untuk titik kerangka sebagai berikut:



Data poligon tertutup diketahui:

koordinat titik 1 (150,150) ; sudut jurusan $\alpha_{12} = 160^{\circ} 45' 40''$

sudut mendatar $\beta_1 = 59^{\circ} 59' 50''$, $\beta_2 = 59^{\circ} 59' 45''$, $\beta_3 = 59^{\circ} 59' 48''$

Jarak mendatar: $d_{12} = 85$ m; $d_{23} = 86$ m; $d_{31} = 84$ m

Data hasil pengukuran situasi diketahui:

a. Dari titik 1 ke titik-titik situasi

Sudut mendatar (dari arah utara) arah 1e = $300^{\circ} 10' 15''$ dan jarak mendatar 1e = 30m

Sudut mendatar (dari arah utara) arah 1f = $330^{\circ} 15' 25''$ dan jarak mendatar 1f = 25m

Sudut mendatar (dari arah utara) arah 1g = $340^{\circ} 56' 58''$ dan jarak mendatar 1g = 25m

Sudut mendatar (dari arah utara) arah 1h = $350^{\circ} 05' 48''$ dan jarak mendatar 1h = 45m

b. Dari titik 3 ke titik-titik situasi

Sudut mendatar (dihitung searah jarum jam dari arah titik 3 ke masing-masing titik situasi),

arah 3a = $290^{\circ} 15' 10''$ dan jarak mendatar 3a = 40m

arah 3b = $300^{\circ} 10' 25''$ dan jarak mendatar 3b = 25m

arah 3c = $310^{\circ} 15' 30''$ dan jarak mendatar 3c = 25m

arah 3d = $340^{\circ} 20' 10''$ dan jarak mendatar 3d = 30m

Tentukan koordinat titik kerangka 1 dan 2 serta koordinat titik-titik situasi (detail) a, b, c, d, e, f, g dan h!

Solusi:

- a. Hitungan penentuan koordinat dilakukan dalam 2 tahap yaitu hitungan perataan untuk titik kerangka 1, 2 dan 3 karena merupakan poligon tertutup. Setelah diperoleh titik 2 dan 3 yang benar barulah pada tahap kedua dihitung koordinat (X,Y) masing-masing titik situasinya. Untuk titik-titik situasi tidak perlu dilakukan hitungan perataan karena hanya diikat dari 1 titik ikat saja.
- b. Tahap pertama adalah penentuan koordinat titik 2 dan 3 yang akan digunakan sebagai titik kerangka pemetaan. Sebelum melakukan perhitungan kita perhatikan kembali arah perhitungan 1-2-3-1 dan letak sudut mendatarnya (β_i), sebagai contoh: $\alpha_{23} = \alpha_{12} + (360^\circ - \beta_1) - 180^\circ$, maka setiap sudut mendatar yang dimasukkan ke dalam tabel adalah hasil dari $(360^\circ - \beta_1)$. Sudut mendatar dalam hal ini dianggap sudut luar (angka yang digarisbawahi merupakan data yang diketahui).
- c. Tahap kedua adalah penentuan titik-titik situasi. Untuk perhitungan koordinat titik situasi tidak dilakukan hitungan perataan. Jika pada saat pengukuran di lapangan 1 titik situasi diukur dari 2 titik kerangka maka hal ini dapat dijadikan sebagai kontrol hitungan (hasil perhitungan koordinat 1 titik situasi dari 1 titik kerangka haruslah sama dengan yang dihitung dari 1 titik kerangka yang lainnya. Dalam contoh disini 1 titik situasi hanya diukur dari 1 titik kerangka. Titik-titik situasi a,b,c dan d dihitung dari titik kerangka 3 dan titik-titik situasi e,f,g,dan h dihitung dari titik kerangka 1).

Titik	β_i Koreksi	α_{ij}	d_{ij} (meter)	$(d \sin \alpha)_{ij}$ Koreksi	$(d \cos \alpha)_{ij}$ Koreksi	X_i (meter)	Y_i (meter)
1						<u>150</u>	<u>150</u>
		<u>160° 45' 40''</u>	<u>85</u>	28,008	-80,253		
2	<u>300° 00' 10''</u>			+0,545	0,191	178,553	69,938
	-12,33''	280° 45' 37,6''	<u>86</u>	-84,488	16,056		
3	<u>300° 00' 15''</u>			+0,552	0,193	94,617	86,187
	-12,33''	40° 45' 40,34''	<u>84</u>	54,844	63,625		
1	<u>300° 00' 12''</u>			+0,539	0,188	<u>150</u>	<u>150</u>
	-12,33''						
			$\Sigma d = 255$	$\Sigma d \sin \alpha = -1,636$	$\Sigma d \cos \alpha = -0,572$		
$\Sigma \beta_i = 900^\circ 00' 37''$ $(n+2) 180^\circ = 900^\circ$ $\frac{\quad}{\quad} (-)$ $f\alpha = +0^\circ 00' 37''$				$f_x = \Sigma d \sin \alpha = -1,636$ $Koreksi = \frac{d_i}{\Sigma d_i} f_x = \frac{d_i}{255} (+1,636)$			
$Koreksi = \frac{1}{3} f\alpha = -0^\circ 00' 12,33''$				$f_y = \Sigma d \cos \alpha = -0,572$ $Koreksi = \frac{d_i}{\Sigma d_i} f_y = \frac{d_i}{255} (+0,572)$			

d. Dari titik kerangka 1

Sudut mendatar dari titik 1 ke masing-masing titik-titik situasi diukur dari arah utara sehingga merupakan sudut jurusan dari titik 1 ke titik-titik situasi

$$X_e = X_1 + (d \sin \alpha)_{1e} = 150 + (30. \sin 300^\circ 10' 15'') = 124,004 \text{ meter}$$

$$Y_e = Y_1 + (d \cos \alpha)_{1e} = 150 + (30. \cos 300^\circ 10' 15'') = 165,007 \text{ meter}$$

$$X_f = X_1 + (d \sin \alpha)_{1f} = 150 + (25. \sin 330^\circ 15' 25'') = 137,597 \text{ meter}$$

$$Y_f = Y_1 + (d \cos \alpha)_{1f} = 150 + (25. \cos 330^\circ 15' 25'') = 171,706 \text{ meter}$$

$$X_g = X_1 + (d \sin \alpha)_{1g} = 150 + (25. \sin 340^\circ 56' 58'') = 141,840 \text{ meter}$$

$$Y_g = Y_1 + (d \cos \alpha)_{1g} = 150 + (25. \cos 340^\circ 56' 58'') = 173,631 \text{ meter}$$

$$X_h = X_1 + (d \sin \alpha)_{1h} = 150 + (45. \sin 350^\circ 05' 48'') = 142,261 \text{ meter}$$

$$Y_h = Y_1 + (d \cos \alpha)_{1h} = 150 + (45. \cos 350^\circ 05' 48'') = 194,329 \text{ meter}$$

e. Dari titik kerangka 3. Sudut mendatar (β_{31i}) dari titik 3 ke masing-masing titik situasi diukur dari arah titik 3 searah jarum jam. Untuk memperoleh sudut jurusan

α_{3i} maka $\alpha_{3i} = \alpha_{31} + \beta_{31i} - 180^\circ$ (i = nomor titik situasi) sehingga:

$$\alpha_{3a} = \alpha_{31} + \beta_{31a} = 40^\circ 45' 40,34'' + 290^\circ 15' 10'' = 331^\circ 00' 50,34''$$

$$\alpha_{3b} = \alpha_{31} + \beta_{31b} = 40^\circ 45' 40,34'' + 300^\circ 10' 25'' = 340^\circ 56' 5,34''$$

$$\alpha_{3c} = \alpha_{31} + \beta_{31c} = 40^\circ 45' 40,34'' + 310^\circ 15' 30'' = 351^\circ 01' 10,34''$$

$$\alpha_{3d} = \alpha_{31} + \beta_{31d} = 40^\circ 45' 40,34'' + 340^\circ 20' 10'' = 381^\circ 05' 50,34''$$

Koordinat titik-titik situasi adalah:

$$X_a = X_3 + (d \sin \alpha)_{3e} = 94,617 + (40. \sin 331^\circ 00' 50,34'') = 75,233 \text{ meter}$$

$$Y_a = Y_3 + (d \cos \alpha)_{3e} = 86,187 + (40. \cos 331^\circ 00' 50,34'') = 121,176 \text{ meter}$$

$$X_b = X_3 + (d \sin \alpha)_{3f} = 94,617 + (25. \sin 340^\circ 56' 5,34'') = 86,451 \text{ meter}$$

$$Y_b = Y_3 + (d \cos \alpha)_{3f} = 86,187 + (25. \cos 340^\circ 56' 5,34'') = 109,816 \text{ meter}$$

$$X_c = X_3 + (d \sin \alpha)_{3g} = 94,617 + (25. \sin 351^\circ 01' 10,34'') = 90,714 \text{ meter}$$

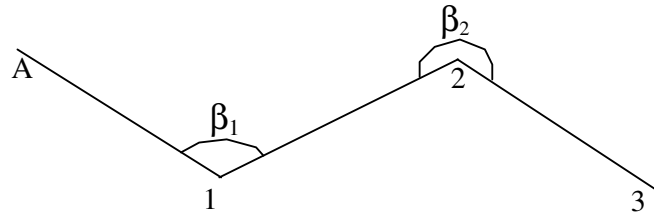
$$Y_c = Y_3 + (d \cos \alpha)_{3g} = 86,187 + (25. \cos 351^\circ 01' 10,34'') = 110,880 \text{ meter}$$

$$X_d = X_3 + (d \sin \alpha)_{3h} = 94,617 + (30. \sin 381^\circ 01' 10,34'') = 105,377 \text{ meter}$$

$$Y_d = Y_3 + (d \cos \alpha)_{3h} = 86,187 + (30. \cos 381^\circ 01' 10,34'') = 114,191 \text{ meter}$$

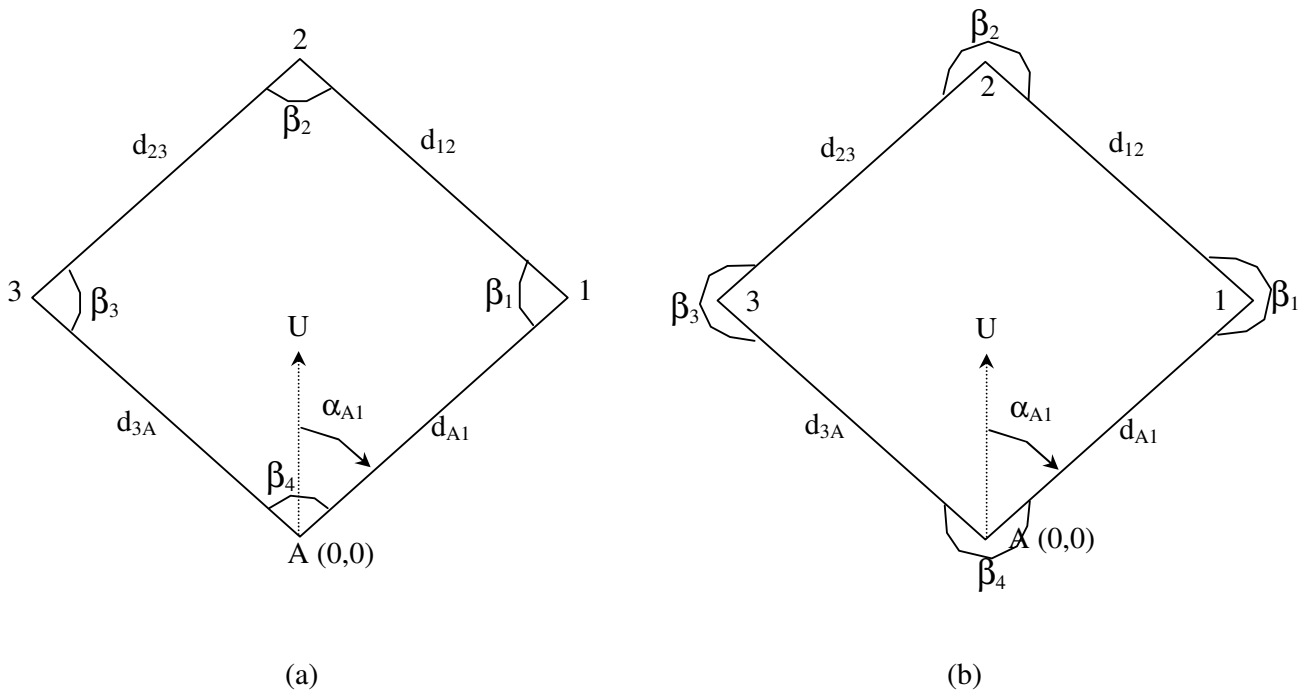
Catatan: penentuan sudut mendatar (β_{31a}) luar dan dalam suatu poligon.

Marilah kita lihat aturan berikut ini:



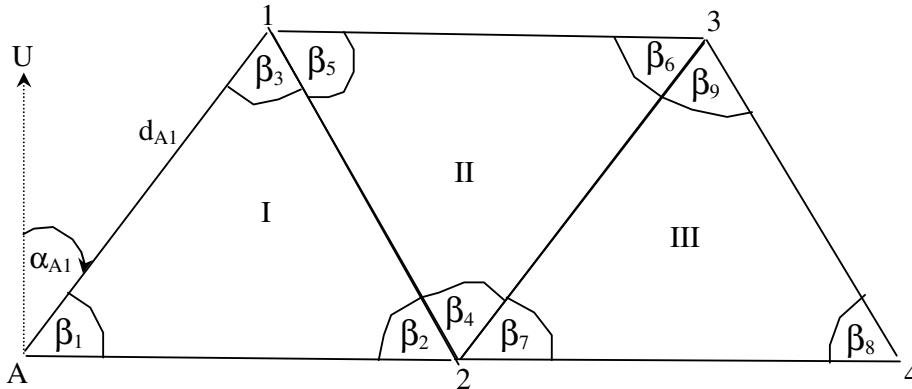
$\alpha_{AKHIR} = \alpha_{AWAL} + \Sigma\beta - n \cdot 180^\circ$ dalam contoh ini maka sudut jurusan akhir adalah α_{23} yaitu $\alpha_{23} = \alpha_{A1} + \beta_1 + \beta_2 - 2 \cdot (180^\circ)$. Perhatikan arah perhitungan dari kiri ke kanan dengan letak sudut mendatar (di sebelah kiri rute jika kita mengikuti rute pengukuran arah A-1-2-3).

Sekarang kita lihat 2 contoh poligon tertutup yaitu:



Arah pengukuran sama pada kedua poligon yaitu dari titik A-1-2-3-A. Pada poligon sebelah kiri (a) sudut jurusan $\alpha_{12} = \alpha_{A1} + \beta_1 - 180^\circ$ sedangkan pada poligon sebelah kanan (b) sudut jurusan $\alpha_{12} = \alpha_{A1} + (360^\circ - \beta_1) - 180^\circ$. Pada contoh (a) β_1 adalah sudut dalam sedangkan pada contoh (b) β_1 adalah sudut luar.

14. Suatu rangkaian segitiga triangulasi sebagai berikut:



Diketahui:

Koordinat titik A (100,100);

Sudut jurusan A ke 1 $\alpha_{A1} = 45^\circ 15' 15''$;

Jarak dari A ke 1 $d_{A1} = 155\text{m}$;

Sudut-sudut dalam jaring triangulasi:

$$\beta_1 = 59^\circ 59' 05'', \beta_2 = 59^\circ 58' 56'', \beta_3 = 59^\circ 59' 25'',$$

$$\beta_4 = 59^\circ 59' 27'', \beta_5 = 59^\circ 59' 35'', \beta_6 = 59^\circ 59' 36'',$$

$$\beta_7 = 59^\circ 59' 40'', \beta_8 = 59^\circ 59' 45'', \beta_9 = 59^\circ 59' 50''$$

Hitung koordinat titik 1, 2, 3 dan 4!

Solusi:

a. Karena dalam pengukuran sudut mendatar (β_i) dihindangi oleh kesalahan maka jumlah sudut-sudut dalam setiap segitiga tidak berjumlah 180° , sehingga harus diberi koreksi $\frac{1}{3}W$ dimana W adalah kesalahan penutup (koreksi = - kesalahan penutup).

Contoh untuk segitiga I $W_I = (\beta_1 + \beta_2 + \beta_3) - 180^\circ$, jadi:

$$W_I = (\beta_1 + \beta_2 + \beta_3) - 180^\circ = (59^\circ 59' 05'' + 59^\circ 58' 56'' + 59^\circ 59' 25'') - 180^\circ = -0^\circ 02' 34''$$

$$W_{II} = (\beta_4 + \beta_5 + \beta_6) - 180^\circ = (59^\circ 59' 27'' + 59^\circ 59' 35'' + 59^\circ 59' 36'') - 180^\circ = -0^\circ 01' 22''$$

$$W_{III} = (\beta_7 + \beta_8 + \beta_9) - 180^\circ = (59^\circ 59' 40'' + 59^\circ 59' 45'' + 59^\circ 59' 50'') - 180^\circ = -0^\circ 00' 45''$$

$$\text{segitiga I} \rightarrow \text{koreksi } \frac{1}{3} (+02' 34'') = +51,33'';$$

$$\text{segitiga II} \rightarrow \text{koreksi } \frac{1}{3} (+01' 22'') = +27,33'';$$

$$\text{segitiga III} \rightarrow \text{koreksi } \frac{1}{3} (+45'') = +15'';$$

Hitung sudut mendatar yang benar (β_i):

$$\beta_1 = \beta_1 + \text{koreksi} = 59^\circ 59' 05'' + 51,33'' = 59^\circ 59' 56,33''$$

$$\beta_2 = \beta_2 + \text{koreksi} = 59^\circ 58' 56'' + 51,34'' = 59^\circ 59' 47,34''$$

$$\beta_3 = \beta_3 + \text{koreksi} = 59^\circ 59' 25'' + 51,33'' = 60^\circ 00' 16,33''$$

$$\beta_4 = \beta_4 + \text{koreksi} = 59^\circ 59' 27'' + 27,34'' = 59^\circ 59' 54,34''$$

$$\beta_5 = \beta_5 + \text{koreksi} = 59^\circ 59' 35'' + 27,33'' = 60^\circ 00' 2,33''$$

$$\beta_6 = \beta_6 + \text{koreksi} = 59^\circ 59' 36'' + 27,33'' = 60^\circ 00' 3,33''$$

$$\beta_7 = \beta_7 + \text{koreksi} = 59^\circ 59' 40'' + 15'' = 59^\circ 59' 55''$$

$$\beta_8 = \beta_8 + \text{koreksi} = 59^\circ 59' 45'' + 15'' = 60^\circ 00' 00''$$

$$\beta_9 = \beta_9 + \text{koreksi} = 59^\circ 59' 50'' + 15'' = 60^\circ 00' 05''$$

c. Jika koordinat titik 1, 2, 3 dan 4 akan dihitung dengan cara poligon tertutup A-1-3-

4-2-A maka sudut jurusan α_{13} , α_{34} , α_{42} , dan α_{2A} harus dihitung terlebih dahulu.

$$\alpha_{13} = \alpha_{A1} + (360^\circ - (\beta_3 + \beta_5)) - 180^\circ = 45^\circ 15' 15'' + (360^\circ - 120^\circ 00' 18,66'') - 180^\circ$$

$$\alpha_{13} = 105^\circ 14' 56,3''$$

$$\alpha_{34} = \alpha_{13} + (360^\circ - (\beta_6 + \beta_9)) - 180^\circ = 105^\circ 14' 56,3'' + (360^\circ - 120^\circ 00' 8,33'') - 180^\circ$$

$$\alpha_{34} = 165^\circ 14' 47,9''$$

$$\alpha_{42} = \alpha_{34} + (360^\circ - \beta_8) - 180^\circ = 165^\circ 14' 47,9'' + (360^\circ - 60^\circ 00' 00'') - 180^\circ$$

$$\alpha_{42} = 285^\circ 14' 47,9''$$

$$\alpha_{2A} = \alpha_{42} + (360^\circ - (\beta_2 + \beta_4 + \beta_7)) - 180^\circ = 285^\circ 14' 47,9'' + (360^\circ - 179^\circ 59' 36,7'') - 180^\circ$$

$$\alpha_{2A} = 285^\circ 15' 11,2''$$

d. Hitungan jarak. Jarak-jarak yang diperlukan adalah d_{13} , d_{34} , d_{42} , dan d_{2A} ,

$$d_{2A} = \frac{d_{A1}}{\sin \beta_2} \cdot \sin \beta_3 ; d_{2A} = 155,012 \text{ meter}$$

$$d_{13} = \frac{d_{12}}{\sin \beta_6} \cdot \sin \beta_4$$

$$d_{13} = \frac{d_{A1}}{\sin \beta_2} \cdot \sin \beta_1 \cdot \frac{\sin \beta_4}{\sin \beta_6} ; d_{13} = 155,000 \text{ meter}$$

$$d_{34} = \frac{d_{23}}{\sin \beta_8} \cdot \sin \beta_7$$

$$d_{34} = \frac{d_{13}}{\sin \beta_4} \cdot \sin \beta_5 \cdot \frac{\sin \beta_7}{\sin \beta_8} ; d_{34} = 155,001 \text{ meter}$$

$$d_{42} = \frac{d_{34}}{\sin \beta_7} \cdot \sin \beta_9 ; d_{42} = 155,005 \text{ meter}$$

e. Hitungan koordinat

$$X_1 = X_A + (d \sin \alpha)_{A1} = 210,087 \text{ meter}$$

$$Y_1 = Y_A + (d \cos \alpha)_{A1} = 209,114 \text{ meter}$$

$$X_3 = X_1 + (d \sin \alpha)_{13} = 359,630 \text{ meter}$$

$$Y_3 = Y_1 + (d \cos \alpha)_{13} = 168,347 \text{ meter}$$

$$X_4 = X_3 + (d \sin \alpha)_{34} = 399,102 \text{ meter}$$

$$Y_4 = Y_3 + (d \cos \alpha)_{34} = 18,456 \text{ meter}$$

$$X_2 = X_4 + (d \sin \alpha)_{42} = 249,553 \text{ meter}$$

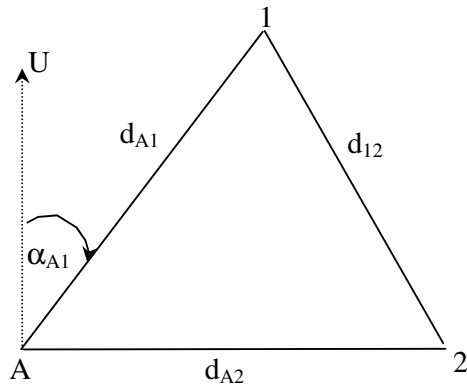
$$Y_2 = Y_4 + (d \cos \alpha)_{42} = 59,218 \text{ meter}$$

Kontrol hitungan:

$$X_A = X_2 + (d \sin \alpha)_{2A} = 100 \text{ meter}$$

$$Y_A = Y_2 + (d \cos \alpha)_{2A} = 100 \text{ meter}$$

15. Suatu pengukuran trilaterasi sebagai berikut:



Diketahui:

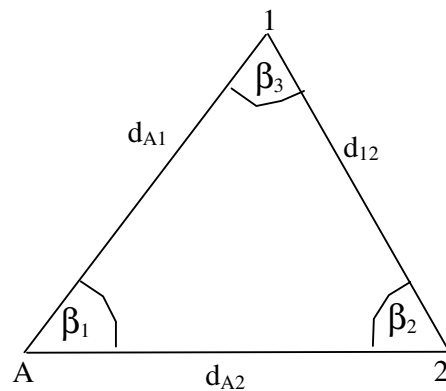
Koordinat titik A (100,100); Sudut jurusan A ke 1 $\alpha_{A1} = 45^\circ 15' 15''$;

Jarak dari A ke 1 $d_{A1} = 155$ m, $d_{A2} = 155,012$ m, $d_{12} = 155,004$ m;

Hitung koordinat titik 1 dan 2!

Solusi:

a. Dengan rumus cosinus hitung setiap sudut dalam segitiga:



$$\cos \beta_1 = \frac{d_{12}^2 - d_{A1}^2 - d_{A2}^2}{2d_{A1} d_{A2}} ; \beta_1 = 59^\circ 59' 56,93''$$

$$\cos \beta_2 = \frac{d_{A1}^2 - d_{12}^2 - d_{A2}^2}{2d_{12} d_{A2}} ; \beta_2 = 59^\circ 59' 47,71''$$

$$\cos \beta_3 = \frac{d_{A2}^2 - d_{A1}^2 - d_{12}^2}{2d_{A1} d_{12}} ; \beta_3 = 60^\circ 00' 43,01''$$

Aturan sudut dalam segitiga $\beta_1 + \beta_2 + \beta_3 = 180^\circ 00' 00''$, jika tidak dipenuhi maka harus diberi koreksi $\frac{1}{3}W$ dimana W adalah kesalahan penutup yaitu:

$$W = \beta_1 + \beta_2 + \beta_3 - 180^\circ 00' 00'' = +27,65''$$

Ingat bahwa koreksi = $-W$ sehingga koreksi yang harus diberikan pada tiap-tiap sudut adalah sebesar $\frac{1}{3}(-27,65'') = -9,22''$

$$\underline{\beta}_1 = 59^\circ 59' 56,93'' - 9,22'' = 59^\circ 59' 47,71'';$$

$$\underline{\beta}_2 = 59^\circ 59' 47,71'' - 9,21'' = 59^\circ 59' 38,50'';$$

$$\underline{\beta}_3 = 60^\circ 00' 43,01'' - 9,22'' = 60^\circ 00' 33,79'';$$

b. Hitung sudut jurusan:

$$\alpha_{A2} = \alpha_{A1} + \underline{\beta}_1 = 45^\circ 15' 15'' + 59^\circ 59' 47,71'' = 105^\circ 15' 2,71''$$

$$\alpha_{12} = \alpha_{A1} + (360^\circ - \underline{\beta}_3) - 180^\circ = 165^\circ 14' 41,2''$$

d. Hitung koordinat:

$$X_1 = X_A + (d \sin \alpha)_{A1} = 210,087 \text{ meter}$$

$$Y_1 = Y_A + (d \cos \alpha)_{A1} = 209,114 \text{ meter}$$

$$X_2 = X_1 + (d \sin \alpha)_{12} = 249,565 \text{ meter}$$

$$Y_2 = Y_1 + (d \cos \alpha)_{12} = 59,222 \text{ meter}$$

Kontrol hitungan:

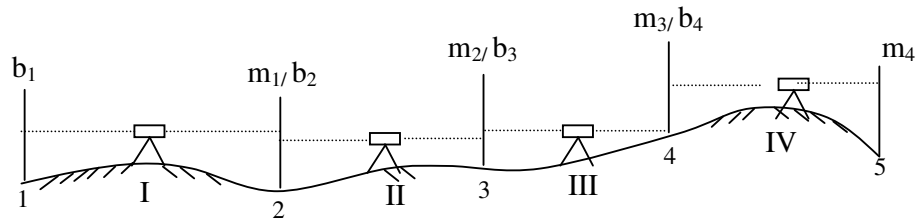
$$\alpha_{2A} = \alpha_{A2} + 180^\circ = 285^\circ 15' 2,71''$$

$$X_A = X_2 + (d \sin \alpha)_{2A} = 100 \text{ meter}$$

$$Y_A = Y_2 + (d \cos \alpha)_{2A} = 100 \text{ meter}$$

X.2. Pengukuran Vertikal

1. Diketahui titik 1 mempunyai ketinggian 1000 meter dari muka air laut rata-rata, maka **tentukan tinggi titik 3 & 5** dari bacaan benang tengah sipat datar dibawah ini:



Slag	Bacaan rambu belakang (b)	Bacaan rambu muka (m)
I	BT = 2,515 m	BT = 1,750 m
II	BT = 1,505 m	BT = 2,015 m
III	BT = 2,435 m	BT = 1,515 m
IV	BT = 1,675 m	BT = 1,060 m

Solusi:

Beda tinggi antara titik 1 dan 3 adalah:

$$\Delta h_{13} = \sum b_{13} - \sum m_{13} = (b_1 + b_2) - (m_1 + m_2) = (2,515 + 1,505) - (1,750 + 2,015)$$

$$\Delta h_{13} = 0,255 \text{ meter}$$

Jika titik 1 = 1000 meter maka titik 3 adalah 1000,255 meter

Beda tinggi antara titik 1 dan 5 adalah:

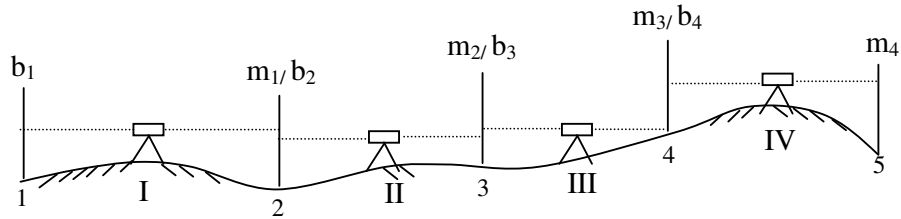
$$\Delta h_{15} = \sum b_{15} - \sum m_{15} = (b_1 + b_2 + b_3 + b_4) - (m_1 + m_2 + m_3 + m_4)$$

$$\Delta h_{15} = (8,130 - 6,340) \text{ meter}$$

$$\Delta h_{15} = 1,790 \text{ meter}$$

Jika titik 1 = 1000 meter maka titik 5 adalah 1001,790 meter

2. Diketahui titik 1 mempunyai ketinggian 1000 meter dari muka air laut rata-rata, maka **tentukan tinggi titik 3 & 5** dari bacaan benang tatas (BA) dan benang bawah (BB) alat sipat datar dibawah ini:



Slag	Bacaan rambu belakang (b)	Bacaan rambu muka (m)
I	BB = 1,755 m BA = 1,745 m	BB = 2,520 m BA = 2,510 m
II	BB = 2,120 m BA = 2,110 m	BB = 1,460 m BA = 1,450 m
III	BB = 2,110 m BA = 2,100 m	BB = 1,325 m BA = 1,315 m
IV	BB = 1,225 m BA = 1,215 m	BB = 1,750 m BA = 1,740 m

Solusi:

Untuk memperoleh beda tinggi maka yang digunakan adalah bacaan benang tengah.

Untuk kasus seperti diatas maka $BT = \frac{BA + BB}{2}$, sehingga dalam bentuk tabel:

Slag	Bacaan rambu belakang (b)	Bacaan rambu muka (m)
I	BT = 1,750 m	BT = 2,515 m
II	BT = 2,115 m	BT = 1,455 m
III	BT = 2,105 m	BT = 1,320 m
IV	BT = 1,220 m	BT = 1,745 m

Beda tinggi antara titik 1 dan 3 adalah:

$$\Delta h_{13} = \sum b_{13} - \sum m_{13} = (b_1 + b_2) - (m_1 + m_2) = (1,750 + 2,115) - (2,515 + 1,455)$$

$$\Delta h_{13} = -0,105 \text{ meter}$$

Jika titik 1 = 1000 meter maka titik 3 adalah 999,895 meter

Beda tinggi antara titik 1 dan 5 adalah:

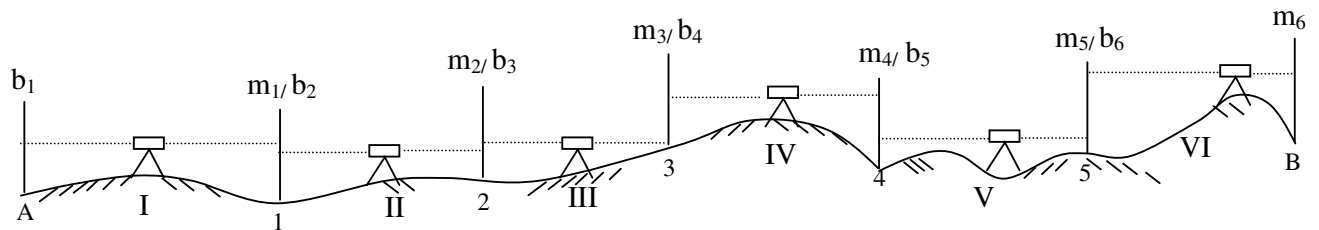
$$\Delta h_{15} = \sum b_{15} - \sum m_{15} = (b_1 + b_2 + b_3 + b_4) - (m_1 + m_2 + m_3 + m_4)$$

$$\Delta h_{15} = (7,190 - 7,035) \text{ meter}$$

$$\Delta h_{13} = 0,155 \text{ meter}$$

Jika titik 1 = 1000 meter maka titik 5 adalah 1000,155 meter

3. Dari pengukuran sipat data memanjang diketahui



Data hasil pengukuran diberikan pada tabel, hitung tinggi masing-masing tinggi titik 2, 3, 4, 5, dan 6 jika diketahui titik A dan B mempunyai elevasi (ketinggian) yaitu:

$$H_A = 725,421 \text{ m dan } H_B = 728,901 \text{ m}$$

Solusi:

a. Karena titik-titik A dan titik B diketahui tingginya maka harus dilakukan hitungan perataan untuk memperoleh ketinggian titik 1 sampai dengan titik 5 yang benar yaitu dengan memberikan koreksi kepada setiap seksi (I-VI).

b. Koreksi = $\frac{1}{n} W$ dimana:

n = Jumlah seksi yang ada

W = Salah penutup tinggi = $h_{AB} - \underline{h}_{AB}$

h_{AB} = $\sum h_i$; \underline{h}_{AB} = $H_B - H_A$

$$\underline{h}_{AB} = 728,901 - 725,421 = 3,480 \text{ m}$$

$$h_{AB} = \sum b_i - \sum m_i = 3,468$$

$$W = h_{AB} - \underline{h}_{AB} = 3,480 - 3,468 = -0,012 \text{ m}$$

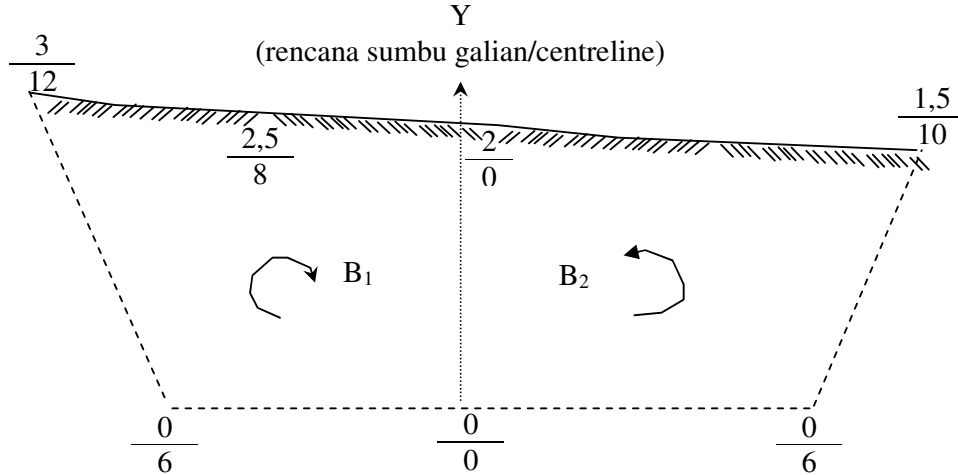
$$\text{koreksi} = \frac{1}{n} W = \frac{1}{6} (+0,012) = 0,002 \text{ m (ingat jika } W = - \text{ maka koreksi +)}$$

Tabel yang memuat hasil pengukuran (angka diberi garis bawah) dan perhitungan adalah sebagai berikut:

Titik	Hasil Ukuran		Perhitungan			
	Pembacaan rambu		h_i	koreksi	\underline{h}_i	H_i
	(b_i)	(m_i)	($h_i - m_i$)			($h_i + \text{koreksi}$)
A						<u>725,421</u>
	<u>1,426 m</u>	<u>0,528 m</u>	0,898	0,002	+0,900	
1						726,321
	<u>0,795 m</u>	<u>2,282 m</u>	-1,487	0,002	-1,485	
2						724,836
	<u>1,723 m</u>	<u>0,389 m</u>	1,334	0,002	1,336	
3						726,172
	<u>2,268 m</u>	<u>0,864 m</u>	1,404	0,002	1,406	
4						727,578
	<u>1,725 m</u>	<u>0,430 m</u>	1,295	0,002	1,297	
5						728,875
	<u>1,002 m</u>	<u>0,978 m</u>	0,024	0,002	0,026	
B						<u>728,901</u>

X.3. Perhitungan Luas dan Volume

1. Dari suatu penampang galian diketahui jarak dan tinggi titik-titik dari rencana sumbu sebagai berikut:



Hitung luas penampang galian tersebut!

Solusi:

Susunan X dan Y untuk bidang sebelah kiri (B_1) mengikuti putaran jarum jam dan sebelah kanan (B_2) dengan arah berlawanan jarum jam.

Untuk sebelah kiri (B_1):

$$\frac{Y}{X} \rightarrow \frac{0}{0} \times \frac{0}{6} \times \frac{3}{12} \times \frac{2,5}{8} \times \frac{2}{0} \times \frac{0}{0}$$

$$\text{Luas } 2B_1 = 0 + 18 + 30 + 16 + 0 - (0 + 0 + 24 + 0 + 0) = 40\text{m}^2$$

$$\text{Luas } B_1 = 20\text{m}^2$$

Untuk sebelah kanan (B_2):

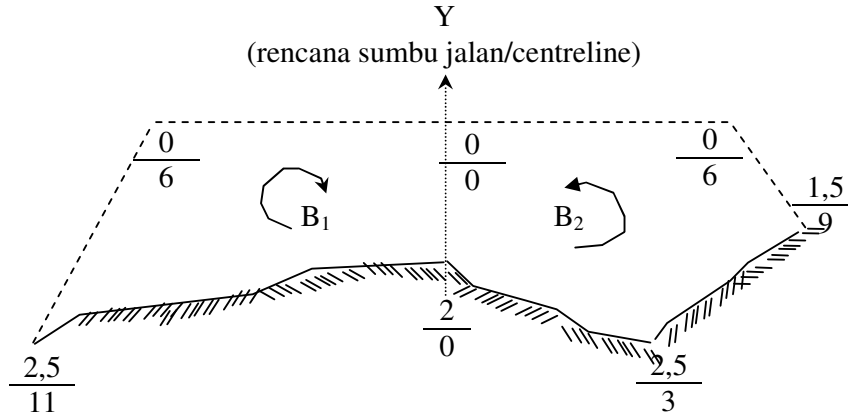
$$\frac{Y}{X} \rightarrow \frac{0}{0} \times \frac{0}{6} \times \frac{1,5}{10} \times \frac{2}{0} \times \frac{0}{0}$$

$$\text{Luas } 2B_2 = 0 + 9 + 20 + 0 - (0 + 0 + 0 + 0) = 29\text{m}^2$$

$$\text{Luas } B_2 = 14,5\text{m}^2$$

Jadi Luas penampang galian adalah $B_1 + B_2 = 20 + 14,5 = 34,5 \text{ m}^2$

2. Diketahui suatu penampang timbunan dengan jarak dan tinggi titik-titik dari rencana sumbu sebagai berikut:



Hitung luas penampang timbunan tersebut!

Solusi:

Untuk sebelah kiri (B_1):

$$\frac{Y}{X} \rightarrow \frac{0}{0} \times \frac{2}{0} \times \frac{2,5}{11} \times \frac{0}{6} \times \frac{0}{0}$$

$$\text{Luas } 2B_1 = 0 + 0 + 0 + 0 - (0 + 22 + 15 + 0) = -37\text{m}^2$$

$$\text{Luas } B_1 = -18,5\text{m}^2$$

Untuk sebelah kanan (B_2):

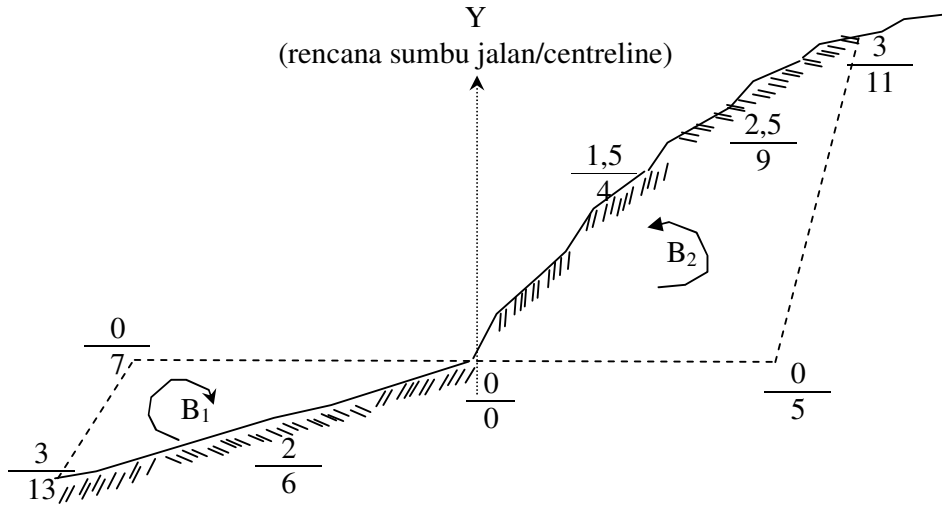
$$\frac{Y}{X} \rightarrow \frac{0}{0} \times \frac{2}{0} \times \frac{2,5}{3} \times \frac{1,5}{9} \times \frac{0}{6} \times \frac{0}{0}$$

$$\text{Luas } 2B_2 = 0 + 0 + 4,5 + 0 + 0 - (0 + 6 + 22,5 + 9 + 0) = -33\text{m}^2$$

$$\text{Luas } B_2 = -16,5\text{m}^2$$

Jadi Luas penampang galian adalah $B_1 + B_2 = -18,5 - 16,5 = -35 \text{ m}^2$
(tanda – artinya diperlukan tanah sebesar 35 m^2)

3. Dari suatu rencana penampang galian dan timbunan di lereng gunung diketahui jarak dan tinggi titik-titik dari rencana sumbu sebagai berikut:



Hitung luas penampang galian (B_2) dan timbunan (B_1) tersebut!

Solusi:

Untuk timbunan (B_1):

$$\frac{Y}{X} \rightarrow \frac{0}{0} \times \frac{2}{6} \times \frac{3}{13} \times \frac{0}{7} \times \frac{0}{0}$$

$$\text{Luas } 2B_1 = 0 + 18 + 0 + 0 - (0 + 26 + 21 + 0) = -29\text{m}^2$$

$$\text{Luas } B_1 = -14,5\text{m}^2$$

Untuk galian (B_2):

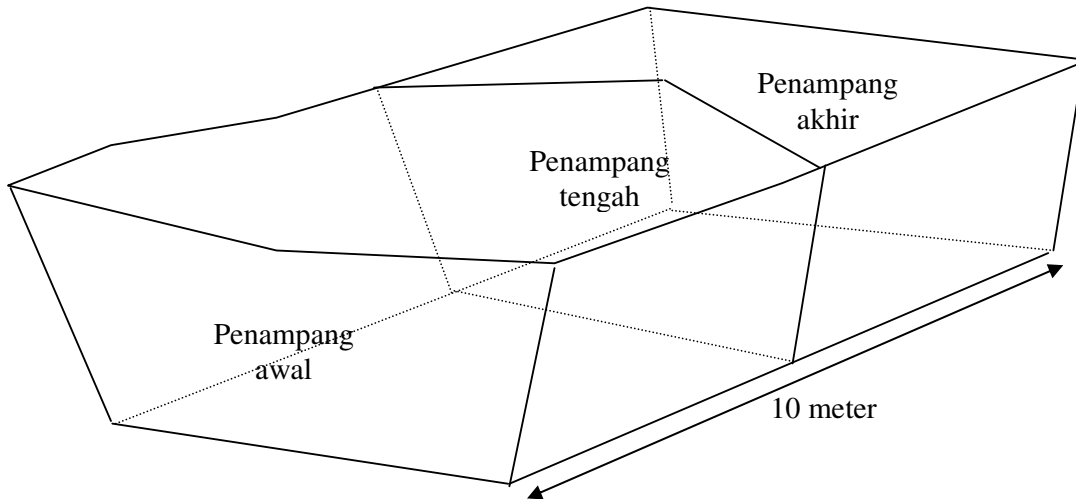
$$\frac{Y}{X} \rightarrow \frac{0}{0} \times \frac{0}{5} \times \frac{3}{11} \times \frac{2,5}{9} \times \frac{1,5}{4} \times \frac{0}{0}$$

$$\text{Luas } 2B_2 = 0 + 15 + 27,5 + 13,5 - (0 + 0 + 27 + 10 + 0) = 19\text{m}^2$$

$$\text{Luas } B_2 = 9,5\text{m}^2$$

Jadi Luas penampang galian dan timbunan berturut-turut adalah $9,5\text{m}^2$ dan $-14,5\text{m}^2$ (tanda – artinya diperlukan tanah sebesar $14,5 \text{ m}^2$)

4. Hitung volume galian dari sketsa dibawah ini:



Diketahui luas

$$\text{penampang awal} = 107,5 \text{ m}^2$$

$$\text{penampang tengah} = 127,5 \text{ m}^2$$

$$\text{penampang akhir} = 135,5 \text{ m}^2$$

Solusi:

- a. Volume galian dengan volume prismoidal (V_p)

$$V_p = \left(\frac{10}{6} \text{ m}\right) (107,5 \text{ m}^2 + 4(127,5) \text{ m}^2 + 135,5 \text{ m}^2) = 1255 \text{ m}^3$$

- b. Volume galian dengan volume end area (V_a)

Jika akan dihitung dengan volume end area maka yang diperhitungkan hanya penampang awal dan akhir saja.

$$V_a = \frac{1}{2} (10 \text{ m}) (107,5 \text{ m}^2 + 135,5 \text{ m}^2) = 1215 \text{ m}^3$$

DAFTAR PUSTAKA

1. Abidin, H.Z, (1995), *Penentuan Posisi dengan GPS dan Aplikasinya*, PT Pradnya Paramita, Jakarta.
2. Abidin, H.Z, Jones, A, Kahar, J, (1995), *Survei dengan GPS*, PT Pradnya Paramita, Jakarta.
3. Frick, H, (1979), *Ilmu dan Alat Ukur Tanah*, Penerbit Kanisius, Yogyakarta.
4. Hendriatiningsih, S, (1995), *Pengawasan Pengukuran dan Hitungan: Luas, Volume dan Pematokan (Stake Out)*, Jurusan Teknik Geodesi, LPM-ITB, Bandung.
5. Leick, A, (1990), *GPS Satellite Surveying*, John Wiley & Sons, USA.
6. Purworahardjo, U.U, (1986), *Ilmu Ukur Tanah Seri A - Pengukuran Horisontal*, Jurusan Teknik Geodesi, FTSP, ITB, Bandung.
7. Purworahardjo, U.U, (1986), *Ilmu Ukur Tanah Seri B - Pengukuran Tinggi*, Jurusan Teknik Geodesi, FTSP, ITB, Bandung.
8. Purworahardjo, U.U, (1986), *Ilmu Ukur Tanah Seri C - Pengukuran Topografi*, Jurusan Teknik Geodesi, FTSP, ITB, Bandung.
9. Sutanto, (1987), *Penginderaan Jauh Jilid 2*, Gajah Mada University Press, Yogyakarta.
10. Tumewu, L, (1981), *Engineering Survey*, Departemen Geodesi, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Bandung.
11. Wells, D, (1987), *Guide To GPS Positioning*, Canadian GPS Associates, New Brunswick, Canada.