

Pengukuran topografi untuk pekerjaan jalan dan jembatan

Buku 3

Pelaksanaan pengukuran topografi



PRAKATA

Dalam rangka mendukung terwujudnya peningkatan kualitas pelaksanaan pembangunan dibidang prasarana jalan agar diperoleh hasil yang tepat mutu, tepat waktu dan tepat biaya diperlukan aturan yang berupa NSPM (Norma, Standar, Pedoman, dan Manual) di bidang prasarana jalan.

Dengan diterbitkannya buku Pedoman Pengukuran Topografi untuk Pekerjaan Jalan dan Jembatan ini, diharapkan dapat menambah pengetahuan dan wawasan para perencana, pengawas maupun para pelaksana mengenai pengukuran topografi untuk pekerjaan jalan dan jembatan.

Pedoman Pengukuran Topografi untuk Pengukuran Jalan dan jembatan ini, terdiri dari 4 (empat) buku yaitu:

Buku 1 : Penjelasan Umum

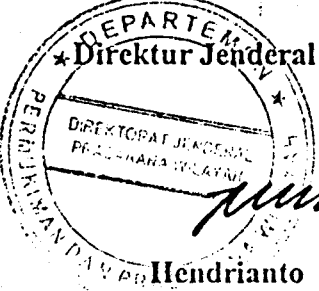
Buku 2 : Prinsip Dasar Pengukuran dan Perencanaan Topografi

Buku 3 : Pelaksanaan Pengukuran Topografi

Buku 4 : Pengenalan Beberapa Alat Ukur, dimana keempat buku ini merupakan satu kesatuan yang saling terkait.

Apabila dalam pelaksanaannya dijumpai kekurangan / kekeliruan dari pedoman ini, akan dilakukan penyempurnaan di kemudian hari.

Jakarta, Oktober 2004


*Direktur Jenderal Prasarana Wilayah
Hendrianto Notosoegondo

DAFTAR ISI

Prakata	
1. Ruang lingkup	1
2. Acuan normatif	1
3. Istilah dan definisi	1
3.1. benang silang diafragma	1
3.2. bidang nivo	2
3.3. <i>edm (electronic distance measure)</i>	2
3.4. elevasi	2
3.5. garis bidik	2
3.6. kerangka kontrol horizontal	2
3.7. planimeter	2
3.8. rambu ukur	3
3.9. reflektor	3
3.10. sistem koordinat	3
3.11. sudut horizontal	3
3.12. sipat datar	3
3.13. sumbu I	3
3.14. titik kontrol horizontal	4
3.15. teodolit	4
3.16. <i>ets (electronic total station)</i>	4
4. Prinsip dasar pengukuran pelaksanaan jalan dan jembatan	4
4.1. Pengukuran perapatan titik ikat	5
4.2. Pengukuran <i>stake – out</i>	5
4.2.1. <i>Stake - out</i> titik	5
4.2.2. <i>Stake - out</i> garis lurus	7
4.2.3. <i>Stake - out</i> lengkung horizontal.	7
4.2.3.1. <i>Stake - out</i> lengkung horizontal dengan alat di titik T_1	8

4.2.3.2. <i>Stake out</i> lengkung horizontal dengan alat di titik O	12
4.2.3.3. <i>Stake out</i> lengkung horizontal dengan alat di busur dengan membuat poligon	13
4.2.3.4. <i>Stake - out</i> lengkung horizontal dari titik PI	15
4.2.4. <i>Stake - out</i> dengan rintangan	16
4.2.5. <i>Stake - out</i> lengkungan vertikal	17
5. Perhitungan luas	19
5.1. Cara numeris dengan angka jarak	19
5.2. Cara numeris dengan koordinat	19
5.3. Cara grafis	20
5.4. Cara mekanis	20
6. Perhitungan volume	21
7. Pengukuran pelaksanaan jalan	22
7.1. Pengukuran <i>stake-out</i> untuk <i>center-line</i>	23
7.2. Pengukuran <i>stake-out</i> untuk pembuatan <i>shop-drawing</i>	24
7.3. Pengukuran <i>stake-out</i> untuk rencana pembebasan lahan	26
7.4. Pengukuran <i>stake-out</i> untuk monitoring pelaksanaan konstruksi	27
8. Pengukuran untuk pelaksanaan pembangunan jembatan	28
8.1. Pengukuran <i>stake-out</i> untuk <i>center line</i> , posisi <i>abutmen</i> , posisi <i>pier</i> dan elevasi jembatan	28
8.2. Pengukuran <i>stake-out</i> untuk monitoring pelaksanaan	30

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1. Cara <i>stake out</i> titik	6
Gambar 3.2. Cara <i>stake out</i> garis lurus	7
Gambar 3.3. Cara <i>stake-out</i> lengkung horizontal	8

selisih absis sama panjang	9
Gambar 3.5. Cara <i>stake out</i> dengan alat di titik T_1 dengan cara perpanjangan tali busur	10
Gambar 3.6. Cara <i>stake out</i> dengan alat di titik T_1 dengan cara koordinat polar	11
Gambar 3.7. Cara <i>stake out</i> dengan alat di titik O dengan cara selisih busur yang sama	13
Gambar 3.8. Cara <i>stake out</i> dengan alat di busur dengan cara membuat poligon	14
Gambar 3.9. Cara <i>stake out</i> dengan alat di titik PI	15
Gambar 3.10. Cara <i>stake out</i> dengan rintangan	16
Gambar 3.11. <i>Stake out</i> arah lengkungan vertikal	18
Gambar 3.12. Cara menghitung luas dengan cara membagi menjadi bentuk yang mudah dihitung.	19
Gambar 3.13. Menghitung luas dengan sistem koordinat	20
Gambar 3.14. Menghitung volume dengan koreksi prismoida	21
Gambar 3.15. Posisi <i>abutment</i> dan <i>pier</i> jembatan	29

1. Ruang lingkup

Pedoman ini digunakan sebagai acuan untuk pekerjaan pengukuran pelaksanaan pada pekerjaan jalan dan jembatan untuk memperbaiki dan meningkatkan pemahaman tentang pekerjaan pengukuran topografi pada pengukuran pelaksanaan sehingga akan menghasilkan kualitas pengukuran sesuai standar yang berlaku.

Pengukuran perapatan titik poligon untuk stake out, metode dan bentuk pengukuran *stake-out*, cara perhitungan luas penampang dan perhitungan volume galian an timbunan

Pengukuran pelaksanaan jalan dan jembatan terbagi atas pengukuran pelaksanaan jalan dan pengukuran pelaksanaan jembatan.

Pengukuran pelaksanaan jalan meliputi pengukuran *stake-out* untuk pembebasan lahan, pengukuran *stake-out* untuk pembuatan *shop-drawing*, pengukuran *stake-out* untuk monitoring pelaksanaan bangunan konstruksi.

Pengukuran pelaksanaan jembatan meliputi pengukuran *stake-out* untuk penentuan as jembatan dan bangunan bawah jembatan dan pengukuran *stake-out* untuk monitoring pelaksanaan bangunan konstruksi.

2. Acuan normatif

SNI 19-6724-2002 : Jaring kontrol horizontal

3. Istilah dan definisi

3.1.

benang silang diafragma

garis silang (vertikal dan horizontal) pada lensa pembidik (okuler) teropong.

3.2

bidang nivo

bidang horizontal yang sejajar bidang geoid (muka air laut rata-rata).

3.3

edm (electronic distance measure)

alat ukur jarak yang menggunakan pancaran gelombang elektromagnetik.

3.4

elevasi

jarak vertikal suatu obyek terhadap bidang referensi muka air laut rata-rata (MSL).

3.5

garis bidik

garis imajiner yang menghubungkan pusat sistem lensa pembidik (okuler) dengan pusat sistem lensa obyektif pada teropong.

3.6

kerangka kontrol horizontal

sekumpulan titik kontrol horizontal yang satu sama lainnya terikatkan dengan data ukuran jarak dan/atau sudut, dan koordinatnya ditentukan dengan metode pengukuran/pengamatan tertentu dalam suatu sistem referensi koordinat horizontal tertentu.

3.7

planimeter

alat untuk mengukur luas bidang datar yang padanya terdapat penyetel skala yang dapat diubah sesuai dengan skala gambar yang diukur.

3.8

rambu ukur

rambu berskala yang digunakan untuk target pengukuran beda tinggi dan jarak optis.

3.9

reflektor

alat bantu pengukuran jarak yang berfungsi untuk memantulkan kembali gelombang elektromagnetik ke alat *EDM*.

3.10

sistem koordinat

sistem untuk mendefinisikan koordinat dari suatu titik.

3.11

sudut horizontal

sudut pada bidang horizontal yang diperoleh dari bacaan piringan horizontal terhadap dua titik yang berturutan.

3.12

sipat datar

alat untuk mengukur beda tinggi antara dua titik atau lebih.

3.13

sumbu I

sumbu vertikal yang melalui poros putar piringan horizontal.

3.14

titik kontrol horizontal

titik kontrol yang koordinatnya dinyatakan dalam sistim koordinat horizontal yang sifatnya dua-dimensi; dan dalam hal ini ada dua jenis koordinat koordinat horizontal yang umum digunakan : koordinat geodetik dua-dimensi, yaitu ϕ (lintang) dan λ (bujur), serta koordinat dalam bidang proyeksi peta, yaitu E (timur) dan N (utara)

3.15

teodolit

alat ukur yang digunakan untuk mengukur sudut horizontal dan sudut vertikal.

3.16

ets (electronic total station)

alat ukur yang digunakan untuk mengukur sudut horizontal, sudut vertikal dan jarak secara elektronik, hasil ukuran ditampilkan di layar display, alat ini juga dilengkapi dengan alat penyimpanan data elektronik.

4. Prinsip dasar pengukuran pelaksanaan jalan dan jembatan

Pengukuran untuk pekerjaan pelaksanaan pada dasarnya adalah melakukan pengukuran yang bersifat staking-out yang dapat berupa pengecekan, penambahan data baru, pemasangan dan sebagainya dengan berdasarkan gambar dan koordinat-koordinat yang terdapat rencana (design drawing) dan yang ada dilapangan.

Pengukuran *stake-out* dilakukan dengan cara mengukur jarak dan azimuth atau sudut jurusan titik detail yang akan di *stake-out* dari titik referensi pengukuran. Koordinat titik referensi pengukuran dan koordinat titik detail yang akan di *stake-out* dapat diketahui dari koordinat hasil pengukuran dan dari koordinat peta.

4.1. Pengukuran perapatan titik ikat

Pengukuran pelaksanaan jalan dan jembatan memerlukan titik ikat. Titik ikat pengukuran pelaksanaan diambil dari koordinat titik pengukuran perencanaan jalan dan jembatan. Patok pengukuran perencanaan jalan dan jembatan belum tentu masih dapat ditemukan kembali dilapangan. Titik pengukuran perencanaan yang masih dapat ditemukan dilapangan adalah titik BM dan PI. Jarak antar BM adalah ± 1 km. Karena jarak antar BM yang cukup jauh maka diperlukan pengukuran perapatan titik diantara dua BM yang berurutan. Pengukuran dilakukan dengan metode pengukuran poligon terbuka terikat sempurna. Cara/metode pengukuran dan cara perhitungannya sama dengan metode pengukuran poligon kerangka kontrol horizontal.

4.2. Pengukuran *stake - out*

Pengukuran *stake - out* adalah pengukuran dengan mengambil data dari peta atau gambar berkoordinat dipindahkan atau diterjemahkan ke lapangan.

Bentuk pengukuran *stake - out* :

- *stake - out* titik
- *stake - out* garis lurus
- *stake - out* lengkungan horizontal
- *stake - out* dengan rintangan
- *stake - out* lengkungan vertikal

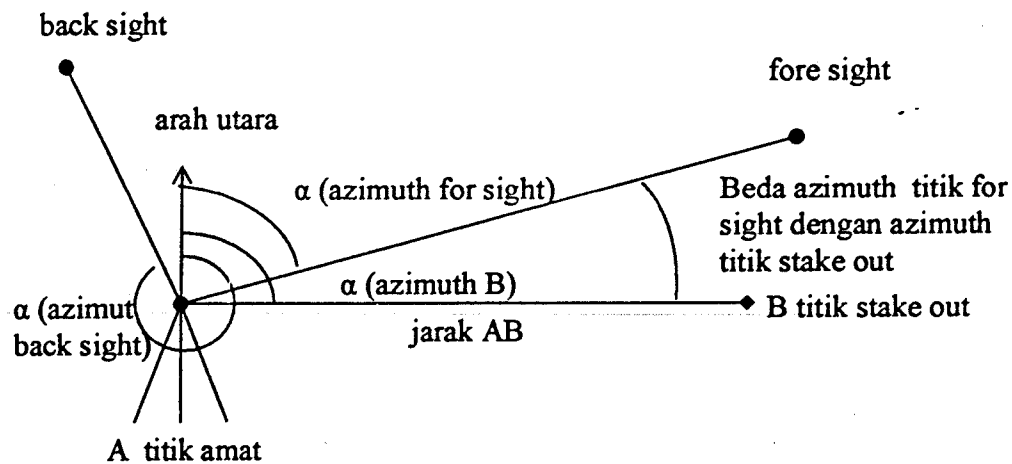
4.2.1. *Stake - out* titik

Dua titik diketahui koordinatnya maka dapat dihitung azimuth jurusan dan jaraknya dengan rumus :

$$- \text{jarak} = \sqrt{(X_2 - X_1)^2 + (Y_2 - Y_1)^2}$$

$$\text{- azimuth} = \arctan_{12} \frac{(X_2 - X_1)}{(Y_2 - Y_1)}$$

azimut jurusan dapat ditentukan dilapangan dengan menggunakan teodolit kompas atau dengan azimut dari titik poligon sesudah tempat berdiri alat (*for sight*) atau titik poligon sebelum titik berdiri alat (*back sight*), dari pengukuran poligon referensi yang sudah diketahui azimut jurusannya dan jarak dapat diukur dengan pita ukur.



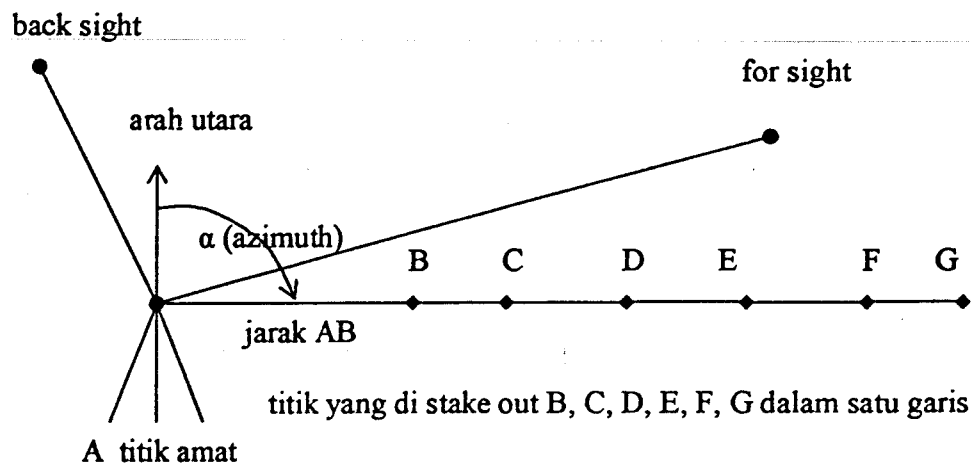
Gambar 3.1. Cara *stake out* titik

cara *stake-out* titik :

1. pasang teodolit di titik A, atur sumbu I vertical dengan mengatur sekrup pendatar.
2. arahkan teropong ke titik *back sight* atau ke titik *fore sight*, putar piringan horizontal tepatkan pada bacaan nilai azimuth titik *back sight* atau azimuth *fore sight* (jika memakai teodolit yang dapat diputar piringan horizontalnya) atau baca dan catat bacaan sudut horizontalnya, kemudian hitung beda sudut antara azimuth *back sight* atau azimuth *fore sight* dengan azimuth titik yang akan di *stake-out*.
3. buka klem horizontal, putar teodolit arahkan ke bacaan azimuth titik yang akan di *stake out* berdasarkan hasil hitungan.

4.2.2. Stake - out garis lurus

Rencana jalan yang lurus *stake - out*nya dilakukan dengan cara mendirikan teodolit di salah satu titik (A) yang diketahui koordinatnya dan titik lainnya (G) yang arahnya lurus dari titik tempat berdiri alat. Arahkan teropong ke titik G, kemudian pasang jalon di titik G. Untuk menentukan titik diantara titik A dan G dimulai dari titik yang terjauh (G), diletakan diantara teodolit (A) dan jalon di titik G sedemikian rupa sehingga jalon di titik G tidak terlihat karena tertutup jalon didepannya (B, C, D, E, F), jarak antara titik A dengan titik yang dipasang diukur dengan pita ukur atau dengan EDM atau dengan alat ETS.



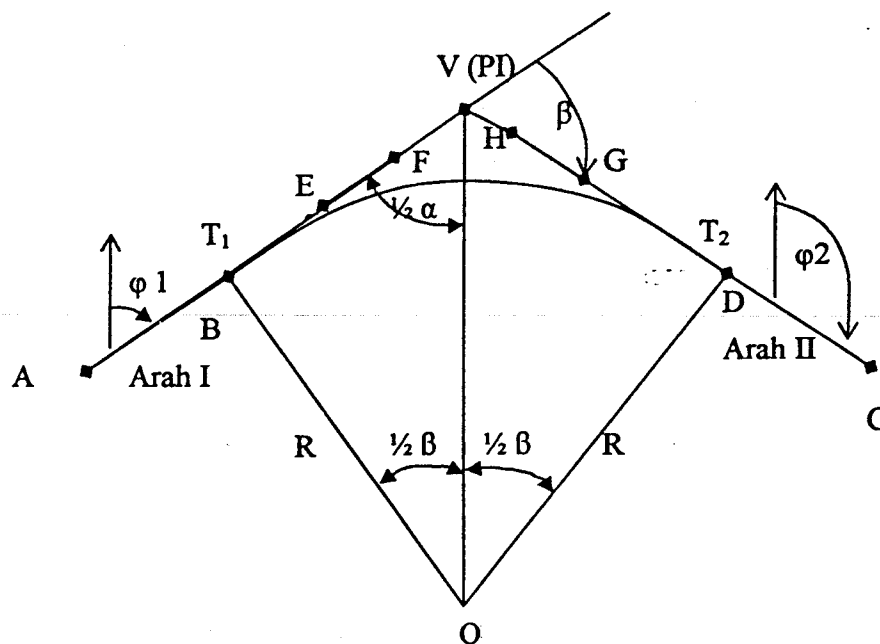
Gambar 3.2. Cara *stake out* garis lurus

4.2.3. Stake - out lengkung horizontal

Penentuan posisi titik utama : V (PI), titik T_1 , T_2 dan tentukan titik detail busur lingkaran :

1. tentukan posisi titik A, B, E dan F pada arah 1.
2. tentukan posisi titik C, D, G dan H pada arah 2.

3. gunakan dua buah pita ukur, pasang pita ukur 1 melalui E dan F, pita ukur 2 melalui G dan H, perpotongan pita ukur tersebut adalah titik V.
4. $T_1VO = 1/2\alpha$, $T_1OV = 1/2\beta = (90 - 1/2\alpha)$
5. $\tan 1/2\beta = \frac{VT_1}{R} = \frac{VT_2}{R}$
6. $V = VT_2 = R \tan 1/2\beta$
7. ukur jarak sebesar $R \tan 1/2\beta$ dari titik V ke arah AB atau ke arah CD, maka di dapat titik T_1 dan T_2 di lapangan.



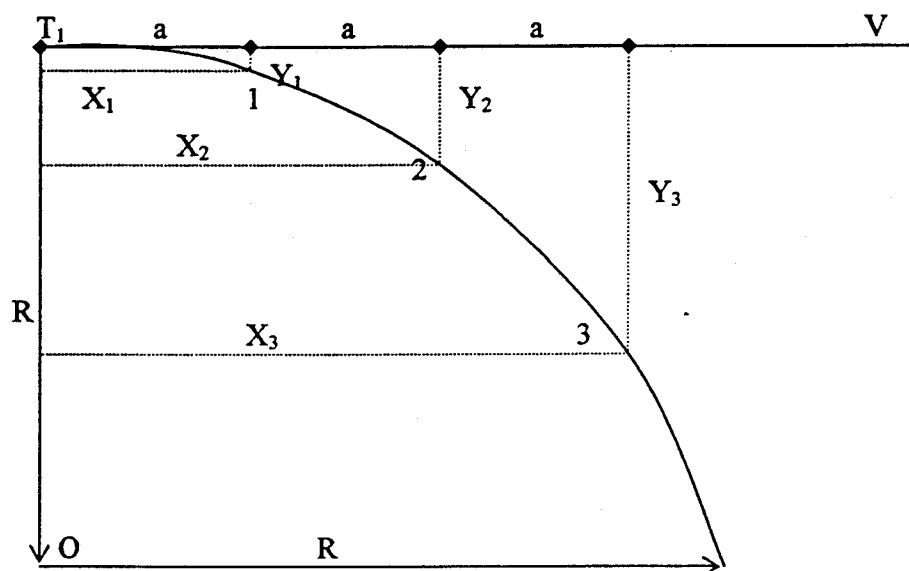
Gambar 3.3. Cara stake-out lengkung horizontal

4.2.3.1. Stake - out lengkung horizontal dengan alat di titik T_1

Stake out lengkung horizontal dengan alat berdiri di titik T_1 dapat dilakukan dengan beberapa cara yaitu dengan cara selisih absis sama panjang, dengan cara perpanjangan tali busur dan dengan cara koordinat polar.

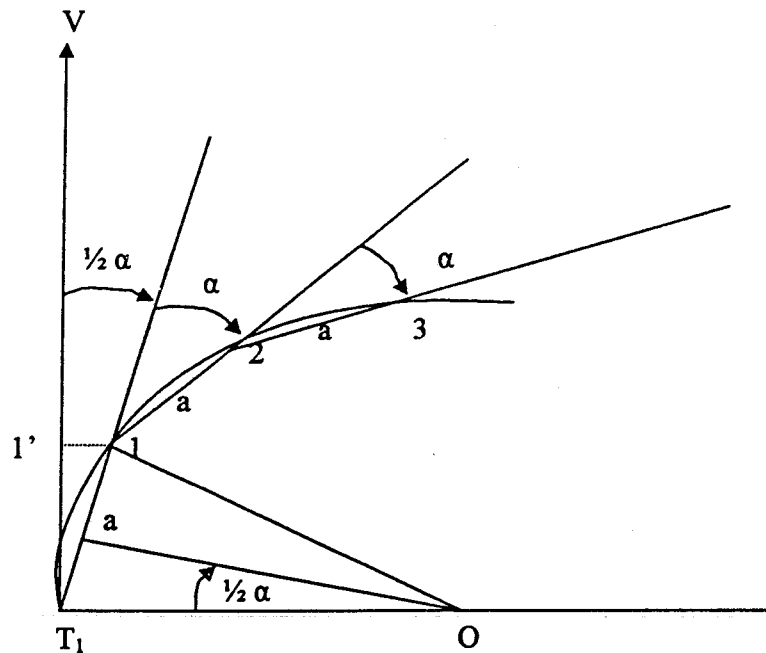
- **selisih absis sama panjang :**

- 1 tentukan panjang absis misal a meter.
- 2 jika $X_1 = a$ meter, maka $X_2 = 2a$ meter, $X_3 = 3a$ meter
- 3 hitung ordinat : $Y_1 = R - \sqrt{(R^2 - X_1^2)} = R - \sqrt{(R^2 - a^2)}$
- 4 $Y_2 = R - \sqrt{(R^2 - X_2^2)} = R - \sqrt{(R^2 - 4a^2)}$
- 5 $Y_3 = R - \sqrt{(R^2 - X_3^2)} = R - \sqrt{(R^2 - 9a^2)}$ dst
- 6 pasang teodolit di titik T_1 , arahkan teropong ke titik V
- 7 ukur jarak absis sebesar a meter, $2a$ m, $3a$ m, dst
- 8 dari posisi a , ukur jarak Y_1 tegak lurus garis $T_1 V$, maka akan didapat titik 1.
- 9 dari posisi $2a$, ukur jarak Y_2 tegak lurus garis $T_1 V$, maka akan didapat titik 2.
- 10 dari posisi $3a$, ukur jarak Y_3 tegak lurus garis $T_1 V$, maka akan didapat titik 3, dst



Gambar 3.4. Cara stake out dengan alat di titik T_1 dengan cara selisih absis sama panjang

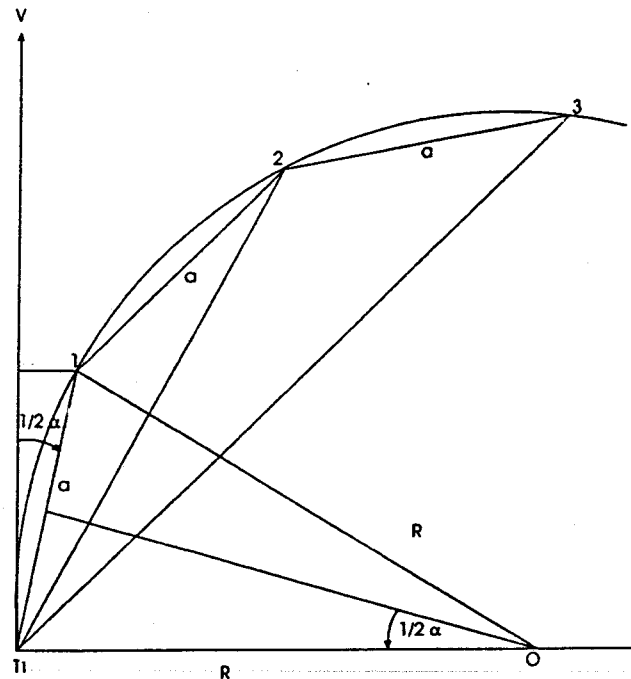
- perpanjangan tali busur :



Gambar 3.5. Cara *stake out* dengan alat dititik T_1 dengan cara perpanjangan tali busur

- 1 $\frac{1}{2} \alpha = \arcsin a / 2R$
- 2 pasang teodolit di titik T_1 arahkan teropong titik V
- 3 ukur jarak $T_1 1' = a \cos \frac{1}{2} \alpha$ dari titik T_1 sepanjang garis bidik teodolit
- 4 dari titik $1'$ buat garis tegak lurus $T_1 V$ sepanjang $a \sin \frac{1}{2} \alpha$, maka didapat titik 1.
- 5 dengan cara yang sama pasang titik 2 dan seterusnya.

- **Stake out dengan koordinat polar.**



Gambar 3.6. Cara *stake out* dengan alat di titik T_1 dengan cara koordinat polar.

Cara *stake out* dengan koordinat polar :

- 1 $\sin \frac{1}{2} \alpha = \frac{\frac{1}{2} a}{R} = \frac{a}{2R}$
- 2 sudut poligon pertama $= (90^\circ - \frac{1}{2} \alpha)$
- 3 sudut poligon berikutnya $= (180^\circ - \alpha)$
- 4 pasang teodolit di titik T_1 , arahkan ke titik O .
- 5 buat sudut sebesar $(90^\circ - \frac{1}{2} \alpha)$
- 6 ukur jarak sebesar a meter dari titik T_1 sampai berimpit dengan garis bidik teodolit, titik tersebut adalah titik 1.

pindahkan teodolit ke titik 1, arahkan ke titik T_1 baca dan catat sudut horizontal, arahkan teropong sampai membentuk sudut sebesar $(180^\circ - \alpha)$

-
- 1 ukur dengan pita ukur jarak sepanjang a meter sampai berhimpit dengan garis bidik teodolit, maka di dapat titik 2
 - 2 pindahkan teodolit ke titik 2, arahkan teropong ke titik 1, buat sudut = $(180^\circ - \alpha)$
 - 3 ukur dengan pita ukur jarak dari tempat alat sepanjang a meter sampai berhimpit dengan garis bidik teodolit, maka di dapat titik 2
 - 4 ukur dengan pita ukur jarak dari tempat alat sepanjang a meter sampai berhimpit dengan garis bidik teodolit, maka di dapat titik 3
 - 5 ulangi kegiatan diatas sampai titik lengkung terakhir.

4.2.3.2. Stake out lengkung horizontal dengan alat di titik O

1. tentukan besar selisih busur yang akan ditentukan titik detailnya, misal selisih busurnya = a meter.
2. titik 1, 2, 3 dst adalah titik-titik detail busur lingkaran.
3. tentukan besar sudut pusat yang mempunyai busur a meter
4. $\Delta\phi = \frac{a \times 360^\circ}{2\pi R} = \frac{a \times 180^\circ}{\pi R}$

$$i. \frac{2\pi R}{\pi R}$$

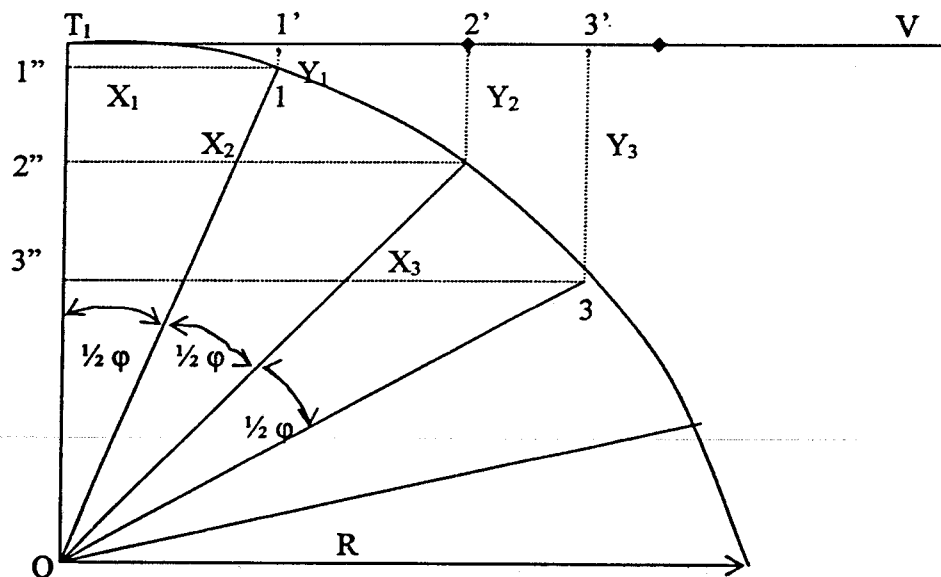
5. tentukan koordinat titik-titik detail lengkung :

$$X_1 = R \sin \Delta\phi, \quad Y_1 = R (1 - \cos \Delta\phi)$$

$$X_2 = R \sin 2 \Delta\phi, \quad Y_2 = R (1 - \cos 2 \Delta\phi)$$

$$X_3 = R \sin 3 \Delta\phi, \quad Y_3 = R (1 - \cos 3 \Delta\phi)$$
6. pasang teodolit di titik T_1 , arahkan teropong ke titik V.
7. ukur jarak sepanjang $X_1 = R \sin \Delta\phi$, dari titik tersebut ukur jarak $Y_1 = R (1 - \cos \Delta\phi)$ tegak lurus garis $T_1 V$, maka didapat titik 1 dan pasang patok 1 dilapangan.
8. ukur jarak sepanjang $X_2 = R 2 \sin \Delta\phi$, dari titik tersebut ukur jarak $Y_2 = R (1 - \cos 2 \Delta\phi)$ tegak lurus garis $T_1 V$, maka didapat titik 2 dan pasang patok 2 dilapangan.

9. ukur jarak sepanjang $X_3 = R \sin 3 \Delta\phi$, dari titik tersebut ukur jarak $Y_3 = R (1 - \cos 3 \Delta\phi)$ tegak lurus garis $T_1 V$, maka didapat titik 3 dan pasang patok 3 dilapangan.
10. lakukan hal yang sama untuk titik-titik yang lain



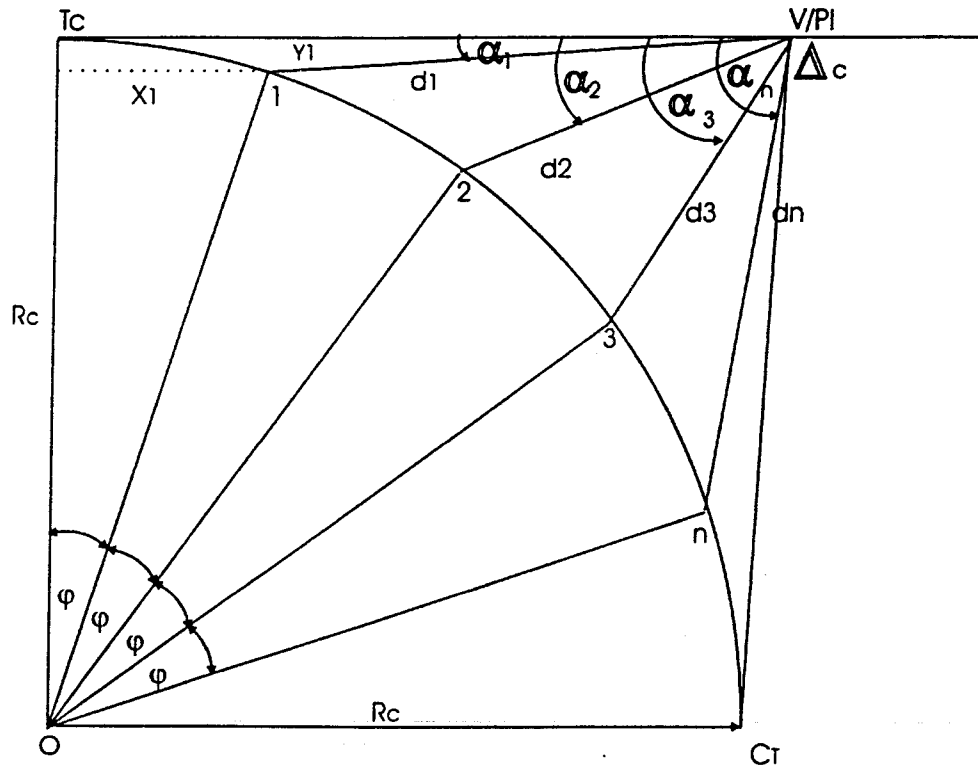
Gambar 3.7. Cara *stake out* dengan alat di titik O dengan cara selisih busur yang sama

4.2.3.3. Stake out lengkung horizontal dengan alat di busur dengan membuat poligon

1. $\sin \frac{1}{2} \alpha = \frac{1}{2} a = \frac{a}{2R}$
2. $\frac{1}{2} \alpha = \arcsin \frac{a}{2R}$
3. tempatkan teodolit di titik T_1 , arahkan ke titik V
4. arahkan teropong (geser) dengan bacaan $\frac{1}{2} \alpha$
5. ukur dengan pita ukur dari titik T_1 sepanjang a meter berimpit dengan garis bidik teropong, maka didapat titik 1, pasang patok 1.

- Gambar 3. 8. Cara *stake out* dengan alat di busur dengan cara membuat poligon

4.2.3.4. Stake - out lengkung horizontal dari titik PI



Gambar 3.9. Cara stake out dengan alat di titik PI

$$\alpha = \frac{\Delta c}{n}$$

n

n = banyaknya titik

$$T_c = R_c \tan \frac{1}{2} \Delta c$$

$$\tan \alpha_1 = y_1 / (T_c - x_1)$$

$$x_1 = R_c \sin \phi$$

$$y_1 = R_c - R_c \cos \phi$$

$$\text{sehingga : } \tan \alpha_1 = [R_c (1 - \cos \phi)] / [R_c (\tan \frac{1}{2} \Delta c - \sin \phi)]$$

$$d_1 = y_1 / \sin \alpha_1$$

$$d_1 = [R_c (1 - \cos \phi)] / [\sin \alpha_1]$$

$$d_1 = [R_c (1 - \cos \phi) / [\sin \alpha_1]$$

dan $\text{tg } \alpha_2 = [R_c (1 - \cos 2\phi)] / [R_c (\text{tg } \frac{1}{2} \Delta c - \sin 2\phi)]$

$$d_2 = [R_c (1 - \cos 2\phi) / [\sin \alpha_2]$$

untuk titik ke n : $\text{tg } \alpha_n = [R_c (1 - \cos n\phi)] / [R_c (\text{tg } \frac{1}{2} \Delta c - \sin n\phi)]$

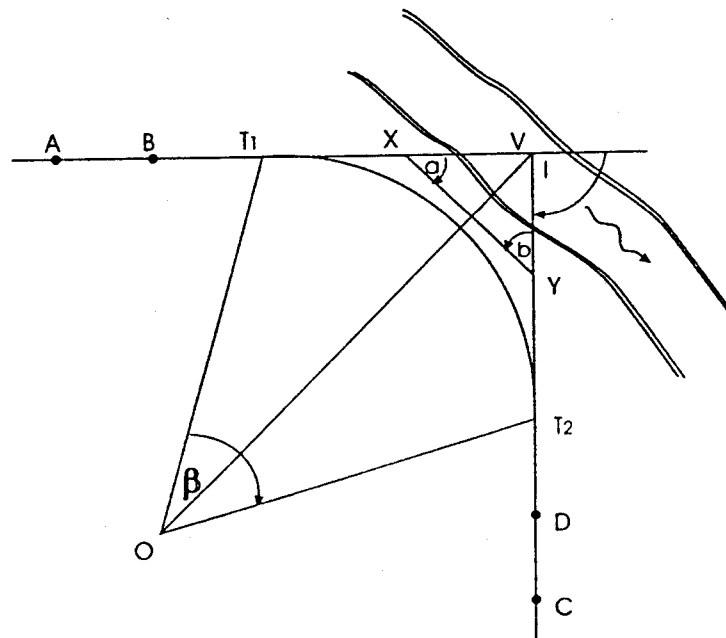
$$d_n = [R_c (1 - \cos n\phi) / [\sin \alpha_n]$$

Jadi dari titik PI dihitung harga-harga α_n dan d_n

Pasang teodolit dan alat pengukur jarak tepat di titik PI, atur alat tersebut lakukan pengukuran stake out untuk harga α_n dan d_n .

4.2.4. Stake - out dengan rintangan

Jika posisi titik utama tidak dapat diukur secara langsung , maka dipasang titik bantu pada posisi yang mudah dijangkau, sehingga posisi titik detail busur lingkaran dapat ditentukan.



Gambar 3.10. Cara stake out dengan rintangan

Rintangan yang terjadi pada saat melakukan *staking out* adalah letak titik V (PI) yang tidak dapat dijangkau, misalnya titik V tepat jatuh ditengah sungai. Dari gambar 3.10. cari posisi titik T₁ dan T₂ :

1. Titik A,B, C dan D diketahui di lapangan
2. Tentukan titik X dan Y dengan menggunakan teodolit dari titik A dan C. Titik X dan Y pada posisi yang mudah dijangkau.
3. Ukur jarak XY dengan menggunakan pita ukur atau EDM.
4. Dengan menggunakan teodolit ukur sudut a dan b dimana $I = a + b$
5. Hitung XV dan YV dengan rumus sinus :

$$\frac{XV}{\sin b} = \frac{XY}{\sin L XVY}$$

$$XV = \frac{XY}{\sin L XVY} \cdot \sin b$$

$$\frac{YV}{\sin a} = \frac{XY}{\sin L XVY}$$

$$YV = \frac{XY}{\sin L XVY} \cdot \sin a$$

$$VT_1 = VT_2 = R \tan \frac{1}{2} \beta$$

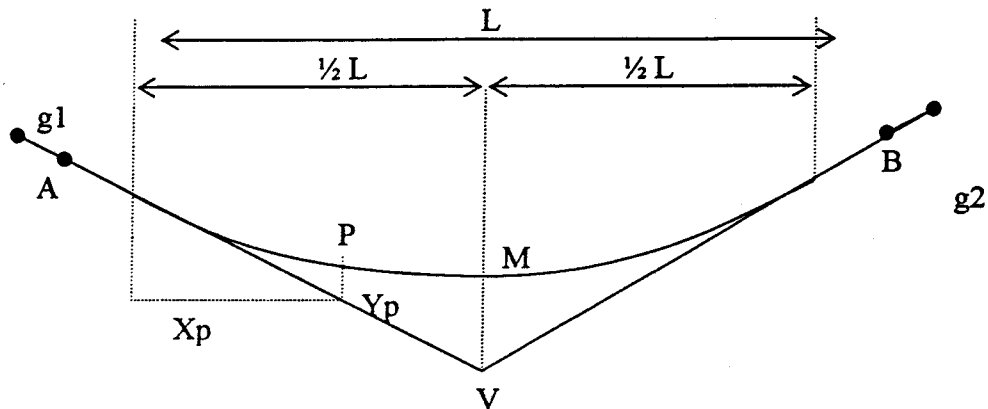
$$T_1X = VT_1 - XV$$

$$T_2Y = VT_2 - YV$$

6. Dengan menggunakan pita ukur dan teodolit dapat ditemukan posisi T₁ dan T₂ di lapangan, yakni dengan menempatkan teodolit dititik A dan C yang diarahkan ke titik B dan D.
7. Kemudian dari titik X dan Y di ukur jarak sebesar T₁X dan T₂Y sepanjang garis bidik teodolit.

4.2.5. Stake - out lengkungan vertikal

Menentukan ketinggian (penentuan peil tinggi) patok-patok vertikal pada setiap jarak tertentu berdasarkan hasil hitungan perencanaan.



Gambar 3.11. Stake out arah lengkungan

Sebelum mematok pada lengkung vertikal terlebih dahulu dilakukan pematokan kelandaian. Setelah mengetahui tinggi rencana dari titik-titik stasion, maka dilakukan pengukuran beda tinggi dengan cara sipat datar. Kemudian dibandingkan antara tinggi eksisting dengan tinggi rencana. Jika tinggi eksisting lebih kecil dari tinggi rencana maka di titik tersebut dilakukan penimbunan. Sebaliknya jika tinggi eksisting lebih besar dari tinggi rencana maka di titik tersebut dikakukan penggalian.

Supaya pekerjaan penggalian dan penimbunan berjalan lancar hendaknya pada waktu pematokan vertikal, patok tersebut diberi warna (di cat) yang berbeda. Misalnya untuk patok yang digali dicat dengan warna kuning dan untuk patok yang ditimbun menggunakan warna merah atau memasang patok bambu untuk timbunan dan diberi tanda tinggi timbunannya.

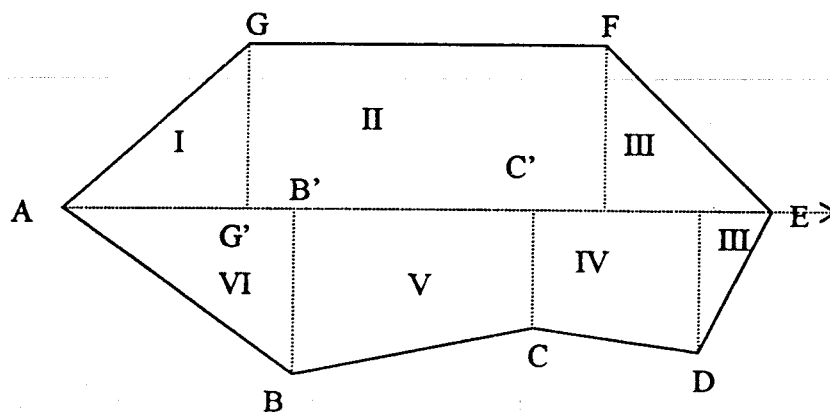
5. Perhitungan luas

Metode pengukuran luas :

- cara numeris dengan angka jarak
- cara numeris dengan koordinat
- cara grafis
- cara mekanis.

5.1. Cara numeris dengan angka jarak

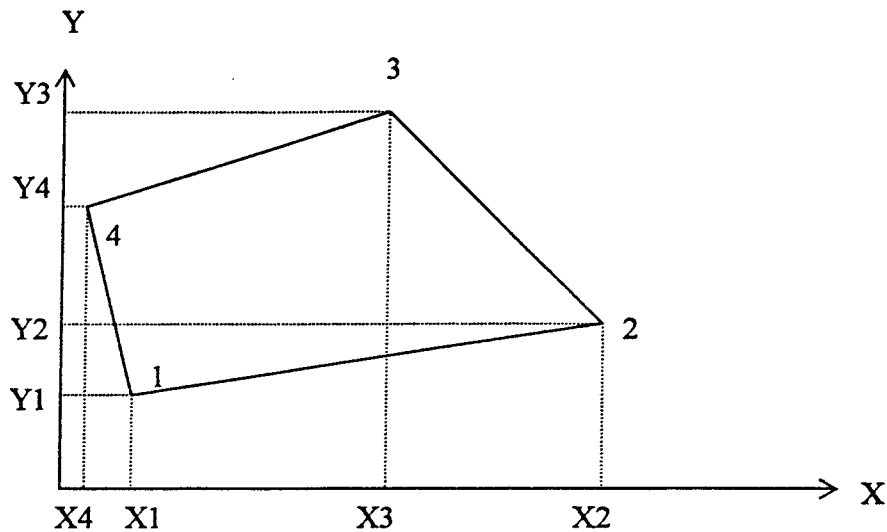
Daerah yang akan diukur luasnya dibagi dalam bentuk- bebntuk segitiga-segitiga dan trapesium-trapesium, kemudian dihitung luas masing-masing luasnya dan dijumlahkan.



Gambar 3. 12. Cara menghitung luas dengan cara membagi menjadi bentuk yang mudah dihitung.

5.2. Cara numeris dengan koordinat

Ada dua cara yaitu dengan cara rumus dan dengan cara perkalian silang. Sistem koordinat untuk perhitungan luas penampang adalah : sumbu X adalah dasar jalan dan sumbu Y adalah *center line* (pusat jalan). Urutan koordinat X dan Y sebelah kiri as jalan searah putaran jarum jam dan sebelah kanan berlawanan arah putaran jarum jam.



Gambar 3.13. Menghitung luas dengan sistem koordinat

Perhitungan luas dengan rumus luas :

$$2L = (X_n \cdot Y_{n+1} - X_{n+1} \cdot Y_n)$$

Perhitungan luas dengan perkalian silang adalah :

$$2L = (X_1 \cdot Y_2 + X_2 \cdot Y_3 + X_3 \cdot Y_4 + X_4 \cdot Y_1) - (Y_1 \cdot X_2 + Y_2 \cdot X_3 + Y_3 \cdot X_4 + Y_4 \cdot X_1)$$

5.3. Cara grafis

Perhitungan luas dengan cara grafis adalah hitungan luas dengan bantuan kertas millimeter kalkir. Skala peta harus diketahui, sehingga luas 1 cm² diatas millimeter = berapa luas diatas peta. Seluruh batas daerah yang akan dihitung luasnya diplot di atas kertas millimeter kalkir, dihitung jumlah kotak yang berada dalam batas daerah pengukuran.

5.4. Cara mekanis

Cara mekanis menggunakan alat bantu planimeter. Dengan menyetel skala pada planimeter sesuai dengan skala peta, kemudian mengikuti batas areal yang akan diukur luasnya, maka pada alat akan terbaca luasnya. Alat

planimeter terdiri dari dua buah model yaitu planimeter manual dan planimeter digital.

6. Perhitungan volume

Cara paling mudah menghitung volume adalah dengan mengambil rata-rata luas bidang awal dan luas bidang akhir dan diperbanyak dengan jarak L antara kedua bidang ini.

$$\text{Volume : } V_a = \frac{1}{2} (A_1 + A_2) L \text{ m}^3$$

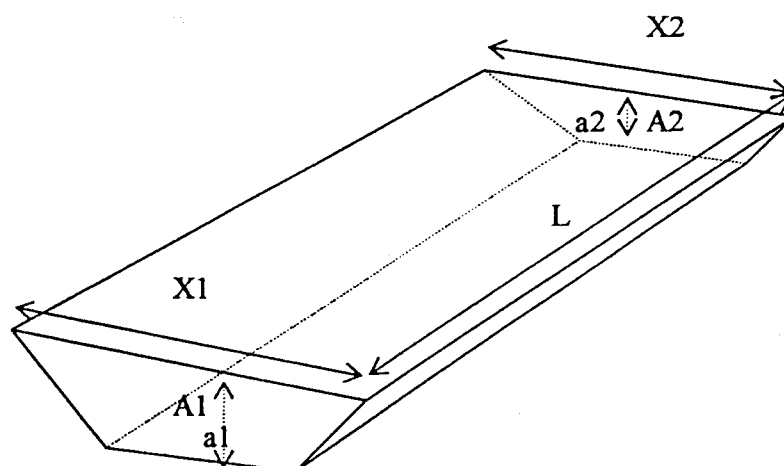
dimana A_1 dan A_2 = luas dari dua penampang yang sejajar dan berjarak L.
Rumus ini sederhana sekali dan cocok untuk daerah rata, untuk yang lebih teliti dipakai rumus prismoida :

$$V_p = L/6 (A_1 + 4 A_m + A_2)$$

dimana : V_p = volume dengan rumus prismoida

L = jarak antara 2 bidang ujung yang sejajar. A_1 dan A_2

A_m = bidang tengah antara A_1 dan A_2 dan sejajar dengan kedua bidang ini (A_m ini bukan bidang rata-rata A_1 dan A_2).



Gambar 3.14. Menghitung volume dengan koreksi prismoida.

Rumus prismoida diatas berlaku untuk daerah lurus, sedang untuk bagian lengkung harus dikoreksi dengan koreksi lengkungan:

$$k_e = \pm L/2R (A_1 e_1 + A_2 e_2) m^3$$

dimana : k_e = koreksi volume untuk lengkungan

L = panjang *center-line*

e = eksentrisitas

Kalau kita ambil titik berat dari penampang-penampang, dan titik berat titik berat ini disambungkan maka akan didapat suatu keluk yang dinamakan keluk titik berat atau keluk gravitasi. Volume dari bagian ini sama dengan perbanyakkan dari penampang dengan panjangnya keluk gravitasi. Kalau keluk gravitasi terletak di sebelah luar dari garis sumbu suatu lengkungan, maka volume sebenarnya akan lebih banyak dari pada volume yang dihitung dengan rumus primoida, dan kalau disebelah dalam, maka volumenya akan lebih sedikit. k_e akan positif kalau keluk gravitasi terletak disebelah luar keluk garis sumbu dan negatif kalau terletak di sebelah kanan.

7. Pengukuran pelaksanaan jalan

Pengukuran pelaksanaan jalan bertujuan untuk mengimplementasikan gambar rencana (*design drawing*) di lapangan. Sesuai dengan tujuannya, maka implementasi tersebut dapat digunakan untuk penentuan *center line*, pembuatan *shop drawing*, rencana pembebasan lahan, dan monitoring pelaksanaan pekerjaan. Pengukuran untuk kegiatan pelaksanaan dilaksanakan dengan cara *stake out*, yaitu meletakkan posisi-posisi detail dari gambar rencana ke posisi sebenarnya di lapangan berdasarkan koordinat –koordinat yang ada dilapangan.

7.1. Pengukuran *stake-out* untuk *center-line*

Pengukuran *stake out* untuk penentuan *center line* merupakan *stake out* bersifat garis, baik berupa garis lengkung maupun garis lurus. *Stake out* yang bersifat garis lurus dilakukan terhadap *center line* yang pada jalan yang lurus. *Stake out* dilakukan setiap interval 50 m. Untuk *stake out* yang bersifat garis lengkung dilakukan pada setiap tikungan jalan, di mana posisi-posisi yang akan di *stake out* antara lain posisi : PI (*point intersection*), TC (*tangent circle*) CT (*circle tangent*), untuk tikungan bentuk *full circle*; TS (*tangent spiral*), SC(*spiral circle*), CS (*circle spiral*), ST (*spiral tangent*) untuk tikungan bentuk *spiral – circle – spiral* . Koordinat /jarak dari titik-titik tersebut di atas sudah terdapat dalam gambar rencana (*design drawing*). Alat ukur yang digunakan dalam pekerjaan ini adalah teodolit /EDM/ETS.

Pada gambar rencana (*design drawing*), koordinat patok poligon koordinatnya diketahui dan titik *center-line*, PI (*point intersection*), TC (*tangent circle*) CT (*circle tangent*), untuk tikungan bentuk *full circle*; TS (*tangent spiral*), SC(*spiral circle*), CS (*circle spiral*), ST (*spiral tangent*) untuk tikungan bentuk *spiral – circle – spiral*, ROW dapat dihitung koordinatnya dipeta. Dari dua buah titik yang diketahui koordinatnya, dapat dihitung azimuth dan jaraknya.

Dari patok poligon yang terdekat dengan titik yang akan dipasang, dihitung azimuth dan jarak. Berdasarkan azimuth dan jarak dilakukan pengukuran *stake-out* patok-patok jalan seperti tersebut diatas.

Dari patok poligon yang terdekat dengan titik yang akan dipasang, dihitung azimuth dan jarak. Berdasarkan azimuth dan jarak dilakukan pengukuran *stake-out* patok tersebut.

Sebagai acuan pengukuran azimuth adalah azimuth titik poligon sebelum titik tempat berdiri alat (*back sight*) atau titik poligon sesudah titik tempat berdiri alat (*for sight*), yang dapat dicari dari hasil perhitungan poligon.

Pengukuran *stake-out center line* dan patok-patok yang lain dilakukan untuk jalan lurus tiap 100 meter dan untuk lengkungan tiap 50 atau 25 meter.

Pengukuran *stake-out* dapat dilakukan dengan alat ukur :

- teodolit dan pita ukur
- teodolit dan alat ukur jarak elektronik (*EDM*).
- alat ukur *electronic total station (ETS)*.

Cara pengukuran *stake-out center line* dan titik-titik yang lainnya adalah :

- 1 pasang alat ukur teodolit dan alat ukur jarak elektronis (*EDM*), atau alat ukur *ETS (electronic total stations)* di atas titik poligon terdekat, atur sumbu I vertikal dengan mengatur sekrup pendatar.
- 2 arahkan teropong ke titik poligon berikutnya (*for sight*) atau titik poligon sebelumnya (*back sight*) yang diketahui azimuth jurusannya, baca dan catat bacaan horizontalnya (misal bacaan sudut 10°).
- 3 dari koordinat titik titik poligon dan koordinat titik *center line* yang akan dipasang di *stake-out*, hitung azimuth dan jaraknya.
- 4 hitung sudut antara azimuth titik poligon berikutnya (yang dipakai sebagai acuan azimuth) dengan azimuth titik *center line* (misal 70°)
- 5 berdasarkan sudut tersebut, arahkan teropong pada bacaan horizontal hitungan (untuk *center line* : $10^\circ + 70^\circ = 80^\circ$). Jika arah teropong sudah tepat dengan arah bacaan sudut tersebut kencangkan klem horizontal, ukur jarak dari titik poligon ke titik *center line* berdasarkan hasil perhitungan.
- 6 jika sudah tepat pasang patok *center line* tersebut.
- 7 lakukan cara yang sama untuk titik-titik yang lainnya.

7.2. Pengukuran *stake-out* untuk pembuatan *shop-drawing*

Pembuatan *shop drawing* dilakukan untuk pekerjaan-pekerjaan konstruksi yang bersifat parsial, seperti jembatan dan bangunan pelengkap

lainnya. Pengukuran *stake out* ini bersifat *stake out* yang berupa titik yang bertujuan untuk menentukan posisi bangunan-bangunan tersebut di atas. Alat yang digunakan adalah teodolit/EDM/ETS.

Pengukuran *stake-out* untuk pembuatan *shop-drawing* dilakukan bila terjadi perubahan geometrik jalan yang diakibatkan adanya pertimbangan teknis maupun ekonomi dalam pelaksanaan pekerjaan.

Pengukuran *stake-out* untuk *shop-drawing* pada dasarnya sama dengan *stake-out* untuk *center line*, yakni dihitung jarak dan azimuth titik *center line*, berdasarkan koordinat titik poligon terdekat dan koordinat *center line*. Berdasarkan jarak dan azimuth jurusan tersebut dilakukan pengukuran *stake-out* untuk pembuatan *shop-drawing*.

Cara pengukuran *stake-out* untuk pembuatan *shop-drawing* adalah:

- 1 pasang alat ukur teodolit dan alat ukur jarak elektronis EDM atau dapat juga alat ETS (*electronic total stations*) di atas titik poligon terdekat, atur sumbu I vertikal dengan mengatur sekrup pendatar.
- 2 arahkan teropong ke titik poligon horizontal berikutnya (*for sight*) atau titik poligon sebelumnya (*back sight*) yang diketahui azimuth jurusanannya, baca dan catat bacaan horizontalnya.
- 3 dari koordinat titik poligon dan koordinat titik *center line* yang akan di *stake-out* hitung azimuth dan jaraknya.
- 4 hitung selisih sudut antara azimuth titik poligon acuan dengan azimuth titik *center line*.
- 5 berdasarkan sudut tersebut arahkan teropong pada bacaan horizontal hitungan. Jika arah teropong sudah tepat dengan bacaan sudut horizontal kencangkan klem horizontal, ukur jarak dari titik poligon ke titik *center line* berdasarkan hasil perhitungan.
- 6 jika sudah tepat pasang patok *center line*.
- 7 lakukan hal yang sama untuk titik *center line* yang lain.

7.3. Pengukuran *stake-out* untuk rencana pembebasan lahan

Pengukuran stake out untuk rencana pembebasan lahan dilakukan bila dalam pelaksanaan pekerjaan diperlukan pembebasan lahan. Daerah yang di ukur adalah daerah yang terkena pembebasan lahan. Pada pengukuran ini dilakukan pemasangan patok-patok pada batas-batas daerah yang terkena pembebasan berdasarkan koordinat patok-patok batas yang telah terdapat dalam peta rencana pembebasan lahan. Alat yang digunakan adalah teodolit/EDM/ETS.

Cara pengukuran *stake-out* untuk rencana pembebasan lahan adalah :

- pasang alat ukur teodolit dan alat ukur jarak elektronis *EDM* atau dapat juga alat *ETS (electronic total stations)* di atas titik poligon terdekat dengan batas lahan yang akan dibebaskan, atur sumbu I dengan mengatur sekrup pendatar.
- arahkan teropong ke titik poligon berikutnya (*for sight*) atau titik poligon sebelumnya (*back sight*) yang diketahui azimuth jurusannya, baca dan catat bacaan horizontalnya.
- dari koordinat titik poligon dan koordinat titik batas lahan yang akan di *stake-out* hitung azimuth dan jaraknya.
- hitung selisih sudut antara azimuth titik referensi acuan dengan azimuth titik *center line*.
- berdasarkan sudut tersebut arahkan teropong pada bacaan horizontal hitungan. Jika arah teropong sudah tepat dengan bacaan sudut horizontal kencangkan klem horizontal, ukur jarak dari titik poligon ke titik batas lahan berdasarkan hasil perhitungan.
- jika sudah tepat pasang patok batas lahan.
- lakukan hal yang sama untuk titik batas lahan yang lain.

7.4. Pengukuran *stake-out* untuk monitoring pelaksanaan konstruksi

Tujuan pengukuran ini adalah untuk mengetahui kemajuan pekerjaan dan menentukan pekerjaan konstruksi jalan apakah telah sesuai dengan

perencanaan. *Stake out* untuk monitoring pelaksanaan pekerjaan berupa *stake out* titik (posisi) dan garis *peil* tinggi (elevasi). Alat yang digunakan adalah teodolit/*EDM/ETS* untuk posisi dan alat sipat datar untuk tinggi (elevasi).

Sebagai acuan untuk penentuan posisi tinggi dasar bangunan maupun untuk acuan pelaksanaan pekerjaan galian dan timbunan perlu dipasang *peil* tinggi. Pemasangan *peil* tinggi dilakukan di tempat yang diperkirakan tidak terganggu dan tidak mengganggu pelaksanaan pekerjaan konstruksi. *Peil* tinggi dipasang paling tidak 3 buah di tempat yang berbeda sebagai cadangan kalau ada yang hilang atau berubah dan kontrol untuk tinggi titik-titik yang lain.

Peil tinggi diukur dengan alat sipat datar, diikatkan dari titik kontrol vertikal jalan.

Cara pengukuran *stake out* sama dengan pekerjaan *stake-out* untuk *center line*.

Cara pengukuran *stake-out* untuk monitoring pelaksanaan adalah:

- 1 pasang alat ukur teodolit dan alat ukur jarak elektronis *EDM* atau dapat juga *ETS (electronic total stations)* di atas titik poligon terdekat, atur sumbu I vertikal dengan mengatur sekrup pendatar.
- 2 arahkan teropong ke titik poligon berikutnya (*for sight*) atau titik poligon sebelumnya (*back sight*) yang diketahui azimuthnya, baca dan catat bacaan horizontalnya.
- 3 dari koordinat titik poligon dan koordinat titik bangunan yang akan di pasang, hitung azimuth dan jaraknya.
- 4 hitung selisih sudut antara azimuth titik poligon berikutnya (*for sight*) atau titik poligon sebelumnya (*back sight*) yang dipakai sebagai acuan azimuth dengan azimuth titik bangunan.
- 5 berdasarkan sudut tersebut, arahkan teropong pada bacaan horizontal hitungan. Jika arah teropong sudah tepat dengan arah sudut

kencangkan klem horizontal, ukur jarak dari titik poligon ke titik bangunan berdasarkan hasil perhitungan.

- 6 lakukan hal yang sama untuk titik bangunan jalan dan titik-titik yang lainnya.

8. Pengukuran untuk pelaksanaan pembangunan jembatan

Pengukuran pelaksanaan jembatan bertujuan untuk mengimplementasikan gambar rencana jembatan (*design drawing*) di lapangan. Pengukuran pelaksanaan pembangunan jembatan pada dasarnya sama dengan *stake out* untuk pembuatan *shop drawing*. Pengukuran ini bersifat menentukan posisi jembatan seperti *center line*, posisi *abutmen*, posisi *pier* (bila ada), dan elevasi jembatan.

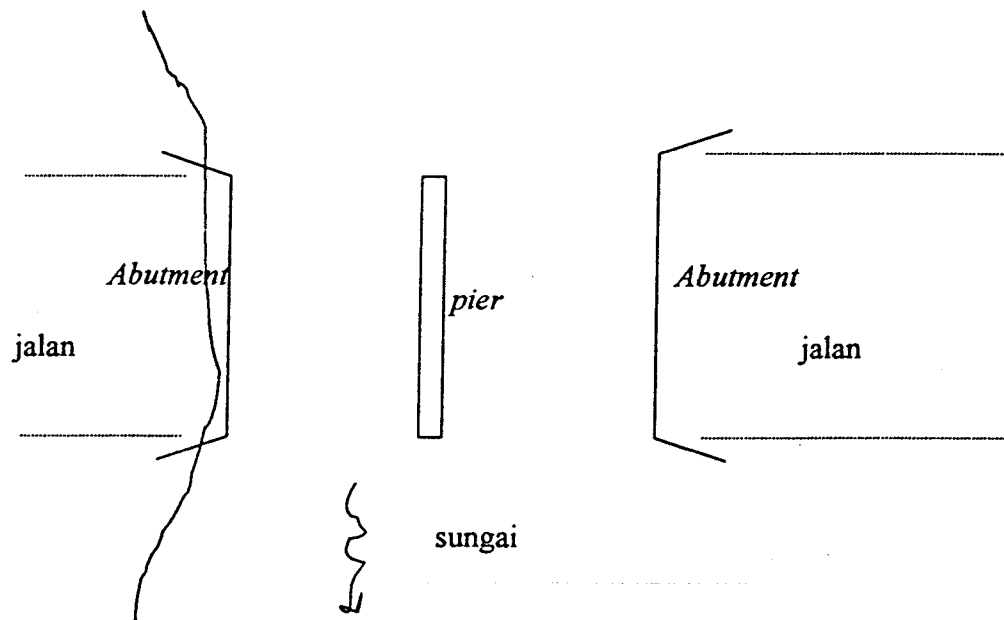
8.1. Pengukuran *stake-out* untuk *center line*, posisi *abutmen*, posisi *pier* dan elevasi jembatan.

Pengukuran *stake out center line*, posisi *abutmen*, posisi *pier* dan elevasi jembatan diukur dengan bantuan koordinat (X, Y) maupun elevasi (Z) BM/CP jembatan yang ada di lapangan. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan alat ukur teodolit/ EDM/ETS untuk penentuan posisi dan alat ukur sipat datar untuk penentuan elevasi.

Koordinat titik-titik pengukuran diketahui koordinatnya dari hasil perhitungan. Pada peta rencana jembatan, koordinat titik *center line*, posisi *abutmen*, posisi *pier* jembatan dapat dihitung/dicari, maka dapat dihitung azimuth titik *center line*, posisi *abutmen*, posisi *pier* dari titik poligon terdekat. Berdasarkan azimuth dan jarak dilakukan pengukuran *stake –out* terhadap titik-titik tersebut.

Peil tinggi dipasang paling tidak 3 buah di tempat yang berbeda sebagai cadangan kalau ada yang hilang atau berubah dan kontrol untuk tinggi titik-titik yang lain.

Peil tinggi diukur dengan alat sipat datar, diikatkan dari titik kontrol vertikal jalan.



Gambar 3.15. Posisi *abutment* dan *pier* jembatan

Cara pengukuran *stake-out center line*, posisi *abutmen*, posisi *pier* adalah:

- 1 pasang alat ukur teodolit dan alat ukur jarak elektronis *EDM* atau dapat juga alat *ETS* (*electronic total stations*) di atas titik poligon terdekat, atur sumbu I vertikal dengan mengatur sekrup pendatar.
- 2 arahkan teropong ke titik poligon berikutnya (*for sight*) atau titik poligon sebelumnya (*back sight*) yang dipakai sebagai acuan azimuth yang diketahui azimuthnya baca dan catat bacaan horizontalnya.
- 3 dari koordinat titik poligon dan koordinat titik *center line* jembatan yang akan dipasang, hitung azimuth dan jaraknya.
- 4 hitung selisih sudut antara azimuth titik poligon berikutnya (*for sight*) atau titik poligon sebelumnya (*back sight*) yang dipakai sebagai acuan azimuth dengan azimuth titik *center line* jembatan.

-
- 4 hitung selisih sudut antara azimuth titik poligon berikutnya (*for sight*) atau titik poligon sebelumnya (*back sight*) yang dipakai sebagai acuan azimuth dengan azimuth titik *center line* jembatan.
 - 5 berdasarkan sudut tersebut arahkan teropong pada bacaan horizontal hitungan. Jika arah teropong sudah tepat dengan bacaan sudut tersebut, kencangkan klem horizontal, ukur jarak dari titik poligon ke patok *center line* jembatan berdasarkan hasil perhitungan.
 - 6 ulangi cara kerja di atas untuk titik-titik yang lain pada jembatan.