

# MODUL KULIAH ILMU UKUR TANAH



Oleh:

**Ngakan Putu Purnaditya**

**Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Untirta**

Pembahasan Isi Modul Meliputi:

Konsep Dasar Survey

Error dan Ketidakpastian

Pengukuran Vertikal

Pengukuran Jarak Horizontal

Pengukuran Sudut

Poligon Tertutup

Poligon Terbuka dan Terikat

Geometrikal Survey Pada Teknik Sipil

Pengukuran Luas dan Volume (Dan Aplikasinya)

Contouring

Bagian ini mempelajari:

- Definisi *surveying*
- Prinsip-prinsip *surveying*
- Pengukuran dasar
- *Control networks*
- *Locating position*
- Alat-alat *surveying*

### **DEFINISI SURVEYING**

*Surveying* dapat didefinisikan sebagai ilmu untuk menentukan posisi, dalam 3-dimensi suatu ruang alam dan/atau artifisial di atas maupun di bawah permukaan tanah. Hasil pengukuran direpresentasikan dalam peta kontur, gambar/skema rencana, dan bentuk digital sebagai *digital ground model (DGM)*.

Dalam *engineering* khususnya teknik sipil, kegiatan *surveying* dibutuhkan dalam kegiatan perencanaan/desain, dan konstruksi, baik untuk pekerjaan atas dan/atau bawah permukaan tanah. Lebih jauh lagi, *surveying* dilakukan untuk melakukan pengendalian dan pengecekan posisi elemen bangunan dalam konstruksi, selain itu digunakan untuk melakukan monitoring seperti perubahan elemen struktur, Deformasi, perubahan kontur tanah, *cross section* sungai, dll.

### **PRINSIP-PRINSIP SURVEYING**

Berikut ini adalah prinsip-prinsip dasar dalam *surveying* yang harus dikendalikan:

1. **Prinsip kontrol.** Dalam hal ini *surveying* harus memiliki *framework* titik survey yang jelas. Titik survey sebagai referensi merujuk pada *survey station*. Survey station bisa berupa *reference monuments*. Kerap kali disebut sebagai titik BM atau *benchmark*. Dalam prinsip kontrol ini sangat menjunjung tinggi kepresisian pada hasil survey, lengkap, dan hasil tersebut dapat diandalkan (*reliable*). Hal ini akan didukung dengan alat yang yang baik, metode analisis yang sesuai kaidahnya, dan *data processing* yang memberikan hasil presisi dan *reliable*.
2. **Prinsip ekonomis.** Seperti dijelaskan bahwa, hasil survey harus presisi dan *reliable*, namun meskipun dilakukan dengan alat yang *sophisticated*, *data processing* yang *robust*, sistem yang digunakan sudah otomatis dan menggunakan tenaga yang terampil, tetap harus mempertimbangkan segi ekonomisnya.

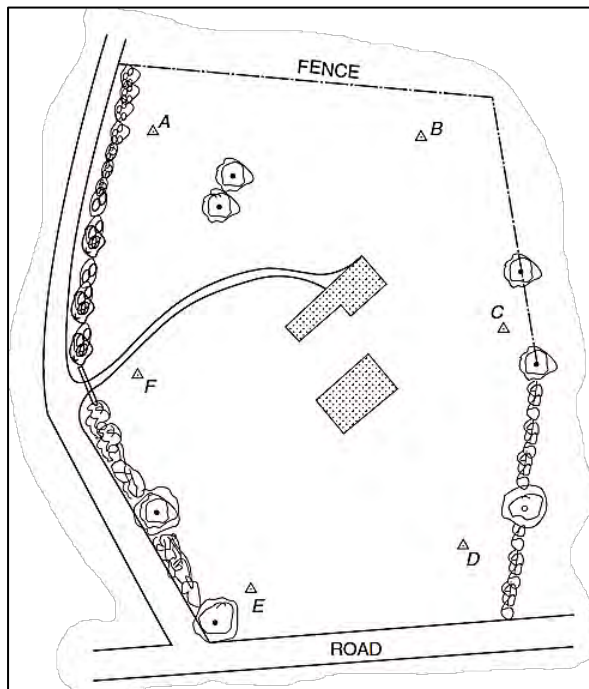
3. **Prinsip konsistensi.** Menjaga kualitas baik dalam pelaksanaan survey dan kontrol wajib hukumnya untuk menjaga konsistensi hasil survey yang dilakukan.
4. **Independent check.**
5. **Safeguarding.**

### **PENGUKURAN DASAR**

Surveying membutuhkan titik kontrol atau titik acuan dasar untuk menentukan posisi relative dari titik-titik yang diukur. Dalam hal ini, permukaan tanah tidak bisa dijadikan referensi. Alternatifnya adalah, titik referensi bisa menggunakan permukaan level muka air normal air laut (MSL). Titik referensi ini disebut sebagai titik equipotensial, dimana titik ini berlaku secara umum dan tidak terikat/tidak terbatas akan titik lokasi pengukuran di permukaan tanah. Titik referensi pengukuran kadang disebut sebagai datum.

### **CONTROL NETWORKS**

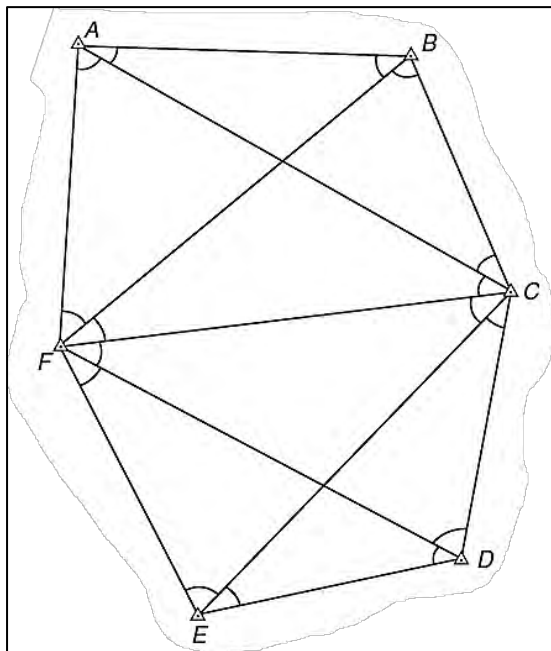
*Control networks* merupakan titik-titik atau posisi yang secara spasial ditentukan untuk tujuan survey topografi dan pengontrolan. Contoh ilustrasi dapat dilihat pada gambar di bawah ini. *Control networks* dalam gambar tersebut adalah titik A, B, C, D, E, dan F.



Katakanlah misalnya gambar tersebut merupakan daerah atau area yang ini disurvei. Maka kita perlu koordinat titik A, B, C, D, E dan F tersebut. cara menentukannya yaitu dengan cara:

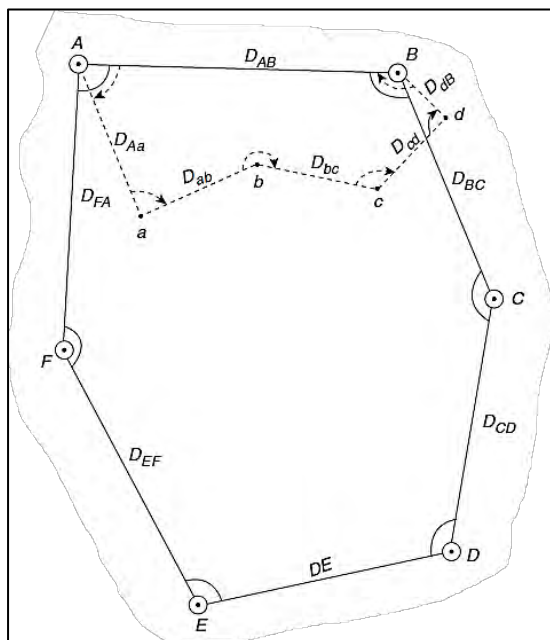
- Intersection
- Traversing
- Networks
- GPS

Gambar di bawah ini adalah **metode networks**



Gambar ini menunjukkan kemungkinan dari garis-garis yang menghubungkan antar titik. Jarak/panjang antar titik bisa diukur, namun demikian setidaknya ada satu sisi yang diukur secara langsung (misalnya AB), maka kita akan bisa mendapatkan skala dari network ini. Hal ini bisa berguna untuk menentukan nilai error, misalnya dengan menggunakan skala, kita bisa mendapat panjang ED, kemudian kita bandingkan dengan hasil ukur, maka biasanya ada selisih error yang didapat.

Cara lainnya adalah dengan cara **traversing**. Cara ini dilakukan dengan **menempatkan posisi koordinat relative terhadap control point/titik kontrol**. Contoh ilustrasi metode traversing dapat dilihat pada gambar di bawah.



Gambar ini menunjukkan adanya koordinat relative sepanjang AF. Koordinat tersebut adalah a, b, c dan d. Hasil di lapangan tentunya menghasilkan jarak dan sudut dari Aa, ab, bc, cd dan dB. Baik metode networks maupun traversing bisa dikoreksi dengan metode GPS.

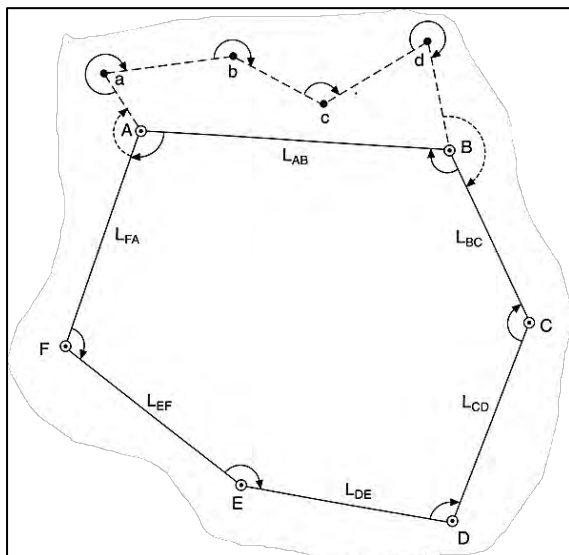
### **LOCATING POSITION**

Dengan sudah menetapkan control networks, dan komputasinya dalam menentukan sistem koordinat, kita bisa menyertakan titik kontrol minor tertentu untuk

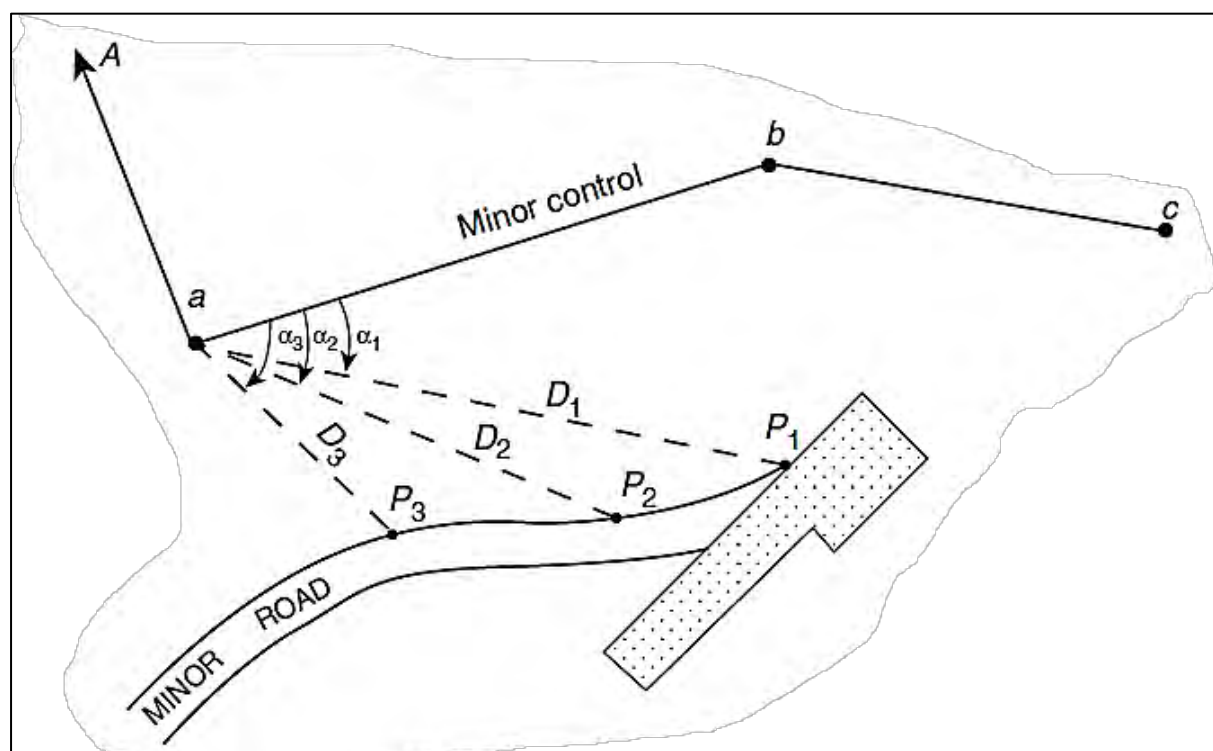
memposisikan topografi dan *setting out* dari suatu desain konstruksi. Metode survey topografi dan *setting out* suatu dimensi dapat dilakukan dengan cara:

1. Koordinat polar (jarak dan lengkungan) menggunakan alat total station.
2. Dengan GPS menggunakan metode kinematic.

Misalnya menggunakan metode nomor 1, dengan skematik gambar di bawah ini.

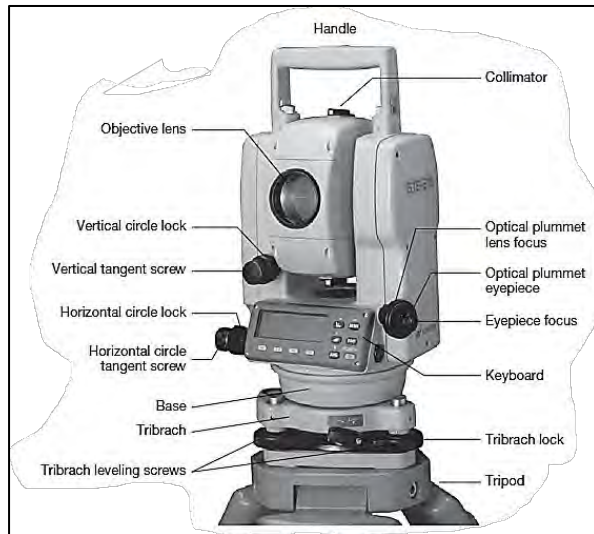


Melalui alat total station, koordinat a dan b dibentuk dari control point sehingga koordinatnya diketahui. Kegunaan dari titik-titik ini adalah mendetailkan elemen-elemen lain yang ingin ditinjau, misalnya jalan (sesuai gambar di bawah). Selain itu topografi pada titik tertentu juga bisa ditentukan.



**ALAT-ALAT SURVEYING**

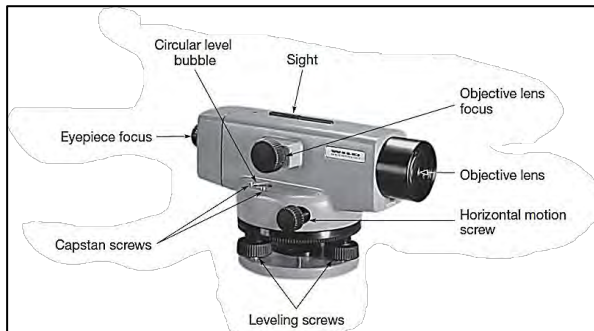
**Total Station**



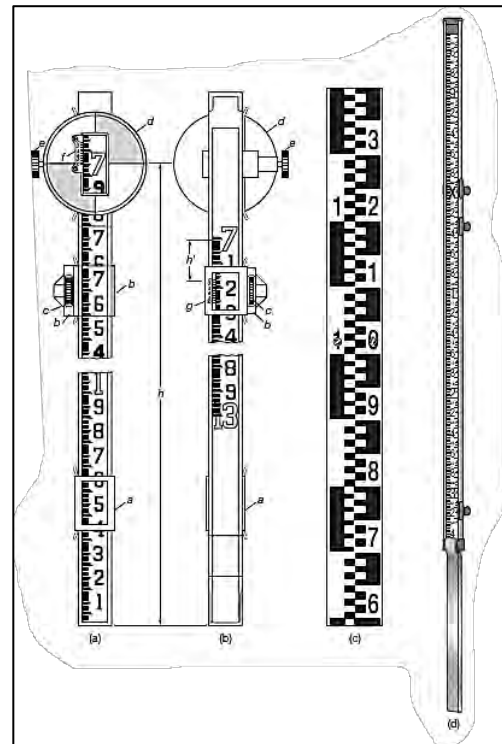
**Prism**



**Automatic level**

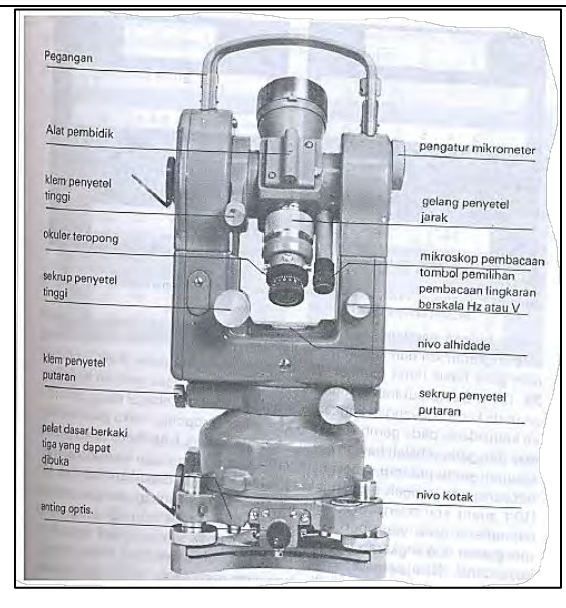
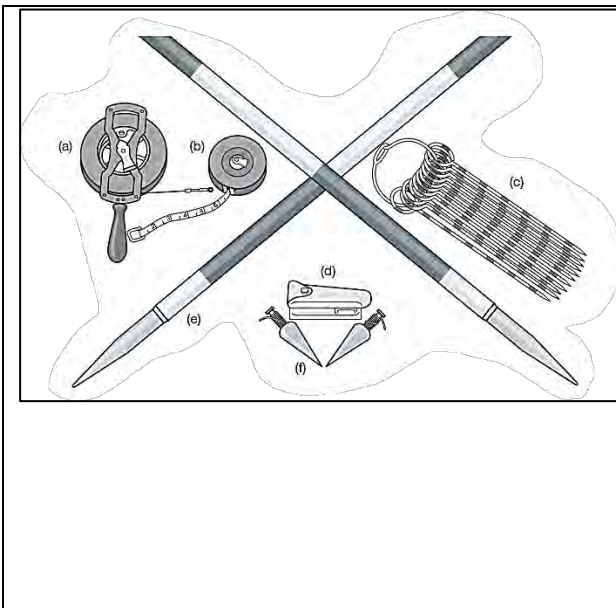


**Level rod**



**Taping equipment**

**Theodolit**



Bagian ini mempelajari:

- Definisi
- Satuan dalam pengukuran
- *Error* dalam pengukuran
- Indeks kepresisian
- Pembobotan

**DEFINISI**

Dalam *surveying* harus disadari bahwa tidak ada kemutlakan nilai yang terjadi. Kesalahan atau *error* tentunya menjadi satu bagian yang tidak terpisahkan dalam *surveying*. Ada beberapa hal yang mempengaruhi kesalahan ini, antara lain ketika *staking* alat ukur, saat pengamatan, efek lingkungan dan kemampuan dari surveyor itu sendiri.

Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam pengukuran antara lain *accuracy*/akurasi, *precision*/presisi dan *error*/kesalahan. Akurasi didefinisikan sebagai ukuran keandalan/reliabilitas hasil pengukuran. Dengan kata lain, akurasi dinyatakan dalam bentuk

$$akurasi = nilai sebenarnya - nilai yang paling mungkin$$

dimana terminologi “nilai yang paling mungkin” diturunkan dari hasil pengukuran. Kebanyakan kasus, nilai ini didapat dengan **rata-rata aritmatik dari sejumlah pengukuran bebas**. Namun demikian terminologi “nilai sebenarnya” tidak diketahui sehingga konsep “akurasi” ini tidak mungkin untuk diketahui. “Akurasi” hanya bisa diestimasi saja. “Akurasi” dapat diestimasi melalui nilai “residu”. Sebagai contoh pada hasil di bawah ini.

Pengukuran Panjang AB		Pengukuran Panjang XY	
Hasil Ukur	Residu	Hasil Ukur	Residu
25.34 m	+0.02 m	25.31 m	-0.01 m
25.49 m	+0.17 m	25.33 m	+0.01 m
25.12 m	-0.20 m	25.32 m	0.00 m
25.61 m	+0.29 m	25.33 m	+0.01 m
25.04 m	-0.28 m	25.31 m	-0.01 m
<b>Rata-Rata</b>		<b>Rata-Rata</b>	
25.32 m		25.32 m	



Berdasarkan contoh pengukuran di atas, nilai residu didapat dari selisih antara “nilai yang paling mungkin” atau nilai rata-rata dengan nilai hasil pengukuran, sehingga

$$\text{residu} = \text{nilai hasil pengukuran} - \text{nilai yang paling mungkin}$$

Penentuan akurat atau tidaknya berdasarkan residu adalah dengan memilih nilai residu yang terkecil. Sebagai contoh dari tabel di atas, pengukuran panjang XY memiliki residu yang relative lebih kecil dari pengukuran AB, dengan demikian, pengukuran XY dianggap lebih akurat.

Presisi didefinisikan sebagai pengukuran tingkat pengulangan hasil. Residu yang kecil mengindikasikan tingkat presisi yang baik. Dalam contoh tabel di atas, perhatikan bahwa pengukuran XY memiliki presisi yang baik ketimbang pengukuran AB. Perlu diperhatikan bahwa **presisi tidak menjamin akurasi**. Kasus seperti ini misalnya terjadi pada perhitungan jarak menggunakan tali ukur. Jika tali ukur memakai satuan yard sedangkan surveyor menganggap meter maka hasil tetap akan presisi namun tentu saja tidak akurat. Dengan demikian maka seperti pada bahasan sebelumnya, konsistensi sangat diperlukan termasuk dalam memilih satuan yang digunakan.

Ada terminologi lain yang perlu diperhatikan dalam menyatakan koordinat. Koordinat pengukuran beserta akurasi dan presisinya dapat dinyatakan sebagai koordinat absolut maupun koordinat relative. Absolut berarti koordinat berpatok pada datum yang ditentukan sebelumnya. Sedangkan relative berarti koordinat berpatok pada suatu titik tertentu lainnya.

Terminologi terakhir yaitu *error* atau kesalahan. *Error* didefinisikan sebagai besarnya perbedaan antara nilai eksak (*actual true value*) dengan nilai estimasi (*estimated true value*). Dari tiga terminologi di atas (akurasi, presisi dan error), hanya presisi saja yang bisa ditentukan secara langsung, sedangkan akurasi dan *error* hanya bisa ditentukan dengan asumsi. Akurasi biasanya ditentukan dari analisis presisi seperti contoh di atas, namun kadang terlalu over optimis terhadap hasilnya. Jumlah sampel perhitungan sebenarnya sangat menentukan dalam hal ini.

### **SATUAN DALAM PENGUKURAN**

Dalam surveying, umumnya pengukuran menggunakan satuan internasional, atau kadang disingkat sebagai SI. Beberapa besaran yang digunakan dalam pengukuran antara lain sebagai berikut

Besaran: Panjang, dalam satuan meter (m)

1 m :  $10^3$  milimeter (mm)

1 m :  $10^{-3}$  kilometer (km)

1 m :  $10^{-2}$  sentimeter (cm)

Besaran: luas, dalam satuan meter persegi ( $m^2$ )

1  $m^2$  :  $10^6$   $mm^2$

$10^4$   $m^2$  : 1 hectare (ha)

$10^6$   $m^2$  : 1  $km^2$

Besaran: volume, dalam satuan meter kubik ( $m^3$ )

1  $m^3$  :  $10^9$   $mm^3$

Besaran lainnya yaitu dalam pengukuran sudut, menggunakan besaran sexagesimal, centesimal dan radian. Penjelasannya adalah sebagai berikut:

Besaran: sudut, dalam sexagesimal, terdiri atas derajat ( $^\circ$ ), menit ( $'$ ) dan sekon ( $''$ ) dengan aturan sebagai berikut

$1^\circ$  : 60'

1' : 60''

Dan **contoh** penulisannya adalah  $125^\circ 46' 35''$ .

Besaran: sudut, dalam centesimal, dengan aturan sebagai berikut

1 gon : 100 cgon (sentigon)

1 cgon : 10 mgon (miligon)

1 gon :  $0.9^\circ$

Besaran: sudut, dalam radian, dengan aturan sebagai berikut

$2\pi$  rad :  $360^\circ$

$1^\circ$  :  $\frac{\pi}{180}$  rad

1 rad :  $57.2957795^\circ$

1 rad	:	57°17'44.8062"
-------	---	----------------

### **ERROR DALAM PENGUKURAN**

Dalam setiap pengukuran, tidak peduli seberapa baik saat eksekusi, selalu akan ada *error* atau kesalahan, sehingga “nilai yang sebenarnya” tidak akan pernah diketahui. Sumber-sumber kesalahan secara luas dibagi menjadi 3 kategori:

1. Kesalahan alami, yang dipengaruhi oleh variasi kondisi cuaca, refraksi, dan gravitasi.
2. Kesalahan alat ukur, yang dipengaruhi saat setting alat yang kurang baik atau konstruksi alat yang kurang baik.
3. Kesalahan personal, yang dipengaruhi karena ketidakmampuan individu/pengukur untuk menentukan nilai eksak dari pengukuran. Hal ini diakibatkan dari keterbatasan pandangan/penglihatan manusia, sentuhan dan pendengaran.

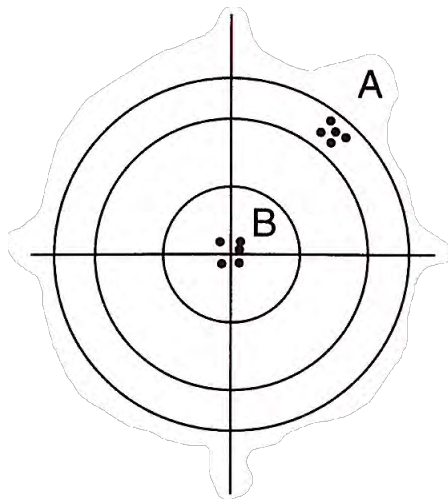
*Error*/kesalahan dapat diklasifikasikan menjadi 3 jenis. Klasifikasi pertama yaitu **gross error**. *Gross error* merupakan kesalahan besar yang dihasilkan dari “blunder”, kerusakan alat dan belum berpengalamannya seorang surveyor. Meski demikian *gross error* lazimnya sangat mudah dilacak sehingga perbaikan dari hal ini dapat dengan cepat dilakukan.

Klasifikasi yang kedua adalah **systematic error**, yang dapat berupa konstanta atau variabel yang disertakan dalam pengoperasian. *Systematic error* diperhitungkan kadang sebagai “faktor koreksi” dari nilai hasil pengukuran. Sumber dari *error* ini bisa berasal dari faktor alam maupun dari alat ukur itu sendiri. Berbeda dengan *gross error*, *systematic error* sangat sulit penentuannya sehingga perbaikannya juga akan sangat sulit. Penentuan *systematic error* harus dilakukan secara hati-hati. Melakukan kalibrasi alat sebelum pengukuran merupakan cara untuk meminimalkan *systematic error*.

Klasifikasi ketiga adalah **random error**, yang didefinisikan sebagai nilai *error* yang tersisa setelah nilai *error* lainnya diperbaiki/dihilangkan. *Error* sangatlah kecil, tidak terprediksi dan tidak ada prosedur untuk menguranginya. *Random error* dianalisis menggunakan prinsip-prinsip statistika dengan menggunakan distribusi normal atau distribusi lain yang mengikuti sebarannya.

### **Konsep dasar error**

Konsep dasar *error* dapat dianalogikan seperti gambar bidikan di bawah ini.



Gambar ini merupakan titik-titik bidikan dari skill seorang sniper (misalnya di titik A). Skill dari seorang sniper dibuktikan dari sangat kecilnya sebaran bidikan yang dilakukan. Namun demikian, meski di titik A sebaran bidikannya sangat kecil (menandakan kepresisian) namun hal tersebut tidak menyatakan keakurasian karena target ada di titik B. Hal ini bisa disebabkan karena misalnya gangguan cahaya matahari sehingga membelokkan pandangan

(*systematic error*). Dengan demikian bidikan di titik A tersebut **sangat presisi namun tidak akurat**. Kemudian, ketika bidikan berhasil di titik B, dan pada gambar tersebut masih ada sebaran bidikan yang sangat kecil, maka dalam hal ini bidikan dikatakan presisi dan akurat. Bidikan ini sudah berhasil mengeliminasi *gross error* dan *systematic error* sehingga yang tersisa adalah *random error*. Bukti dari keberadaan *random error* ini adalah masih sedikit ada sebaran pada bidikan di titik B.

Dengan hasil pengukuran lainnya hasil bidikan di titik B (titik-titik sebaran merupakan sampel hasil pengukuran berulang-ulang), maka surveyor kini bisa menentukan “nilai yang paling mungkin”. Dengan analogi bidikan seorang sniper ini, maka beberapa fakta penting terungkap, diantaranya adalah

1. Sebaran atau scatter adalah indikator presisi.
2. Presisi berbeda dengan akurasi. Presisi tidak mengindikasikan keakurasian.
3. Presisi menyatakan keakurasian hanya ketika *gross error* dan *systematic error* telah dieliminasi.
4. Akurasi dinyatakan dalam bentuk batasan *error*. Dengan demikian akurasi pengukuran seringkali ditulis dalam bentuk  $x \pm \varepsilon_x$  dimana  $\varepsilon_x$  adalah *error*.
5. Posisi ditentukan oleh surveyor, apakah itu merupakan posisi titik *control network* atau posisi detail topografi memerlukan evaluasi secara statistik untuk menentukan kepresisiannya.

### **Definisi lanjutan**

Dalam memahami analisis pada hasil *surveying* maka berikut ini adalah beberapa definisi lanjutan yang harus diketahui dan dipahami.

1. Nilai sesungguhnya atau *true value* pada pengukuran **tidak akan pernah** ditemukan.
2. *Error*  $\varepsilon_x$  merupakan selisih antara nilai *true value*  $X$  dengan *observed value*  $x$ , atau dengan kata lain  $\varepsilon_x = X - x$ .
3. Kesalahan/*error* relative  $R_x$  merupakan *error* terhadap hasil pengukuran, dengan demikian

$$R_x = \frac{\varepsilon_x}{x}$$

4. Nilai yang paling mungkin atau *most probable value* (MVP), merupakan nilai pendekatan terbaik yang didapat dari **beberapa set data pengukuran**. Nilai ini diambil dari rata-rata aritmatik dari set data. Jika  $A$  adalah rata-rata aritmatik,  $X$  adalah *true value* dan  $\varepsilon_n$  adalah *error* dari  $n$  pengukuran, maka

$$A = X - \frac{\sum \varepsilon_n}{n}$$

5. Residu adalah perbedaan antara MVP dan *observed value*.

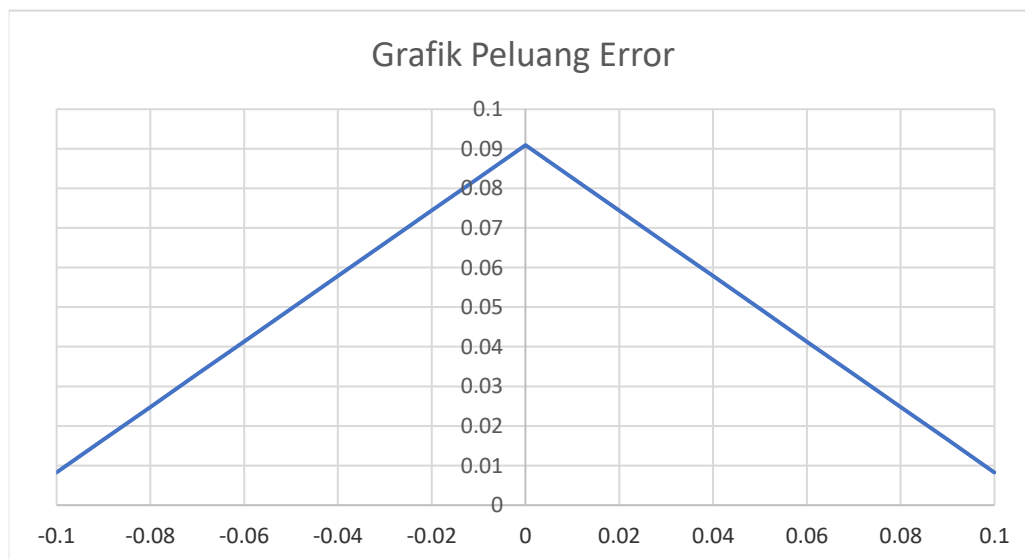
### **Probabilitas**

Misalkan suatu pengukuran panjang menghasilkan 29.42 m, dan koreksi  $\pm 0.05$  m. Maka dapat dikatakan bahwa *range* hasil pengukuran ini berada pada 29.37 m s.d 29.47 m. Untuk setiap koreksi 0.01 m, akan menghasilkan 11 probabilitas hasil yang mungkin. Kemudian, jika pengukuran dilakukan sebanyak 2 kali, maka banyaknya probabilitas yang terjadi adalah  $11 \times 11 = 121$  probabilitas. Dan range dengan faktor koreksi menjadi  $2x \pm 0.05$  m =  $\pm 0.1$  m. Perlu disadari bahwa dengan hal tersebut *error* sebesar -0.1 akan terjadi 1 kali, kemudian misalnya *error* sebesar -0.08 akan terjadi setidaknya 3 kali, dengan demikian dengan cara seperti ini kita bisa tabulasi probabilitas *error* yang terjadi pada tabel di bawah ini

<b>Error</b>	<b>Frekuensi</b>	<b>Probabilitas</b>
-0.10	1	$\frac{1}{121}$
-0.09	2	$\frac{2}{121}$
-0.08	3	$\frac{3}{121}$
-0.07	4	$\frac{4}{121}$

-0.06	5	$\frac{5}{121}$
-0.05	6	$\frac{6}{121}$
-0.04	7	$\frac{7}{121}$
-0.03	8	$\frac{8}{121}$
-0.02	9	$\frac{9}{121}$
-0.01	10	$\frac{10}{121}$
0	11	$\frac{11}{121}$
0.01	10	$\frac{10}{121}$

Jika probabilitas tersebut diplot pada suatu grafik, maka dapat disusun dalam bentuk



Kurva ini disebut sebagai **kurva distribusi normal**. Luas daerah di bawah kurva ini mewakili probabilitas *error* antara  $\pm 0.1 m$  dan tentunya bernilai 1.0. Dengan menginspeksi kurva ini, ada beberapa hal terungkap, antara lain

1. *Error* positif dan negatif memiliki kemungkinan yang sama.
2. *Error* yang kecil, lebih sering terjadi, sehingga peluangnya lebih besar.
3. *Error* yang besar sangat jarang terjadi. Jikapun terjadi hal tersebut merupakan *gross error* atau *systemic error* yang tidak diperbaiki.

Secara umum, model *probability density function* (PDF) dari distribusi normal dinyatakan dalam bentuk

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left[-\frac{(x - \mu)^2}{2\sigma^2}\right]$$

Dengan  $\sigma$  merupakan parameter statistik standar deviasi (populasi) dan  $\mu$  merupakan parameter statistik *expected value* (populasi) PDF ini sebenarnya dapat disederhanakan dengan menggunakan parameter  $z$  yang dibentuk sebagai

$$z = \frac{x - \mu}{\sigma}$$

sehingga PDF dari distribusi normal menjadi bentuk standar

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{z^2}{2}\right]$$

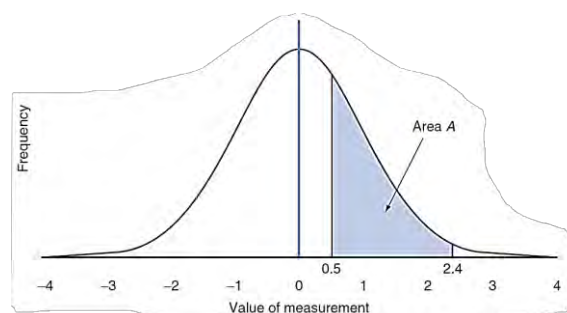
Untuk  $-\infty \leq z \leq \infty$ .

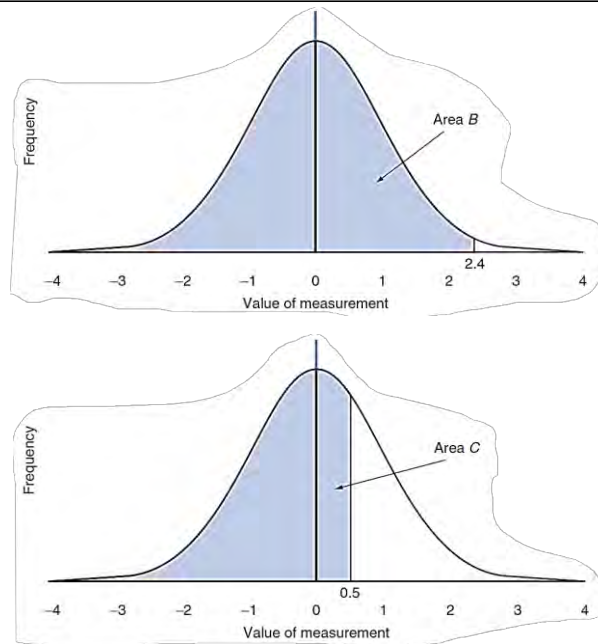
Jika suatu nilai pengukuran  $x$  ditentukan serta  $\mu$  dan  $\sigma$  dihitung, maka peluang terjadinya nilai  $x$  adalah

$$F(x) = \int_{-\infty}^z \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{u^2}{2}\right] du$$

$u$  adalah variabel dummy dan tidak memiliki nilai eksak dan didapat dari tabel distribusi normal.

Model yang dijelaskan ini merupakan model pendekatan populasi yang sebenarnya dilapangan jumlahnya tidak terbatas. Selain itu model ini bisa juga diterapkan untuk menentukan “berapakah nilai  $x$  yang memiliki peluang terjadinya  $p\%$ ”. Dengan kata lain kita bisa menentukan besarnya *error* dari satu set data hasil pengukuran. Dengan melakukan plotting nilai pengukuran terhadap frekuensi yang terjadi maka grafik distribusi normal juga bisa terbentuk. Sebagai contoh probabilitas bahwa  $x$  akan jatuh pada nilai 0.5 s.d 2.4 maka digambarkan pada gambar di bawah ini





Dari gambar-gambar ini kita dapat menyatakan hal-hal berikut

$$P(0.5 < x < 2.4) = \text{area A}$$

$$P(x < 2.4) = \text{area B}$$

$$P(x < 0.5) = \text{area C}$$

Sehingga

$$P(0.5 < x < 2.4) = P(x < 2.4) - P(x < 0.5)$$

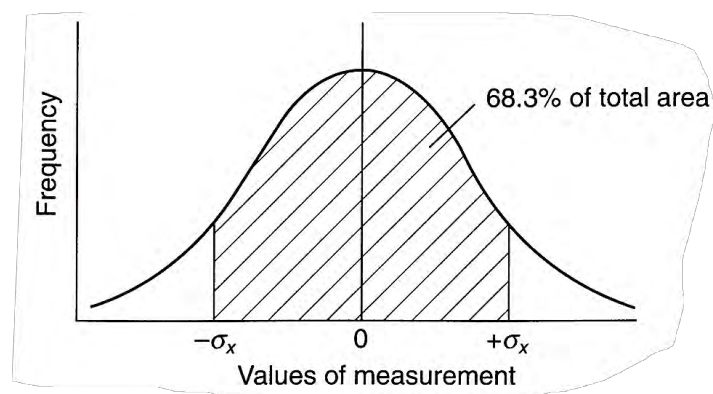
Dengan menggunakan tabel distribusi normal, didapat

$$P(0.5 < x < 2.4) = 0.9918 - 0.6915$$

$$P(0.5 < x < 2.4) = 0.3$$

Dengan demikian peluang terjadinya pengukuran antara 0.5 dan 2.4 adalah 0.3.

Jika kurva dipotong pada titik  $-\sigma_x$  dan  $+\sigma_x$  maka akan tergambar kurva berikut





ILMU UKUR TANAH – ERROR DAN KETIDAKPASTIAN

Ngakan Putu Purnaditya – FT Untirta

<b>z</b>	<b>0</b>	<b>0.01</b>	<b>0.02</b>	<b>0.03</b>	<b>0.04</b>	<b>0.05</b>	<b>0.06</b>	<b>0.07</b>	<b>0.08</b>	<b>0.09</b>
<b>0</b>	0.5000	0.5040	0.5080	0.5120	0.5160	0.5199	0.5239	0.5279	0.5319	0.5359
<b>0.1</b>	0.5398	0.5438	0.5478	0.5517	0.5557	0.5596	0.5636	0.5675	0.5714	0.5753
<b>0.2</b>	0.5793	0.5832	0.5871	0.591	0.5948	0.5987	0.6026	0.6064	0.6103	0.6141
<b>0.3</b>	0.6179	0.6217	0.6255	0.6293	0.6331	0.6368	0.6406	0.6443	0.648	0.6517
<b>0.4</b>	0.6554	0.6591	0.6628	0.6664	0.67	0.6736	0.6772	0.6808	0.6844	0.6879
<b>0.5</b>	0.6915	0.695	0.6985	0.7019	0.7054	0.7088	0.7123	0.7157	0.719	0.7224
<b>0.6</b>	0.7257	0.7291	0.7324	0.7357	0.7389	0.7422	0.7454	0.7486	0.7517	0.7549
<b>0.7</b>	0.758	0.7611	0.7642	0.7673	0.7704	0.7734	0.7764	0.7794	0.7823	0.7852
<b>0.8</b>	0.7881	0.791	0.7939	0.7967	0.7995	0.8023	0.8051	0.8078	0.8106	0.8133
<b>0.9</b>	0.8159	0.8186	0.8212	0.8238	0.8264	0.8289	0.8315	0.834	0.8365	0.8389
<b>1</b>	0.8413	0.8438	0.8461	0.8485	0.8508	0.8531	0.8554	0.8577	0.8599	0.8621
<b>1.1</b>	0.8643	0.8665	0.8686	0.8708	0.8729	0.8749	0.877	0.879	0.881	0.883
<b>1.2</b>	0.8849	0.8869	0.8888	0.8907	0.8925	0.8944	0.8962	0.898	0.8997	0.9015
<b>1.3</b>	0.9032	0.9049	0.9066	0.9082	0.9099	0.9115	0.9131	0.9147	0.9162	0.9177
<b>1.4</b>	0.9192	0.9207	0.9222	0.9236	0.9251	0.9265	0.9279	0.9292	0.9306	0.9319
<b>1.5</b>	0.9332	0.9345	0.9357	0.937	0.9382	0.9394	0.9406	0.9418	0.9429	0.9441
<b>1.6</b>	0.9452	0.9463	0.9474	0.9484	0.9495	0.9505	0.9515	0.9525	0.9535	0.9545
<b>1.7</b>	0.9554	0.9564	0.9573	0.9582	0.9591	0.9599	0.9608	0.9616	0.9625	0.9633
<b>1.8</b>	0.9641	0.9649	0.9656	0.9664	0.9671	0.9678	0.9686	0.9693	0.9699	0.9706
<b>1.9</b>	0.9713	0.9719	0.9726	0.9732	0.9738	0.9744	0.975	0.9756	0.9761	0.9767
<b>2</b>	0.9772	0.9778	0.9783	0.9788	0.9793	0.9798	0.9803	0.9808	0.9812	0.9817
<b>2.1</b>	0.9821	0.9826	0.983	0.9834	0.9838	0.9842	0.9846	0.985	0.9854	0.9857
<b>2.2</b>	0.9861	0.9864	0.9868	0.9871	0.9875	0.9878	0.9881	0.9884	0.9887	0.989
<b>2.3</b>	0.9893	0.9896	0.9898	0.9901	0.9904	0.9906	0.9909	0.9911	0.9913	0.9916
<b>2.4</b>	0.9918	0.992	0.9922	0.9925	0.9927	0.9929	0.9931	0.9932	0.9934	0.9936
<b>2.5</b>	0.9938	0.994	0.9941	0.9943	0.9945	0.9946	0.9948	0.9949	0.9951	0.9952
<b>2.6</b>	0.9953	0.9955	0.9956	0.9957	0.9959	0.996	0.9961	0.9962	0.9963	0.9964
<b>2.7</b>	0.9965	0.9966	0.9967	0.9968	0.9969	0.997	0.9971	0.9972	0.9973	0.9974
<b>2.8</b>	0.9974	0.9975	0.9976	0.9977	0.9977	0.9978	0.9979	0.9979	0.998	0.9981
<b>2.9</b>	0.9981	0.9982	0.9982	0.9983	0.9984	0.9984	0.9985	0.9985	0.9986	0.9986
<b>3</b>	0.9987	0.9987	0.9987	0.9988	0.9988	0.9989	0.9989	0.9989	0.999	0.999
<b>3.1</b>	0.999	0.9991	0.9991	0.9991	0.9992	0.9992	0.9992	0.9992	0.9993	0.9993
<b>3.2</b>	0.9993	0.9993	0.9994	0.9994	0.9994	0.9994	0.9994	0.9995	0.9995	0.9995
<b>3.3</b>	0.9995	0.9995	0.9995	0.9996	0.9996	0.9996	0.9996	0.9996	0.9996	0.9997
<b>3.4</b>	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9998
<b>3.5</b>	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998

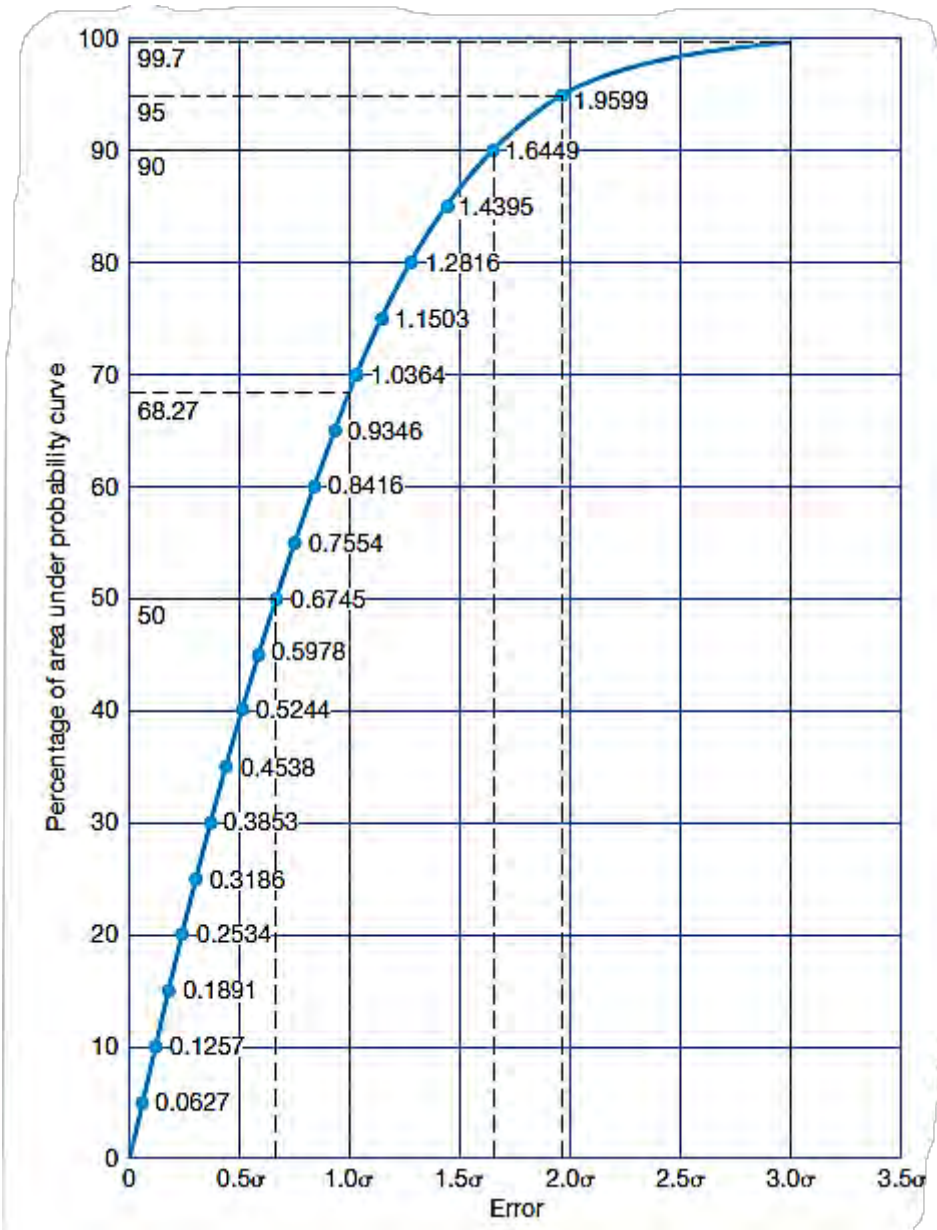
<b>z</b>	<b>0</b>	<b>0.01</b>	<b>0.02</b>	<b>0.03</b>	<b>0.04</b>	<b>0.05</b>	<b>0.06</b>	<b>0.07</b>	<b>0.08</b>	<b>0.09</b>
-3.5	0.0002	0.0002	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003
-3.4	0.0003	0.0003	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0005	0.0005
-3.3	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0007
-3.2	0.0007	0.0007	0.0007	0.0008	0.0008	0.0008	0.0008	0.0009	0.0009	0.0009
-3.1	0.0010	0.0010	0.0010	0.0011	0.0011	0.0011	0.0012	0.0012	0.0013	0.0013
-3	0.0013	0.0014	0.0014	0.0015	0.0015	0.0016	0.0016	0.0017	0.0018	0.0018
-2.9	0.0019	0.0019	0.0020	0.0021	0.0021	0.0022	0.0023	0.0023	0.0024	0.0025
-2.8	0.0026	0.0026	0.0027	0.0028	0.0029	0.0030	0.0031	0.0032	0.0033	0.0034
-2.7	0.0035	0.0036	0.0037	0.0038	0.0039	0.0040	0.0041	0.0043	0.0044	0.0045
-2.6	0.0047	0.0048	0.0049	0.0051	0.0052	0.0054	0.0055	0.0057	0.0059	0.0060
-2.5	0.0062	0.0064	0.0066	0.0068	0.0069	0.0071	0.0073	0.0075	0.0078	0.0080
-2.4	0.0082	0.0084	0.0087	0.0089	0.0091	0.0094	0.0096	0.0099	0.0102	0.0104
-2.3	0.0107	0.0110	0.0113	0.0116	0.0119	0.0122	0.0125	0.0129	0.0132	0.0136
-2.2	0.0139	0.0143	0.0146	0.0150	0.0154	0.0158	0.0162	0.0166	0.0170	0.0174
-2.1	0.0179	0.0183	0.0188	0.0192	0.0197	0.0202	0.0207	0.0212	0.0217	0.0222
-2	0.0228	0.0233	0.0239	0.0244	0.0250	0.0256	0.0262	0.0268	0.0274	0.0281
-1.9	0.0287	0.0294	0.0301	0.0307	0.0314	0.0322	0.0329	0.0336	0.0344	0.0351
-1.8	0.0359	0.0367	0.0375	0.0384	0.0392	0.0401	0.0409	0.0418	0.0427	0.0436
-1.7	0.0446	0.0455	0.0465	0.0475	0.0485	0.0495	0.0505	0.0516	0.0526	0.0537
-1.6	0.0548	0.0559	0.0571	0.0582	0.0594	0.0606	0.0618	0.0630	0.0643	0.0655
-1.5	0.0668	0.0681	0.0694	0.0708	0.0721	0.0735	0.0749	0.0764	0.0778	0.0793
-1.4	0.0808	0.0823	0.0838	0.0853	0.0869	0.0885	0.0901	0.0918	0.0934	0.0951
-1.3	0.0968	0.0985	0.1003	0.1020	0.1038	0.1056	0.1075	0.1093	0.1112	0.1131
-1.2	0.1151	0.1170	0.1190	0.1210	0.1230	0.1251	0.1271	0.1292	0.1314	0.1335
-1.1	0.1357	0.1379	0.1401	0.1423	0.1446	0.1469	0.1492	0.1515	0.1539	0.1562
-1	0.1587	0.1611	0.1635	0.1660	0.1685	0.1711	0.1736	0.1762	0.1788	0.1814
-0.9	0.1841	0.1867	0.1894	0.1922	0.1949	0.1977	0.2005	0.2033	0.2061	0.2090
-0.8	0.2119	0.2148	0.2177	0.2206	0.2236	0.2266	0.2296	0.2327	0.2358	0.2389
-0.7	0.2420	0.2451	0.2483	0.2514	0.2546	0.2578	0.2611	0.2643	0.2676	0.2709
-0.6	0.2743	0.2776	0.2810	0.2843	0.2877	0.2912	0.2946	0.2981	0.3015	0.3050
-0.5	0.3085	0.3121	0.3156	0.3192	0.3228	0.3264	0.3300	0.3336	0.3372	0.3409
-0.4	0.3446	0.3483	0.3520	0.3557	0.3594	0.3632	0.3669	0.3707	0.3745	0.3783
-0.3	0.3821	0.3859	0.3897	0.3936	0.3974	0.4013	0.4052	0.4090	0.4129	0.4168
-0.2	0.4207	0.4247	0.4286	0.4325	0.4364	0.4404	0.4443	0.4483	0.4522	0.4562
-0.1	0.4602	0.4641	0.4681	0.4721	0.4761	0.4801	0.4840	0.4880	0.4920	0.4960
0	0.5000	0.5040	0.5080	0.5120	0.5160	0.5199	0.5239	0.5279	0.5319	0.5359

Peluang terjadinya nilai  $x$  pada range  $\pm\sigma_x$  adalah 0.683 atau 68.3%. standar deviasi  $\sigma_x$  jika digunakan untuk menentukan kepresisian data, maka ketika menghitung rata-rata aritmatik  $\bar{x}$  maka hal ini dinyatakan sebagai  $\bar{x} \pm \sigma_x$ . Dengan cara yang lain, jika sample data terdistribusi normal dan hanya meliputi variabel acak, maka kisaran 7 data dari 10 data akan berada pada nilai  $\bar{x} \pm \sigma_x$ . Sehingga hal ini membentuk teorema dua sigma dan tiga sigma sebagai berikut

$$\pm 2\sigma_x = 0.955 = 95.5\%$$

$$\pm 3\sigma_x = 0.997 = 99.7\%$$

Teorema ini jika ditabulasi dalam bentuk grafik, maka kita bisa menggunakan langsung grafik berikut ini



### INDEKS KEPRESISIAN

Telah dikatakan bahwa kepresisian suatu set hasil pengukuran, dapat dilihat dari standar deviasi (populasi)  $\sigma_x$ . Untuk menentukan kepresisian data, kita harus menghitung rata-rata aritmatik  $\bar{x}$  dari sekumpulan data  $x$ . Kemudian tiap data observasi dikurangi dengan rata-ratanya atau  $x_i - \bar{x}$ . Kemudian rata-rata kuadrat dari selisih ini disebut *variance* dan dinyatakan dalam bentuk

$$\sigma^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$$

Permasalahan dari persamaan di atas adalah  $\sigma$  merupakan hasil dari suatu populasi yang jumlahnya tidak terbatas, padahal kenyataan di lapangan adalah yang kita ambil adalah sample. Sehingga dalam persamaan tersebut harus dikoreksi sebagaimana teorema *Bessel Correction* yaitu  $n - 1$  dan menjadi terminologi variance dari suatu sampel  $S^2$

$$S^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$$

Kemudian nilai standar deviasi dari satu set sampel data diturunkan dalam bentuk

$$S = \left[ \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

**PERHATIKAN** bahwa, standar deviasi dibatasi nilainya 68.3%. kemudian terminologi terakhir adalah *standard error*  $S_{\bar{x}}$  yang dinyatakan dalam bentuk

$$S_{\bar{x}} = \left[ \frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

*Standard error*  $S_{\bar{x}}$  kemudian mengindikasikan batasan *error*, dimana dengan nilai 68,3% sebagai nilai batasannya.

### **CONTOH SOAL**

Diketahui hasil pengukuran jarak (dilakukan sebanyak 10 kali) dengan hasil di bawah ini

No	Jarak (m)
1	161.57
2	161.52
3	161.51
4	161.52
5	161.54
6	161.55
7	161.50
8	161.54

9	161.54
10	161.57

Tentukan hal-hal berikut ini

- *Most probable value* (MVP) atau nilai yang paling mungkin
- Perkiraan *error* yang memiliki peluang terjadinya 50%, 90% dan 95%

**JAWAB**

MVP didapat dengan cara rata-rata aritmatik, dengan demikian akan mudah dihitung

$$\bar{x} = 161.54 \text{ m}$$

Kemudian sebelum menentukan *error*, kita hitung dahulu residunya, lalu dicari standar deviasinya

No	Jarak (m)	Residu (m)
1	161.57	0.04
2	161.52	-0.02
3	161.51	-0.02
4	161.52	-0.02
5	161.54	0.01
6	161.55	0.01
7	161.50	-0.04
8	161.54	0.00
9	161.54	0.01
10	161.57	0.03

Residu ini kita hitung standar deviasinya *S* dan didapat

$$S = \pm 0.023537 \text{ m}$$

Dengan ini kita bisa menghitung besarnya perkiraan *error*

Untuk perkiraan 50%

$$\varepsilon_{50} = \pm 0.6745S$$

$$\varepsilon_{50} = \pm 0.6745 \times 0.023537$$

$$\varepsilon_{50} = \pm 0.01587 \text{ m}$$

Untuk perkiraan 90%

$$\varepsilon_{90} = \pm 1.6449S$$

$$\varepsilon_{90} = \pm 1.6449 \times 0.023537$$

$$\varepsilon_{90} = \pm 0.03872 \text{ m}$$

Untuk perkiraan 95%

$$\varepsilon_{95} = \pm 1.9599S$$

$$\varepsilon_{95} = \pm 1.9599 \times 0.023537$$

$$\varepsilon_{95} = \pm 0.04613 \text{ m}$$

Bagian ini mempelajari:

- *Levelling*
- Definisi
- Kurvatur dan refraksi
- Alat-alat pengukuran vertikal
- Pengaturan alat
- Prinsip *levelling*
- Sumber kesalahan
- Toleransi
- Distribusi *error*
- Aplikasi *levelling*
- *Levelling* secara resiprok
- Trigonometrical *levelling*

## **LEVELLING**

*Levelling* secara luas digunakan sebagai metode untuk mendapatkan elevasi permukaan tanah relative terhadap datum. *Levelling* meliputi pengukuran jarak vertikal relative terhadap garis horizontal pandangan.

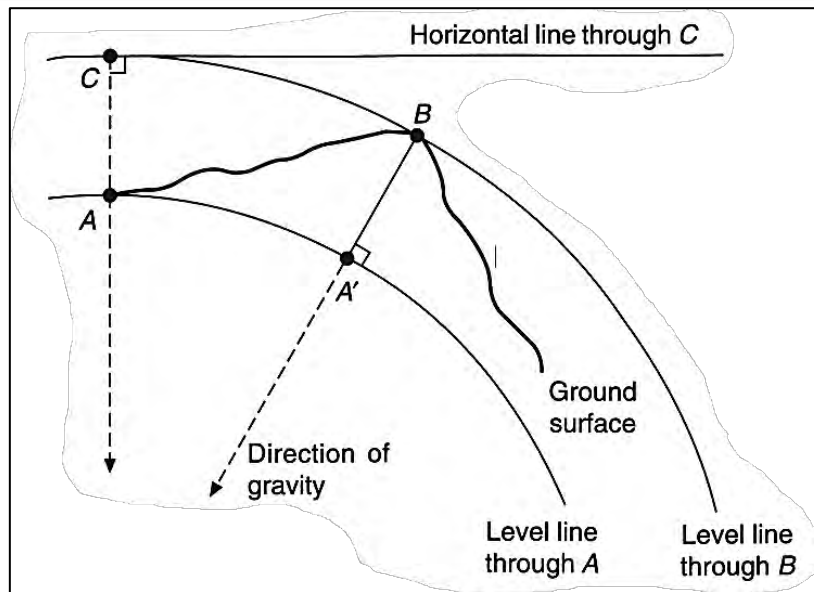
## **DEFINISI**

Beberapa istilah penting dalam konteks pengukuran vertikal dapat dijabarkan berikut ini

- *Level line* atau *level surface*, adalah garis yang menghubungkan titik-titik dimana posisinya adalah normal terhadap arah gaya gravitasi. Level line mengikuti lengkungan elipsoid bumi.
- *Horizontal line*, garis pada titik dimana posisinya adalah normal terhadap arah gaya gravitasi pada titik tertentu.

Dua definisi di atas dapat diilustrasikan pada gambar di bawah

- Datum, adalah garis referensi dimana elevasi permukaan tanah, nilai elevasinya merujuk/berpatok pada garis referensi tersebut. Datum bisa dari level muka air laut normal (MSL), atau kadang di lapangan bisa menggunakan elevasi terendah yang ada di sekitar daerah pengukuran (untuk keperluan analisis yang sifatnya local).



- *Benchmark* (BM), merupakan suatu tanda elevasi untuk patokan pengukuran yang sifatnya permanen. BM ini akan menjadi titik kontrol dalam pengukuran dan koordinatnya sudah diketahui. Beberapa jenis *benchmark* (BM) yang biasa digunakan:

**Cut benchmark**



**Flush benchmark**



**Bolt benchmark**

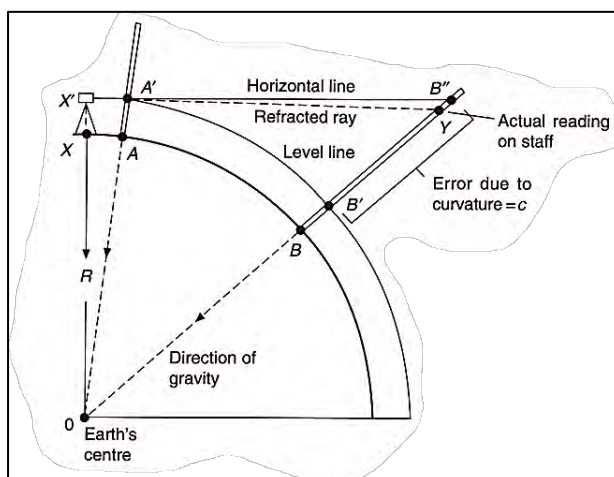
**Fundamental benchmark**





- *Reduced level (RL)*, menyatakan tinggi di atas atau di bawah *reference datum*.

**KURVATUR DAN REFRAKSI**



Gambar di samping menunjukkan titik A dan B berada pada level yang sama. Alat ukur ditempatkan pada titik X akan menghasilkan garis horizontal melalui X'. Secara teori, pengamat tentunya akan membaca angka A' di titik A dan angka B' di titik B. Namun demikian pada kenyataannya, pengamatan

menghasilkan horizontal line dan alat akan membaca elevasi titik B pada angka B''. Selisih antara tinggi AA' dengan BB'' mengindikasikan bahwa B lebih rendah dari A. Error semacam ini disebabkan oleh kurvatur permukaan bumi, dan nilai tersebut dapat

dihitung berdasarkan gambar di atas dengan asumsi bahwa bentuk bumi adalah spherical dan tinggi alat diabaikan.

$$(X'B'')^2 = (OB'')^2 - (OX')^2 \quad (1)$$

$$(X'B'')^2 = (R + c)^2 - R^2 \quad (2)$$

$$(X'B'')^2 = R^2 + 2Rc + c^2 - R^2 \quad (3)$$

$$(X'B'')^2 = 2Rc + c^2 \quad (4)$$

Pada kenyatannya di lapangan, nilai  $c$  biasanya kecil, sehingga  $X'B''$  nilainya sama dengan  $XB$ , jika demikian maka

$$(XB)^2 = 2Rc + c^2 \quad (5)$$

$$XB = (2Rc + c^2)^{\frac{1}{2}} \quad (6)$$

Kemudian anggapan praktis menyatakan bahwa biasanya nilai  $c$  sangat kecil, sehingga  $c^2$  tidaklah terlalu berpengaruh, dengan demikian, modifikasi persamaan (6) akan menjadi

$$XB = (2Rc)^{\frac{1}{2}} \quad (7)$$

$$c = \frac{(XB)^2}{2R} \quad (8)$$

Terminologi  $R$  adalah jari-jari bumi yang nilainya sekitar 6370 km. Persamaan (8) merupakan persamaan untuk menghitung *error* setelah efek refraksi. *Error* ini termasuk jenis *systematic error*.

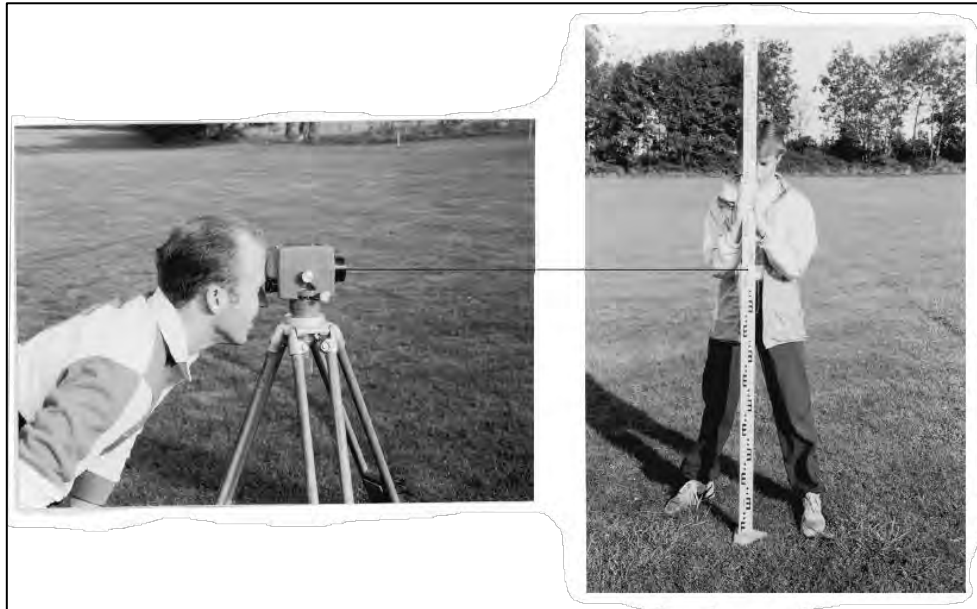
Pada kenyataannya di lapangan, kadang pengamat melihat titik  $B''$  tidak tepat, melainkan terlihat pada titik  $Y$ . Pendekatan untuk mendapat nilai  $c$  dapat dilakukan dengan mengurangi persamaan (8) dengan  $\frac{1}{7}c$  sebagai efek kurvatur  $r$ . Dengan demikian maka

$$(c - r) = \frac{6}{7} \frac{(XB)^2}{2R} \quad (9)$$

Baik persamaan (8) maupun persamaan (9) sebenarnya dapat digunakan keduanya. Hal ini dikarenakan keduanya sudah masuk dalam *systemic error*, jika *gross error* sudah diperbaiki juga, maka sebenarnya yang tersisa adalah *random error*, dimana teknik analisisnya sudah dijelaskan pada *handout* materi bagian 2 tentang *error* dan ketidakpastian.

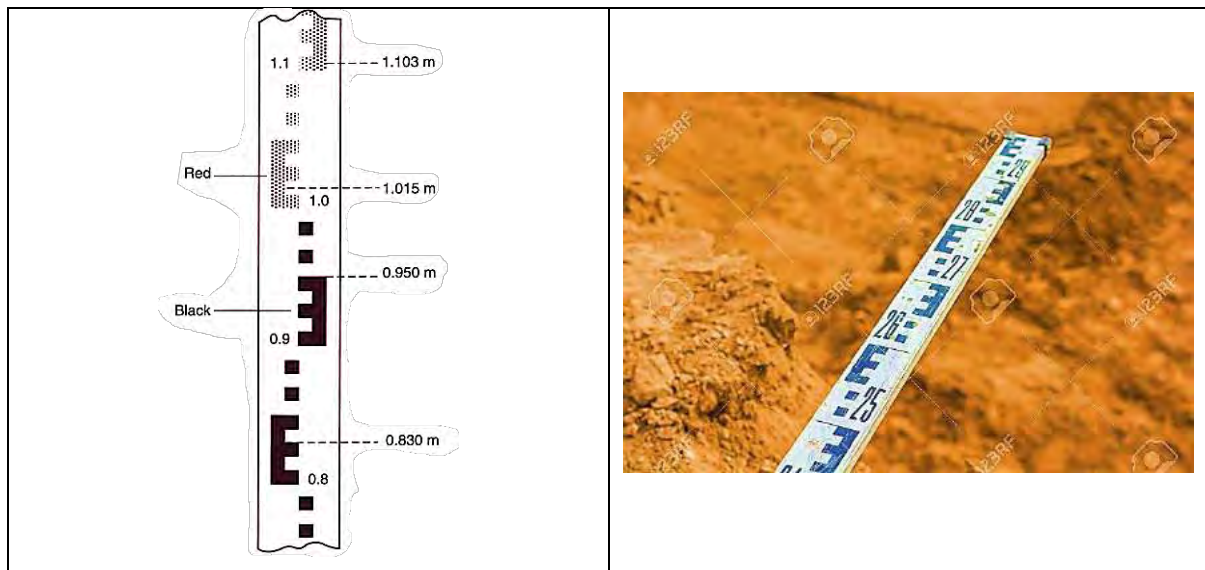
## ALAT-ALAT PENGUKURAN VERTIKAL

Alat pengukuran vertikal umumnya terdiri atas *optical level* dan tongkat ukur (*graduated staff*). *Optical level* tersusun atas teleskop yang dipasangkan dengan tabung gelembung atau *compensator* otomatis. Keduanya sama-sama berfungsi untuk membuat pandangan horizontal ketika mengamati tongkat ukur vertikal yang dipasang. Ilustrasinya dapat dilihat pada gambar berikut



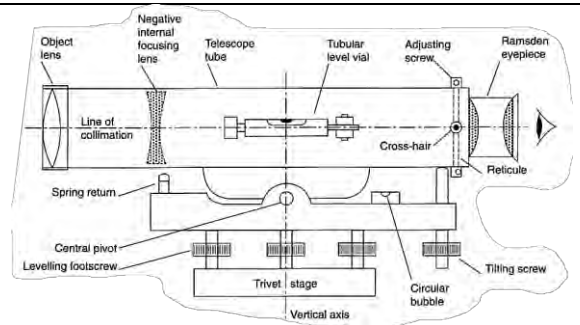
Berikut ini adalah penjelasan mengenai alat ukur vertikal

- *Graduated staff*, terbuat dari kayu, metal, atau serat kaca (*fiberglass*). Kemudian benda ini memiliki satuan panjang meter dan centimeter. Contoh ilustrasi dan gambar dari *graduated staff* terlihat pada gambar berikut



- *Optical level*, terdapat beberapa tipe yang biasa digunakan secara umum, yaitu *tilting level*, *automatic level*, dan *digital level*. Ilustrasi masing-masing tipe alat tersebut dapat dilihat pada gambar-gambar berikut ini

**Tilting level**



**Automatic level**



**Digital level**

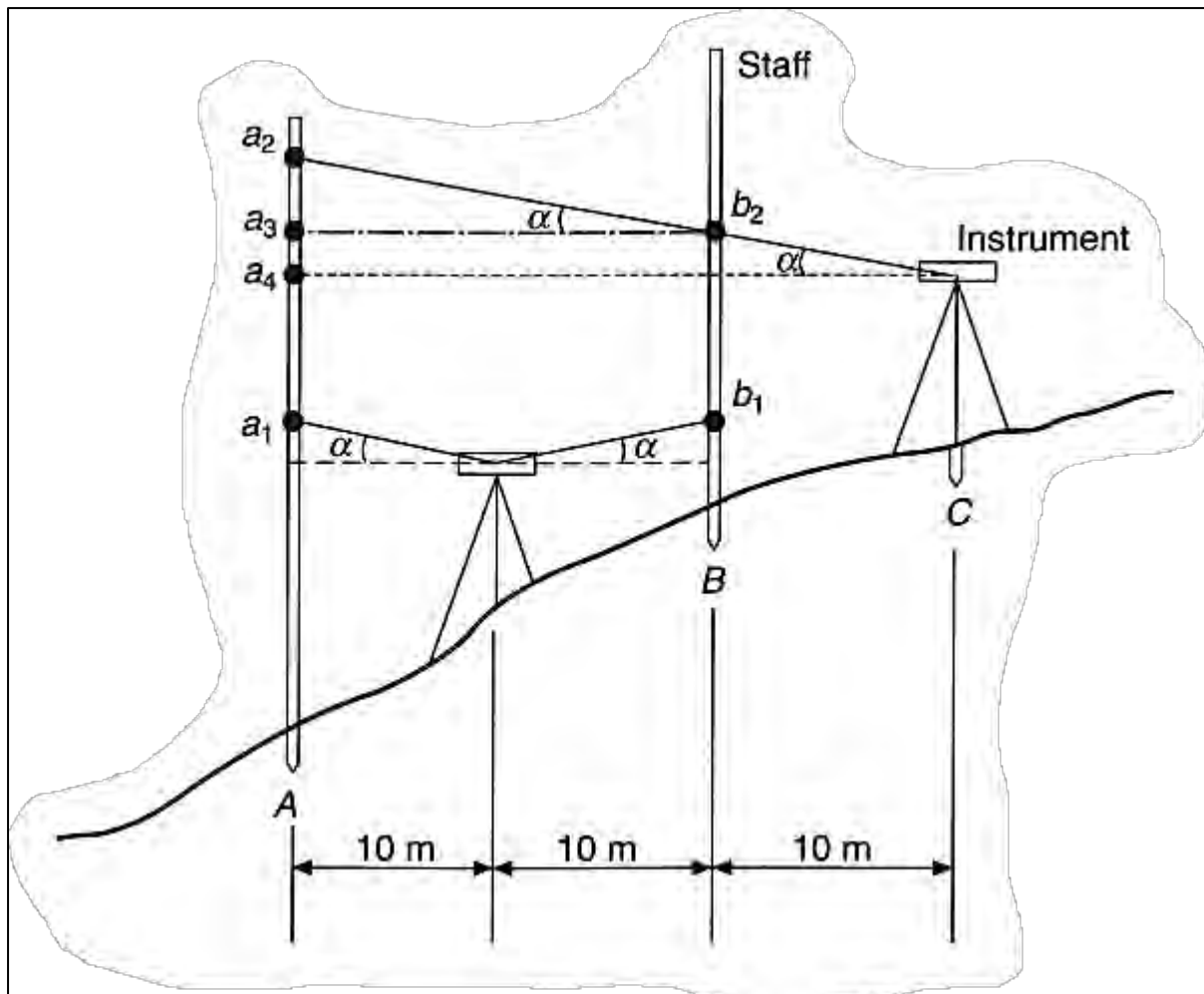


**PENGATURAN ALAT**

Agar alat ukur menghasilkan hasil yang baik, maka sebelum *surveying* alat ukur harus dites dan diatur sedemikian rupa. Hal ini disebabkan karena alat ukur ini biasanya akan dipakai sesering mungkin dengan medan lapangan yang sangat bervariasi. Dengan demikian maka, kalibrasi alat merupakan tahapan yang tidak bisa dipisahkan. Kalibrasi alat tergantung pada jenis alat ukur vertikal yang digunakan.

***Kalibrasi tilting level***

Kalibrasi alat *tilting level* dilakukan untuk meminimalkan *collimation error*. *Collimation error* terjadi jika garis pandangan tidak sepenuhnya horizontal. Untuk kalibrasi alat ini, tekniknya disebut sebagai **two-peg test**. Teknik ini diilustrasikan seperti gambar di bawah ini



Dari gambar ini dapat dijelaskan rangkaian prosedur untuk kalibrasi alat *tilting level* sebagai berikut:

1. Setup alat pada dua titik (katakan A dan B) yang berjarak 20 m (sesuai gambar). Pada masing-masing titik, *staff* menunjukkan angka pengukuran  $a_1$  dan  $b_1$ , misalkan masing-masing bernilai 1.5 m dan 0.5 m. Asumsikan bahwa pandangan memiliki inklinasi sebesar  $\alpha$  dan panjang pandangan adalah 10 m. dari hal ini dapat dihasilkan perbedaan ketinggian antara A dan B sebagai

$$\Delta H_{TRUE} = (a_1 - b_1) = (1.5 - 0.5) = 1.0 \text{ m} \quad (10)$$

Dari hasil ini kita tahu benar bahwa titik A memiliki elevasi lebih tinggi dari titik B. Namun demikian belum dapat kita katakan adanya *collimation error* pada tahap ini.

- Pindahkan alat sepanjang 10 m di belakang titik B, sehingga posisi menjadi di titik C. Melalui posisi ini kemudian diukur elevasi titik B dan titik A, sehingga didapat misalnya  $a_2 = 3.5 \text{ m}$  dan  $b_2 = 2 \text{ m}$ . Dari pengukuran ini didapat

$$\Delta H = (a_2 - b_2) = (3.5 - 2.0) = 1.5 \text{ m} \quad (11)$$

Dari perhitungan ini disimpulkan bahwa  $\Delta H \neq \Delta H_{TRUE}$ , sehingga kita bisa nyatakan bahwa  $\Delta H = \Delta H_{FALSE} = 1.5 \text{ m}$ . Kondisi ini menyatakan bahwa terjadi *collimation error* pada alat ukur.

- Bayangkan pembacaan *staff* pada titik B atau  $b_2$  sejajar dengan titik A atau  $a_3$ . Karena posisi A lokasinya 1 m di bawah B, maka seharusnya  $a_3$  berada pada posisi  $b_2 + 1 \text{ m} = 3 \text{ m}$ . Bagaimanapun juga, pembacaan aktual adalah 3.5 m (langkah nomor 2), sehingga pandangan dari alat ukur lebih tinggi 0.5 m pada 2 titik antara *staff* (20 m). Nilai ini merupakan nilai *collimation error*.
- Tanpa memindahkan alat di titik C, garis pandangan harus diatur sedemikian rupa horizontal sehingga didapat pembacaan  $a_4$ , pada jarak 30 m. Jika pada bentang 20 m didapat *error* sebesar 0.5 m (langkah ke 3), maka pada jarak 30 m ini akan didapat *error* sebesar

$$\frac{a_2 - a_3}{20} = \frac{a_2 - a_4}{30} \quad (12)$$

$$\frac{3.5 - 3}{20} = \frac{3.5 - a_4}{30} \quad (13)$$

$$3.5 - a_4 = \frac{3.5 - 3}{20} \times 30 \quad (14)$$

$$3.5 - a_4 = \frac{0.5}{20} \times 30 \quad (15)$$

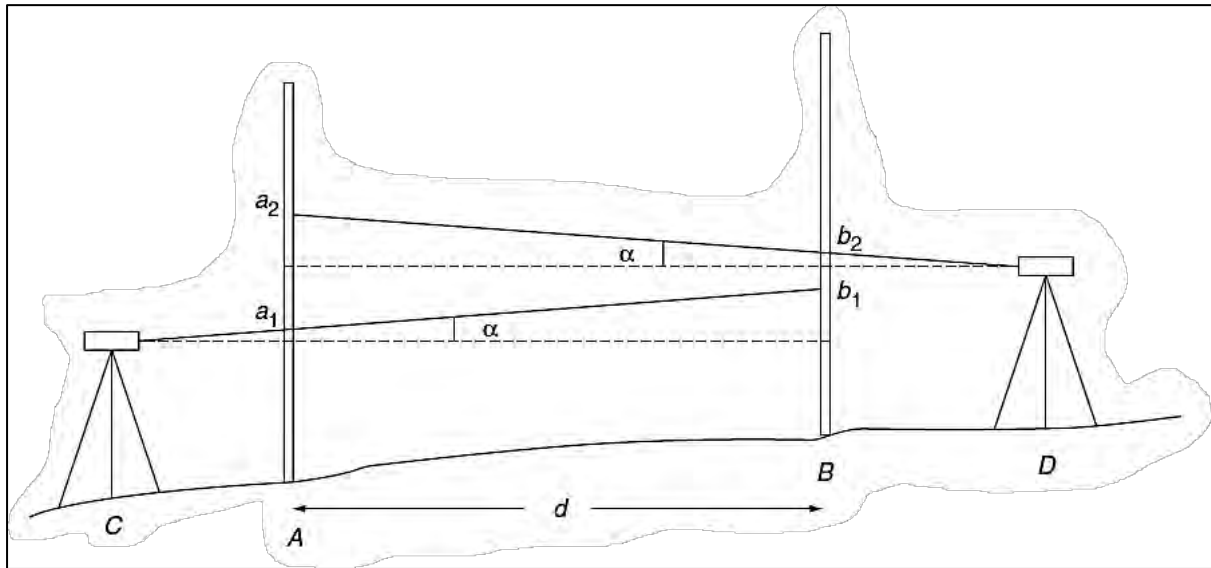
$$3.5 - a_4 = 0.75 \quad (16)$$

$$a_4 = 2.75 \quad (17)$$

- Dari hasil langkah 4, aturlah alat ukur *tilting level* hingga mendapatkan elevasi pembacaan 2.75. **Posisi alat ini harus dipertahankan** untuk pengukuran berikutnya. Langkah 1 s.d 5 ini adalah langkah yang harus dilakukan untuk melakukan kalibrasi alat ukur vertikal *tilting level*.

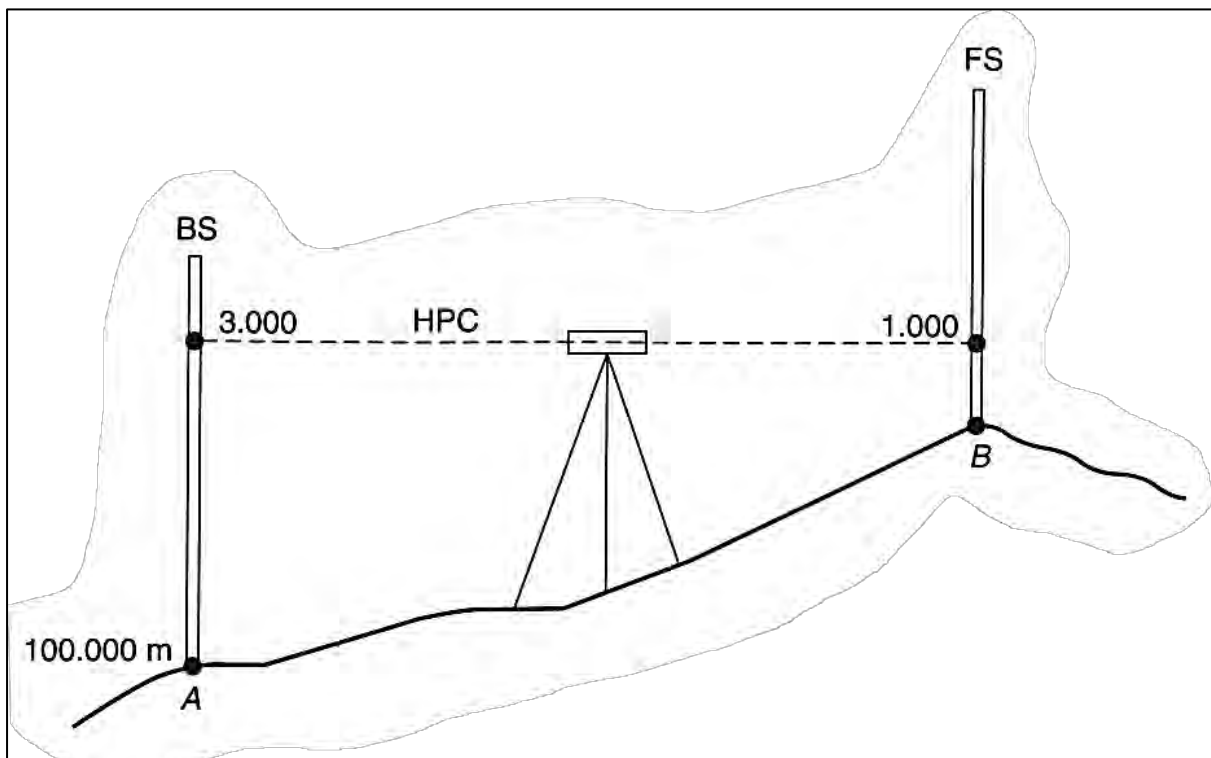
Cara lain atau alternatif metode *two-peg test* dapat dilakukan dengan ilustrasi gambar di bawah ini. Dalam gambar tersebut, papan *staff* diletakkan pada titik A dan B. Kemudian masing-masing dilakukan pengukuran pada alat *tilting level* yang ditempatkan pada titik A dan B. Dari hal ini hitungan/pengukuran dikoreksi berdasarkan sudut  $\alpha$  yang dihitung melalui persamaan

$$\tan \alpha = \frac{a_2 - a_1 - b_2 + b_1}{2d} \quad (18)$$



### PRINSIP LEVELLING

Alat ukur diatur sedemikian rupa dengan benar dengan tujuan garis pandangan berupa garis horizontal. Teknik pengukuran dapat dilihat pada ilustrasi di bawah ini



Dalam gambar tersebut, jika elevasi dasar di titik A adalah  $RL_A = 100 \text{ m}$ , di atas permukaan laut. Kemudian pembacaan *staff* di titik A adalah 3 m. Pembacaan ini

disebut sebagai *backsight* (BS). Kemudian elevasi pandangan tersebut menghasilkan terminologi *height of the plane of collimation* (HPC), yang dinyatakan dalam bentuk

$$HPC = RL_A + BS \quad (19)$$

Setelah itu, kepala alat diputar 360° untuk elevasi di titik B. Pembacaan *staff* ini disebut sebagai *foresight* (FS). Kemudian untuk menentukan elevasi di titik B, dilakukan operasi pendekatan

$$RL_B = HPC - FS \quad (20)$$

Metode ini disebut sebagai **metode HPC**. Selain dengan persamaan (20) di atas, menghitung elevasi titik B  $RL_B$  dapat dihitung dengan selisih antara FS dan BS

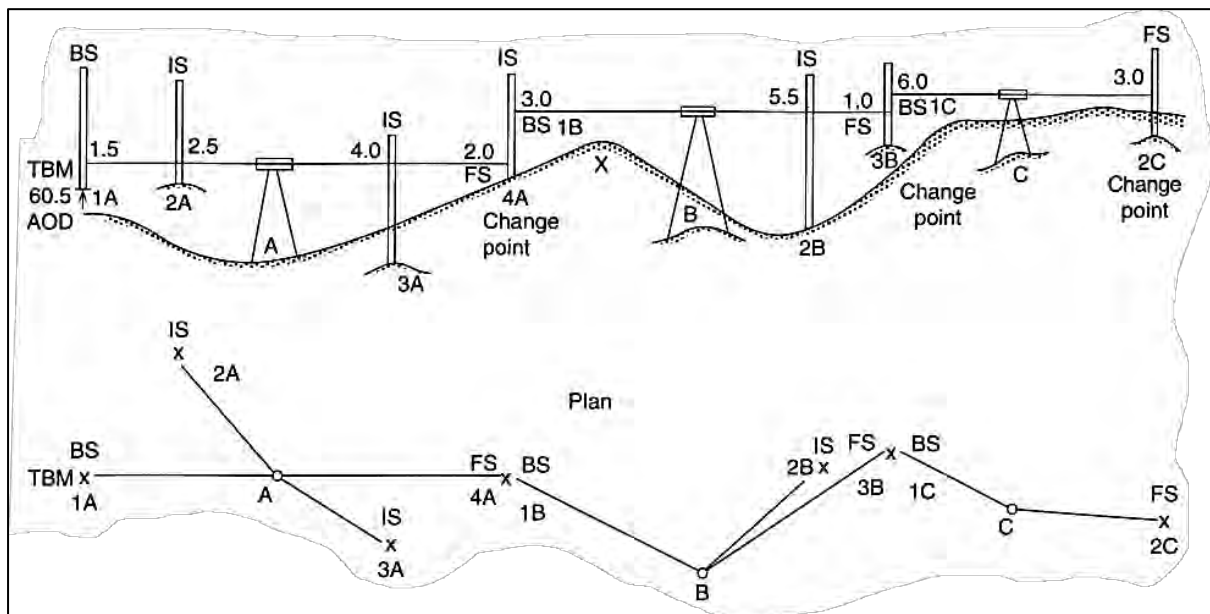
$$\Delta = BS - FS \quad (21)$$

Dengan demikian maka,

$$RL_B = RL_A + \Delta \quad (22)$$

Metode kedua ini disebut sebagai **metode Rise and Fall**. Jika kita terapkan pada contoh gambar di atas, maka  $HPC = 100 + 3 = 103 \text{ m}$ . Kemudian  $RL_B = HPC - FS = 103 - 1 = 102 \text{ m}$ . Dengan demikian elevasi titik B adalah 102 m. Dengan cara lainnya, maka  $\Delta = BS - FS = 3 - 1 = 2 \text{ m}$ , kemudian  $RL_B = RL_A + \Delta = 100 + 2 = 102 \text{ m}$ . Kedua cara menghasilkan elevasi titik B yang sama yaitu 102 m.

Metode *levelling* yang dijelaskan ini menjadi dasar dalam pengembangannya untuk pengukuran elevasi (*levelling*) pada banyak titik. Contoh ilustrasi penerapannya dapat dilihat pada ilustrasi di bawah ini.



Instrument atau alat ukur ditempatkan pada titik A, instrument mengukur titik 1A sebagai *backsight* (BS), yang pada contoh gambar bernilai 1.5 m. Kemudian alat



diputar untuk mengukur titik 2A dan 3A. Kedua titik ini sering disebut sebagai *intermediate sight* (IS). Selanjutnya, dilakukan pengukuran pada titik 4A sebagai *foresight* (FS). Simulasi ini diulangi dengan memindahkan alat pada titik B dan titik C. Perlu dicatat bahwa *intermediate sight* (IS) tidak terikat jumlah titiknya, bisa 1 atau 2 titik atau bahkan lebih sesuai dengan kebutuhan. Yang terpenting adalah baik BS, FS dan IS tersebut masih dalam 1 sistem pengukuran (misalnya sistem titik A).

Seluruh hasil pengukuran (dalam 1 sistem) tersebut harus dicatat sedemikian rupa sehingga titik-titik BS, FS dan IS bisa didapat nilai elevasinya. Perhitungannya seperti pada penjelasan sebelumnya melalui persamaan (19) hingga persamaan (22). Di bawah ini adalah **contoh tabel pengukuran untuk sistem titik A**.

Tanggal : 13 Februari 2021

Lokasi Sistem : Titik A

Nomor Titik	Backsight (BS) (m)	Intermediate Sight (IS) (m)	Foresight (FS) (m)	Rise (m)	Fall (m)	Elevasi (m)
1A	1.5					60.5
2A		2.5			-1.0	59.5
3A		4.0			-1.5	58.0
4A			2.0	2.0		60.0

Keterangan:

Perhitungan di atas menggunakan **metode rise and fall** (persamaan (21) dan persamaan (22)). Berikut detailnya:

$$RL_{1A} = 60.5 \text{ m (elevasi titik 1A)}$$

$$\Delta_{1A-2A} = 1.5 - 2.5 = -1.0 \text{ m (kontur menurun)}$$

$$RL_{2A} = RL_{1A} + \Delta_{1A-2A} = 60.5 + -1.0 = 59.5 \text{ m (elevasi titik 2A)}$$

$$\Delta_{2A-3A} = 2.5 - 4 = -1.5 \text{ m (kontur menurun)}$$

$$RL_{3A} = RL_{2A} + \Delta_{2A-3A} = 59.5 + -1.5 = 58.0 \text{ m (elevasi titik 3A)}$$

$$\Delta_{3A-4A} = 4 - 2 = 2 \text{ m (kontur naik)}$$

$$RL_{4A} = RL_{3A} + \Delta_{3A-4A} = 58.0 + 2.0 = 60.0 \text{ m (elevasi titik 4A)}$$

Atau jika menggunakan **metode HPC** (persamaan (19) dan persamaan (20)) maka kita bisa menganalisisnya sebagai berikut:

**Sight 1A – 4A**

$$RL_{1A} = 60.5 \text{ m (elevasi titik 1A)}$$

$$HPC_{1A-4A} = RL_{1A} + BS_{1A} = 60.5 + 1.5 = 62 \text{ m}$$

$$RL_{4A} = HPC_{1A-4A} - FS_{4A} = 62 - 2.0 = 60 \text{ m (elevasi titik 4A)}$$

**Sight 2A – 3A**

$$RL_{2A} = RL_{1A} + \Delta_{1A-2A} = 60.5 + 1.5 - 2.5 = 59.5 \text{ m (elevasi titik 2A)}$$

$$HPC_{2A-3A} = RL_{2A} + BS_{2A} = 59.5 + 2.5 = 62.0 \text{ m}$$

$$RL_{3A} = HPC_{2A-3A} - FS_{3A} = 62 - 4.0 = 58 \text{ m (elevasi titik 3A)}$$

Contoh hitungan di atas baik dengan cara HPC atau *rise and fall* memberikan hasil yang sama. Namun dalam tabel terlihat lebih sederhana jika menggunakan cara *rise and fall*. Tabel ini kemudian dibuat ulang untuk sistem titik lainnya (dalam gambar adalah sistem titik B dan titik C).

**SUMBER KESALAHAN**

Dalam kegiatan *surveying* khususnya pengukuran vertikal, tentunya ada beberapa sumber kesalahan/*error* yang harus di-*maintain*, antara lain:

1. *Instrumental error*, terdiri dari *collimation error*, alat ukur *staff*.
2. *Observational error*, terdiri dari kesalahan pengamatan angka pada *staff*, penempatan *staff* yang tidak vertikal.
3. *Natural error*, terdiri dari pengaruh angin, kurvatur bumi dan refraksi.

**PELACAKAN KESALAHAN**

Kesalahan/*error* sebenarnya dapat diperiksa dari hasil pengukuran. Untuk memeriksa *error* dalam pengukuran vertikal dapat dilakukan dengan cara:

1. Menghubungkan titik ukur ke titik awal pengukuran atau titik BM, atau
2. Menghubungkan titik ukur ke BM yang lain dan buktikan nilainya.

Dengan melakukan nomor 1 atau 2 tersebut, maka kita bisa bandingkan hasilnya dengan kesalahan ijin/*allowable error E* yang dinyatakan dalam bentuk

$$E = mK^{\frac{1}{2}} \quad (23)$$

Dimana *E* adalah ambang batas kesalahan/kesalahan ijin (dalam mm), *K* adalah jarak pengukuran (dalam km) dan *m* adalah konstanta pengukuran yang nilainya antara 2 mm s.d 12 mm. Dalam banyak kasus nilai *m* diambil rata-rata 5 mm.

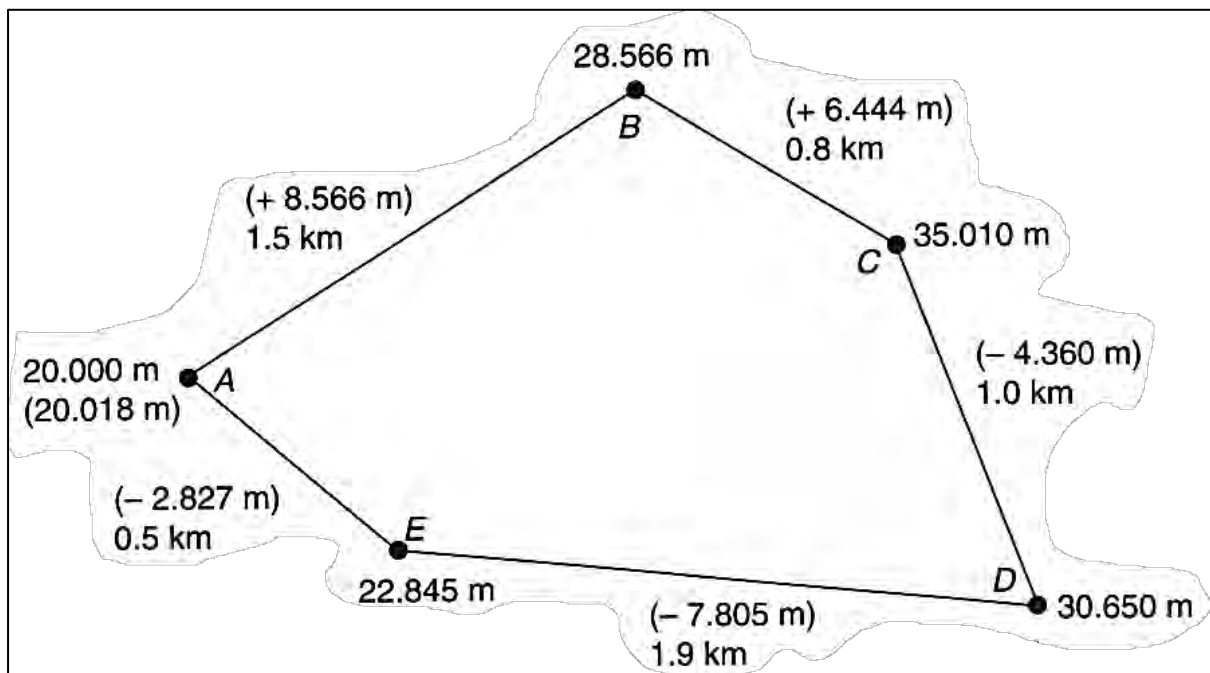
Dalam beberapa kasus, banyak pengukuran dilakukan pada jarak pendek dan dengan jumlah pengukuran yang banyak. Untuk hal ini nilai  $E$  dapat dinyatakan dalam bentuk

$$E = mn^{\frac{1}{2}} \quad (24)$$

Dimana nilai  $n$  adalah jumlah setup pengukuran yang dilakukan. Terminologi lain tidak berbeda dengan persamaan (23).

### DISTRIBUSI KESALAHAN

Telah dijelaskan sebelumnya bahwa yang namanya *error* akan selalu ada dan tidak bisa kita hindari keberadaannya. *Error* bersifat terdistribusi secara proporsional pada sepanjang pengukuran. Dalam hal ini kita ambil contoh hasil pengukuran vertikal dari gambar di bawah ini



Gambar ini menggambarkan BM dititik A digunakan untuk menentukan titik-titik B, C, D dan E. Titik A sebagai BM memiliki elevasi 20 m. Akan tetapi setelah dilakukan pengukuran pelacakan kesalahan, ditemukan bahwa elevasi titik A adalah 20.018 m. Dari hal ini akan ada selisih 0.018 m. Panjang total terukur adalah 5.7 km. Kemudian kita bisa menghitung berapa nilai toleransi kesalahan dengan persamaan (23). Ambil  $m = 5 \text{ mm}$  dan  $K = 5.7 \text{ km}$

$$E = mK^{\frac{1}{2}}$$

$$E = 5 \times 5.7^{\frac{1}{2}} = 11.94 \text{ mm} = 0.1194 \text{ m}$$

Dari hitungan ini dapat kita simpulkan bahwa **hasil pengukuran dapat diterima**.

Dari informasi ini, kemudian kita sebar besarnya *error* 0.018 m tersebut ke semua elevasi terukur sebagai faktor koreksi. Perhitungannya mengikuti persamaan berikut

$$koreksi = \frac{error}{K} \times \text{jarak antar 2 titik terukur} \quad (25)$$

Bila kita terapkan pada contoh di atas, maka kita bisa menghitung koreksi pada contoh di atas.

### **Koreksi AB**

$$koreksi_{AB} = \frac{0.018}{5.7} \times 1.5 = 0.005 \text{ m}$$

### **Koreksi BC**

$$koreksi_{BC} = \frac{0.018}{5.7} \times 0.8 = 0.002 \text{ m}$$

### **Koreksi CD**

$$koreksi_{CD} = \frac{0.018}{5.7} \times 1.0 = 0.003 \text{ m}$$

### **Koreksi DE**

$$koreksi_{DE} = \frac{0.018}{5.7} \times 1.9 = 0.006 \text{ m}$$

### **Koreksi EA**

$$koreksi_{EA} = \frac{0.018}{5.7} \times 0.5 = 0.002 \text{ m}$$

Dengan demikian, maka elevasi koreksi dapat kita tulis dalam bentuk

$$RL_B = 28.566 - 0.005 = 28.561 \text{ m}$$

$$RL_C = 35.010 - 0.005 - 0.002 = 35.003 \text{ m}$$

$$RL_D = 30.650 - 0.005 - 0.002 - 0.003 = 30.640 \text{ m}$$

$$RL_E = 22.845 - 0.005 - 0.002 - 0.003 - 0.006 = 22.829 \text{ m}$$

$$RL_A = 20.018 - 0.005 - 0.002 - 0.003 - 0.006 - 0.002 = 20.000 \text{ m}$$

Cara lain adalah dengan menggunakan persamaan (24). Namun cara ini digunakan pada pengukuran vertikal seperti “**contoh tabel pengukuran untuk sistem titik A**” pada pembahasan di atas. Untuk lebih jelasnya perhatikan gambar di bawah

<i>BS</i>	<i>IS</i>	<i>FS</i>	<i>Rise</i>	<i>Fall</i>	<i>R.L.</i>	<i>Adj.</i>	<i>Final R.L.</i>	<i>Remarks</i>
1.361					20.842		20.842	TBM 'A'
	2.844			1.483	19.359	-0.002	19.357	
	2.018		0.826		20.185	-0.002	20.183	
0.855		3.015		0.997	19.188	-0.002	19.186	C.P.
	0.611		0.244		19.432	-0.004	19.428	
2.741		1.805		1.194	18.238	-0.004	18.234	C.P.
2.855		1.711	1.030		19.268	-0.006	19.262	C.P.
	1.362		1.493		20.761	-0.008	20.753	
	2.111			0.749	20.012	-0.008	20.004	
	0.856		1.255		21.267	-0.008	21.259	
		2.015		1.159	20.108	-0.008	20.100	TBM 'B' (20.100)
7.812		8.546	4.848	5.582	20.842			
		7.812		4.848	20.108			
		0.734		0.734	0.734			Arith. check

Hal yang perlu diperhatikan pada pengukuran ini adalah

1. Error dalam pengukuran ini adalah 0.008 m
2. Ada 4 setup pengukuran yang dilakukan, maka  $E$  dihitung dengan persamaan (24)

$$E = mn^{\frac{1}{2}}$$

$$E = 5 \times 4^{\frac{1}{2}} = 0.010 \text{ m}$$

3. Koreksi untuk pengukuran setup adalah untuk setiap setup mengikuti persamaan ini

$$koreksi = \frac{error}{n} = \frac{0.008}{4} = 0.002 \text{ m} \quad (26)$$

### **PENERAPAN LEVELLING**

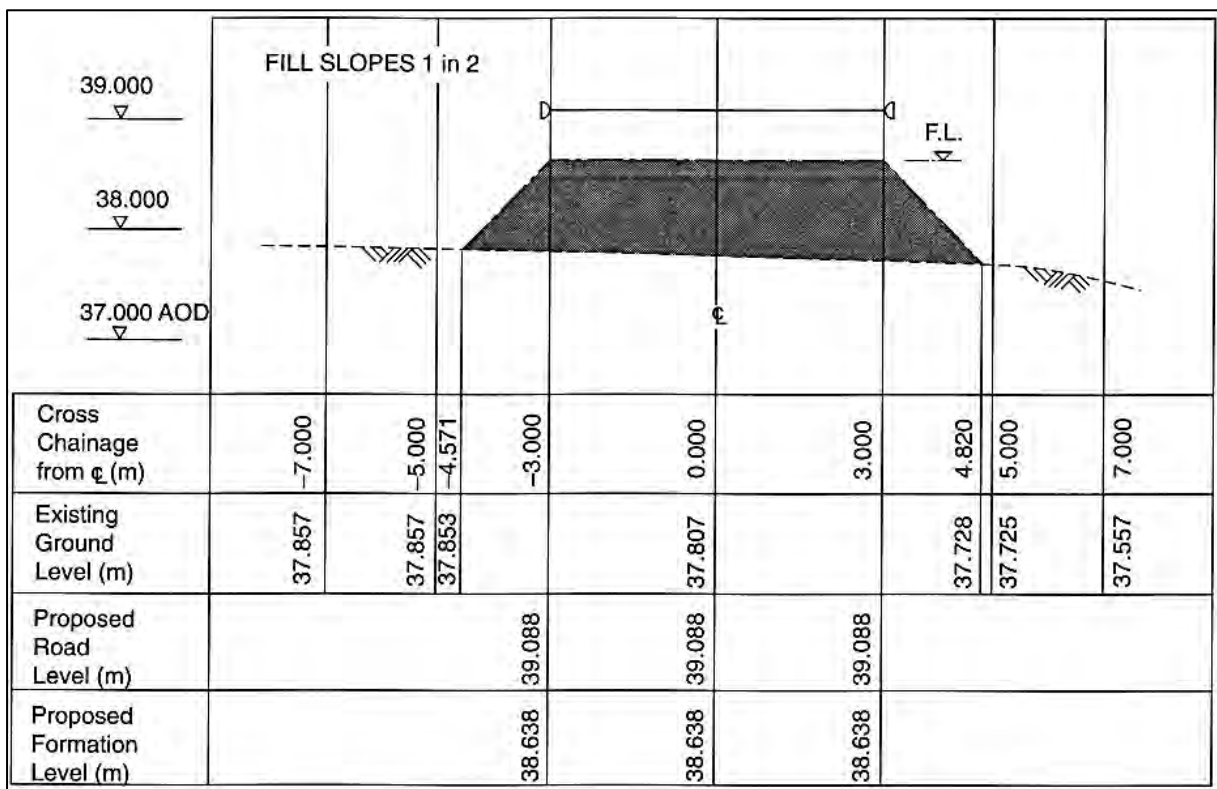
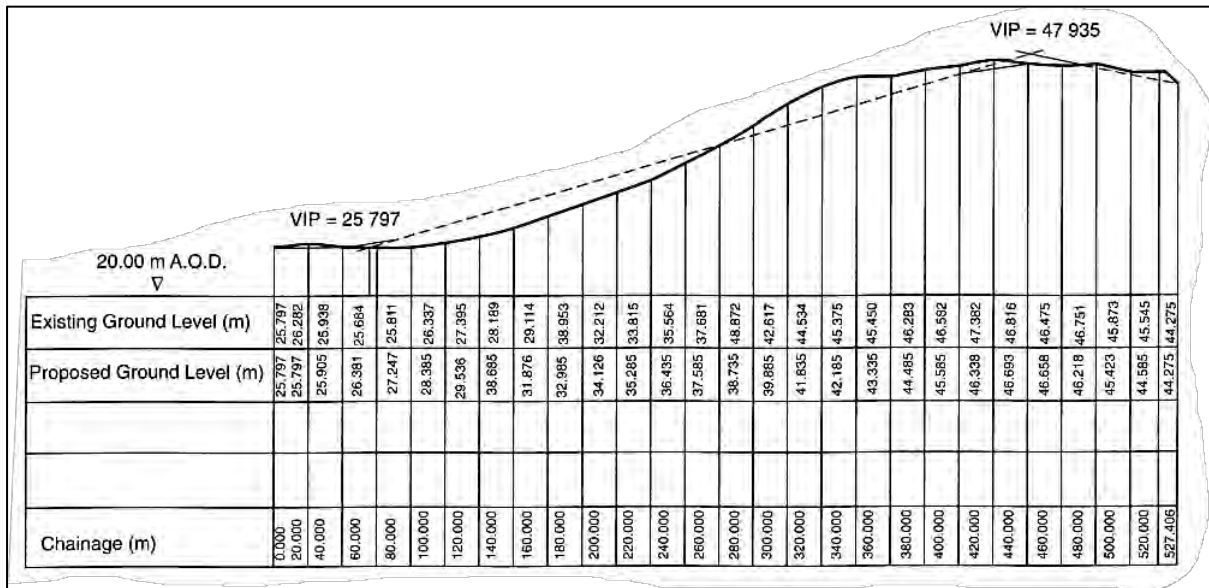
Beberapa penerapan dan tujuan dari pengukuran vertikal atau *levelling* adalah sebagai berikut

1. *Sectional levelling.*
2. *Contouring.*

#### ***Sectional levelling***

Merupakan pengukuran untuk mendapatkan suatu profil, misalnya profil jalan, jalur pipa, rel kereta, dan sungai. Pengukuran biasanya diambil secara regular (misalnya setiap interval 10 m). Kemudian dicatat untuk lokasi interval dan elevasi pengukurannya. Pengukuran elevasi sesuai dengan kaidah yang telah dijelaskan

sebelumnya. Di bawah ini adalah contoh pengukuran profil memanjang suatu lahan yang akan dijadikan jalan dan profil melintang suatu timbunan.

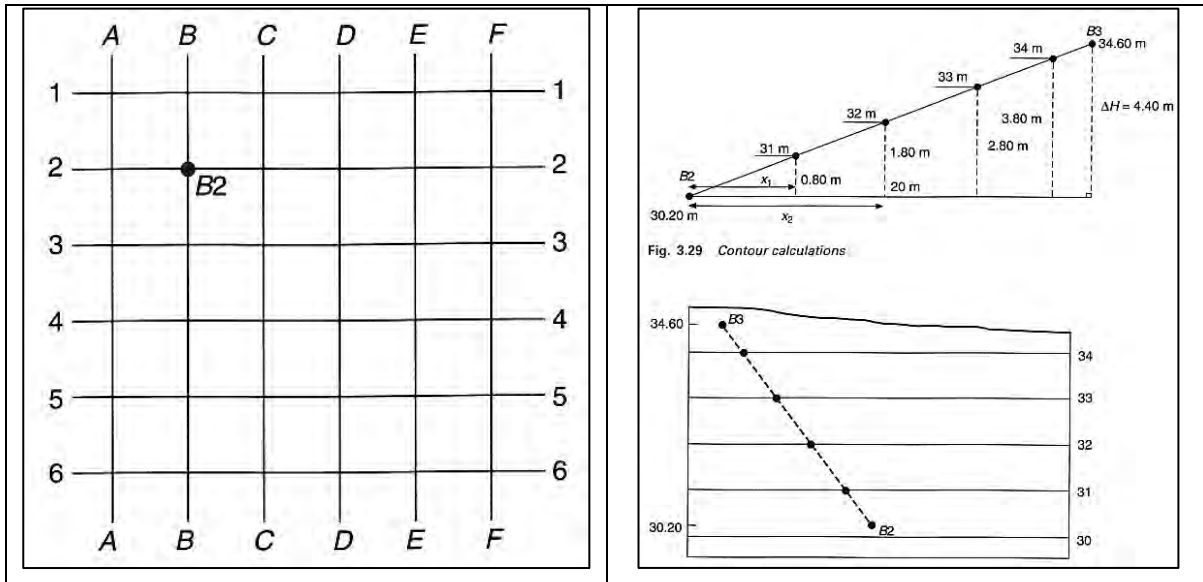


Pada pengukuran profil melintang, pengukuran berpatok pada suatu *centerline* yang berada di tengah-tengah bentang bangunan, struktur, timbunan, dll.

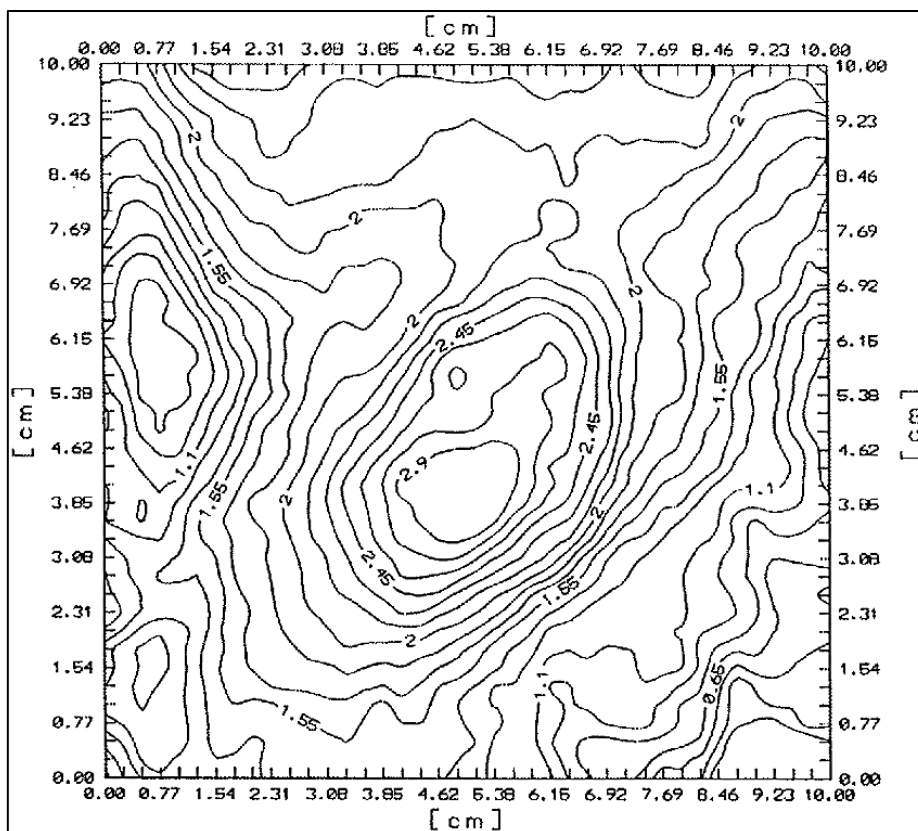
### Contouring

*Contouring* atau pembuatan garis kontur adalah proses penghubungan titik-titik yang memiliki elevasi yang sama. Titik-titik tersebut dihubungkan oleh sebuah garis, dan garis tersebut disebut sebagai garis kontur. Garis-garis kontur kemudian

dibuat dalam suatu peta. Sama seperti *sectional levelling*, kontur juga dibuat dengan interval jarak tertentu. Namun demikian biasanya jika lahan cukup datar kontur dibuat untuk setiap 0.1 m s.d 0.5 m, sedangkan jika lahan cukup bervariasi (campuran terjal dan datar) dapat digunakan interval 1 m s.d 10 m. Di bawah ini adalah contoh pengambilan kontur secara sederhana

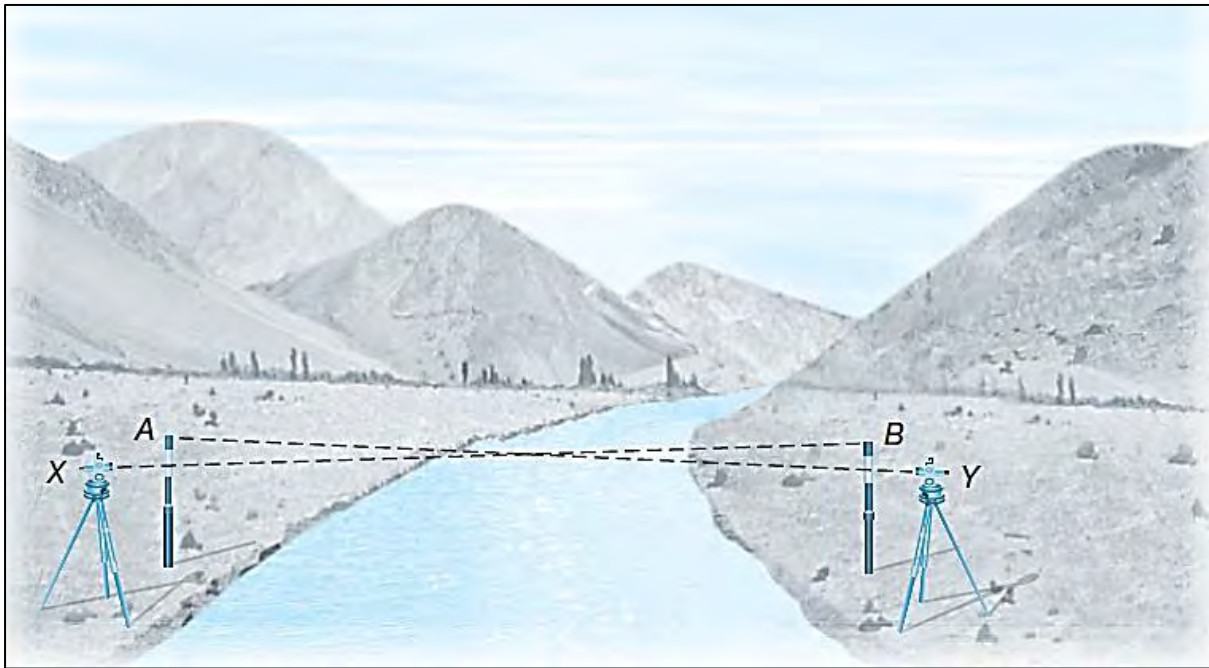


Hasil pengukuran kontur yang dituangkan dalam peta dapat dilihat dalam contoh di bawah ini

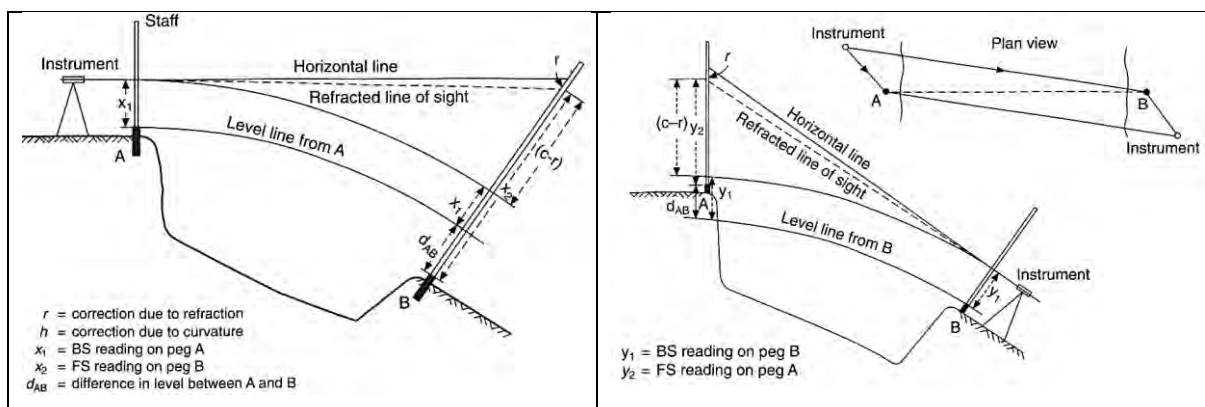


## RECIPROCAL LEVELLING

Dalam pekerjaan di lapangan, ada kalanya kita harus mengukur diantara dua titik yang terpisah sangat jauh karena suatu bentang yang lebar, misalnya adalah sungai. Kondisi ini sangat berisiko mendapat hasil yang memiliki *error* yang cukup besar. Hal tersebut karena dengan bentang yang panjang, pengaruh *collimation error*, efek refraksi dan kurvatur akan semakin besar. Untuk meminimalkan *error* ini, dapat digunakan suatu metode pengukuran yang disebut sebagai **reciprocal**. Ilustrasi metode ini dijelaskan melalui gambar di bawah



Secara mendetail untuk setiap situasional pengukuran dapat dilihat pada gambar-gambar di bawah



Metode **rise and fall** seperti yang sudah dijelaskan di atas, dapat digunakan dalam analisis. Pada prinsipnya tetap sama yaitu kita mencari nilai  $\Delta$  yaitu selisih antara *BS* dan *FS*. Namun, pada *reciprocal levelling*, hal tersebut dilakukan bolak balik. Misalnya



pada gambar di atas, untuk menentukan  $\Delta_{AB}$  maka kita harus melakukan metode *rise and fall* ini di ketua titik (titik A dan B).

Penjelasannya adalah sebagai berikut:

1. Alat ditempatkan pada sisi kiri gambar (dekat titik A), maka titik A adalah BS dan titik B adalah FS. Dengan tetap menyertakan *error* dari pengaruh kurvatur dan *collimation*, maka

$$\Delta_{AB} = BS_A - FS_B - (c - r) \quad (27)$$

$$\Delta_{AB} = x_1 - x_2 - (c - r) \quad (28)$$

2. Dengan cara yang sama, alat kemudian ditempatkan pada sisi kanan gambar (dekat titik B), maka

$$\Delta_{BA} = BS_B - FS_A - (c - r) \quad (29)$$

Jika kita samakan terminologinya sebagai  $\Delta_{AB}$ , maka persamaan (28) menjadi

$$\Delta_{AB} = BS_A - FS_B + (c - r) \quad (30)$$

$$\Delta_{AB} = y_2 - y_1 + (c - r) \quad (31)$$

Dengan demikian, kita bisa melakukan pembobotan dalam bentuk

$$2\Delta_{BA} = [x_1 - x_2] + [y_2 - y_1] \quad (32)$$

$$\Delta_{BA} = \frac{1}{2} ([x_1 - x_2] + [y_2 - y_1]) \quad (33)$$

Cara ini dapat dilakukan, dicatat dalam tabel pengukuran serta dilakukan **dengan konsisten**.

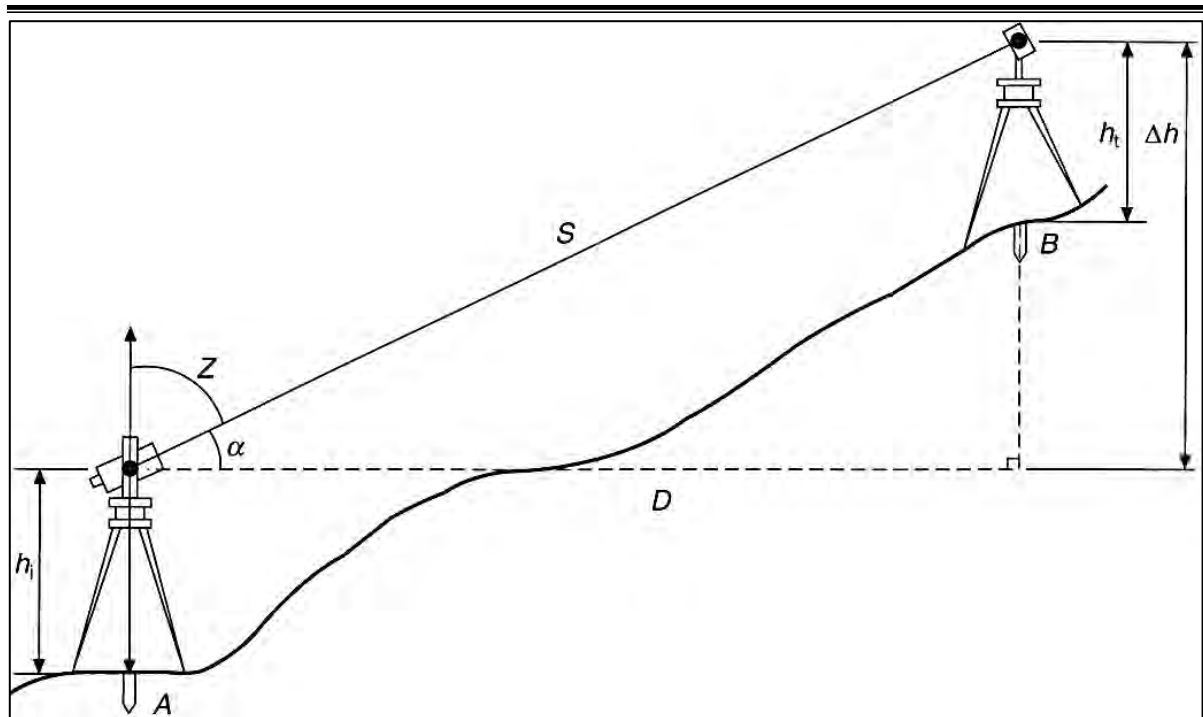
### **TRIGONOMETRICAL LEVELLING**

*Trigonometrical surveying* merupakan teknik *surveying* (termasuk levelling) dimana analisisnya menggunakan konsep trigonometri. Konsep ini diterapkan pada pengukuran di lokasi-lokasi yang sulit, misalnya pegunungan atau bukit. Ada dua kondisi yang bisa diperhitungkan yaitu:

1. *Short lines*, pengukuran jarak pandang maksimal 300 m.
2. *Long lines*, pengukuran jarak pandang lebih dari 300 m.

#### ***Short lines***

Pengukuran *short lines* dapat diilustrasikan melalui gambar di bawah ini. Analisis dilakukan langsung dengan konsep trigonometri berdasarkan informasi-informasi yang didapa.



Dengan menggunakan sudut  $\alpha$ , maka

$$\Delta h = S \sin \alpha \quad (34)$$

Dengan menggunakan zenit  $z$ , maka

$$\Delta h = S \cos z \quad (35)$$

Selain itu, jika menggunakan jarak horizontal  $D$ , maka

$$\Delta h = D \tan \alpha = \cot z \quad (36)$$

Dengan hasil-hasil ini, maka kita bisa menentukan perbedaan ketinggian antara A dan B atau  $\Delta H$  dalam bentuk persamaan

$$\Delta H = \Delta h - h_t + h_i \quad (37)$$

Kita tinggal menginput nilai  $\Delta h$  yang dihitung pada salah satu dari persamaan (34) hingga persamaan (36) untuk kemudian disubstitusi langsung ke persamaan (37).

### **Long lines**

Untuk pengukuran *long lines* tetap kita menggunakan persamaan (37) namun dengan penyesuaian dan penyertaan efek kurvatur dan refraksi. Persamaan tersebut ditulis dalam bentuk

$$\Delta H = \Delta h - h_t + h_i + (c - r) \quad (38)$$

Dengan efek kurvatur  $c$  telah dijelaskan bahwa

$$c = \frac{D^2}{2R} \quad (39)$$

Yang dalam hal ini  $D \approx S$  sehingga

$$c = \frac{S^2}{2R} \quad (40)$$

Sedangkan untuk pengaruh refraksi  $r$  dinyatakan dalam bentuk

$$r = \frac{S^2 K}{2R} \quad (41)$$

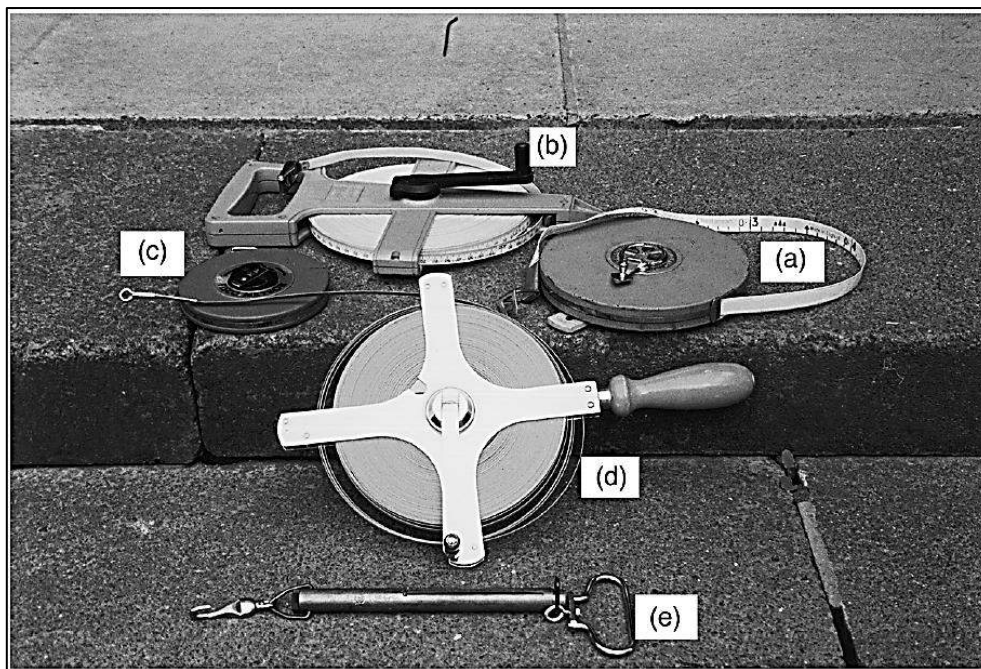
Dengan  $K$  adalah koefisien refraksi, yang nilainya rata-rata dapat diambil  $K = 0.15$  yang pada persamaan (9) di awal, dinyatakan sebagai nilai  $\frac{1}{7}$  atau berdasarkan hasil ukur langsung di lapangan sekitar.

Bagian ini mempelajari:

- Pita Ukur
- Pekerjaan di lapangan
- Kalibrasi jarak
- Akurasi
- Electromagnetic Distance Measurement (EDM)
- Pengukuran Jarak Optis

### **PITA UKUR**

Pita ukur memiliki variasi ukuran panjang dan material. Dalam bidang *engineering* biasanya panjangnya memiliki varietas 10 m, 30 m, 50 m dan 100 m. pita ukur dengan material *glass fibre* biasa digunakan, dimana kepresisian tidak menjadi pertimbangan yang utama. Material lain yang lebih presisi adalah pita ukur dengan bahan baja misalnya. Di bawah ini adalah beberapa contoh gambar alat pita ukur.



Keterangan gambar di atas:

- Linen tape.*
- Fiberglass tape.*
- Steel tape.*
- Steel band.*
- Spring balance.*

Selain alat ukur/*tape* di atas, terkadang untuk membuat hasil ukur lebih presisi dan akurat, kita membutuhkan alat bantu tambahan/*ancillary*. Beberapa contoh alat bantu tambahan tersebut antara lain dalam tabel gambar berikut

<p><b><u>Ranging Rod</u></b></p> 	<p><b><u>Chaining Arrows</u></b></p> 
<p><b><u>Spring Balance</u></b></p> 	<p><b><u>Field Thermometers</u></b></p> 
<p><b><u>Hand Level</u></b></p>	<p><b><u>Plumb-Bobs</u></b></p>



### **PEKERJAAN PENGUKURAN JARAK DI LAPANGAN**

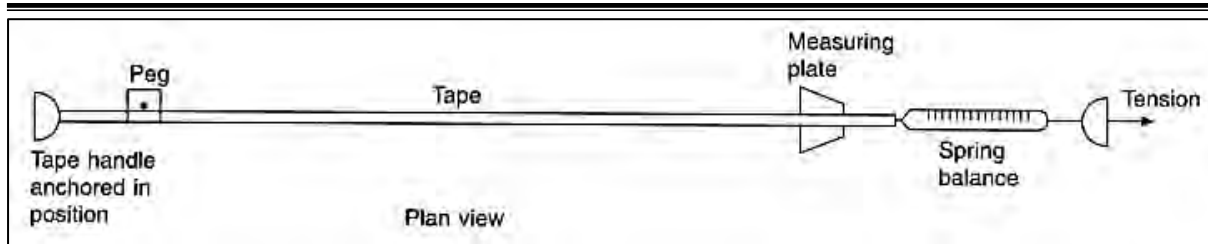
Dalam prakteknya di lapangan, beberapa teknik pengukuran jarak/panjang dapat dilakukan dengan beberapa cara sebagai berikut

1. Pengukuran sepanjang permukaan tanah.
2. *Measuring in catenary.*
3. Pengukuran secara bertahap.

#### ***Pengukuran sepanjang permukaan tanah***

Pengukuran dengan cara ini paling akurat jika menggunakan *steel band*. Prosedur pengukuran dengan cara ini antara lain

1. Titik survey ditandai dengan sebuah tanda (bisa berupa pasak).

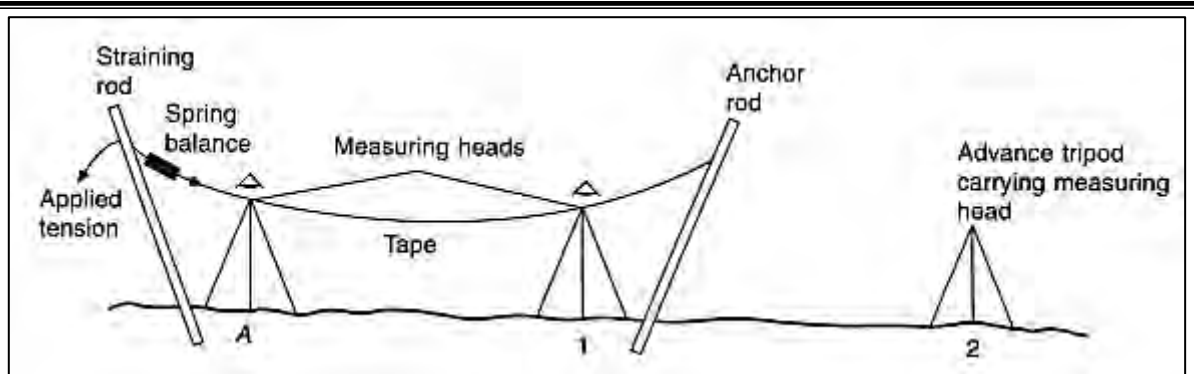


2. Pita ukur/*linen tape* kemudian digunakan untuk mengukur panjang, dibantu dengan alat *chaining arrows* pada interval tertentu dan *measuring plate*.
3. *Steel band* ditata sedemikian rupa dengan berangkat dari titik awal (dengan pasak) hingga menuju *measuring plate*. Satu ujung pita ukur diangkur, dan ujung lainnya dipasang *spring balance*. Dengan tarikan standar (70 N), kedua ujung pita ukur akan secara simulatan membaca ukuran berdasarkan kedudukan ujung dari *measuring plate*.
4. Ketika membaca pita ukur, perlu diperhatikan mengenai satuan dan selaraskan dengan *spring balance*.
5. Pengukuran dicatat dan diulang untuk beberapa kali hingga dapat kita hitung rata-ratanya. Contoh pencatatan dari pengukuran dapat dilihat di bawah ini

Bay	Rear	Fore	Difference	Temp.	Tension	Slope	Remarks
A-1	0.244	29.368	29.124	08°C	70 N	5° 30'	Standard values 20°C, 70 N
	0.271	29.393	29.122				
	0.265	29.389	29.124				Range 2 mm
	0.259	29.382	29.123				
		Mean =	29.123				
1-2							2nd bay

### **Measuring in catenary**

Pengukuran ini biasanya dilakukan pada lahan yang tidak rata. Pengukuran ini sebeanrnya sama saja dengan pengukuran di permukaan tanah secara langsung, namun bedanya pada pengukuran ini pita ukur diangkat sedemikian rupa (dengan berpatokan pada tripod) sehingga akan terbentuk lengkungan pada pita ukur. Salah satu ujung pita ukur ditarik dengan *spring balance*. Agar hasil presisi, pastikan bahwa pita ukur berada pada satu garis yang lurus. Ilustrasi teknik ini dapat dilihat pada gambar di bawah



### ***Pengukuran secara bertahap***

Merupakan teknik pengukuran dengan membagi-bagi menjadi beberapa bentang pendek dalam 1 sistem pengukuran. Teknik pengukuran juga sama seperti dijelaskan di atas.

### **KALIBRASI JARAK**

Telah kita pahami bahwa setiap pengukuran tentunya akan selalu mengandung *error*. Untuk meminimalkan *error*, khususnya *systemic error* pada pengukuran jarak, maka perlu kita kalibrasi pengukuran yang dilakukan. Di bawah ini akan dijelaskan semua *adjustment* yang dibutuhkan untuk meminimalkan *error* pada pengukuran jarak.

### ***Standardization***

Selama periode penggunaan, pita ukur umumnya akan berubah panjangnya karena beberapa alasan. Salah satu cara untuk *adjustment* yaitu dengan standarisasi pita ukur. Berdasarkan *National Physical Laboratory (NPL)*, ditemukan bahwa untuk panjang 30 m yang diukur oleh pita ukur, maka panjang yang “sesungguhnya” terukur adalah 30.003 m.

### **CONTOH**

2 buah titik diukur dengan *steel band* menghasilkan jarak 220.45 m. Jika kita mengukur jarak tersebut dengan pita ukur yang sudah distandarisasi, maka jarak sesungguhnya adalah ?

Jawab:

*Error* setiap 30 m adalah 3 mm, dengan demikian maka, total *error* dihitung dengan hubungan

$$error = \frac{\text{panjang total(dalam meter)}}{30} \times 3 \text{ mm} \quad (1)$$

$$error = \frac{220.45}{30} \times 3 \text{ mm} = 22 \text{ mm}$$



Dengan demikian maka, **jarak terkoreksi adalah  $220.45 + 0.022 = 220.472$  m**

Selain kalibrasi standar tersebut kadangkala kita harus kalibrasi karena faktor pemanjangan/peregangan akibat penggunaan. Misalnya ketika mengukur panjang yang aslinya adalah 30 m, alat pita ukur menunjukkan angka di bawahnya (misalnya 29.8 m). Kondisi ini mengindikasikan alat pita ukur harus dikalibrasi/dikoreksi agar perhitungan akurat.

### **CONTOH**

Sejenis dengan kasus contoh sebelumnya, ketika suatu pita ukur mengukur 30 m dengan angka 29.8 m. Berapa panjang yang tepat ketika pita ukur tersebut menunjukkan hasil pengukuran 220 m ?

Jawab:

Pertama kita harus menghitung *error* dalam alat ukur tersebut. Untuk setiap 30 m, alat ukur memiliki *error* -0.2 m. Berdasarkan **persamaan (1)** maka

$$error = \frac{\text{panjang total(dalam meter)}}{30} \times -0.2 \text{ m}$$

$$error = \frac{220}{30} \times -2 \text{ m} = -1.47 \text{ m}$$

Dengan demikian maka **jarak terkoreksi adalah  $220 - 1.47 = 218.53$  m.**

### **Temperature**

Pita ukur biasanya di-standard-kan pada suhu 20°C. Variasi suhu di atas maupun di bawahnya akan memberikan efek kontraksi pada pita ukur. Hal ini tentunya memberikan *error* pada hasil pengukuran. Koreksi pengukuran jarak/panjang setelah dipengaruhi temperatur  $C_t$ , dinyatakan dalam bentuk persamaan

$$C_t = KL(t_s - t_a) \quad (2)$$

Dimana  $K$  adalah koefisien pemuaian. Untuk pita ukur baja,  $K = 11.2 \times 10^{-6}$  per °C dan untuk pita ukur invar,  $K = 0.5 \times 10^{-6}$  per °C. Kemudian  $t_s$  adalah suhu standar dan  $t_a$  adalah suhu di lapangan.

### **Tension**

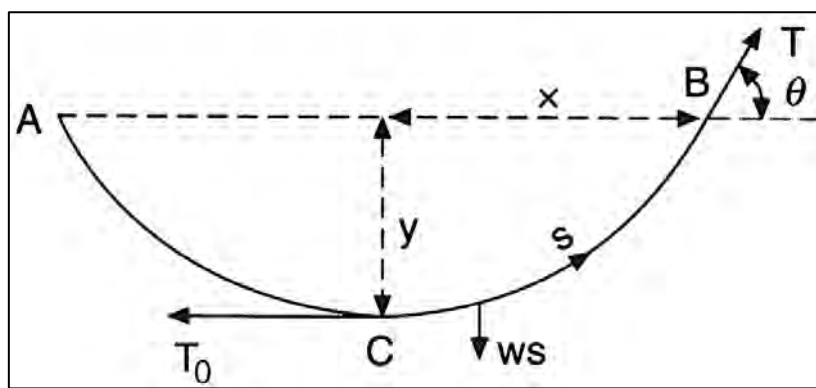
Umumnya pita ukur digunakan dalam tegangan/*tension* standar tertentu. Jika hal ini terpenuhi, maka tidak ada koreksi yang diperlukan. Namun kenyataannya di lapangan terkadang tegangan yang terjadi melampaui kondisi standar, sehingga diperlukan adanya koreksi pengukuran. Koreksi setelah adanya kelebihan tegangan standar dinyatakan sebagai  $C_T$  melalui persamaan

$$C_T = L \frac{(T_a - T_s)}{AE} \quad (3)$$

Dengan  $T_a$  adalah tegangan yang dilakukan di lapangan (dalam N) dan  $T_s$  adalah tegangan standard (dalam N). Kemudian  $L$  adalah panjang terukur (dalam m).  $A$  adalah cross-section area dari pita ukur dalam  $\text{mm}^2$  dan  $E$  adalah modulus elastisitas bahan (dalam  $\text{N/mm}^2$ ).

### Lengkungan

Bayangkan bahwa pita ukur digunakan secara melayang/diangkat (contohnya dalam *measuring in catenary*), tentunya akan ada efek lengkungan pada pita ukur tersebut. Hal ini diilustrasikan pada gambar di bawah ini



Jika dianggap titik C merupakan titik terendah dalam lengkungan ini, maka dalam bentang CB ada setidaknya 3 gaya yang bekerja yaitu:

- Tegangan  $T$  di titik B
- Tegangan  $T_0$  di titik C
- Gaya berat  $ws$  pada bentang BC

Dalam analisis kesetimbangan (silakan dibuka sumber-sumber yang membahas statika/mekanika struktur statis tertentu untuk konstruksi kabel), ditemukan bahwa

$$ws = T \sin \theta \quad (4)$$

$$T_0 = T \cos \theta \quad (5)$$

$$\tan \theta = \frac{ws}{T_0} \quad (6)$$

Jika diambil bentang kecil sepanjang  $ds$ , maka ada hubungan bahwa

$$\frac{dx}{ds} = \cos \theta \quad (7)$$

$$\frac{dx}{ds} = (1 + \tan^2 \theta)^{-\frac{1}{2}} \quad (8)$$

$$\frac{dx}{ds} = \left(1 + \frac{w^2 s^2}{T_o^2}\right)^{-\frac{1}{2}} \quad (9)$$

$$dx = \left(1 - \frac{w^2 s^2}{2T_o^2}\right) ds \quad (10)$$

Hubungan antara  $x$  dan  $s$  didapat dengan cara integral langsung persamaan (10) sedemikian rupa sehingga

$$\int dx = \int \left(1 - \frac{w^2 s^2}{2T_o^2}\right) ds \quad (11)$$

$$x = s - \frac{1}{6} \frac{w^2 s^3}{T_o^2} \quad (12)$$

Dengan persamaan (12), maka kita bisa mengkuantifikasi *error* yang terjadi karena pengaruh lendutan pada pita ukur dalam bentuk

$$C_s = 2s - 2x \quad (13)$$

$$C_s = 2(s - x) \quad (14)$$

$$C_s = 2 \left( \frac{1}{6} \frac{w^2 s^3}{T_o^2} \right) \quad (15)$$

Mengingat  $s$  adalah setengah bentang pita ukur  $L$  atau  $s = \frac{L}{2}$ , maka

$$C_s = 2 \left( \frac{1}{6} \frac{w^2 L^3}{8T_o^2} \right) \quad (16)$$

$$C_s = \frac{w^2 L^3}{24T_o^2} \quad (17)$$

Kenyataan di lapangan bahwa kita tentu akan berusaha sedapat mungkin menarik pita ukur agar tidak terlalu melengkung. Namun disadari atau tidak, lengkungan sejatinya tetap terjadi namun sangat kecil. Kondisi ini menghasilkan keadaan  $\theta \approx 0$ . Dengan demikian maka  $T_o = T \cos \theta$  memberikan keadaan  $T_o \approx T$ , sehingga ada penyesuaian pada persamaan (17) menjadi

$$C_s = \frac{w^2 L^3}{24T^2} \quad (18)$$

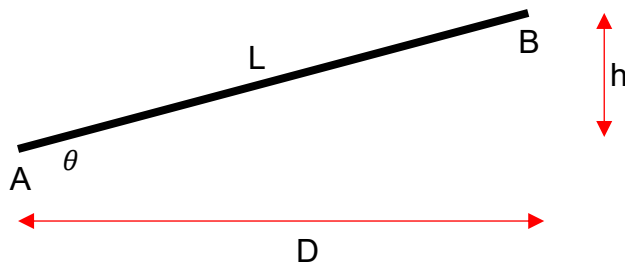
Persamaan ini **berlaku dalam kondisi tegangan standar**. Masalahnya adalah, ketika kita berusaha akan mengurangi efek lengkungan, pastinya kita akan menarik pita ukur sekuat-kuatnya, sehingga tegangan pada kondisi ini biasanya melampaui kondisi standar. Dengan demikian maka persamaan (18) kita sempurnakan lagi dalam bentuk

$$C_s = \frac{w^2 L^3}{24(T_a - T_s)^2} \quad (19)$$

Dengan  $w$  adalah berat pita ukur  $W$  per satuan bentang  $L$ , atau  $w = \frac{W}{L}$ .  $T_a$  adalah tegangan yang dilakukan di lapangan (dalam N) dan  $T_s$  adalah tegangan standard (dalam N).

**Slope**

Dalam pengukuran jarak/panjang, tentunya ada pengaruh beda tinggi yang terjadi seperti pada ilustrasi di bawah ini



Dengan prinsip pythagoras, maka kita bisa katakan

$$D = \sqrt{L^2 - h^2} \quad (20)$$

$$D = L \cos \theta \quad (21)$$

Dengan ini maka koreksi pengaruh kemiringan  $C_\theta$  ditulis dalam bentuk

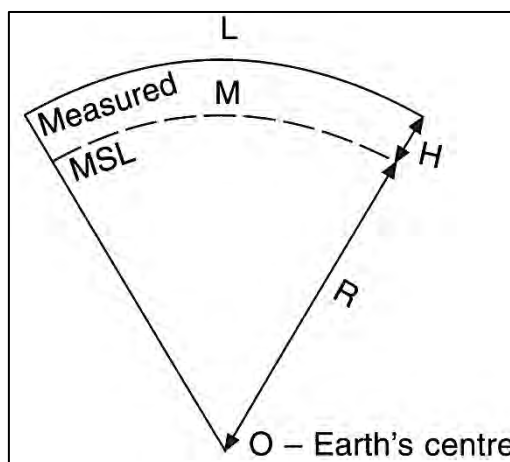
$$C_\theta = L - D \quad (22)$$

$$C_\theta = L(1 - \cos \theta) \quad (23)$$

**Analisis ini memerlukan pengukuran elevasi/vertikal di titik A dan B.**

**Altitude**

Koreksi altitude dapat dilihat dalam ilustrasi di bawah



Koreksi altitude  $C_M$  dinyatakan dalam bentuk

$$C_M = \frac{LH}{R} \quad (24)$$

### **AKURASI**

Jarak horizontal  $D$  ditentukan berdasarkan hasil pengukuran pita ukur  $M$  dan jumlah keseluruhan faktor koreksinya  $C$ . Dengan demikian maka secara matematis, jarak horizontal dirumuskan dalam bentuk

$$D = M + \Sigma C \quad (25)$$

### **CONTOH**

Suatu pengukuran jarak secara bertingkat memberikan hasil jarak horizontal 30.126 m, 29.973 m, 30.066 m dan 22.536 m. Perbedaan ketinggian diantara keempatnya adalah 0.45 m, 0.60 m, 0.30 m dan 0.45 m. Suhu selama survey adalah  $10^\circ$  serta tegangan pada *spring balance* yang digunakan adalah 15 kgf. Pita ukur memiliki kondisi standar yaitu panjang 30 m, pada suhu  $20^\circ\text{C}$  dan tegangan tarik sebesar 5 kg. Koefisien ekspansi bahan adalah 0.000011 m per  $^\circ\text{C}$ . Pita ukur memiliki massa 1 kg dan luas tampang/cross-section pita ukur adalah  $3 \text{ mm}^2$ . Material ini memiliki modulus elastis sebesar  $210 \times 10^3 \text{ N/mm}^2$ . Tentukan jarak horizontal setelah terkoreksi.

Jawab:

Jarak horizontal awal (belum terkoreksi):

$$L = 30.126 + 29.973 + 30.066 + 22.536 = 112.701 \text{ m}$$

Sekarang kita tinggal menghitung *error* untuk mendapat faktor koreksi  $C$ . Perhitungan dapat menggunakan tabel berikut

No	Analisis Error	+	-
1	<p><u>Tension</u></p> $C_T = L \frac{(T_a - T_s)}{AE}$ $C_T = 112.701 \frac{(15 - 5) \times 9.81}{3 \times 210 \times 10^3} = 0.01755 \text{ m}$	<b>0.01755 m</b>	
2	<p><u>Temperatur</u></p> $C_t = KL(t_s - t_a)$ $C_t = 0.000011 \times 112.701 \times (20 - 10)$ $= 0.0124 \text{ m}$		<b>-0.0124 m</b>

3	<p><u>Lengkungan</u></p> $C_s = \frac{w^2 L^3}{24T^2}$ $C_s = \frac{\left(\frac{1}{112.701}\right)^2 \times 112.701^3}{24 \times 15^2} = 0.021 \text{ m}$		-0.021 m
4	<p><u>Slope</u></p> $\theta_1 = \sin^{-1} \frac{h_1}{L_1} = \sin^{-1} \frac{0.45}{30.126} = 0.856^\circ$ $\theta_2 = \sin^{-1} \frac{h_2}{L_2} = \sin^{-1} \frac{0.60}{29.973} = 1.147^\circ$ $\theta_3 = \sin^{-1} \frac{h_3}{L_3} = \sin^{-1} \frac{0.30}{30.066} = 0.572^\circ$ $\theta_4 = \sin^{-1} \frac{h_4}{L_4} = \sin^{-1} \frac{0.45}{22.536} = 1.144^\circ$ $C_{\theta_1} = L_1(1 - \cos \theta_1)$ $C_{\theta_1} = 30.126(1 - \cos 0.856) = 0.00336 \text{ m}$ $C_{\theta_2} = L_2(1 - \cos \theta_2)$ $C_{\theta_2} = 29.973(1 - \cos 1.147) = 0.00600 \text{ m}$ $C_{\theta_3} = L_3(1 - \cos \theta_3)$ $C_{\theta_3} = 30.066(1 - \cos 0.572) = 0.00150 \text{ m}$ $C_{\theta_4} = L_4(1 - \cos \theta_4)$ $C_{\theta_4} = 22.536(1 - \cos 1.144) = 0.00450 \text{ m}$		-0.0154 m
<b>JUMLAH</b>		<b>0.01755</b>	<b>-0.0488</b>

Dengan demikian maka, jarak horizontal terkoreksi adalah

$$D = M + \Sigma C$$

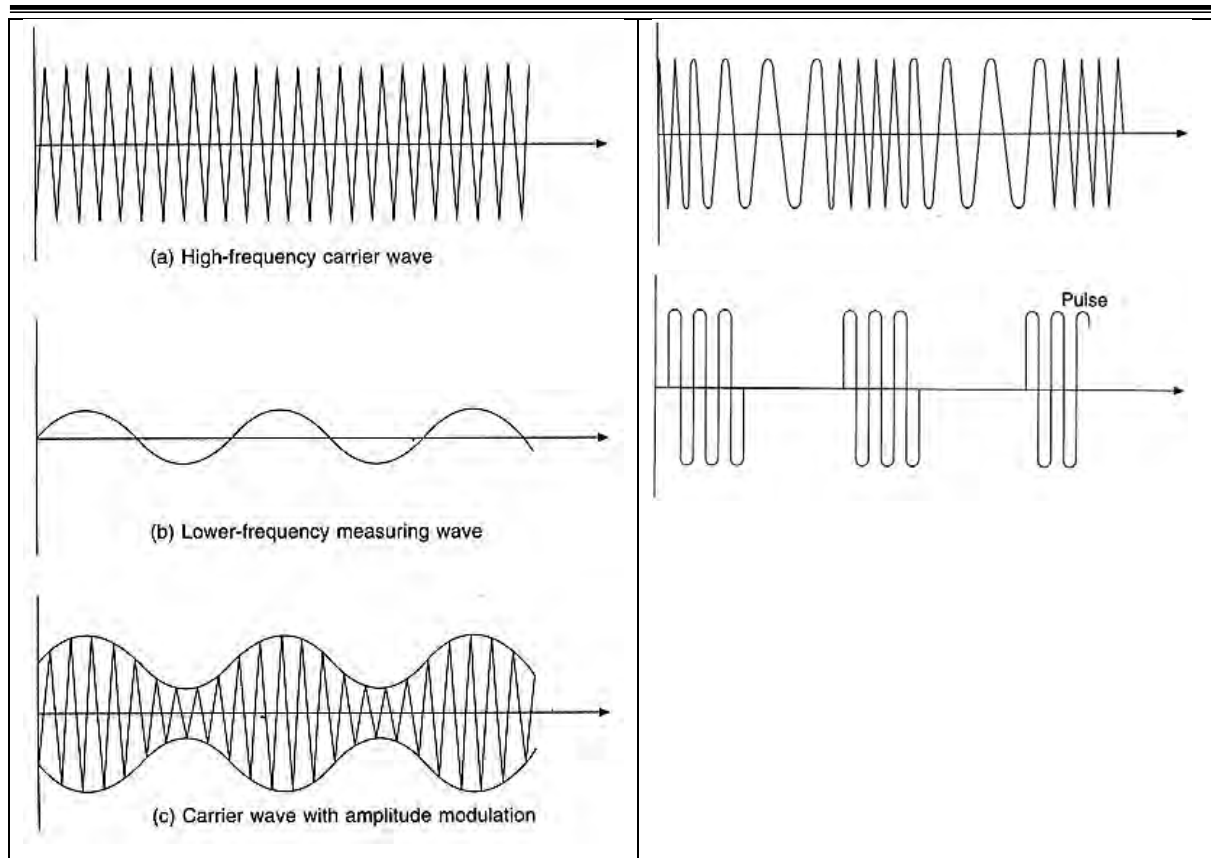
$$D = 112.701 + 0.01755 - 0.0488 = \mathbf{112.670 \text{ m}}$$

## **ELECTROMAGNETIC DISTANCE MEASUREMENT (EDM)**

Penjelasan pengukuran jarak horizontal di atas adalah dengan menggunakan cara langsung (menggunakan pita ukur). Selain dengan cara langsung di atas, dapat juga pengukuran jarak horizontal dengan bantuan alat yang disebut sebagai *total station*. *Total station* adalah alat yang memiliki kapabilitas dalam mengukur jarak dan sudut. Berikut ini adalah contoh gambar alat *total station*



EDM diklasifikasikan berdasarkan tipe dan panjang gelombang elektromagnetik yang dikeluarkan dan dapat juga diklasifikasikan berdasarkan jarak pengoperasiannya. Dalam kenyataannya, kebanyakan alat menggunakan *infra-red radiation* (IR). IR adalah panjang gelombang sebesar  $0.8 \mu m$  s.d  $0.9 \mu m$  yang ditransmisikan oleh gallium arsenida (GaAs) pada frekuensi yang konstan dan tinggi.

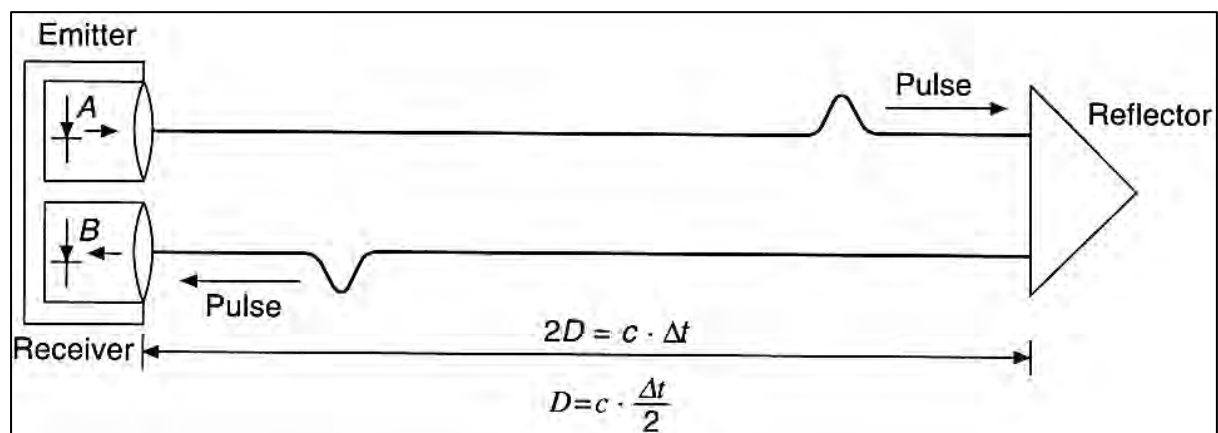


**PRINSIP PENGUKURAN DENGAN EDM**

Meskipun ada bnyak jenis EDM, namun ada dua metode dasar dalam pengukuran menggunakan EDM. Dua metode tersebut yaitu *pulse method* dan *phase difference method*.

***Pulse method***

Metode mentrasnmisikan *pulse* ke tongkat reflector, yang seketika metransmisikan balik/merefleksikan secara paralel.



Prinsip analisis ini mengikuti persamaan berikut

$$2D = c \times \Delta t \tag{26}$$



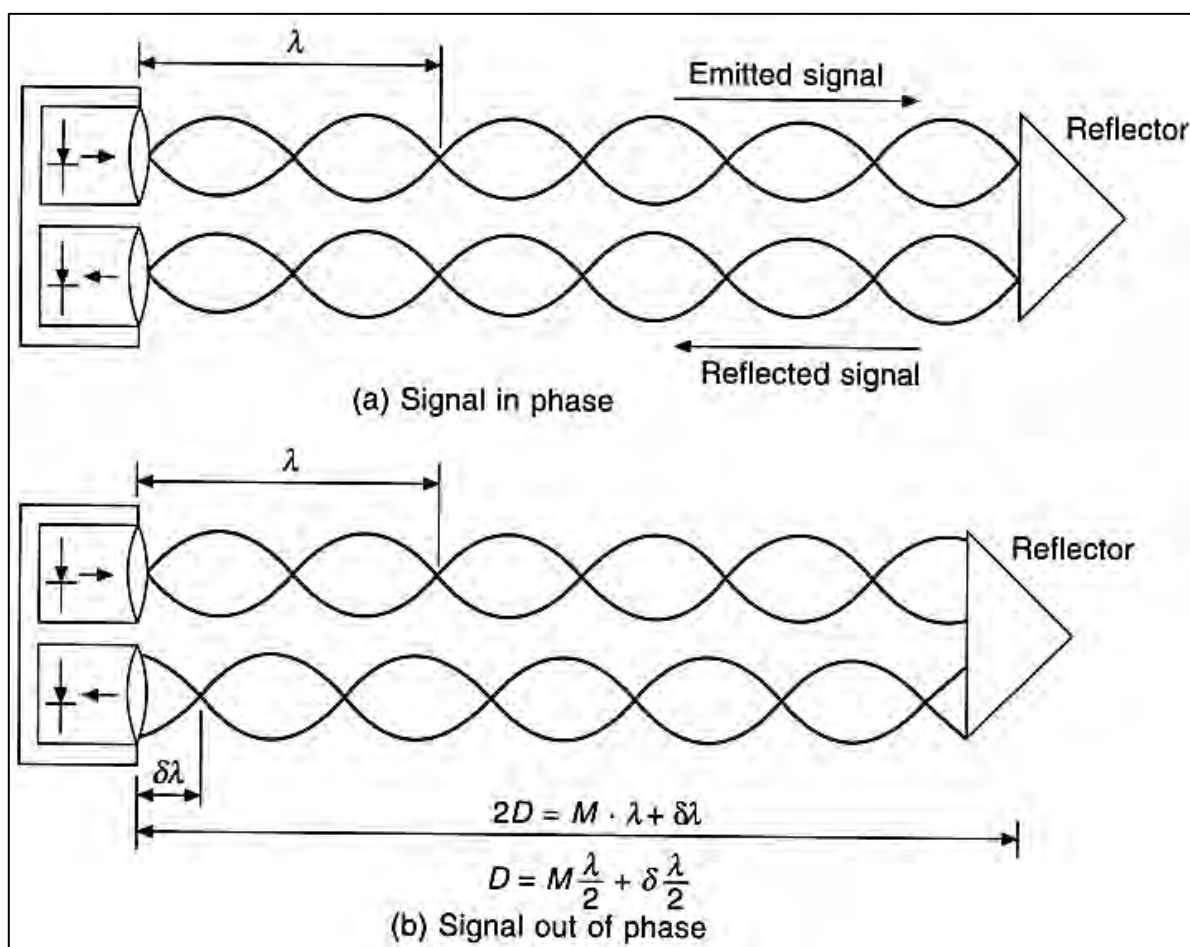
Atau dapat disederhanakan menjadi

$$D = c \times \frac{1}{2} \Delta t \quad (27)$$

Dengan  $D$  adalah jarak antara instrument dan target. Kemudian  $c$  adalah kecepatan cahaya pada medium. Sedangkan  $\Delta t$  merupakan selang waktu antara “perjalanan” dari titik A kembali ke B.

**Phase difference method**

Mayoritas instrument EDM, baik menggunakan cahaya maupun infra merah, menggunakan metode ini. Pada dasarnya dengan metode ini, instrumen menghitung  $\delta\lambda$ .



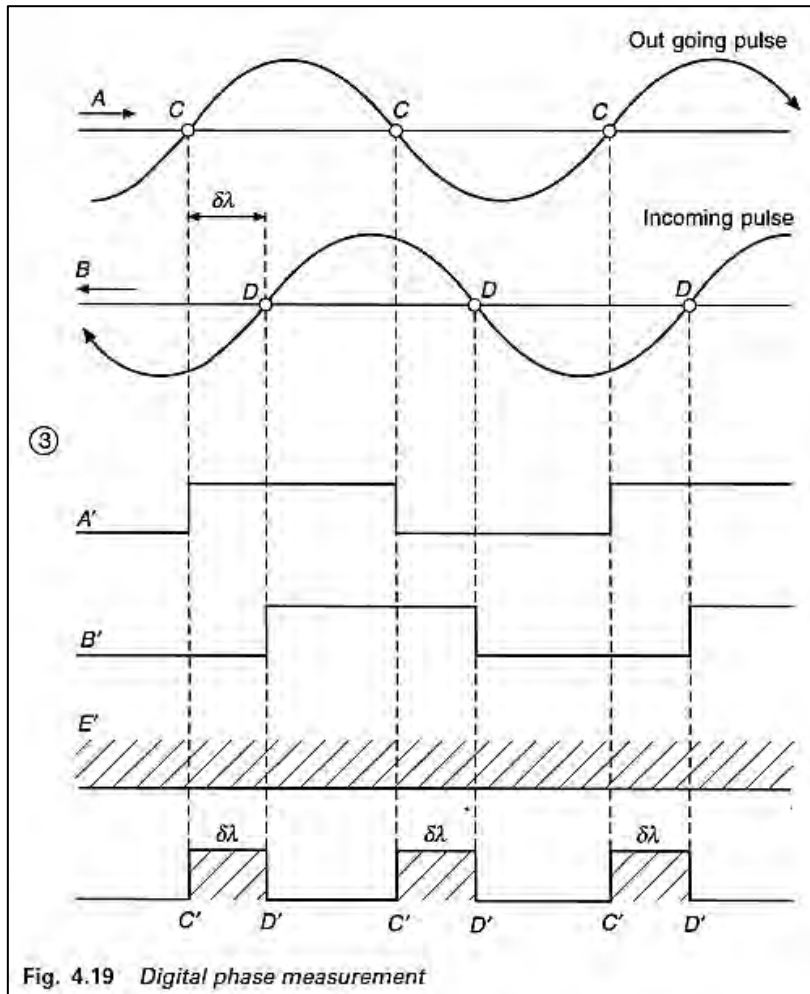
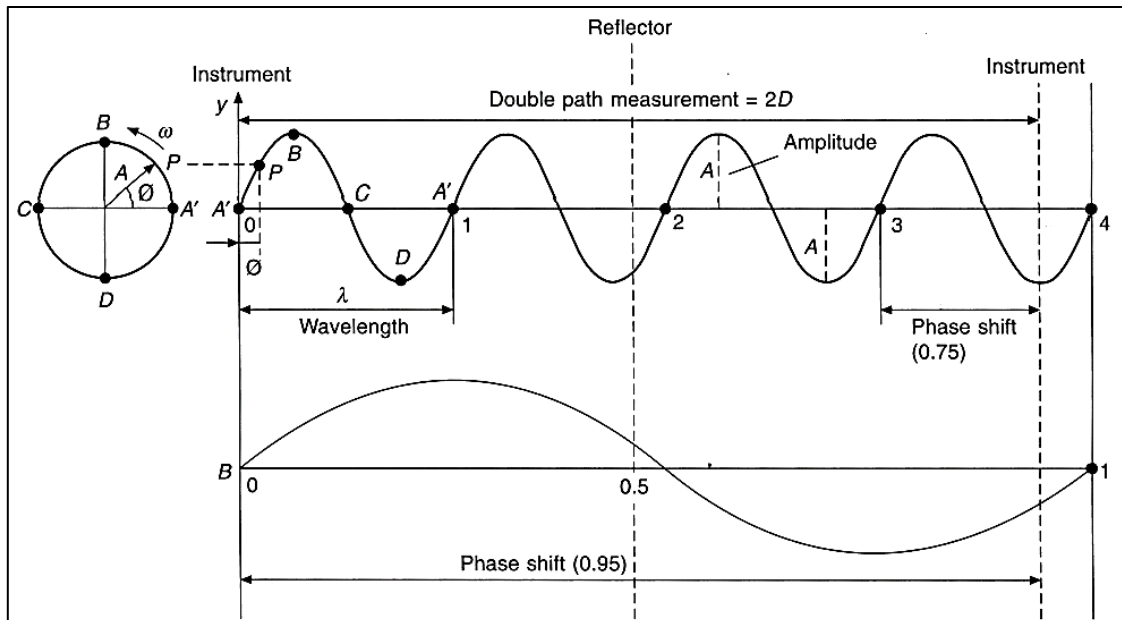


Fig. 4.19 Digital phase measurement



Metode phase different dalam pengukuran jarak, dinyatakan dalam persamaan

$$2D = M\lambda + \delta\lambda \quad (28)$$

Dimana  $M$  adalah jumlah gelombang dalam medium. Sedangkan  $\delta\lambda$  merupakan fraksi panjang gelombang yang dinyatakan dalam bentuk

$$\delta\lambda = \frac{\phi}{2\pi} \lambda \quad (29)$$

Dimana  $\phi$  merupakan sudut fase.

Persamaan (28) merupakan persamaan jarak bolak balik gelombang yang direfleksikan oleh reflector. Dengan demikian untuk mendapat jarak antara instrument dan reflector, persamaan (28) dimodifikasi menjadi

$$D = M \frac{\lambda}{2} + \frac{\phi}{2\pi} \frac{\lambda}{2} \quad (30)$$

Panjang gelombang  $\lambda$  didapat dari hubungan

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (31)$$

$c$  adalah kecepatan rambat gelombang di medium dan dapat dikalkulasi dengan persamaan

$$n = \frac{c_o}{c} \quad (32)$$

$n$  biasanya lebih besar dari 1 dan  $c_o$  adalah kecepatan cahaya dalam kondisi vacuum, bisa diambil nilainya sebesar 299792458 m/s. Dengan memakai persamaan (31) dan (32) serta mengganti terminologi  $n$  menjadi  $n_g$  untuk grup gelombang, maka persamaan (30) menjadi

$$D = M \frac{c_o}{2n_g f} + \frac{\phi}{2\pi} \frac{c_o}{2n_g f} \quad (33)$$

Persamaan (33) diberikan pengaruh dari pergeseran instrument yang meleset dari pusat pengukuran. Pengaruh ini diberikan oleh konstanta  $K_1$  dan pengaruh pada reflector yang mengalami refraksi, diberikan oleh konstanta  $K_2$ . Dengan demikian, secara lengkap, persamaan (33) ditulis dalam bentuk

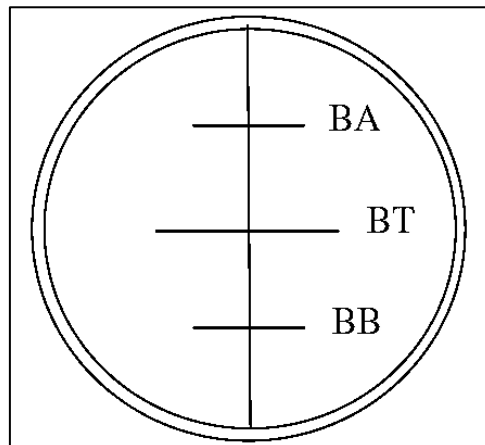
$$D = M \frac{c_o}{2n_g f} + \frac{\phi}{2\pi} \frac{c_o}{2n_g f} + (K_1 + K_2) \quad (34)$$

## **PENGUKURAN JARAK OPTIS**

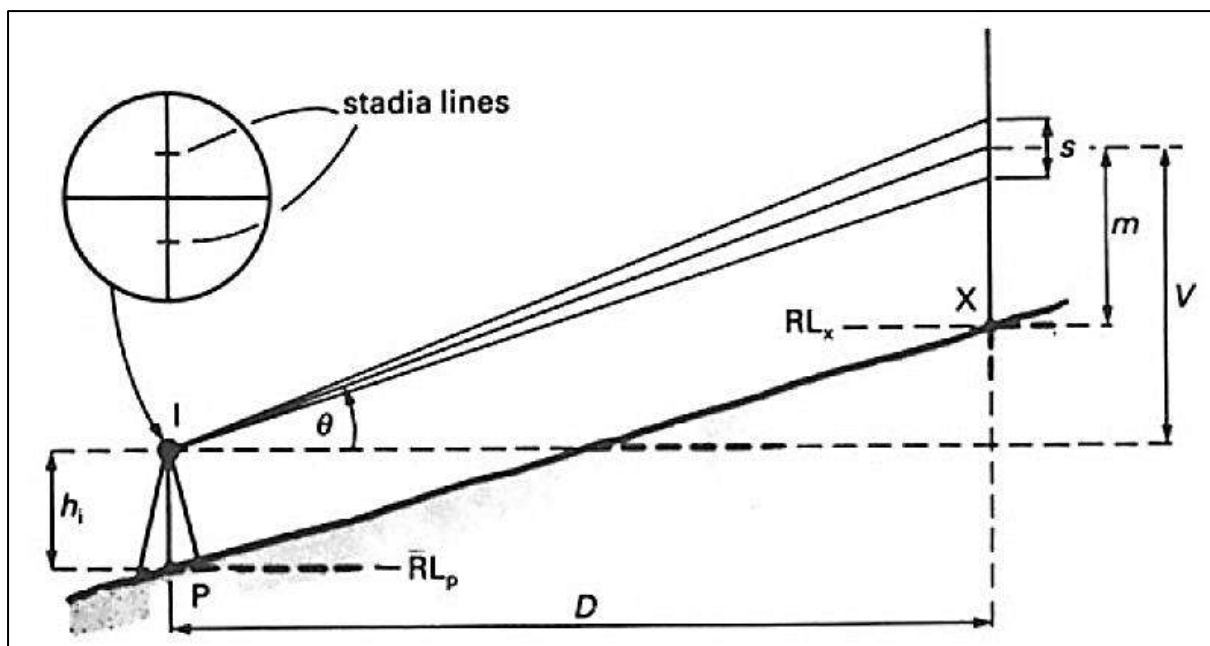
Pengukuran jarak secara langsung dengan menggunakan pita ukur atau kita sebut sebagai *taping* sangat sulit dilakukan pada *terrain* yang sangat tidak rata/*undular*. Hal ini sangat menyulitkan dalam kuantifikasi *error* dan ini sangat *laborious* dan memakan waktu. Dengan demikian dewasa ini alat total station yang memanfaatkan teknik EDM

lebih banyak digunakan di lapangan. Selain itu, terdapat satu cara lagi yang cukup klasik dalam mengukur jarak, yaitu melalui pengukuran jarak optis.

Pengukuran jarak optis memanfaatkan pembacaan pada stadia benang atas dan benang bawah. Contoh ilustrasi stadia pada teropong alat ukur terdapat pada gambar di bawah ini



Pengukuran jarak optis dapat dilihat dalam gambar di bawah



Jarak optis  $L$  dinyatakan dalam bentuk

$$L = KS \cos \theta + C \quad (35)$$

Dengan  $S$  adalah selisih antara benang atas dan benang bawah pada stadia. Kemudian  $K$  adalah konstanta stadia, rata-rata nilainya 100, sedangkan  $C$  adalah konstanta *additive* pada alat.

Dengan adanya nilai  $L$  atau jarak optis, kita bisa menentukan parameter penting lain yaitu jarak horizontal atau  $D$ . Jarak horizontal ini dirumuskan dalam bentuk

$$D = K S \cos^2 \theta + C \cos \theta \quad (36)$$

Selain itu, jarak vertikal  $V$  dikalkulasi melalui persamaan

$$V = \frac{1}{2} K S \sin 2\theta + C \sin \theta \quad (37)$$

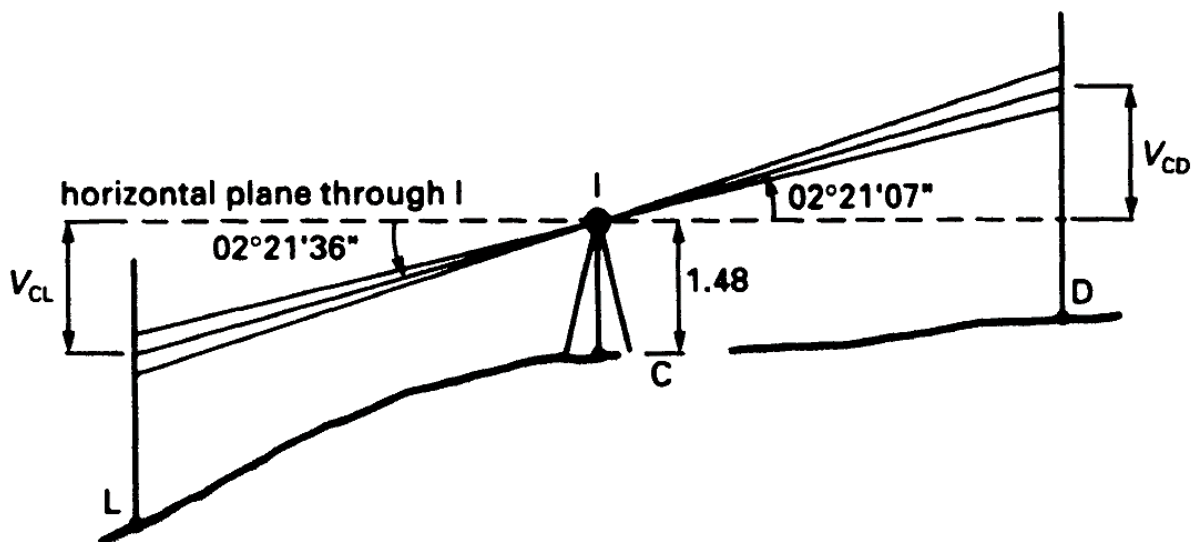
dan untuk elevasi di titik ukur (dalam gambar adalah titik X), dihitung dengan hubungan persamaan

$$RL_x = RL_p + h_i \pm V - m \quad (38)$$

Persamaan (38) dapat dipakai sebagai alternatif untuk mendapatkan jarak vertikal  $V$  dengan catatan  $RL_p$  dan  $RL_x$  sudah diketahui.

**CONTOH**

Diketahui situasi dan pencatatan pengukuran sebagai berikut



Staff position	Staff readings (m)	Vertical circle readings	Horizontal circle readings
D	3.240, 3.047, 2.853	87°38'53"	56°49'31"
L	2.458, 2.230, 2.002	92°21'36"	98°07'18"

Pertanyaan:

- Elevasi titik D dan L
- Jarak horizontal titik D dan L

Elevasi di titik C adalah 46.87 m dan abaikan konstanta additive atau  $C = 0$ .

Jawab:

Pertama-tama kita konversi dulu bentuk sudut sexagesimal menjadi bentuk decimal.

$$\theta_{CL} = 2^{\circ}21'36'' = 2^{\circ} + 0.35^{\circ} + 0.01^{\circ} = 2.36^{\circ}$$

$$\theta_{CD} = 2^{\circ}21'7'' = 2^{\circ} + 0.35^{\circ} + 0.0019^{\circ} = 2.352^{\circ}$$

Perhitungan tinggi stadia titik D atau  $S_D$  dan tinggi stadia titik L atau  $S_L$  kita hitung sebagai

$$S_D = 3.240 - 2.853 = 0.387 \text{ m}$$

dan

$$S_L = 2.458 - 2.002 = 0.456 \text{ m}$$

Jarak horizontal  $D_{CL}$  dan  $D_{CD}$  dihitung dengan hitungan berikut

$$D_{CL} = K S_L \cos^2 \theta_{CL} + C \cos \theta_{CL}$$

$$D_{CL} = 100 \times 0.456 \cos^2 2.36 + 0 \cos 2.36$$

$$D_{CL} = 45.523 \text{ m}$$

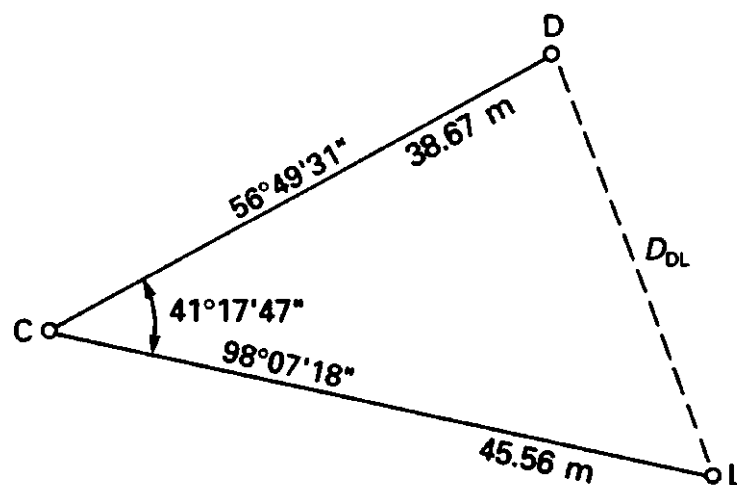
Dan

$$D_{CD} = K S_D \cos^2 \theta_{CD} + C \cos \theta_{CD}$$

$$D_{CD} = 100 \times 0.387 \cos^2 2.352 + 0 \cos 2.352$$

$$D_{CD} = 38.635 \text{ m}$$

Jika kita lihat pada tabel hasil pengukuran, bahwasanya terdapat sudut horizontal yang nilainya **bukan**  $0^{\circ}$  dan  $180^{\circ}$  sehingga antara titik L – C – D **posisinya tidak berada dalam 1 garis lurus**, melainkan berupa poligon segitiga seperti pada gambar berikut



Konversi sudut horizontal yang mengapit adalah

$$\theta = 41^{\circ}17'47'' = 41^{\circ} + 0.283^{\circ} + 0.013^{\circ} = 41.29^{\circ}$$

Dengan demikian menggunakan prinsip vektor, maka jarak horizontal antara titik L dan D atau  $D_{DL}$  adalah

$$D_{DL} = \sqrt{D_{CL}^2 + D_{CD}^2 - 2D_{CL}D_{CD} \cos \theta}$$

$$D_{DL} = \sqrt{45.523^2 + 38.635^2 - 2 \times 45.523 \times 38.635 \cos 41.29}$$

$$\mathbf{D_{DL} = 30.36 m}$$

Untuk penentuan elevasi di titik D dan L adalah kita harus menentukan jarak vertikal masing-masing titik atau  $V_{CD}$  dan  $V_{CL}$  sebagai berikut

$$V_{CD} = \frac{1}{2}KS_D \sin 2\theta_{CD} + C \sin \theta_{CD}$$

$$V_{CD} = \frac{1}{2} \times 100 \times 0.387 \sin(2 \times 2.352) + 0 \sin 2.352$$

$$V_{CD} = 1.587 m$$

Dan

$$V_{CL} = \frac{1}{2}KS_L \sin 2\theta_{CL} + C \sin \theta_{CL}$$

$$V_{CL} = \frac{1}{2} \times 100 \times 0.456 \sin(2 \times 2.36) + 0 \sin 2.36$$

$$V_{CL} = 1.876 m$$

Dengan informasi ini kita bisa hitung sekarang elevasi pada titik D dan L sebagai berikut

$$RL_D = RL_C + h_i + V_{CD} - m_D$$

$$RL_D = 46.87 + 1.48 + 1.587 - 3.047$$

$$\mathbf{RL_D = 46.89 m}$$

Dan

$$RL_L = RL_C + h_i - V_{CL} - m_L$$

$$RL_L = 46.87 + 1.48 - 1.876 - 2.230$$

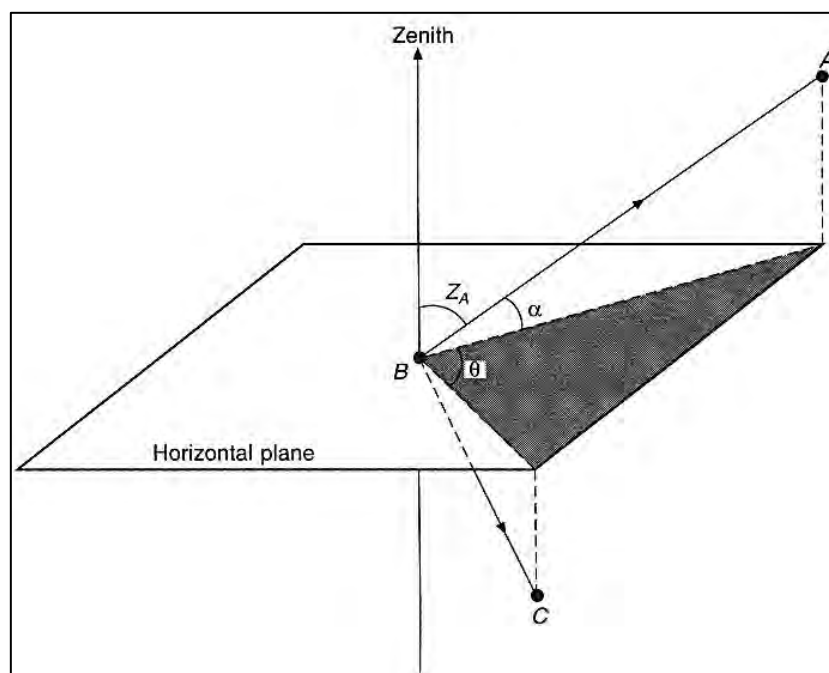
$$\mathbf{RL_L = 44.24 m}$$

Bagian ini mempelajari:

- Theodolit
- Instrumental error
- Mengukur sudut
- Sumber-sumber kesalahan
- Koordinat Rectangular

### **THEODOLIT**

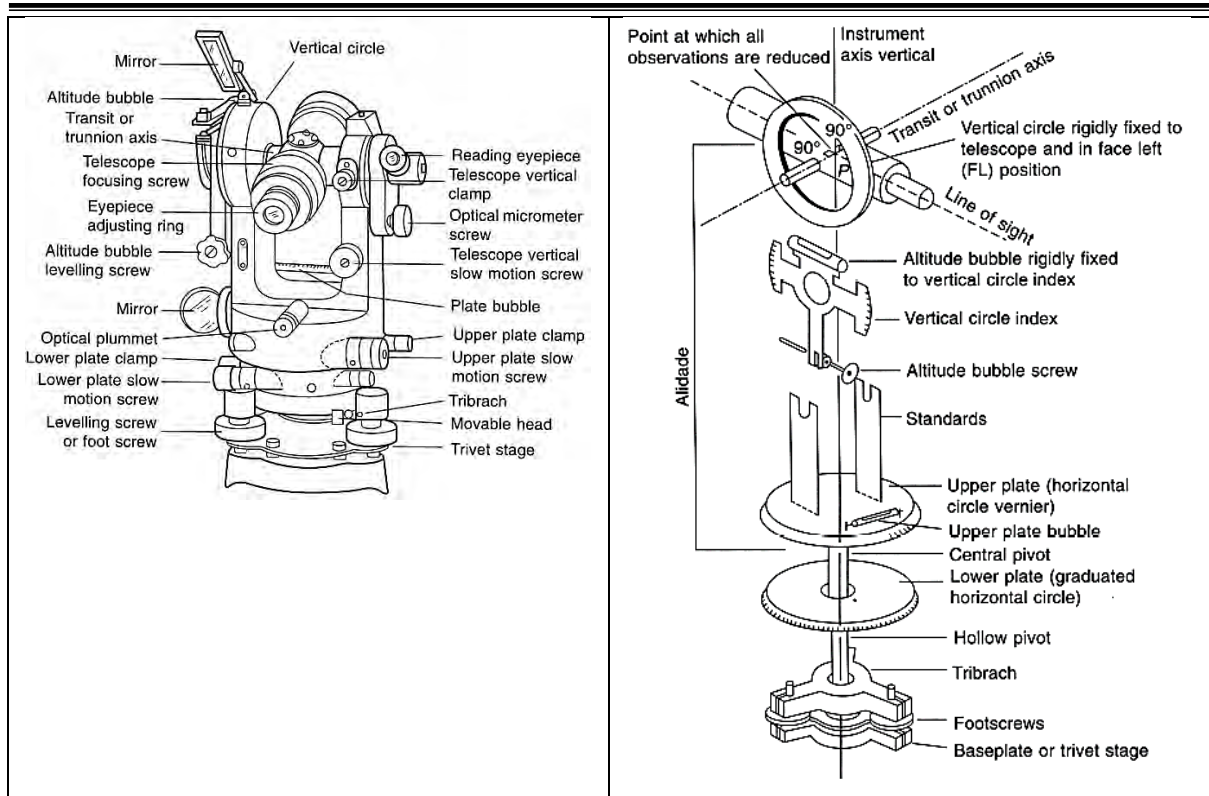
Theodolit adalah alat ukur yang memiliki kapabilitas untuk mengukur sudut. Secara mendasar terdapat dua tipe theodolite yaitu tipe optic mekanik dan tipe digital elektronik. Keduanya memiliki kapabilitas pengukuran sudut hingga 1', 20", 1", atau 0.1" tergantung seberapa presisi suatu instrument. Cara kerja alat ini adalah diilustrasikan pada gambar di bawah ini



Gambar di atas berkata bahwa misalnya dilakukan pengukuran ke titik A dan titik C dari titik B, meskipun titik A dan C berbeda elevasi, maka pengukuran ini tetap memberikan hasil berupa sudut horizontal  $\angle ABC = \theta$ , sudut vertikal  $\angle A = \alpha$  dan sudut zenith dari A  $\angle Z_A = Z_A$ .

Gambar di bawah ini merupakan contoh theodolite dan komponen-komponennya

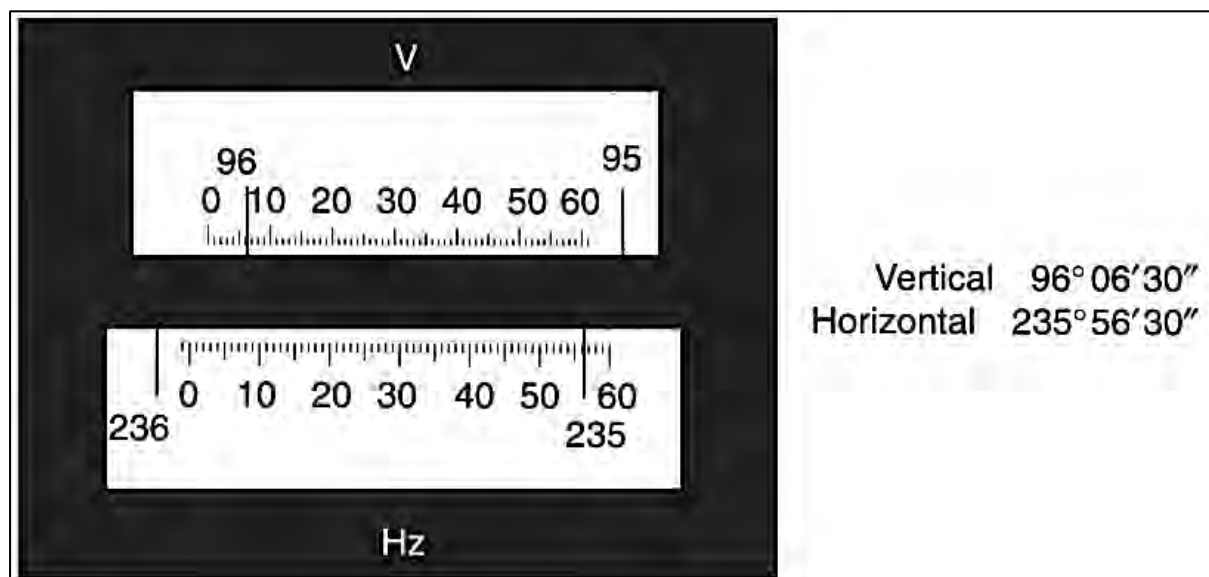




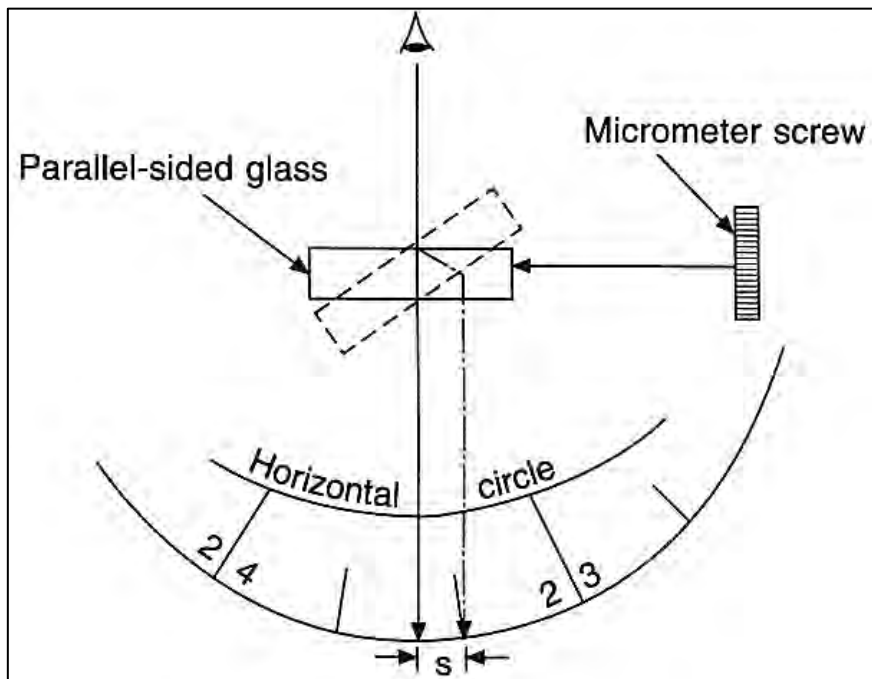
**Sistem pembacaan theodolite**

Pada dasarnya terdapat 3 tipe sistem pembacaan yaitu *optical scale reading*, *optical micrometer reading* dan *electronic digital display*. Penjelasan masing-masing sistem pembacaan dijelaskan berikut ini

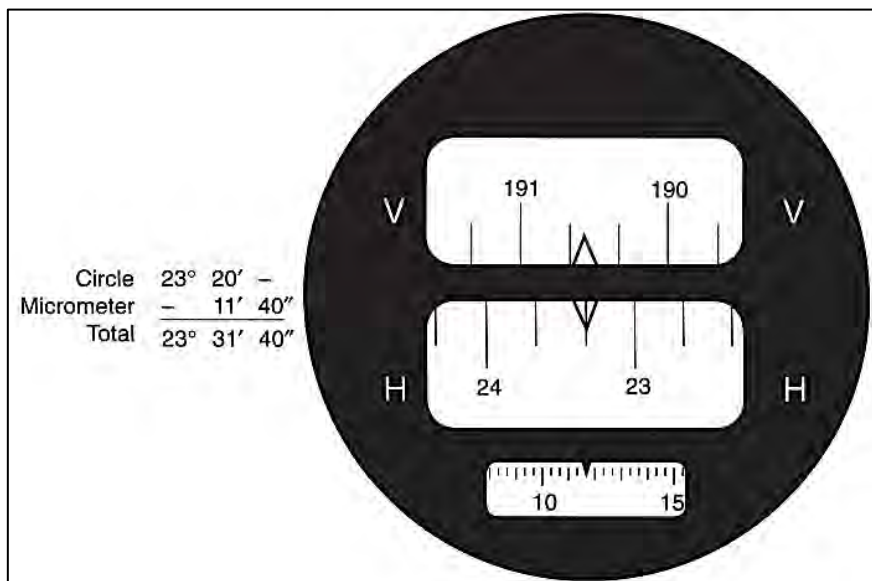
1. *optical scale reading*, biasanya diaplikasikan pada theodolite dengan ketelitian hingga 20" atau kurang. Keduanya baik vertikal maupun horizontal secara simultan terbaca pada teropong. Berikut adalah ilustrasi pembacaan pada system *optical micrometer reading*.



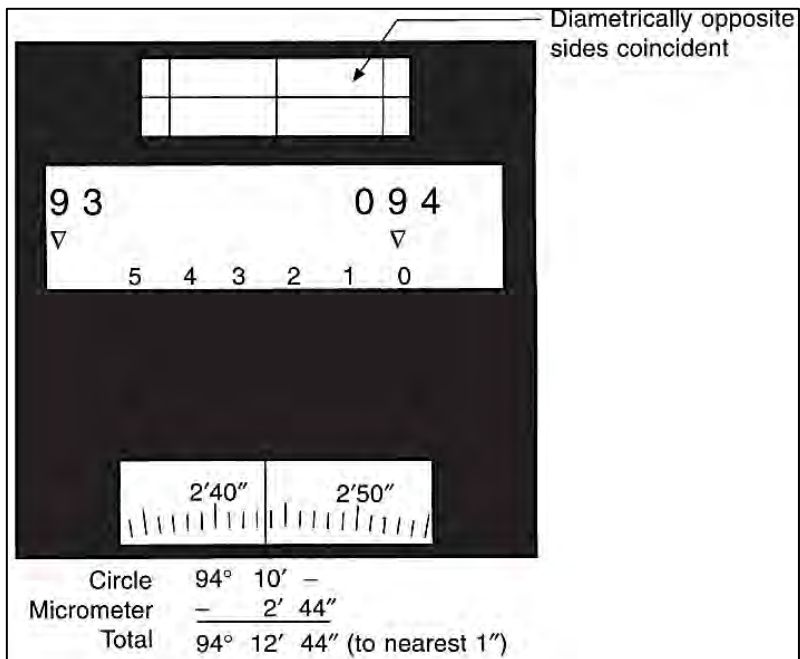
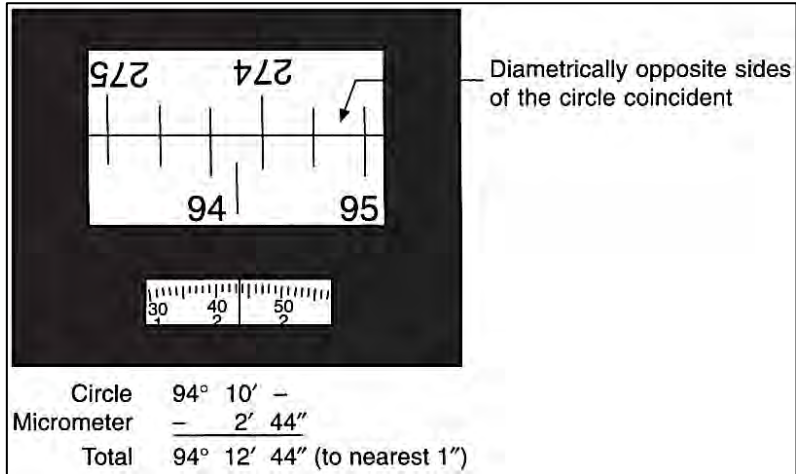
2. *optical micrometer reading*, umumnya menggunakan *line microscope* yang dikombinasikan dengan *optical micrometer*.



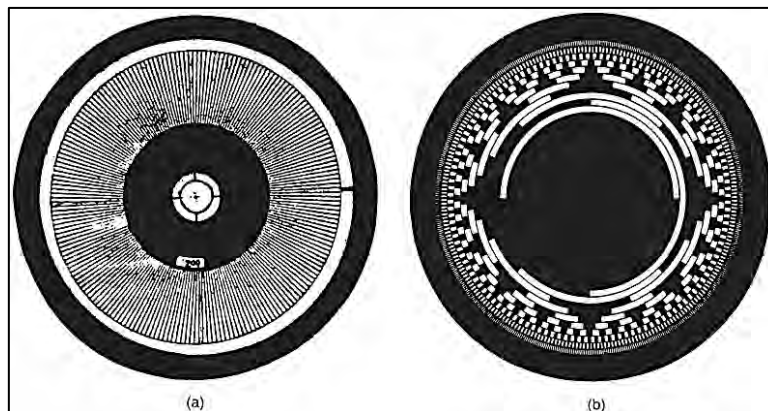
Dengan sistem ini, **menurut gambar di atas**, observatory ketika mengukur tegak lurus terhadap plat, kemungkinan akan menghasilkan angka  $23^{\circ}20'+S$ . Nilai S tidak diketahui. Kemudian plat paralel diputar sedemikian rupa hingga hasil pengamatan tepat menunjukkan  $23^{\circ}20'$ . Besarnya S kemudian didapat dari pengamatan pada micrometer sebesar  $11'40''$ . Ilustrasinya bisa dilihat pada gambar di bawah ini



Beberapa model lainnya dari sistem ini bisa dilihat pada gambar-gambar berikut

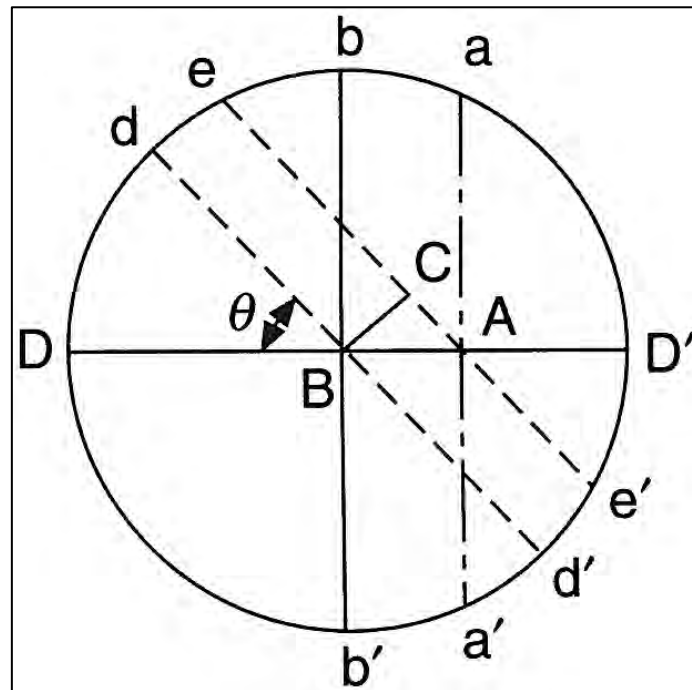


3. *electronic digital display*, terdapat dua proses scanning yaitu metode incremental (a) dan metode code (b).



**INSTRUMENTAL ERROR**

Demi mendapatkan hasil pengukuran yang *reliable* baik sudut vertikal maupun horizontal, observatory harus menggunakan instrument yang diatur dengan benar menurut kondisi di lapangan. Untuk mencapai kondisi tersebut, hal yang harus diperhatikan dalam pengaturan antara lain:



1. Bidang lingkaran horizontal harus tegak lurus terhadap sumbu rotasi vertikal.
2. Bidang lingkaran vertikal harus tegak lurus terhadap sumbu transit horizontal.
3. Rotasi sumbu vertikal seharusnya melewati titik dimana garis garis ukur horizontal muncul.
4. Rotasi sumbu transit seharusnya melewati titik dimana garis garis ukur vertikal muncul.
5. Kemiringan terhadap plat gelembung seharusnya tegak lurus terhadap ritasi sumbu.
6. Garis pandangan seharusnya tegak lurus terhadap sumbu rotasi.
7. Sumbu transit seharusnya tegak lurus terhadap rotasi sumbu utama.
8. Ketika teleskop horizontal, lingkaran vertikal seharusnya horizontal dan menindikasikan titik nol dan kemiringan dari gelembung seharusnya horizontal.
9. Sumbu rotasi utama seharusnya bertemu dengan sumbu transit pada titik yang sama.
10. Garis pandangan seharusnya berposisi yang sama dengan perubahan fokus.

Nomor 1, 2, 3 dan 4 sebenarnya didapat dari manufaktur, sehingga ketika di lapangan kita tidak bisa melakukan perubahan/pengaturan soal ini sebagai “*double face observation*”. Serupa dengan hal tersebut, nomor 9 dan 10 juga berasal dari manufaktur namun dapat kita atur juga di lapangan. Yang terakhir nomor 5, 6, 7 dan 8 benar-benar akan kita atur di lapangan oleh observator.

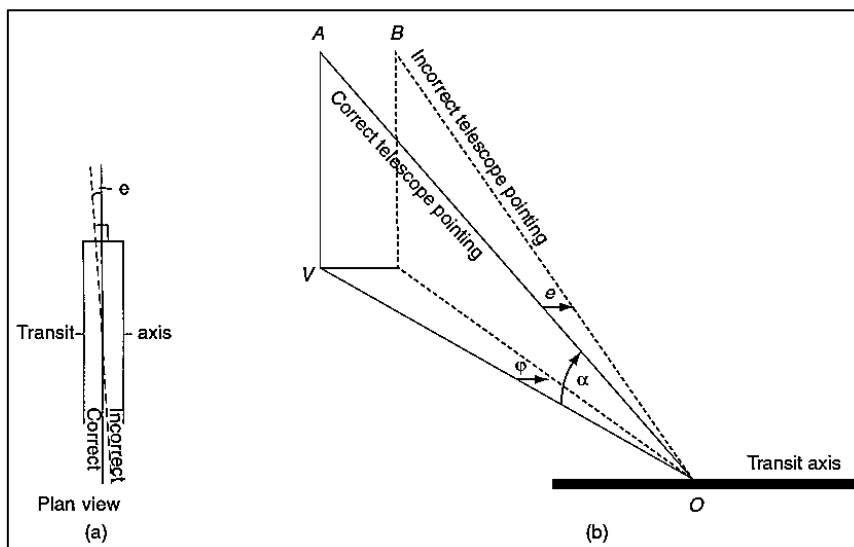
Terminologi *double face observation* merupakan hal yang penting dan mendasar untuk pengukuran sudut yang akurat. Pada kondisi awal pengukuran/pengamatan, kita sebut sebagai “*face left*” atau FL, kemudian ketika teropong diputar 180° dan alat juga diputar 180° maka pengukuran/pengamatan ini kita sebut sebagai “*face right*” atau FR. Rata-rata hasil pengamatan FL dan FR disebut sebagai *double face observation*. Cara ini bebas dari mayoritas *instrumental error*.

**Eksentrisitas**

Perhatikan gambar contoh bidikan di atas. Jika *B* adalah pusat dari lingkaran dan *A* adalah titik pusat eksentrisitas, dengan demikian jarak *AB* adalah *error eksentrisitas*. Jika pembacaan di titik *D*, pada dua garis tengah, maka tidak ada *error* yang terjadi. Namun jika pembacaan di *b*, maka *error* terjadi sebesar  $ba = E$ , ini merupakan *error* maksimum. Jika posisi pada posisi *d* maka *error* yang terjadi sebesar  $de = BC = AB \sin \theta = E \sin \theta$ , dengan  $\theta$  adalah sudut rotasi horizontal.

**Collimation error**

Dalam pengukuran sudut juga dipengaruhi *collimation error*. Garis *collimation* terhadap sumbu transit, semestinya 90°. Namun pada kenyataannya tidaklah demikian, sehingga hal ini merupakan *error* yang mempengaruhi pengamatan sudut. Ilustrasi *error* ini dapat dilihat pada gambar di bawah ini



Berdasarkan ilustrasi di atas, sebagai akibat pengaruh dari *collimation*, maka garis pandang yang harusnya lurus pada titik A, terlihat pada titik B, sehingga ada perbedaan sudut sebesar  $+\phi$ . Besarnya pergeseran yang terjadi adalah sebesar  $e$ . Dari hal ini dapat ditentukan bahwa

$$\tan \phi = \frac{AB}{OV} = \frac{OA \tan e}{OV} \quad (1)$$

Di lain pihak, kita bisa lihat bahwa

$$\frac{OA}{OV} = \sec \alpha \quad (2)$$

Dengan demikian maka berlaku hubungan baru yaitu

$$\tan \phi = \sec \alpha \tan e \quad (3)$$

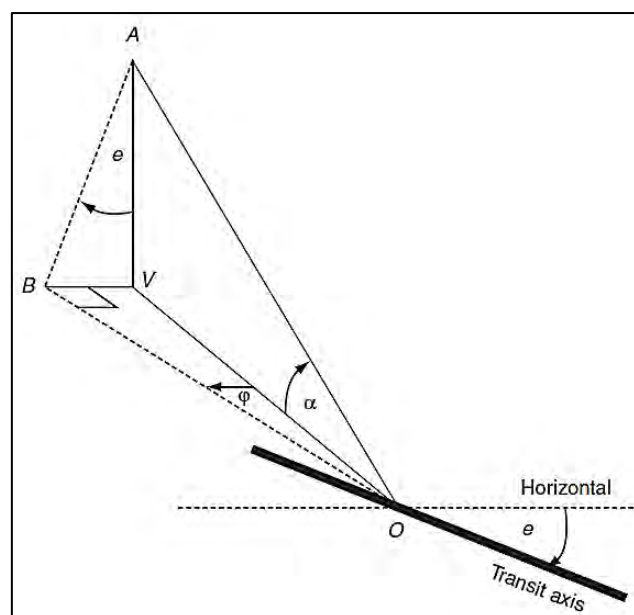
Karena pada kenyataannya  $\phi$  dan  $e$  sangat kecil, maka persamaan (3) disederhanakan lagi menjadi

$$\phi = e \sec \alpha \quad (4)$$

Untuk mengeliminasi *collimation error*, dalam pengukuran, instrument sedikit diputar sebesar  $-\phi$ . Dengan cara ini *collimation error* bisa dieliminasi. *Double face observation* juga bisa dilakukan untuk mendapatkan hasil sudut  $\alpha$  yang lebih akurat.

### **Transit axis error**

*Error* atau kesalahan jenis ini terjadi karena transit axis tidak dalam posisi  $90^\circ$ . kondisi ini diilustrasikan dalam gambar di bawah ini



Sama seperti *collimation error*, *error* ini juga mempengaruhi pergeseran sudut pengamatan sebesar  $\phi$ . Dengan konsep yang sama, berdasarkan ilustrasi di atas, kita bisa menentukan hal berikut

$$\sin \phi = \frac{BV}{VO} = \frac{AV \tan e}{VO} = \frac{VO \tan \alpha \tan e}{VO} = \tan \alpha \tan e \quad (5)$$

Dengan  $\phi$  dan  $e$  sangat kecil, maka

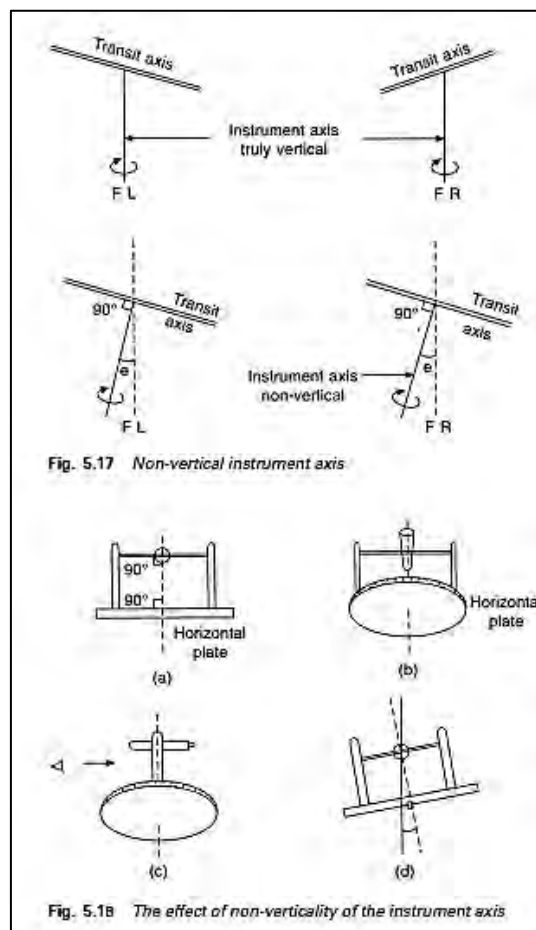
$$\phi = e \tan \alpha \quad (6)$$

*Double face observation* juga semestinya diterapkan agar hasil pengamatan sudut lebih akurat.

### ***Instrumental error lainnya***

Selain dari *instrumental error* yang telah dijelaskan di atas, berikut ini beberapa potensi *instrumental error* yang mungkin terjadi selama pengukuran:

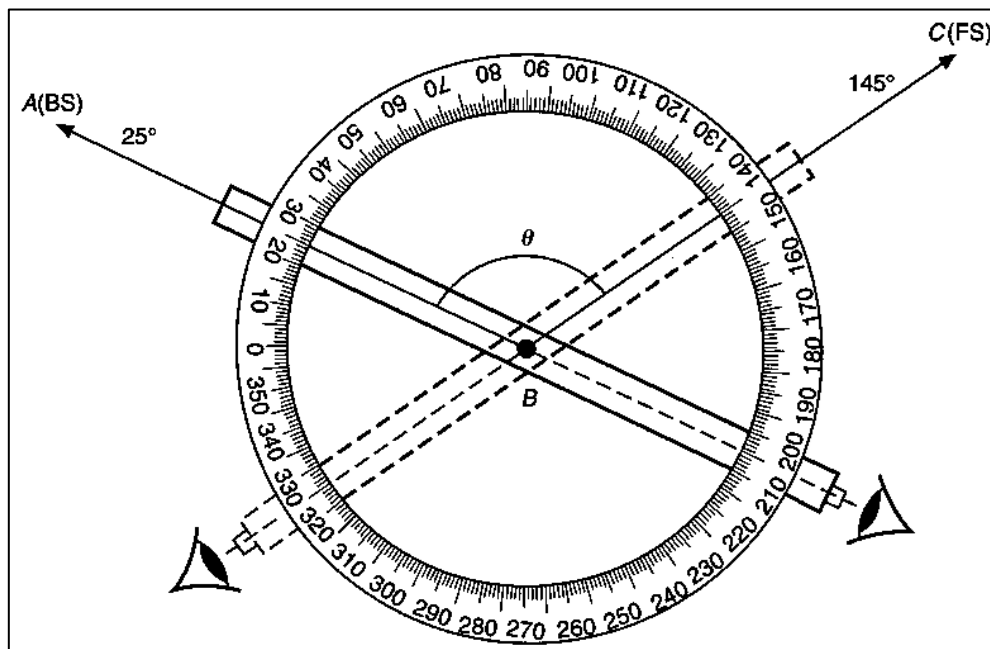
1. Tidak vertikalnya sumbu vertikal dari instrument.



2. *Circle graduation error.*
3. *Optical micrometers error.*
4. *Vertical circle index error.*

## MENGUKUR SUDUT

Meskipun theodolite dan *total station* merupakan instrument yang sangat kompleks, namun pengukuran sudut vaertikal dan horizontal merupakan konsep yang sederhana. Lingkaran vertikal dan horizontal dari suatu instrument memiliki perilaku *clockwise* dengan sudut  $0^\circ$  s.d  $360^\circ$ . Konsep mengukur sudut ini pada dasarnya mengikuti ilustrasi di bawah ini



Gambar di atas mengilustrasikan hubungan titik A, B dan C dalam pengukuran sudut. Penjelasan dari gambar ini adalah sebagai berikut:

1. Instrument/alat ukur diatur, ditempatkan di tengah dan diukur elevasinya di titik B.
2. Pengamatan ke titik A, bisa disebut sebagai "back station" BS, dilakukan setelah mengeliminasi minimal *instrumental error* dan menghasilkan pembacaan sudut  $25^\circ$ .
3. Instrument atau alat ukur diputar sedemikian rupa diarahkan ke titik C. pengukuran ini bisa disebut sebagai "forward station" FS, dan menghasilkan pembacaan  $145^\circ$ .
4. Kemudian sudut horizontal adalah sudut antara A dan C. Sudut horizontal ini didapat dari selisih antara FS dan BS atau  $\theta = FS - BS = 145^\circ - 25^\circ = 120^\circ$ .
5. Jika dilakukan arah sebaliknya, maka pembacaan di titik C (misalnya juga) menjadi  $325^\circ$ .



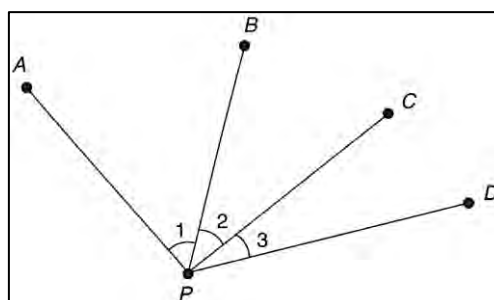
6. Dengan cara yang sama untuk titik A akan mendapat pembacaan (misalnya juga) 215°.
7. Sudut horizontal antara A dan C juga akan menghasilkan 120°.
8. Catat bahwa dengan membalikkan arah pengukuran akan menghasilkan 2 buah nilai sudut horizontal antara A dan C. Dengan demikian **hasil pengukuran dapat dilakukan rata-rata** antara pembacaan awal dengan pembacaan setelah diputar ke arah sebaliknya (diputar 180°).
9. Konsep di atas kemudian dilakukan ulang dengan “menukar” titik A dan C, lalu pembacaan diulang.

Metode pembacaan sudut horizontal di atas tentunya akan menghasilkan 4 hasil pembacaan. Keseluruhan pembacaan ini kemudian di rata-rata untuk mendapat nilai yang “paling mendekati benar”. Contoh tabel pencatatan diilustrasikan di bawah ini

<i>Sight to</i>	<i>Face</i>	<i>Reading</i>			<i>Angle</i>		
		°	'	"	°	'	"
A	L	020	46	28	80	12	06
C	L	100	58	34			
C	R	280	58	32	80	12	08
A	R	200	46	24			
A	R	292	10	21	80	12	07
C	R	012	22	28			
C	L	192	22	23	80	12	04
A	L	112	10	19			
<i>Mean =</i>					80	12	06

**Measurements by direction**

Metode *direction* umumnya digunakan untuk mengukur beberapa sudut seperti ditunjukkan gambar di bawah ini

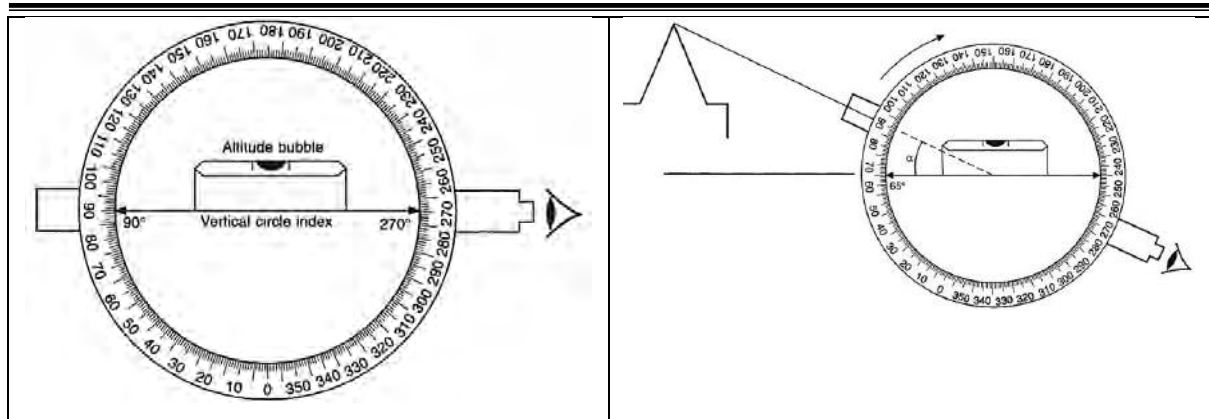


Berdasarkan gambar di atas, pengukuran sudut dilakukan dari titik ke titik. Mulai dari A hingga D searah jarum jam/*clockwise*. Setelah sampai di titik D, pengukuran dilakukan mundur dari titik D ke titik A. Kemudian akan ada dua hasil pengukuran di sudut PA. Misalnya pada arah A menuju D, sudut PA adalah  $48^{\circ}54'36''$ . Akan tetapi ketika pengukuran dilakukan mundur dari D menuju A, sudut PA adalah  $40^{\circ}50'32''$ . Dari dua hasil ini kita bisa lihat bahwa selisihnya adalah  $-8^{\circ}04'04''$ . **Selisih tersebut kemudian dibagi rata sesuai jumlah sudut yang diukur**, misalnya dalam gambar tersebut ada 3 sudut, maka masing-masing sudut dikoreksi sebesar  $\frac{-8^{\circ}04'04''}{3}$ . Hasil pembagian ini kemudian jadi koreksi untuk semua sudut yang diukur. Cara ini bisa digunakan bahkan jika pengukuran berbentuk poligon. Contoh pencatatannya adalah pada gambar di bawah ini.

Sight to	Face	Reading			Apply misclosure			Mean of FL and FR reduced to FL		
		o	'	''	o	'	''	o	'	''
A	L	20	26	36	20	26	36	20	26	31
B	L	65	37	24	65	37	22	65	37	18
C	L	102	45	56	102	45	52	102	45	54
D	L	135	12	22	135	12	16	135	12	16
A	L	20	26	44	20	26	36	20	26	31
Misclosure				+8			0			
A	R	200	26	26	200	26	26			
D	R	315	12	14	315	12	15			
C	R	282	45	44	282	45	46			
B	R	245	37	12	245	37	15			
A	R	200	26	22	200	26	26			
Misclosure				-4			0			

### **Pengukuran sudut vertikal**

Selain sudut horizontal yang dibahas di atas, ada juga terminologi sudut vertikal. Dalam pengukuran sudut horizontal, “pengukur sudut” yang pada gambar sebelumnya tampak seperti penggaris busur lingkaran, posisinya statis. Di lain pihak dalam pengukuran sudut vertikal, “pengukur sudut” tersebut bergerak relative terhadap horizontal. Situasi ini dapat dilihat dalam ilustrasi gambar di bawah. Gambar sebelah kiri menunjukkan arah teleskop horizontal dan membaca sudut  $90^{\circ}$ . Kemudian teleskop mengarah ke titik tujuan hingga membentuk sudut  $\alpha$  dan “pengukur sudut” berputar relative mengikuti garis pandang, yang kemudian membaca sudut sebesar  $65^{\circ}$  (gambar sebelah kanan). Sudut  $65^{\circ}$  ini disebut sebagai **sudut zenit/zenith angle**, maka dengan ini maka sudut vertikal  $\alpha = 90^{\circ} - 65^{\circ} = 25^{\circ}$ .



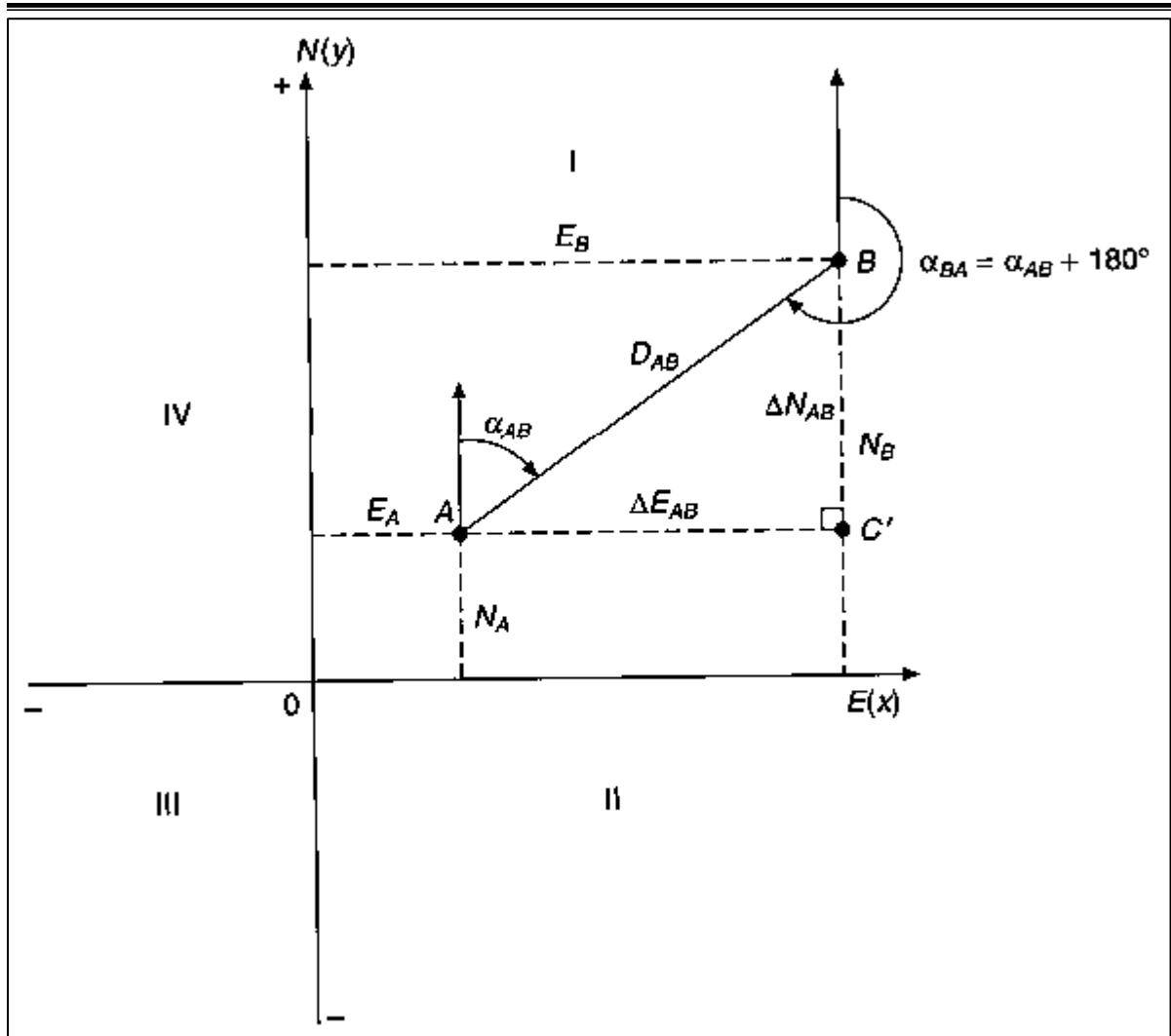
### SUMBER-SUMBER KESALAHAN

Selain kesalahan dari peralatannya itu sendiri/*instrumental error*, kesalahan pengukuran sudut juga dipengaruhi oleh faktor-faktor berikut.

1. *Personal error*.
2. *Natural error*.

### KOORDINAT RECTANGULAR

Sistem koordinat *rectangular* dapat dilihat dalam contoh di bawah. Perlu dicatat bahwa koordinat *rectangular* dalam surveying sedikit berbeda dengan koordinat *rectangular* pada matematika murni. Pada matematika murni sudut (termasuk penomoran kuadran) diukur secara *anticlockwise*. Sedangkan pada surveying, pengukuran sudut (termasuk penomoran kuadran) bersifat *clockwise*. Selain itu, dalam koordinat surveying **TERKADANG** sumbu-y dinyatakan sebagai **N/North/Utara** dan sumbu-x dinyatakan sebagai **E/East/Timur**. Namun demikian, penamaan sumbu-x dan -y ini sifatnya opsional, selama prinsip konsistensi dari kegiatan survey dipegang teguh.



Gambar 1

Gambar di atas merupakan sistem koordinat rectangular untuk surveying. Sistem ini dikenal sebagai **Whole Circle Bearing System** atau **sistem WCS**. Adapaun penjelasan gambar di atas dapat dirangkum sebagai berikut

$$E_A = x_A \text{ dan } N_A = y_A$$

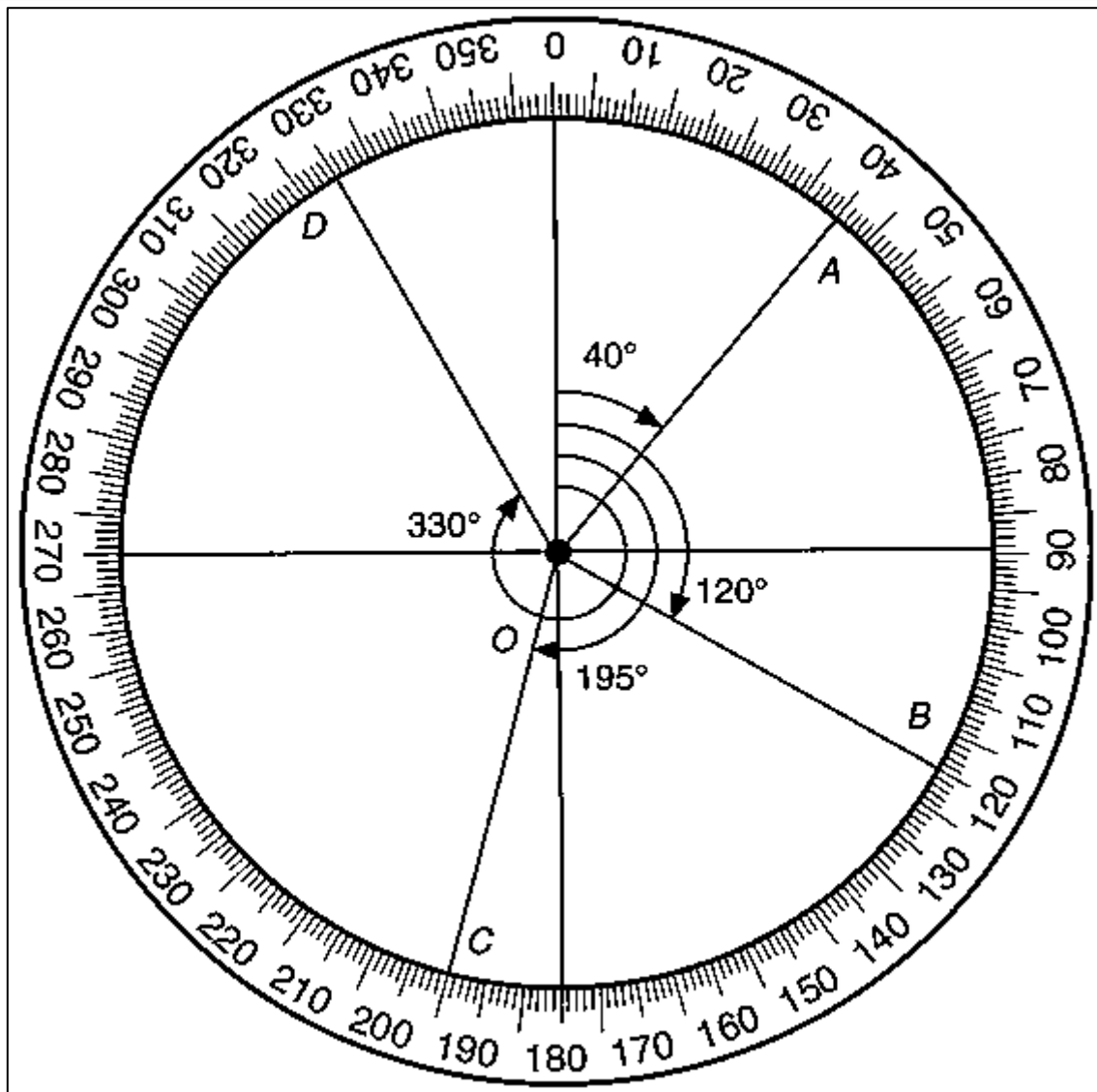
$$E_B = x_B \text{ dan } N_B = y_B$$

Kemudian

$$E_B = E_A + \Delta E_{AB}$$

$$N_B = N_A + \Delta N_{AB}$$

Sistem WCS merupakan sistem yang mengukur sudut secara 1 lingkaran penuh dari  $0^\circ$  hingga  $360^\circ$ . Dengan demikian, **nilai sudut hendaknya selalu positif dan tidak lebih dari  $360^\circ$** . Ilustrasi sistem WCB dapat dilihat pada gambar di bawah ini



Gambar 2

Pusat sudut berada pada titik O. Sedangkan titik A, B, C dan D adalah titik yang ingin ditentukan sudutnya. Maka, menurut gambar di atas sebagai contohnya, dalam sistem WCB dinyatakan sebagai berikut

$$WCB\ OA = 40^{\circ}$$

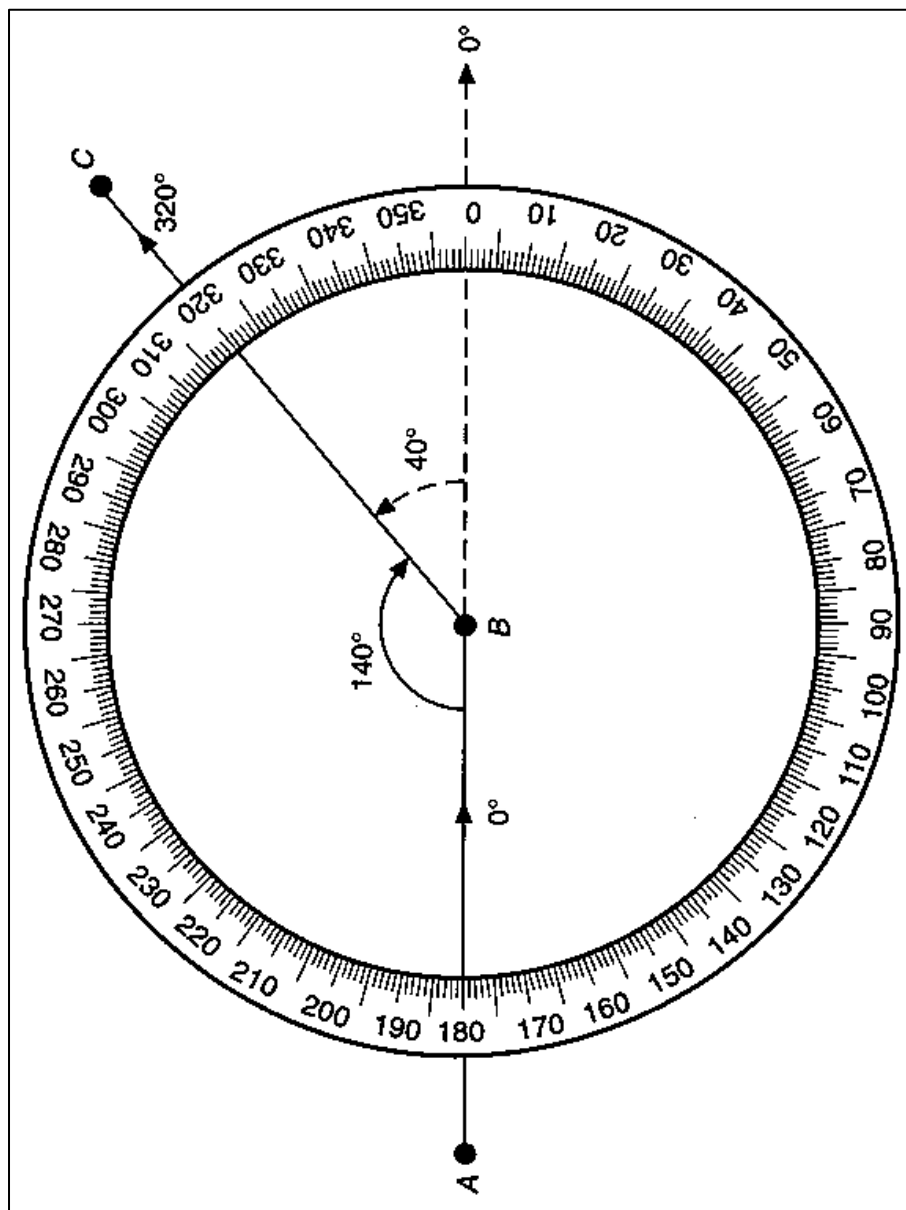
$$WCB\ OB = 120^{\circ}$$

$$WCB\ OC = 195^{\circ}$$

$$WCB\ OD = 330^{\circ}$$

Pada surveying, titik O pada gambar di atas bisa merupakan titik lokasi alat ukur sudut. Namun demikian jika akan dibentuk *control survey* misalnya poligon, maka titik O tersebut belum tentu alat ukur sudut, melainkan titik bagian dari poligon itu sendiri.

Dengan demikian, kita harus mengeluarkan alat dari sistem poligon untuk mendapatkan sudut pada titik awal poligon. Untuk dapat melakukan hal tersebut, maka diperlukan **reverse WBC atau back bearing**. Konsep back bearing ini sendiri tergambar pada gambar di bawah ini



Gambar 3

Pada gambar di atas, misalnya garis poligon awal adalah garis BC, sehingga titik B merupakan titik awal poligon. Untuk menentukan sudut di titik B tersebut, alat ditempatkan di titik A tersebut, maka sudut *back bearing* atau yang pada gambar tersebut adalah WCB AB, dinyatakan dalam bentuk

$$WCB BC = 140^{\circ} + 180^{\circ} = 320^{\circ}$$

Kemudian dengan definisi yang sama, maka kita bisa menentukan sudut *back bearing* pada **gambar 2**, yaitu sebagai berikut

$$WCB AO = 40^\circ + 180^\circ = 220^\circ$$

$$WCB BO = 120^\circ + 180^\circ = 320^\circ$$

$$WCB CO = 195^\circ - 180^\circ = 15^\circ$$

$$WCB DO = 330^\circ - 180^\circ = 150^\circ$$

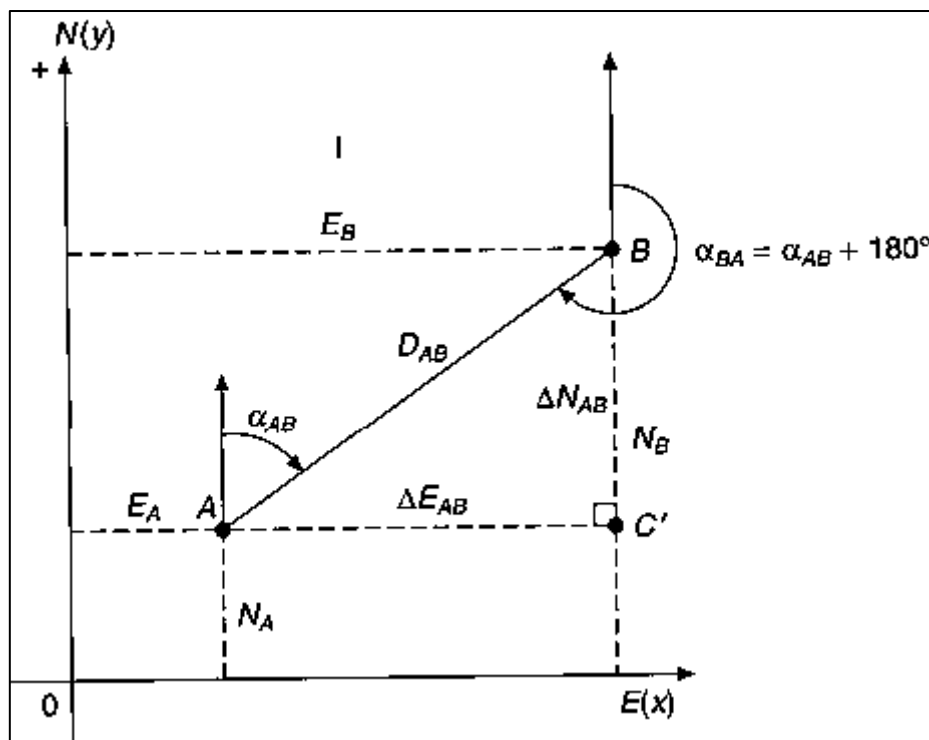
Dari pengertian dan definisi di atas, maka (dengan mengacu pada **Gambar 3**) kita bisa menuliskan rumus umum untuk sudut WCB sebagai persamaan berikut

$$WCB CB = WCB AB + \angle ABC \pm 180^\circ \quad (7)$$

Dengan ketentuan

1. Gunakan  $+180^\circ$  jika  $\angle ABC < 180^\circ$ , dan
2. Gunakan  $-180^\circ$  jika  $\angle ABC > 180^\circ$

Definisi berikutnya adalah terkait penggunaan sudut WCB untuk mendapatkan jarak dan/atau koordinat. Untuk itu mari kita panggil kembali contoh **Gambar 1** berikut ini.



Secara konsep trigonometri, kita gunakan hubungan bahwa

$$\Delta E_{AB} = D_{AB} \sin \alpha_{BA} \quad (8)$$

$$D_{AB} = \frac{\Delta E_{AB}}{\sin \alpha_{BA}}$$

$$\Delta N_{AB} = D_{AB} \cos \alpha_{BA} \quad (9)$$

$$D_{AB} = \frac{\Delta N_{AB}}{\cos \alpha_{BA}}$$

Simbolisasi  $\alpha_{BA}$  di sini adalah  $WCB BA$ . Dengan demikian maka menggunakan persamaan (1) kita mendapatkan sudut

$$\alpha_{BA} = WCB BA = WCB OA + \alpha_{AB} + 180^\circ$$

Kemudian, kita juga bisa menentukan sudut BA atau  $\alpha_{BA}$  melalui terminologi

$$\alpha_{BA} = \tan^{-1} \frac{\Delta E_{AB}}{\Delta N_{AB}} \quad (10)$$

Atau

$$\alpha_{BA} = \cot^{-1} \frac{\Delta N_{AB}}{\Delta E_{AB}} \quad (11)$$

Berikut ini adalah aturan pemakaian persamaan (2) hingga persamaan (5)

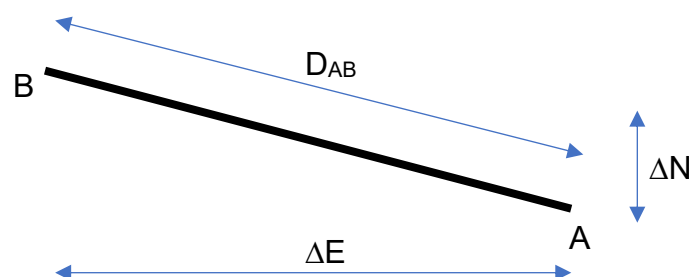
1. Dalam mencari  $D_{AB}$ , gunakan persamaan (3) jika  $|\Delta N_{AB}| > |\Delta E_{AB}|$ . Sebaliknya, gunakan persamaan (2) jika  $|\Delta N_{AB}| < |\Delta E_{AB}|$ .
2. Dalam mencari  $\alpha_{BA}$ , gunakan persamaan (4) jika  $|\Delta N_{AB}| > |\Delta E_{AB}|$ . Sebaliknya, gunakan persamaan (4) jika  $|\Delta N_{AB}| < |\Delta E_{AB}|$ .

### **CONTOH 1**

Diketahui koordinat titik A dalam satuan meter pada posisi  $(x_A; y_A) = (E_A; N_A) = (48964.38; 69866.75)$ . Titik A ini terhubung dengan titik B sehingga terbentuk sudut  $WCB_{AB} = 299^\circ 58' 46''$  dan jarak horizontal kedua titik ini adalah  $D_{AB} = 1325.64 \text{ m}$ . Dengan situasi ini, **tentukan koordinat titik B**.

Jawaban:

Agar lebih mudah dalam pengerjaannya, lebih baik diilustrasikan kondisi ini ke dalam bentuk gambar berikut





Konversikan sudut  $WCB_{AB} = 299^{\circ}58'46''$  dalam bentuk decimal, sehingga

$$WCB_{AB} = 299^{\circ} + 0.9667^{\circ} + 0.01278^{\circ} = 299.98^{\circ}$$

Dengan persamaan

$$\Delta E = D_{AB} \sin \alpha_{AB}$$

Dan

$$\Delta N = D_{AB} \cos \alpha_{AB}$$

Maka kita bisa menghitung  $\Delta E$  dan  $\Delta N$  sebagai berikut

$$\Delta E = 1325.64 \times \sin 299.98 = -1148.27 \text{ m}$$

Dan

$$\Delta N = 1325.64 \times \cos 299.98 = 662.42$$

Dengan demikian maka kita sekarang bisa menentukan koordinat titik B sebagai berikut

$$E_B = E_A + \Delta E$$

$$E_B = 48964.38 + -1148.27$$

$$E_B = 47816.11$$

$$N_B = N_A + \Delta N$$

$$N_B = 69866.75 + 662.42$$

$$N_B = 70529.17$$

**Koordinat titik B adalah B(47816.11; 70529.17)**

## CONTOH 2

Diketahui data koordinat titik A dan B (dalam satuan meter) berikut ini

<u>Titik A</u>	<u>Titik B</u>
$E_A = 48964.38$	$E_B = 48988.66$
$N_A = 69866.75$	$N_B = 62583.18$

**Tentukan jarak horizontal AB dan sudut  $WCB_{AB}$**

CONTOH 2 INI SILAKAN DIKERJAKAN SEBAGAI LATIHAN SOAL MANDIRI (OPSIONAL SAJA, BOLEH DIKERJAKAN, BOLEH TIDAK). JIKA MENGERJAKAN SILAKAN UPLOAD JAWABAN (TULIS TANGAN) KE LINK INI:

<https://s.id/z0WAX>

FORMAT FILE PDF: Nama\_NIM\_Kelas A/B

Bagian ini mempelajari:

- Koordinat rectangular
- Traversing (Poligon Terbuka)

## **UMUM**

*Control surveys* memberikan suatu *framework* atau kerangka kerja dari suatu titik-titik survey yang diukur, yang mana posisi relative, dalam dua maupun tiga dimensi diketahui secara detail. Posisi relative ini memiliki informasi-informasi penting yaitu elevasi, jarak horizontal dan sudut.

*Control surveys* membentuk *framework* untuk beberapa pekerjaan terkait yaitu:

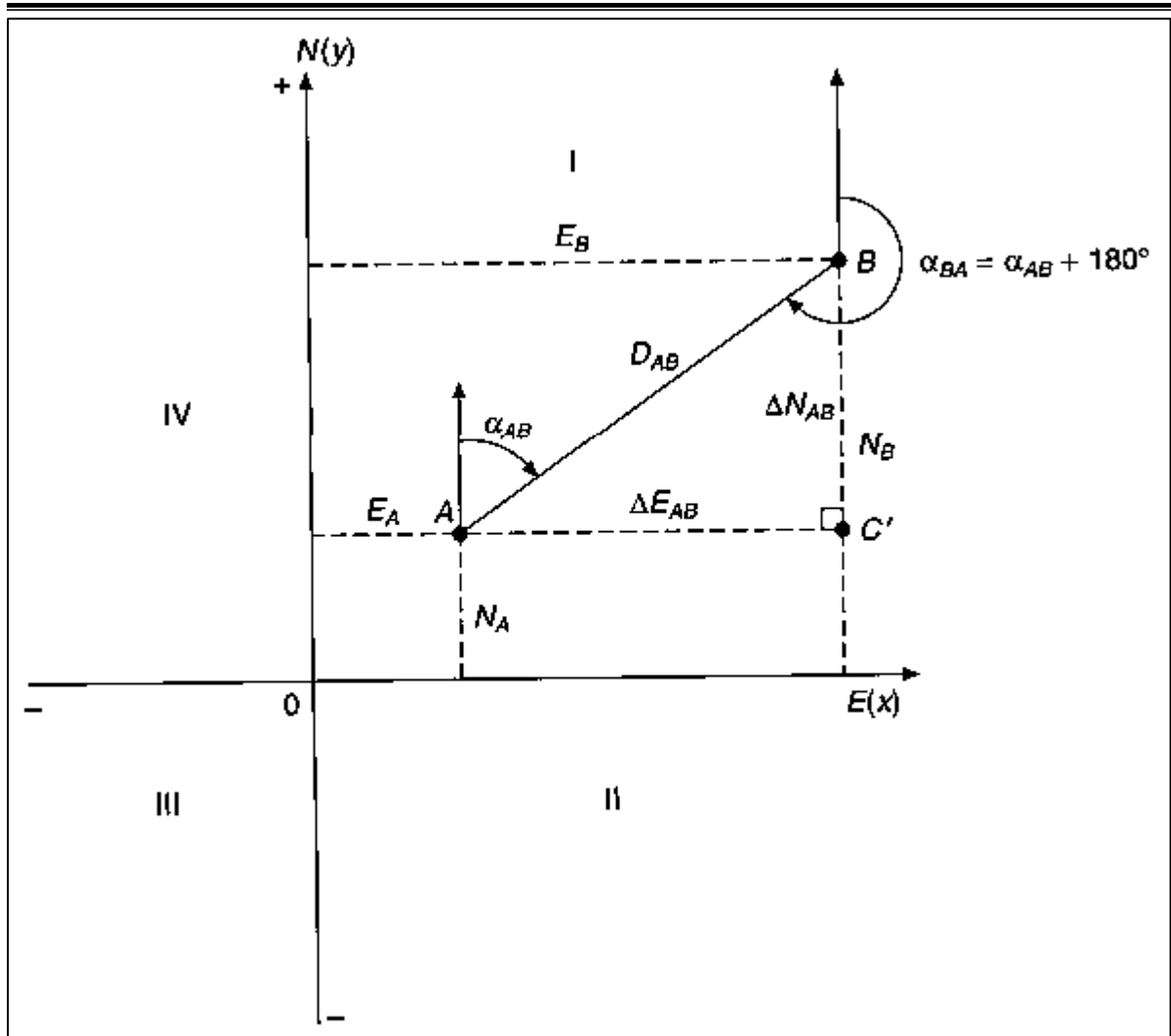
1. Pemetaan topografi
2. Pengontrolan dimensi (panjang, luas, volume) dari pekerjaan konstruksi
3. Survey Deformasi dari suatu struktur lama dan baru
4. DII

Untuk mencapai pekerjaan tersebut, *control surveys* dapat dilakukan dengan beberapa teknik berikut ini:

1. Traversing
2. Triangulation
3. Networks
4. Least-square
5. GPS

## **KOORDINAT RECTANGULAR**

Sistem koordinat *rectangular* dapat dilihat dalam contoh di bawah. Perlu dicatat bahwa koordinat rectangular dalam surveying sedikit berbeda dengan koordinat rectangular pada matematika murni. Pada matematika murni sudut (termasuk penomoran kuadran) diukur secara *anticlockwise*. Sedangkan pada surveying, pengukuran sudut (termasuk penomoran kuadran) bersifat *clockwise*. Selain itu, dalam koordinat surveying **TERKADANG** sumbu-y dinyatakan sebagai ***N/North/Utara*** dan sumbu-x dinyatakan sebagai ***E/East/Timur***. Namun demikian, penamaan sumbu-x dan -y ini sifatnya opsional, selama prinsip konsistensi dari kegiatan survey dipegang teguh.



Gambar 1

Gambar di atas merupakan sistem koordinat rectangular untuk surveying. Sistem ini dikenal sebagai **Whole Circle Bearing System** atau **sistem WCS**. Adapaun penjelasan gambar di atas dapat dirangkum sebagai berikut

$$E_A = x_A \text{ dan } N_A = y_A$$

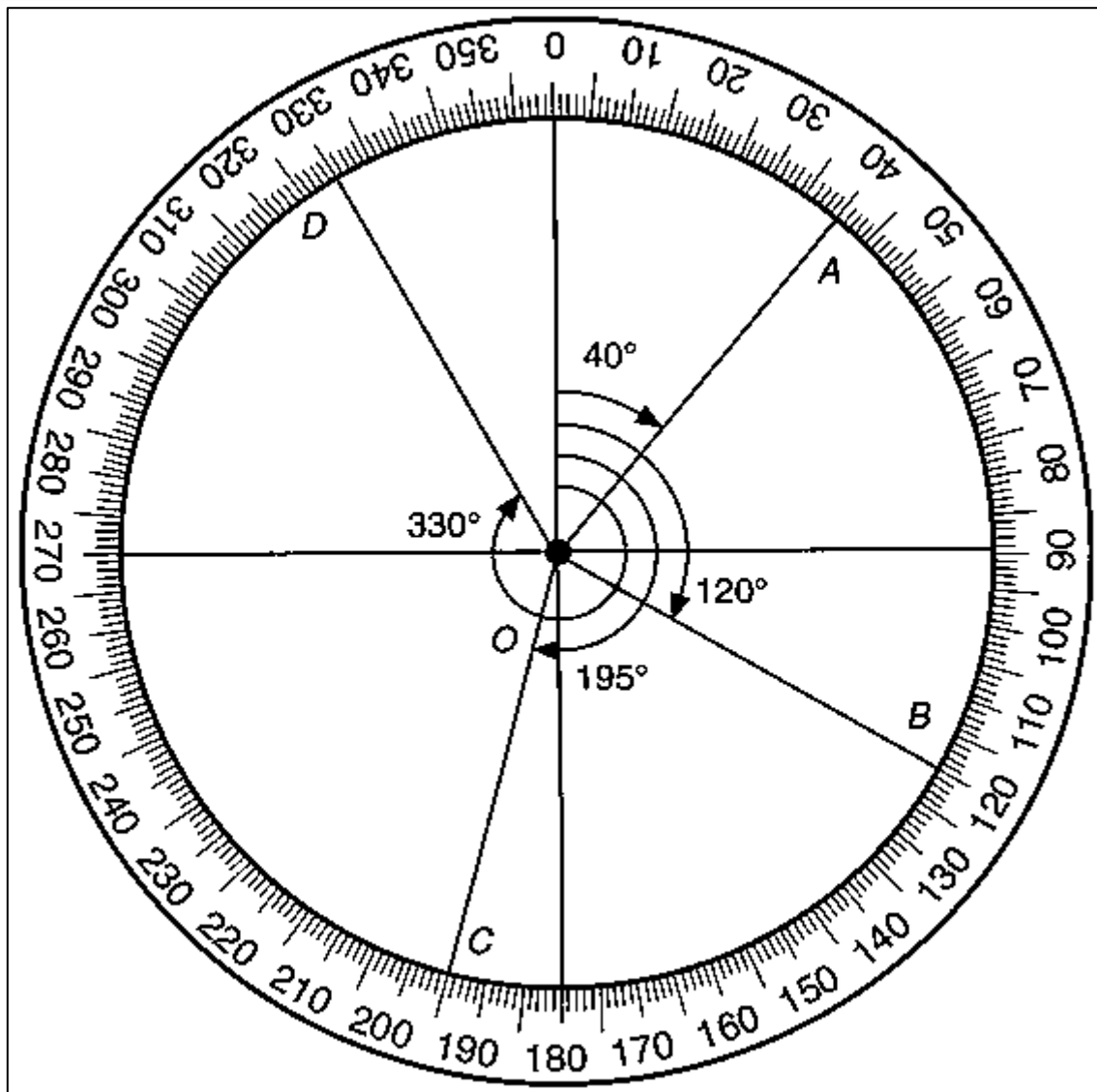
$$E_B = x_B \text{ dan } N_B = y_B$$

Kemudian

$$E_B = E_A + \Delta E_{AB}$$

$$N_B = N_A + \Delta N_{AB}$$

Sistem WCS merupakan sistem yang mengukur sudut secara 1 lingkaran penuh dari  $0^\circ$  hingga  $360^\circ$ . Dengan demikian, **nilai sudut hendaknya selalu positif dan tidak lebih dari  $360^\circ$** . Ilustrasi sistem WCB dapat dilihat pada gambar di bawah ini



Gambar 2

Pusat sudut berada pada titik O. Sedangkan titik A, B, C dan D adalah titik yang ingin ditentukan sudutnya. Maka, menurut gambar di atas sebagai contohnya, dalam sistem WCB dinyatakan sebagai berikut

$$WCB\ OA = 40^{\circ}$$

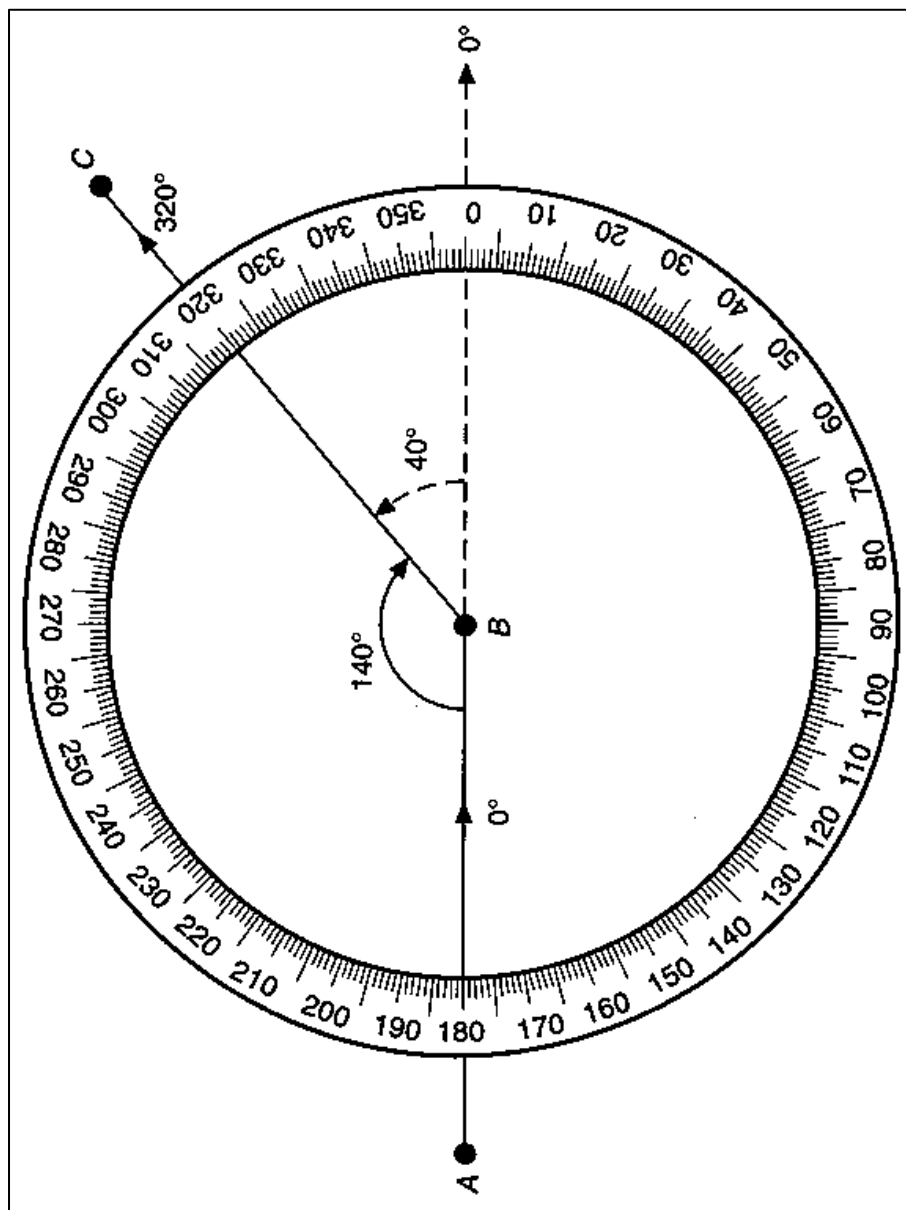
$$WCB\ OB = 120^{\circ}$$

$$WCB\ OC = 195^{\circ}$$

$$WCB\ OD = 330^{\circ}$$

Pada surveying, titik O pada gambar di atas bisa merupakan titik lokasi alat ukur sudut. Namun demikian jika akan dibentuk *control survey* misalnya poligon, maka titik O tersebut belum tentu alat ukur sudut, melainkan titik bagian dari poligon itu sendiri.

Dengan demikian, kita harus mengeluarkan alat dari sistem poligon untuk mendapatkan sudut pada titik awal poligon. Untuk dapat melakukan hal tersebut, maka diperlukan **reverse WBC atau back bearing**. Konsep back bearing ini sendiri tergambar pada gambar di bawah ini



Gambar 3

Pada gambar di atas, misalnya garis poligon awal adalah garis BC, sehingga titik B merupakan titik awal poligon. Untuk menentukan sudut di titik B tersebut, alat ditempatkan di titik A tersebut, maka sudut *back bearing* atau yang pada gambar tersebut adalah WCB AB, dinyatakan dalam bentuk

$$WCB BC = 140^{\circ} + 180^{\circ} = 320^{\circ}$$

Kemudian dengan definisi yang sama, maka kita bisa menentukan sudut *back bearing* pada **gambar 2**, yaitu sebagai berikut

$$WCB AO = 40^\circ + 180^\circ = 220^\circ$$

$$WCB BO = 120^\circ + 180^\circ = 320^\circ$$

$$WCB CO = 195^\circ - 180^\circ = 15^\circ$$

$$WCB DO = 330^\circ - 180^\circ = 150^\circ$$

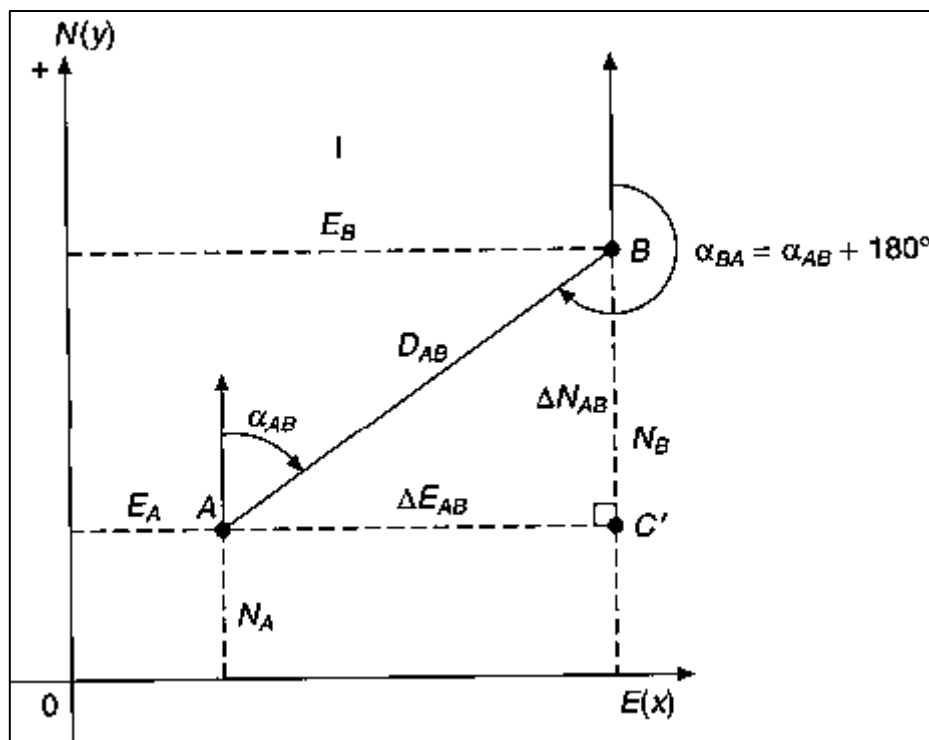
Dari pengertian dan definisi di atas, maka (dengan mengacu pada **Gambar 3**) kita bisa menuliskan rumus umum untuk sudut WCB sebagai persamaan berikut

$$WCB CB = WCB AB + \angle ABC \pm 180^\circ \quad (1)$$

Dengan ketentuan

1. Gunakan  $+180^\circ$  jika  $\angle ABC < 180^\circ$ , dan
2. Gunakan  $-180^\circ$  jika  $\angle ABC > 180^\circ$

Definisi berikutnya adalah terkait penggunaan sudut WCB untuk mendapatkan jarak dan/atau koordinat. Untuk itu mari kita panggil kembali contoh **Gambar 1** berikut ini.



Secara konsep trigonometri, kita gunakan hubungan bahwa

$$\Delta E_{AB} = D_{AB} \sin \alpha_{BA} \quad (2)$$

$$D_{AB} = \frac{\Delta E_{AB}}{\sin \alpha_{BA}}$$

$$\Delta N_{AB} = D_{AB} \cos \alpha_{BA} \quad (3)$$

$$D_{AB} = \frac{\Delta N_{AB}}{\cos \alpha_{BA}}$$

Simbolisasi  $\alpha_{BA}$  di sini adalah  $WCB BA$ . Dengan demikian maka menggunakan persamaan (1) kita mendapatkan sudut

$$\alpha_{BA} = WCB BA = WCB OA + \alpha_{AB} + 180^\circ$$

Kemudian, kita juga bisa menentukan sudut BA atau  $\alpha_{BA}$  melalui terminologi

$$\alpha_{BA} = \tan^{-1} \frac{\Delta E_{AB}}{\Delta N_{AB}} \quad (4)$$

Atau

$$\alpha_{BA} = \cot^{-1} \frac{\Delta N_{AB}}{\Delta E_{AB}} \quad (5)$$

Berikut ini adalah aturan pemakaian persamaan (2) hingga persamaan (5)

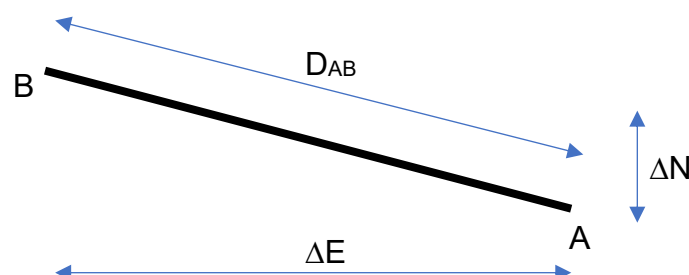
1. Dalam mencari  $D_{AB}$ , gunakan persamaan (3) jika  $|\Delta N_{AB}| > |\Delta E_{AB}|$ . Sebaliknya, gunakan persamaan (2) jika  $|\Delta N_{AB}| < |\Delta E_{AB}|$ .
2. Dalam mencari  $\alpha_{BA}$ , gunakan persamaan (4) jika  $|\Delta N_{AB}| > |\Delta E_{AB}|$ . Sebaliknya, gunakan persamaan (5) jika  $|\Delta N_{AB}| < |\Delta E_{AB}|$ .

### **CONTOH 1**

Diketahui koordinat titik A dalam satuan meter pada posisi  $(x_A; y_A) = (E_A; N_A) = (48964.38; 69866.75)$ . Titik A ini terhubung dengan titik B sehingga terbentuk sudut  $WCB_{AB} = 299^\circ 58' 46''$  dan jarak horizontal kedua titik ini adalah  $D_{AB} = 1325.64 \text{ m}$ . Dengan situasi ini, **tentukan koordinat titik B**.

Jawaban:

Agar lebih mudah dalam pengerjaannya, lebih baik diilustrasikan kondisi ini ke dalam bentuk gambar berikut



Konversikan sudut  $WCB_{AB} = 299^{\circ}58'46''$  dalam bentuk decimal, sehingga

$$WCB_{AB} = 299^{\circ} + 0.9667^{\circ} + 0.01278^{\circ} = 299.98^{\circ}$$

Dengan persamaan

$$\Delta E = D_{AB} \sin \alpha_{AB}$$

Dan

$$\Delta N = D_{AB} \cos \alpha_{AB}$$

Maka kita bisa menghitung  $\Delta E$  dan  $\Delta N$  sebagai berikut

$$\Delta E = 1325.64 \times \sin 299.98 = -1148.27 \text{ m}$$

Dan

$$\Delta N = 1325.64 \times \cos 299.98 = 662.42$$

Dengan demikian maka kita sekarang bisa menentukan koordinat titik B sebagai berikut

$$E_B = E_A + \Delta E$$

$$E_B = 48964.38 + -1148.27$$

$$E_B = 47816.11$$

$$N_B = N_A + \Delta N$$

$$N_B = 69866.75 + 662.42$$

$$N_B = 70529.17$$

**Koordinat titik B adalah B(47816.11; 70529.17)**

## **CONTOH 2**

Diketahui data koordinat titik A dan B (dalam satuan meter) berikut ini

<b>Titik A</b>	<b>Titik B</b>
$E_A = 48964.38$	$E_B = 48988.66$
$N_A = 69866.75$	$N_B = 62583.18$

**Tentukan jarak horizontal AB dan sudut  $WCB_{AB}$**

Jawaban:

Sebelum kita membuat ilustrasi kondisi dalam soal, kita bisa menghitung terlebih dahulu terminologi  $\Delta E$  dan  $\Delta N$  sebagai berikut



$$E_B = E_A + \Delta E$$

$$\Delta E = E_B - E_A$$

$$\Delta E = 48988.66 - 48964.38$$

$$\Delta E = 24.28$$

Dan

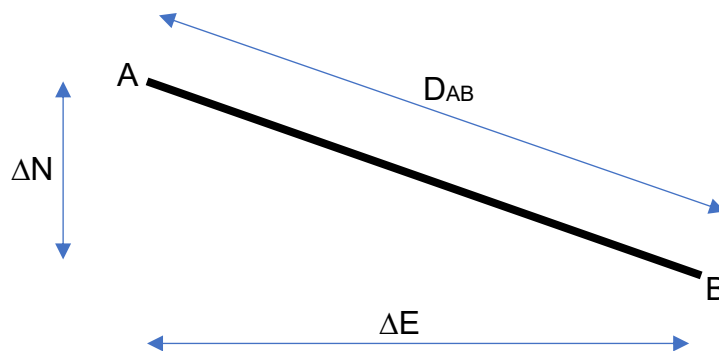
$$N_B = N_A + \Delta N$$

$$\Delta N = N_B - N_A$$

$$\Delta N = 62583.18 - 69866.75$$

$$\Delta N = -7283.57$$

Kemudian, situasi koordinat dalam soal kita ilustrasikan sebagai berikut



$$\frac{\Delta E}{\Delta N} = \tan \alpha_{AB}$$

$$\alpha_{AB} = \tan^{-1} \frac{\Delta E}{\Delta N}$$

$$\alpha_{AB} = \tan^{-1} \frac{24.28}{-7283.57}$$

$$\alpha_{AB} = -0.191^\circ$$

Dengan demikian maka

$$WCB_{BA} = \alpha_{AB} + 180^\circ$$

$$WCB_{BA} = -0.191 + 180^\circ$$

$$WCB_{BA} = 179.809^\circ = 179^\circ 48' 32.4''$$

Kemudian untuk menghitung jarak horizontal  $D_{AB}$  kita bisa hitung melalui hubungan

$$D_{AB} = \sqrt{\Delta N^2 + \Delta E^2}$$

$$D_{AB} = \sqrt{-7283.57^2 + 24.28^2}$$

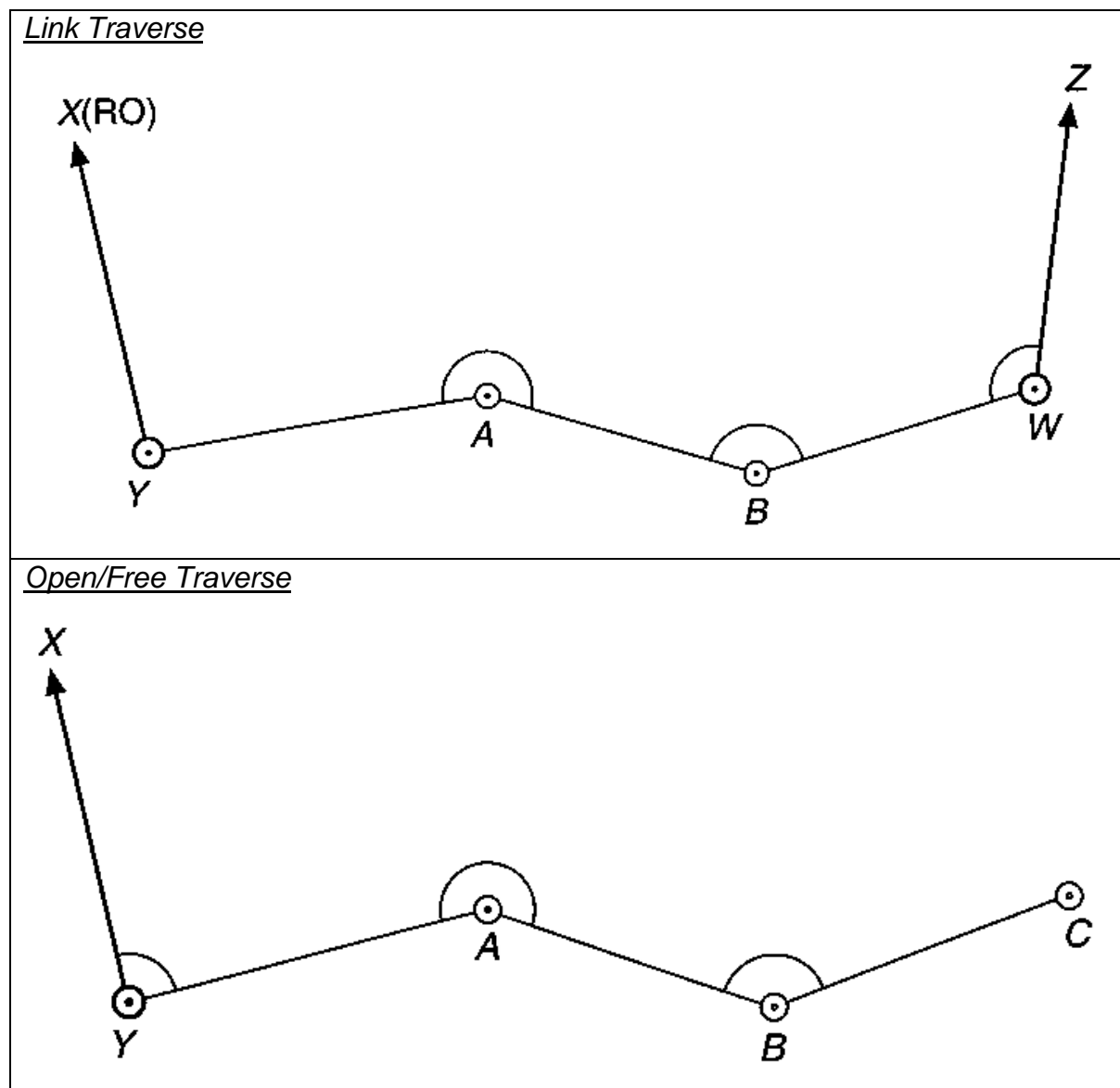
$$D_{AB} = 7283.61 \text{ m}$$

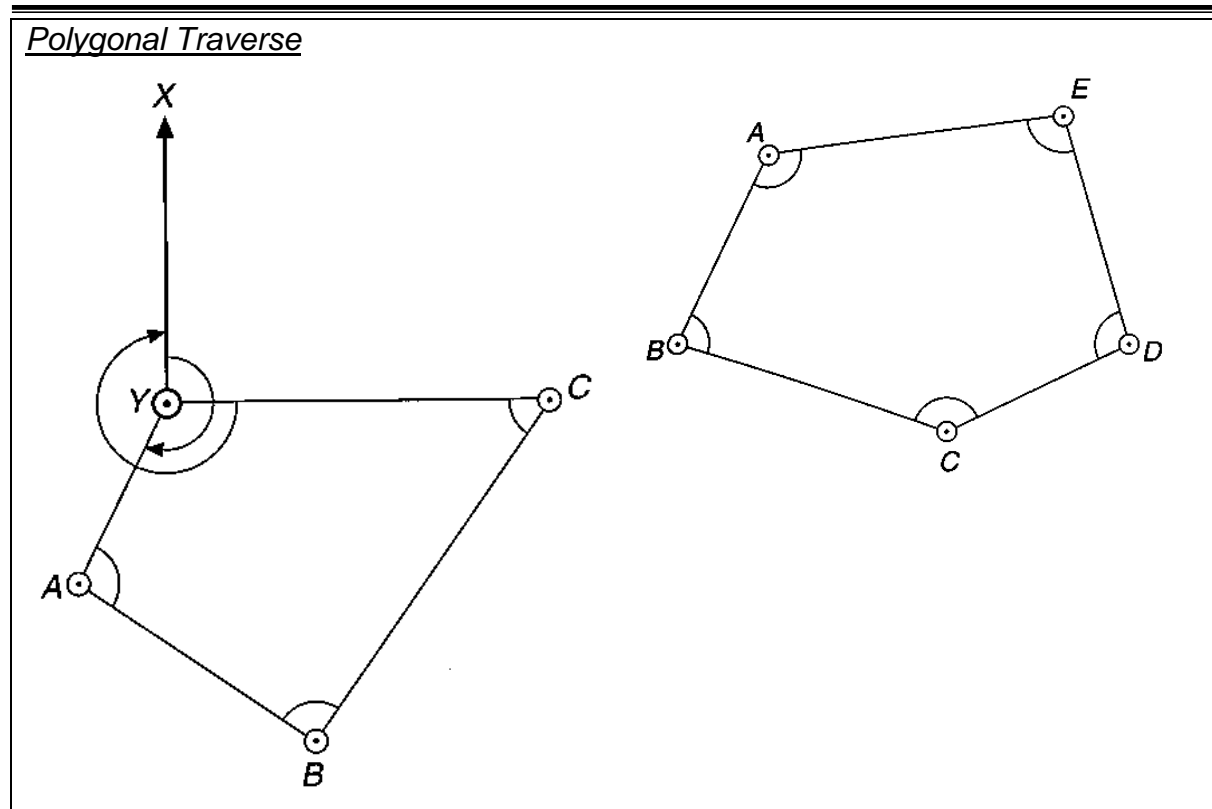
**TRAVERSING (POLIGON TERTUTUP)**

*Traversing* adalah salah satu metode paling sederhana dalam *control networks* pada kegiatan survey. Beberapa keunggulan metode *traversing* antara lain:

1. Sedikit investigasi/observasi yang diperlukan untuk menentukan apakah pengukuran sudah benar.
2. Observasi yang dilakukan hanya melibatkan 3 station pada satu waktu, sehingga perencanaan dapat dibuat sederhana.
3. Teknik *traversing* sangat cocok digunakan pada rute jalan raya, jalur pipa, tunnel, dll dengan jumlah station yang minimum.

Beberapa jenis *traversing* dan ilustrasinya dapat dilihat pada gambar-gambar di bawah ini.





Sumber-sumber kesalahan.

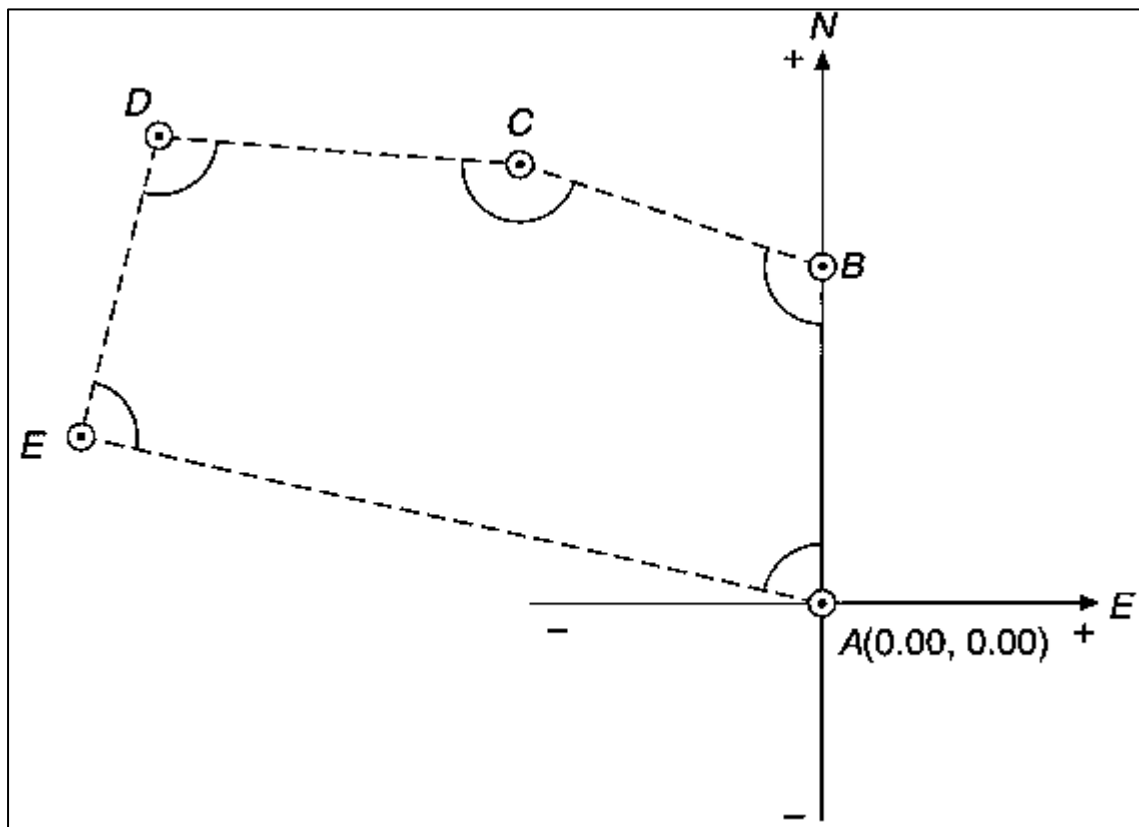
Perlu dipahami bahwa secara awam, *control networks* merupakan satu kesatuan sistem pengukuran. Sebelumnya telah dijelaskan masing-masing sistem pengukuran yaitu pengukuran vertikal, jarak horizontal dan sudut. Dalam hal teknik *traversing* berikut ini adalah beberapa sumber-sumber kesalahan yang dapat terjadi:

1. *Error* dalam mengukur sudut vertikal maupun horizontal (*observed angles*).
2. *Error* dalam pengukuran jarak horizontal.
3. *Error* dalam “pembidikan” atau *centering of target*.

Komputasi traversing.

Komputasi dalam *traversing* dilakukan dengan berbagai langkah. Agar lebih mudah memahami langkah-langkah dalam komputasi *traversing*, kita ambil **contoh hasil traversing** berupa poligon pada gambar berikut ini. Pada gambar tersebut misalnya titik A sebagai benchmark/BM dan pada BM tersebut tertulis koordinat tersebut adalah  $A(E; N) = A(1000; 2000)$ . Dalam hitungan titik BM ini untuk **sementara** saja bisa kita buat sebagai titik pusat koordinat atau  $A(E; N) = A(0; 0)$ . Kemudian data lainnya berupa sudut horizontal dan jarak horizontal antar titik disajikan pada tabel di bawah.

**CONTOH 1**



Data sudut dan jarak horizontal

Sudut	Sudut Horizontal (Observed Angles)	Garis	Jarak Horizontal (m)
ABC	120°25''50''	AB	155
BCD	149°33''50''	BC	200
CDE	95°41''50''	CD	249
DEA	93°05''50''	DE	190
EAB	81°11''50''	EA	445

Dengan data berupa poligon traversing dan hasil pengukuran sudut dan jarak horizontal yang telah dilakukan, maka analisis dan komputasi traversing dapat dilakukan. Komputasi dilakukan dengan langkah-langkah berikut ini

1. Menentukan besarnya kesalahan sudut  $W$  dengan membandingkan jumlah keseluruhan sudut terukur/*observed angles* terhadap jumlah sudut secara teori. Secara teori, jumlah sudut pada poligon dengan hubungan

$$\sum_{i=1}^n \alpha_{ti} = (2n \pm 4)90^\circ \quad (6)$$

Dengan tanda “+” untuk sudut dalam dan tanda “-“ untuk sudut luar. Kemudian Besarnya nilai  $W$  dihitung dengan persamaan

$$W = \sum_{i=1}^n \alpha_i - \sum_{i=1}^n \alpha_{ti} \quad (7)$$

atau

$$W = \sum_{i=1}^n \alpha_i - [(2n \pm 4)90^\circ] \quad (8)$$

2. Memeriksa *acceptability* dari kesalahan sudut  $W$ . Tujuan dari analisis ini adalah untuk menentukan apakah kesalahan sudut yang terjadi perlu dikoreksi atau perlu dilakukan pengukuran ulang. Pengujian hal ini dilakukan dengan analisis varian kesalahan berikut ini

$$\sigma_w^2 = \sigma_{a1}^2 + \sigma_{a2}^2 + \dots + \sigma_{an}^2 \quad (9)$$

Dimana  $\sigma_w^2$  adalah varian total sudut pada traversing dan  $\sigma_{an}^2$  adalah varian sudut yang diobservasi/diukur. Diasumsikan bahwa setiap sudut memiliki kepresisian yang sama, sehingga varian-nya seharusnya juga sama, sehingga

$$\sigma_{a1}^2 = \sigma_{a2}^2 = \dots = \sigma_{an}^2 = \sigma_A^2 \quad (10)$$

Dengan demikian maka persamaan (9) dimodifikasi menjadi

$$\sigma_w^2 = n\sigma_A^2 \quad (11)$$

Dan

$$\sigma_w = n^{\frac{1}{2}}\sigma_A \quad (12)$$

Ingat kembali materi tentang analisis error dan ketidakpastian. Pada materi tersebut dijelaskan bahwa misalnya untuk error 5% atau keyakinan 95%, hasil error seharusnya berada pada rentang  $\pm 1.9599\sigma$ . Jika konsep ini kembali kita gunakan, maka nilai  $W$  akan kita terima jika berada pada

$$-1.9599\sigma_w \leq W \leq 1.9599\sigma_w \quad (13)$$

Jika berada di luar *range* tersebut, maka perlu dilakukan sudut pengukuran ulang.

Selain cara di atas, untuk menentukan apakah error  $W$  bisa diterima atau tidak, dengan menghitung error ijin  $E''$  dengan persamaan

$$E'' = \pm KSn^{\frac{1}{2}} \quad (14.a)$$

Dengan  $K$  adalah faktor pengali sesuai kondisi cuaca, nilainya 1 s.d 3.  $S$  adalah pembacaan terkecil pada theodolite dan  $n$  adalah jumlah sudut yang diukur. Jika nilai  $W$  masih berada pada range persamaan 13.a di atas, maka nilai  $W$  dapat diterima.

3. Jika  $W$  diterima, maka nilai  $W$  didistribusikan ke semua sudut dengan nilai yang sama, sehingga setiap sudut telah terkoreksi, sehingga secara matematika dinyatakan sebagai

$$\text{koreksi tiap sudut} = -\frac{W}{n} \quad (15)$$

Dengan  $W$  sesuai persamaan (8) dan  $n$  jumlah sudut yang akan dikoreksi.

4. Dari sudut yang sudah dikoreksi, maka hitung sudut WCB relative terhadap AB. Untuk analisis ini, bisa menggunakan konsep dan persamaan (1). Sebagai contoh untuk gambar contoh di atas, kita menentukan  $WCB CB$  dengan persamaan

$$WCB CB = WCB AB + \angle ABC \pm 180^\circ$$

5. Analisis  $\Delta E$  dan  $\Delta N$  tiap garis traversing. Konsep pada persamaan (2) dan persamaan (3) bisa digunakan.
6. Periksa error hitungan  $\Delta E$  dan  $\Delta N$  atau  $\Delta'E$  dan  $\Delta'N$ . Pada traversing poligon yang tertutup, nilai ini didapat dengan menjumlahkan seluruh  $\Delta E$  dan  $\Delta N$  dan keduanya harus bernilai nol. Dengan kata lain

$$\Delta'E = \sum \Delta E \quad (16)$$

$$\Delta'N = \sum \Delta N \quad (17)$$

7. Koreksi koordinat traversing setelah  $\Delta E$  dan  $\Delta N$  dikoreksi. Jika terjadi error koordinat (yang ditandai dengan  $\sum \Delta E \neq \sum \Delta N \neq 0$ ), maka perlu ada sedikit *adjustment* dari koordinat-koordinat yang sudah diukur. Hal ini dilakukan karena  $\Delta'E$  dan  $\Delta'N$  yang didapat pada step 7 di atas masih bersifat global. Untuk koreksi masing-masing koordinat, kita bisa mengikuti prinsip *Bowditch rule*. Konsep *Bowditch rule* menyatakan

$$\delta E_i = -\frac{\Delta'E}{\sum_{i=1}^n L_i} \times L_i \quad (18)$$

$$\delta N_i = -\frac{\Delta'N}{\sum_{i=1}^n L_i} \times L_i \quad (19)$$

Dengan  $\delta E_i$  dan  $\delta N_i$  merupakan koreksi masing-masing koordinat dan  $L_i$  adalah panjang/jarak horizontal pada garis traversing ke- $i$ . Pastikan bahwa kondisi  $\sum_{i=1}^n \delta E_i = \Delta'E$  dan  $\sum_{i=1}^n \delta N_i = \Delta'N$  terpenuhi.

8. Hitung koordinat akhir ( $E; N$ ) pada tiap titik relative terhadap BM.

Langkah-langkah nomor 1 s.d 8 di atas kita buat tabulasi tabel hitungan beserta keterangannya di bawah ini.

**Tabel Komputasi Traversing Poligon Contoh 1.**

Kode Sudut	Sudut Horizontal	Angka Koreksi	Sudut Horizontal Terkoreksi	Kode Garis Traversing	WCB	Jarak Horizontal (m)	Titik	Delta koordinat		$\delta E$	$\delta N$	Delta Koordinat Terkoreksi		Koordinat Akhir		Kode Titik Koordinat
								$\Delta E$	$\Delta N$			$\Delta E$	$\Delta N$	E	N	
1	2	3	4 = 2 + 3	5	6	7	8	9	10	11	12	13 = 9 + 11	14 = 10 + 12	15	16	17
							A	0.00	0.00					1000	2000	A
ABC	120°25'50"	+10"	120°26'00"	BA	00°00'00"	155	B	0.00	155	0.069	0.104	0.069	155.104	1000.069	2155.104	B
BCD	149°33'50"	+10"	149°34'00"	CB	300°26'00"	200	C	-172.444	101.307	0.089	0.134	-172.355	101.441	827.714	2256.545	C
CDE	95°41'50"	+10"	95°42'00"	DC	270°00'00"	249	D	-249.0	0.00	0.110	0.167	-248.890	0.167	578.824	2256.712	D
DEA	93°05'50"	+10"	93°06'00"	ED	185°42'00"	190	E	-18.871	-189.061	0.084	0.128	-18.787	-188.933	560.037	2067.779	E
EAB	81°11'50"	+10"	81°12'00"	AE	98°48'00"	445	A	439.762	-68.079	0.197	0.300	439.959	-67.779	999.996	2000	A
				BA	00°00'00"			CEK		CEK		CEK		Koordinat A pada baris ini harus sama hasilnya dengan koordinat A di baris atas		
					$\Sigma L =$	1239		-0.549	-0.833	0.549	0.833	-0.004	0.00			

Keterangan:

**Kolom 3**

Angka koreksi didapat dengan menentukan nilai *W*

$120^{\circ}25'50'' = 120.431^{\circ}$

$149^{\circ}33'50'' = 149.564^{\circ}$

$95^{\circ}41'50'' = 95.697^{\circ}$

$93^{\circ}05'50'' = 93.097^{\circ}$

$81^{\circ}11'50'' = 81.197^{\circ}$



Dengan **persamaan (8)**

$$W = \sum_{i=1}^n \alpha_i - [(2n - 4)90^\circ]$$

$$W = (120.431^\circ + 149.564^\circ + 95.697^\circ + 93.097^\circ + 81.197^\circ) - [(2 \times 5 - 4)90^\circ]$$

$$W = 539.986^\circ - 540^\circ = -0.014^\circ = -50.4''$$

Nilai ini bisa kita bulatkan menjadi  $-50''$  mengingat  $0.4''$  tidak terlalu memberi pengaruh signifikan jika diubah ke bentuk decimal.

Atau jika ingin  $W$  lebih eksak lagi, maka **tidak perlu** diubah ke bentuk decimal, sehingga

$$W = (120^\circ 25' 50'' + 149^\circ 33' 50'' + 95^\circ 41' 50'' + 93^\circ 05' 50'' + 81^\circ 11' 50'') - [(2 \times 5 - 4)90^\circ 00' 00'']$$

$$W = 539^\circ 59' 10'' - 540^\circ 00' 00'' = -50''$$

Nilai  $W$  kemudian didistribusikan ke semua sudut sehingga dengan **persamaan (14)** didapat

$$\text{koreksi tiap sudut} = -\frac{W}{n}$$

$$\text{koreksi tiap sudut} = -\frac{-50''}{5} = 10''$$

#### Kolom 4

Kolom 4 cukup jelas, kita tinggal menjumlahkan saja kolom 2 dengan kolom 3. Pada kolom 4 ini kita perlu cek, apakah jumlah sudut sudah sesuai dengan  $[(2n + 4)90^\circ] = 540^\circ 00' 00''$ .

$$\sum_{i=1}^n \alpha_i = 120^\circ 26'' 00'' + 149^\circ 34'' 00'' + 95^\circ 42'' 00'' + 93^\circ 06'' 00'' + 81^\circ 12'' 00'' = \mathbf{540^\circ 00'' 00''} \dots \text{(OK)}$$

Sudut sudah terkoreksi.

**Kolom 6**

Kolom 6 menguantifikasi WCB, dengan mengikuti **persamaan (1)** maka kita bisa menghitung WCB dari masing-masing garis traversing sebagai berikut

$$WCB\ CB = WCB\ BA + \angle ABC \pm 180^{\circ}00'00''$$

$$WCB\ CB = 00^{\circ}00'00'' + 120^{\circ}26'00'' + 180^{\circ}00'00''$$

$$WCB\ CB = 300^{\circ}26'00''$$

$$WCB\ DC = WCB\ CB + \angle BCD \pm 180^{\circ}00'00''$$

$$WCB\ DC = 300^{\circ}26'00'' + 149^{\circ}34'00'' - 180^{\circ}00'00''$$

$$WCB\ DC = 270^{\circ}00'00''$$

$$WCB\ ED = WCB\ DC + \angle CDE \pm 180^{\circ}00'00''$$

$$WCB\ ED = 270^{\circ}00'00'' + 95^{\circ}42'00'' - 180^{\circ}00'00''$$

$$WCB\ ED = 185^{\circ}42'00''$$

$$WCB\ AE = WCB\ ED + \angle DEA \pm 180^{\circ}00'00''$$

$$WCB\ AE = 185^{\circ}42'00'' + 93^{\circ}06'00'' - 180^{\circ}00'00''$$

$$WCB\ AE = 98^{\circ}48'00''$$

$$WCB\ BA = WCB\ AE + \angle EAB \pm 180^{\circ}00'00''$$

$$WCB\ BA = 98^{\circ}48'00'' + 81^{\circ}12'00'' - 180^{\circ}00'00''$$

$$WCB\ BA = 00^{\circ}00'00''$$

Perlu dicatat bahwa,  $WCB\ BA$  di awal dan di akhir komputasi **nilainya harus sama** dan hal ini sudah dicapai dalam komputasi di atas.

### Kolom 9 dan 10

$\Delta E$  dan  $\Delta N$  dihitung sebagai berikut

#### **Garis Traversing CB**

$$\Delta E_{BC} = D_{BC} \times \sin \alpha_{CB}$$

$$\Delta E_{BC} = 200 \times \sin 300^{\circ}26'00''$$

$$\Delta E_{BC} = -172.444$$

$$\Delta N_{BC} = D_{BC} \times \cos \alpha_{CB}$$

$$\Delta N_{BC} = 200 \times \cos 300^{\circ}26'00''$$

$$\Delta N_{BC} = 101.307$$

#### **Garis Traversing DC**

$$\Delta E_{CD} = D_{CD} \times \sin \alpha_{DC}$$

$$\Delta E_{CD} = 249 \times \sin 270^{\circ}00'00''$$

$$\Delta E_{CD} = -249$$

$$\Delta N_{CD} = D_{CD} \times \cos \alpha_{DC}$$

$$\Delta N_{CD} = 249 \times \cos 270^{\circ}00'00''$$

$$\Delta N_{CD} = 0$$

**Garis Traversing ED**

$$\Delta E_{DE} = D_{DE} \times \sin \alpha_{ED}$$

$$\Delta E_{DE} = 190 \times \sin 185^{\circ}42'00''$$

$$\Delta E_{DE} = -18.871$$

$$\Delta N_{DE} = D_{DE} \times \cos \alpha_{ED}$$

$$\Delta N_{DE} = 190 \times \cos 185^{\circ}42'00''$$

$$\Delta N_{DE} = -189.061$$

**Garis Traversing AE**

$$\Delta E_{EA} = D_{EA} \times \sin \alpha_{AE}$$

$$\Delta E_{EA} = 445 \times \sin 98^{\circ}48'00''$$

$$\Delta E_{EA} = 439.762$$

$$\Delta N_{EA} = D_{EA} \times \cos \alpha_{AE}$$

$$\Delta N_{EA} = 445 \times \cos 98^{\circ}48'00''$$

$$\Delta N_{EA} = -68.079$$

Seluruh  $\Delta E$  dan  $\Delta N$  kemudian masing-masing dijumlahkan untuk cek apakah hasilnya adalah nol. Jika tidak, maka nilai tersebut akan menjadi *error*  $\Delta E$  dan  $\Delta N$  atau  $\Delta'E$  dan  $\Delta'N$  sesuai dengan terminologi pada persamaan (15) dan (16).

**Kolom 11 dan 12**

$\Delta'E$  dan  $\Delta'N$  yang didapat pada kolom 9 dan 10 nilainya masih secara global, sehingga untuk mengoreksi setiap garis traversing, harus dilakukan koreksi masing-masing garis  $\delta E_i$  dan  $\delta N_i$  dengan menggunakan *Bowditch rule* (persamaan 17 dan 18). Perhitungannya adalah sebagai berikut

**Garis Traversing BA**

$$\delta E_i = -\frac{\Delta'E}{\sum_{i=1}^n L_i} \times L_i$$

$$\delta E_{BA} = -\frac{-0.549}{1239} \times 155$$

$$\delta E_{BA} = 0.069$$

$$\delta N_i = -\frac{\Delta'N}{\sum_{i=1}^n L_i} \times L_i$$

$$\delta N_{BA} = -\frac{-0.833}{1239} \times 155$$

$$\delta N_{BA} = 0.104$$

**Garis Traversing CB**

$$\delta E_i = -\frac{\Delta'E}{\sum_{i=1}^n L_i} \times L_i$$

$$\delta E_{CB} = -\frac{-0.549}{1239} \times 200$$

$$\delta E_{CB} = 0.089$$

$$\delta N_i = -\frac{\Delta' N}{\sum_{i=1}^n L_i} \times L_i$$

$$\delta N_{CB} = -\frac{-0.833}{1239} \times 200$$

$$\delta N_{CB} = 0.134$$

**Garis Traversing DC**

$$\delta E_i = -\frac{\Delta' E}{\sum_{i=1}^n L_i} \times L_i$$

$$\delta E_{DC} = -\frac{-0.549}{1239} \times 249$$

$$\delta E_{DC} = 0.110$$

$$\delta N_i = -\frac{\Delta' N}{\sum_{i=1}^n L_i} \times L_i$$

$$\delta N_{DC} = -\frac{-0.833}{1239} \times 249$$

$$\delta N_{DC} = 0.167$$

**Garis Traversing ED**

$$\delta E_i = -\frac{\Delta' E}{\sum_{i=1}^n L_i} \times L_i$$

$$\delta E_{ED} = -\frac{-0.549}{1239} \times 190$$

$$\delta E_{ED} = 0.084$$

$$\delta N_i = -\frac{\Delta' N}{\sum_{i=1}^n L_i} \times L_i$$

$$\delta N_{ED} = -\frac{-0.833}{1239} \times 190$$

$$\delta N_{ED} = 0.128$$

**Garis Traversing AE**

$$\delta E_i = -\frac{\Delta' E}{\sum_{i=1}^n L_i} \times L_i$$

$$\delta E_{AE} = -\frac{-0.549}{1239} \times 445$$

$$\delta E_{AE} = 0.197$$

$$\delta N_i = -\frac{\Delta' N}{\sum_{i=1}^n L_i} \times L_i$$

$$\delta N_{AE} = -\frac{-0.833}{1239} \times 445$$

$$\delta N_{AE} = 0.300$$

**Kolom 13 dan 14**

Untuk kolom 13 dan 14 berisi nilai  $\Delta E$  dan  $\Delta N$  yang telah dikoreksi. Perhitungannya mengikuti persamaan

$$\Delta E(\text{koreksi}) = \Delta E + \delta E_i$$

$$\Delta N(\text{koreksi}) = \Delta N + \delta N_i$$

**Kolom 15 dan 16**

Koordinat akhir  $E; N$  didapat dengan konsep pada persamaan berikut

$$E_B = E_A + \Delta E_{AB}$$

$$N_B = N_A + \Delta N_{AB}$$

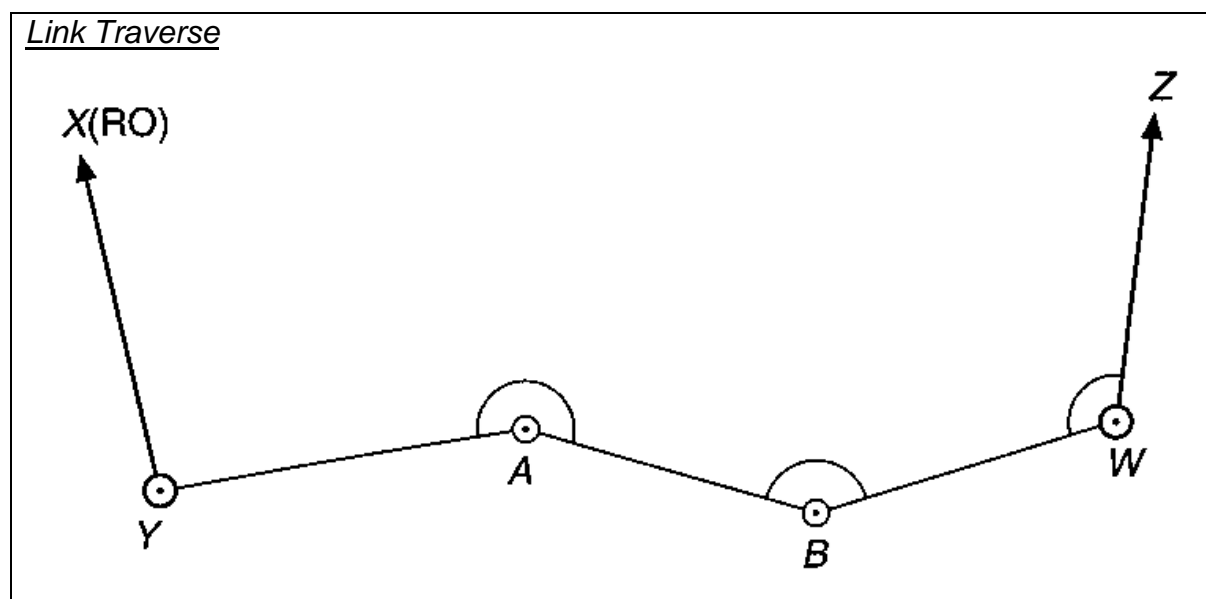


Bagian ini mempelajari:

- Traversing (Poligon Terikat)
- Traversing (Poligon Terbuka)

### **TRAVERSING (POLIGON TERIKAT)**

Poligon terikat atau kadang sering disebut poligon terbuka yang diikat merupakan salah satu teknik *traversing* dimana, *traversing* dibatasi oleh 2 titik yang diketahui koordinat dan sudut WCB nya. Di bawah ini merupakan contoh ilustrasi poligon terikat.



**Gambar 1**

Dalam gambar tersebut, titik Y dan titik W diketahui koordinatnya, kemudian sudut WCB YX dan WCB WZ juga diketahui. Dengan demikian wajib hukumnya kita menemukan koordinat titik A dan titik B pada poligon ini.

Sama seperti poligon tertutup, komputasi untuk menentukan koordinat dalam poligon terikat juga dilakukan dengan 2 penyesuaian, yaitu:

1. Angular adjustment
2. Coordinate adjustment

namun prosedur yang dilakukan sedikit berbeda. Di bawah ini adalah masing-masing pembahasan dari adjustment tersebut.

### **Angular Adjustment**

*Angular adjustment* atau penyesuaian sudut untuk poligon terikat dilakukan dengan langkah berikut ini

1. Menghitung WCB pada garis titik akhir dengan cara **traverse dari garis titik awal**. Hasil WCB ini dibandingkan dengan data yang sudah diketahui. Perbedaan hasil ini atau  $\Delta$  ini adalah *angular misclosure* atau yang pada komputasi poligon tertutup disimbolkan sebagai  $W$ . Dengan demikian maka

$$\Delta = W = WCB_{traverse} - WCB_{terukur} \quad (1)$$

2. Untuk melakukan cek pada nilai  $\Delta$  juga dapat dilakukan dengan prosedur di bawah ini (pilih salah satu prosedur antara prosedur 1 atau 2 ini)

$$WCB_{traverse} = \left( \sum_{i=1}^n \alpha_i + \angle WCB \text{ titik awal} \right) - n \times 180^\circ \quad (2)$$

$n$  adalah jumlah sudut yang ada di poligon. Jika hasil diluar rentang  $0^\circ$  s.d  $360^\circ$ , maka hasil persamaan (2) perlu ditambah atau dikurangi  $360^\circ$  sebagaimana mestinya. Setelah itu untuk menentukan  $\Delta$ , dilakukan dengan persamaan (1).

3. Koreksi tiap sudut dilakuakn dengan prinsip yang sama dengan poligon tertutup yaitu dengan persamaan

$$\text{koreksi sudut} = -\frac{W}{n} \quad (3)$$

### **Coordinate Adjustment**

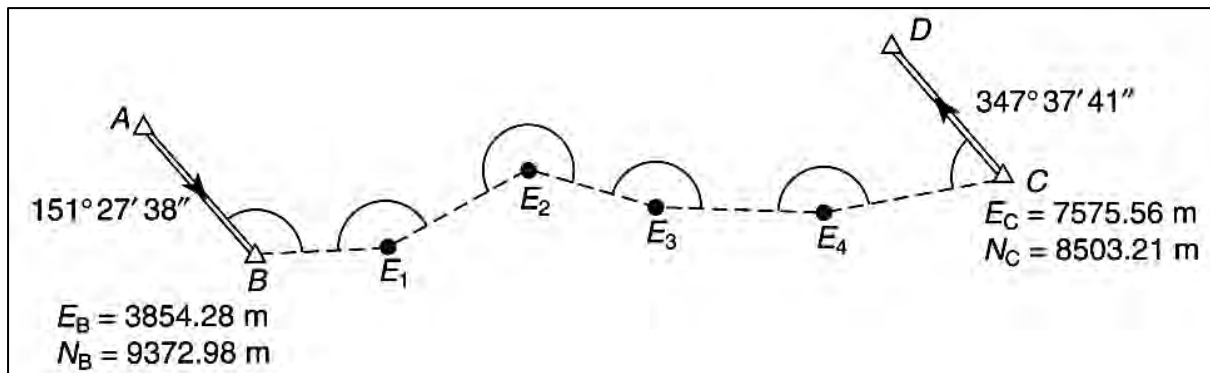
*Coordinate adjustment* atau penyesuaian koordinat untuk poligon terikat dilakukan dengan langkah berikut ini

1. Hitung *initial coordinates* (koordinat titik akhir) dengan cara traverse dari titik awal. Hasil traverse ini kemudian dibandingkan dengan koordinat pada data. Jika ada misclosure, maka akan ada terminologi  $\Delta'E$  dan  $\Delta'N$ .
2. Kesalahan koordinat ini atau  $\Delta'E$  dan  $\Delta'N$  disebar sepanjang poligon terikat **secara akumulasi**.

Agar lebih mudah memahami, maka perhatikan contoh komputasi di bawah ini

**CONTOH 1**

Diketahui suatu poligon tertutup dengan situasi pengukuran sebagai ilustrasi di bawah ini



Tentukan koordinat E<sub>1</sub> s.d E<sub>4</sub> jika diketahui sudut horizontal dan jarak horizontal berikut ini

Titik	Sudut	Garis Traversing	Jarak (m)
B	143° 54' 47"	B – E <sub>1</sub>	651.16
E <sub>1</sub>	149° 08' 11"	E <sub>1</sub> – E <sub>2</sub>	870.92
E <sub>2</sub>	224° 07' 32"	E <sub>2</sub> – E <sub>3</sub>	522.08
E <sub>3</sub>	157° 21' 53"	E <sub>3</sub> – E <sub>4</sub>	1107.36
E <sub>4</sub>	167° 05' 15"	E <sub>4</sub> - C	794.35
C	74° 32' 48"		

Agar lebih mudah, seperti poligon tertutup, kita buat tabel berikut untuk perhitungannya

**Tabel Komputasi Traversing Poligon Terikat Contoh 1.**

Sta.	Sudut Horizontal	Kode Garis Traversing	WCB	Angka Koreksi	WCB Terkoreksi	Jarak Horizontal (m)	Delta koordinat		Koordinat Akhir (BELUM TERKOREKSI)		$\delta E$	$\delta N$	Koordinat Akhir		Kode Titik Koordinat
							$\Delta E$	$\Delta N$	E	N			E	N	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	15	16	17
A		B - A	151°27'38"		151°27'38"										
B	143°54'47"	E1 - B	115°22'25"	-4"	115°22'21"	651.16	588.349	-279.023	3854.28	9372.98			3854.28	9372.98	B
E1	149°08'11"	E2 - E1	84°30'36"	-8"	84°30'28"	870.92	866.922	83.356	4442.629	9093.957	0.098	-0.0592	4442.727	9093.898	E1
E2	224°07'32"	E3 - E2	128°38'08"	-12"	128°37'56"	522.08	407.833	-325.944	5309.551	9177.313	0.196	-0.1184	5309.747	9177.195	E2
E3	157°21'53"	E4 - E3	106°00'01"	-16"	105°59'45"	1107.36	1064.485	-305.152	5717.384	8851.369	0.294	-0.1776	5717.678	8851.191	E3
E4	167°05'15"	C - E4	93°05'16"	-20"	93°04'56"	794.35	793.201	-42.711	6781.869	8546.217	0.392	-0.2368	6782.261	8545.980	E4
C	74°32'48"	D - C	347°38'04"	-23"	347°37'41"				7575.07	8503.506	0.49	-0.296	7575.56	8503.21	C
D		D - C (data)	347°37'41"		$\Sigma L =$	3945.87			7575.56	8503.21					
		$\Delta =$	23"					$\Delta' E =$	-0.49						
Jmlh WCB awal	916°10'26"							$\Delta' N =$	0.296						
Total	1067°38'04"														
$n \times 180$	1080°00'00"														
WCB D - C	-12°21'56"														
	347°38'04"														
D - C (data)	347°37'41"														
$\Delta =$	23"														

Keterangan:

**Kolom 4**

Kolom 4 ini menganalisis WCB. Sesuai dengan metode yang telah dijelaskan pada paparan sebelumnya, maka berikut ini adalah penjabaran analisis WCB

$$\begin{aligned}
 WCB E_1 - B &= WCB BA + \angle ABE_1 \pm 180^\circ 00' 00'' \\
 WCB E_1 - B &= 151^\circ 27' 38'' + 143^\circ 54' 47'' - 180^\circ 00' 00'' \\
 WCB E_1 - B &= 115^\circ 22' 25''
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 WCB E_2 - E_1 &= WCB E_1 - B + \angle BE_1E_2 \pm 180^\circ 00' 00'' \\
 WCB E_2 - E_1 &= 115^\circ 22' 25'' + 149^\circ 08' 11'' - 180^\circ 00' 00'' \\
 WCB E_2 - E_1 &= 84^\circ 30' 36''
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 WCB E_3 - E_2 &= WCB E_2 - E_1 + \angle E_1E_2E_3 \pm 180^\circ 00' 00'' \\
 WCB E_3 - E_2 &= 84^\circ 30' 36'' + 224^\circ 07' 32'' - 180^\circ 00' 00'' \\
 WCB E_3 - E_2 &= 128^\circ 38' 08''
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 WCB E_4 - E_3 &= WCB E_3 - E_2 + \angle E_2E_3E_4 \pm 180^\circ 00' 00'' \\
 WCB E_4 - E_3 &= 128^\circ 38' 08'' + 157^\circ 21' 53'' - 180^\circ 00' 00'' \\
 WCB E_4 - E_3 &= 106^\circ 00' 01''
 \end{aligned}$$

$$WCB C - E_4 = WCB E_4 - E_3 + \angle E_3E_4C \pm 180^\circ 00' 00''$$

$$WCB C - E_4 = 106^{\circ}00'01'' + 167^{\circ}05'15'' - 180^{\circ}00'00''$$

$$WCB C - E_4 = 93^{\circ}05'16''$$

$$WCB D - C = WCB C - E_4 + \angle E_4 CD \pm 180^{\circ}00'00''$$

$$WCB D - C = 93^{\circ}05'16'' + 74^{\circ}32'48'' + 180^{\circ}00'00''$$

$$WCB D - C = 347^{\circ}38'04''$$

Dengan didapatnya  $WCB D - C$  hasil traverse, maka kita bandingkan nilai  $WCB D - C$  hasil informasi awal, sehingga dengan menggunakan persamaan (1) dihitung

$$\Delta = W = WCB_{traverse} - WCB_{terukur}$$

$$\Delta = W = 347^{\circ}38'04'' - 347^{\circ}37'41''$$

$$\Delta = W = 23''$$

### Kolom 5

Angka koreksi sudut pada poligon terikat sedikit berbeda dengan poligon tertutup, meskipun sumber koreksi berasal dari sumber yang sama, yaitu  $W$ . Pada poligon tertutup, koreksi sudut dibagi merata ke semua sudut, sedangkan pada poligon terbuka, disebar secara akumulasi. Dengan prinsip yang sama dengan persamaan (3) maka

$$koreksi\ sudut = -\frac{W}{n}$$

$$koreksi\ sudut = -\frac{23}{6}$$

$$koreksi\ sudut = -3.833'' \approx -4''$$

Besarnya  $-4''$  kemudian dijadikan angka patokan untuk akumulasi *error* hingga  $-23''$ .

**Kolom 8 dan 9**

Nilai  $\Delta E$  dan  $\Delta N$  dihitung masing-masing sebagai berikut

**Garis traversing B – E1**

$$\begin{aligned}\Delta E_{BE_1} &= D_{BE_1} \times \sin \alpha_{E_1B} \\ \Delta E_{BE_1} &= 651.16 \times \sin 115^\circ 22' 21'' \\ \Delta E_{BE_1} &= 588.349\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta N_{BE_1} &= D_{BE_1} \times \cos \alpha_{E_1B} \\ \Delta N_{BE_1} &= 651.16 \times \cos 115^\circ 22' 21'' \\ \Delta N_{BE_1} &= -279.023\end{aligned}$$

**Garis traversing E1 – E2**

$$\begin{aligned}\Delta E_{E_1E_2} &= D_{E_1E_2} \times \sin \alpha_{E_2E_1} \\ \Delta E_{E_1E_2} &= 870.92 \times \sin 84^\circ 30' 28'' \\ \Delta E_{E_1E_2} &= 866.922\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta N_{E_1E_2} &= D_{E_1E_2} \times \cos \alpha_{E_2E_1} \\ \Delta N_{E_1E_2} &= 870.92 \times \cos 84^\circ 30' 28'' \\ \Delta N_{E_1E_2} &= 83.356\end{aligned}$$

**Garis traversing E2 – E3**

$$\Delta E_{E_2E_3} = D_{E_2E_3} \times \sin \alpha_{E_3E_2}$$

$$\Delta E_{E_2E_3} = 522.08 \times \sin 128^\circ 37' 56''$$

$$\Delta E_{E_2E_3} = 407.833$$

$$\Delta N_{E_2E_3} = D_{E_2E_3} \times \cos \alpha_{E_3E_2}$$

$$\Delta N_{E_2E_3} = 522.08 \times \cos 128^\circ 37' 56''$$

$$\Delta N_{E_2E_3} = -325.944$$

**Garis traversing E3 – E4**

$$\Delta E_{E_3E_4} = D_{E_3E_4} \times \sin \alpha_{E_4E_3}$$

$$\Delta E_{E_3E_4} = 1107.36 \times \sin 105^\circ 59' 45''$$

$$\Delta E_{E_3E_4} = 1064.485$$

$$\Delta N_{E_3E_4} = D_{E_3E_4} \times \cos \alpha_{E_4E_3}$$

$$\Delta N_{E_3E_4} = 1107.36 \times \cos 105^\circ 59' 45''$$

$$\Delta N_{E_3E_4} = -305.152$$

**Garis traversing E4 – C**

$$\Delta E_{E_4C} = D_{E_4C} \times \sin \alpha_{CE_4}$$

$$\Delta E_{E_4C} = 794.35 \times \sin 93^\circ 04' 56''$$

$$\Delta E_{E_4C} = 793.201$$



$$\Delta N_{E_4C} = D_{E_4C} \times \cos \alpha_{CE_4}$$

$$\Delta N_{E_4C} = 794.35 \times \cos 93^{\circ}04'56''$$

$$\Delta N_{E_4C} = -42.711$$

**Kolom 10 dan 11**

Kolom ini berisi koordinat yang BELUM TERKOREKSI. Cara yang digunakan tetap sama seperti poligon tertutup, sebagai contoh

$$E_{E_1} = E_B + \Delta E_{BE_1}$$

$$N_{E_1} = N_B + \Delta N_{BE_1}$$

**Kolom 12 dan 13**

Kedua kolom ini berisi koreksi koordinat, yang disebar secara akumulasi seperti yang dilakukan pada kolom 5.

$$\text{koreksi } E = -\frac{\Delta' E}{n}$$

$$\text{koreksi } E = -\frac{-0.49}{5}$$

$$\text{koreksi } E = 0.098$$

$$\text{koreksi } N = -\frac{\Delta' N}{n}$$

$$\text{koreksi } N = -\frac{0.296}{5}$$

$$\text{koreksi } N = -0.0592$$

**Kolom 14 dan 15**

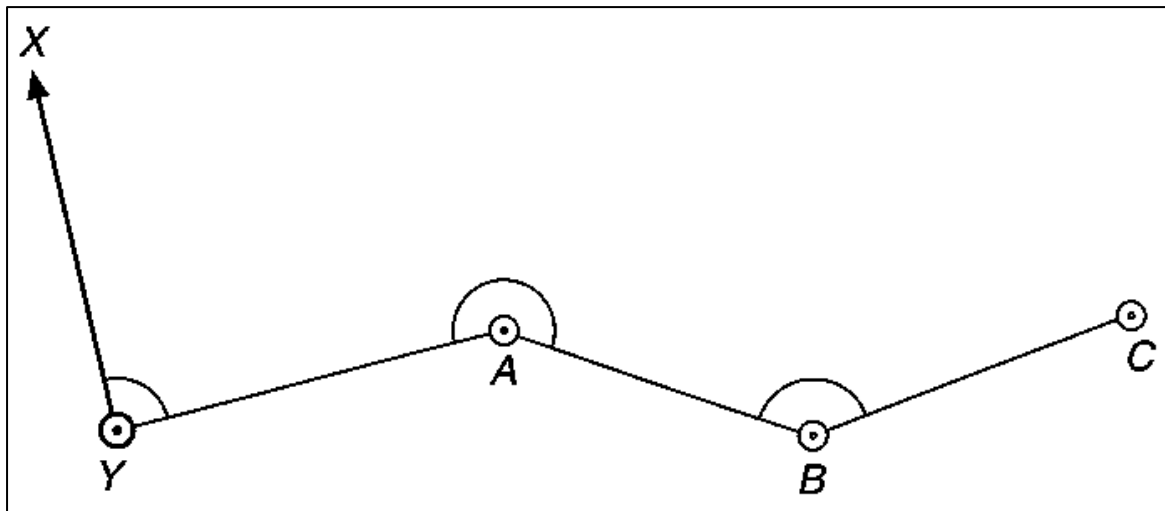
Kolom ini berisi nilai koordinat ( $E; N$ ) yang sudah dikoreksi. Analisisnya dilakukan dengan persamaan

$$E(\text{Terkoreksi}) = E + \delta E$$

$$N(\text{Terkoreksi}) = N + \delta N$$

### **TRAVERSING (POLIGON TERBUKA)**

Poligon terbuka memiliki karakteristik mirip seperti poligon terikat, hanya saja pada poligon ini, titik kontrol yang diketahui hanya satu. Lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar di bawah ini



Tidak banyak literatur yang membahas analisis/komputasi poligon terbuka seperti ini, namun demikian prinsip analisis sama seperti poligon terikat. Perbedaannya adalah, pada poligon terbuka ini **TIDAK DILAKUKAN KOREKSI** baik koreksi sudut WCB maupun koreksi koordinat. Hal ini karena, tidak adanya acuan nilai titik kontrol kedua/titik kontrol akhir (dalam contoh 1 adalah titik C). Jika ditransformasi menjadi poligon terbuka, maka pada contoh 1, cukup hilangkan garis DC, sehingga titik C bukan lagi menjadi titik kontrol, melainkan menjadi titik bebas (tak terikat).

Sebagai contoh, jika mengacu pada contoh 1, maka apabila kita **eliminasi/hilangkan garis DC**, maka akan terbentuk poligon terbuka. Sehingga, tabel perhitungan pada contoh tersebut tetap bisa digunakan, namun lebih sederhana karena koreksi WCB dan koreksi koordinat tidak kita lakukan. Dengan demikian maka, nilai WCB dan koordinat yang tanpa koreksi akan menjadi nilai akhir pada komputasi.

Untuk hal tersebut, pada tabel komputasi contoh 1, jika poligon terbuka yang dikomputasi maka kolom 5, 6, 12 s.d 17 **TIDAK PERLU DIHITUNG**. Selain itu mulai baris D ke bawah juga dihilangkan karena pada poligon terbuka, garis kontrol DC tidak ada.



# **GEOMETRIKAL SURVEYING PADA BIDANG TEKNIK SIPIL**

**Oleh:**

**Ngakan Putu Purnaditya**

**Jurusan Teknik Sipil, FT Untirta**

# Isi Pembahasan

- Pengukuran geometri hasil surveying dan terapannya pada bidang teknik sipil.
- Contoh-contoh aplikasi yang diperlukan dalam analisis.
- GPS dan remote sensing

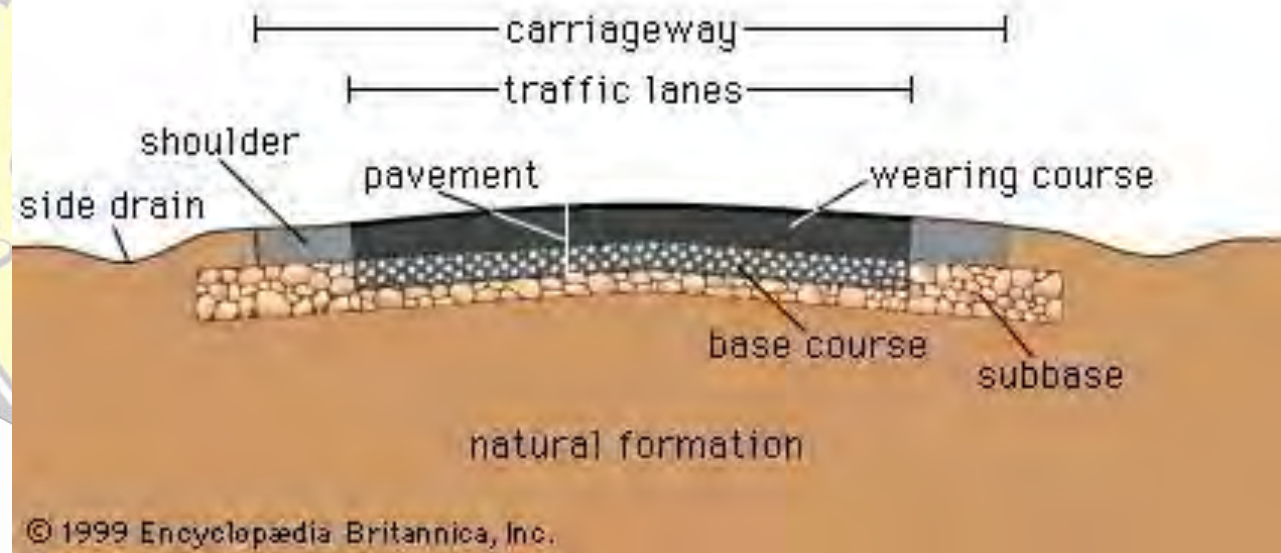
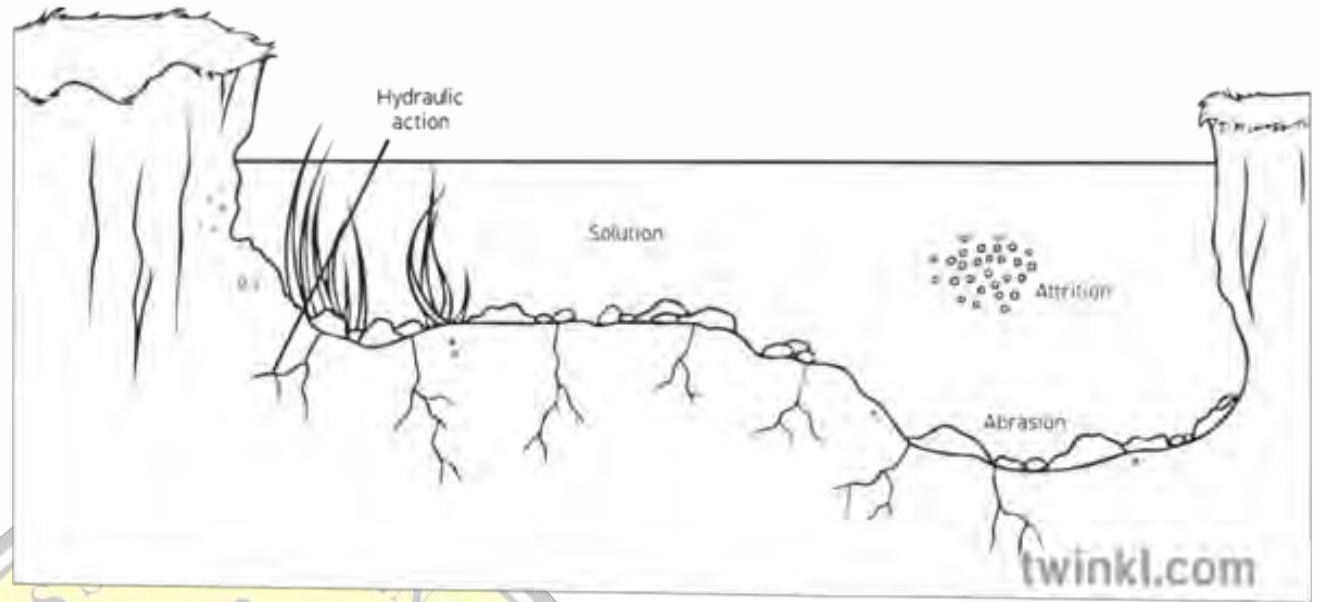


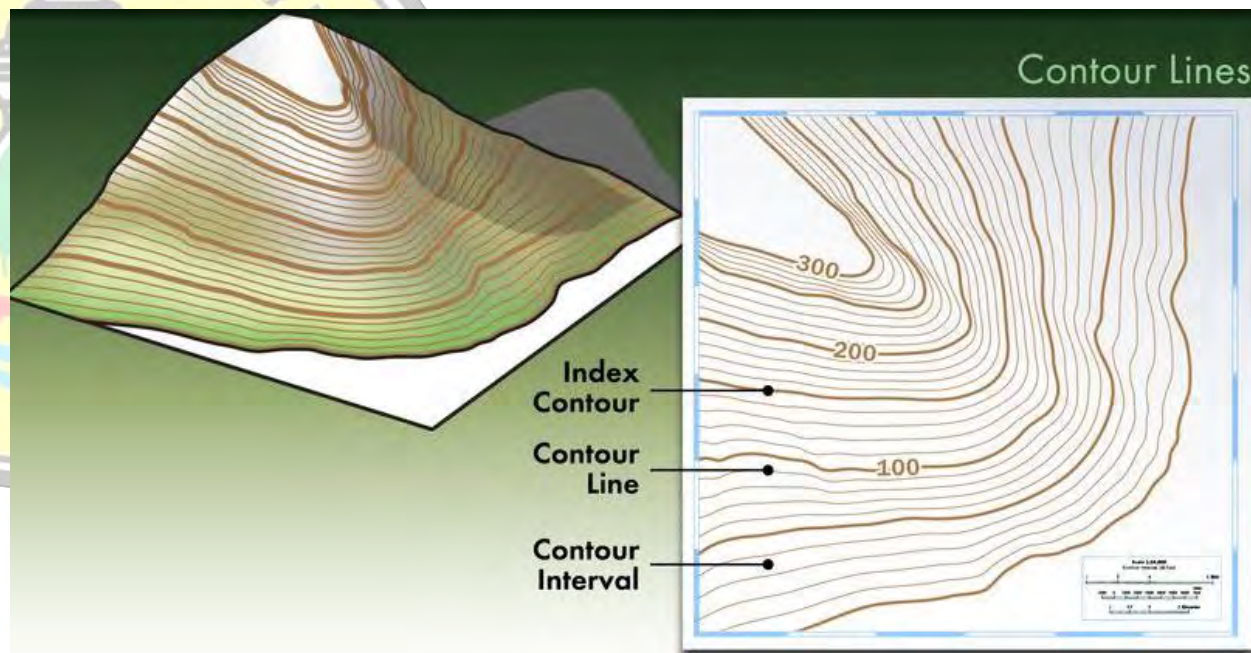
# Pengukuran Geometri

Yang termasuk pengukuran geometri dalam surveying dan terapannya pada bidang teknik sipil antara lain:

- Perhitungan luas/area
- Cross-sectioning
- Perhitungan volumetric
- Contouring



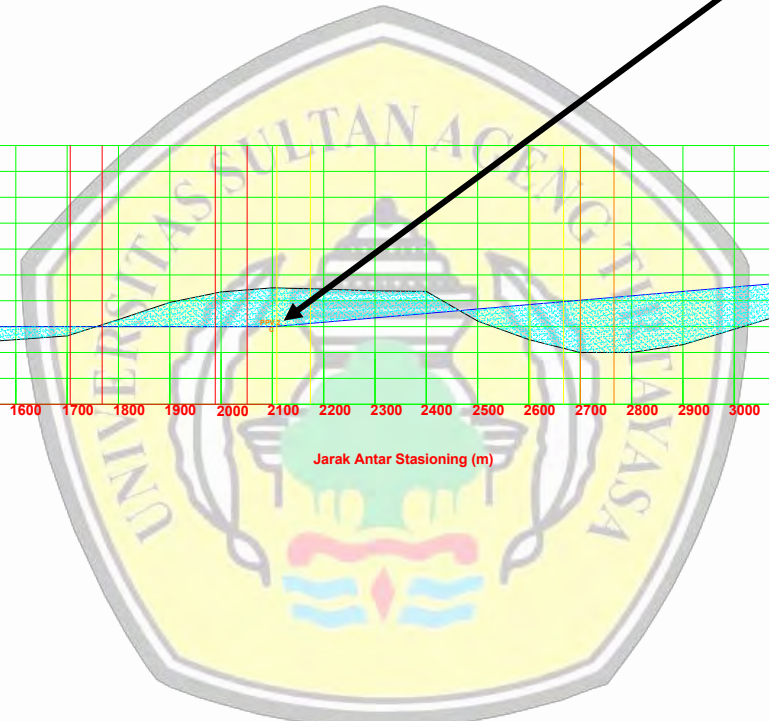
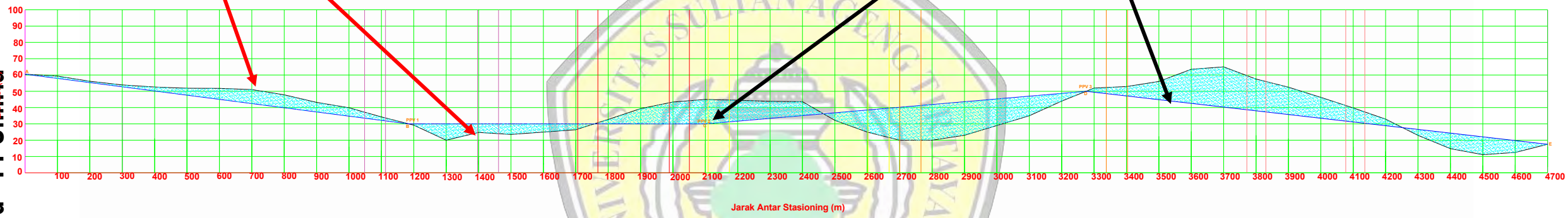






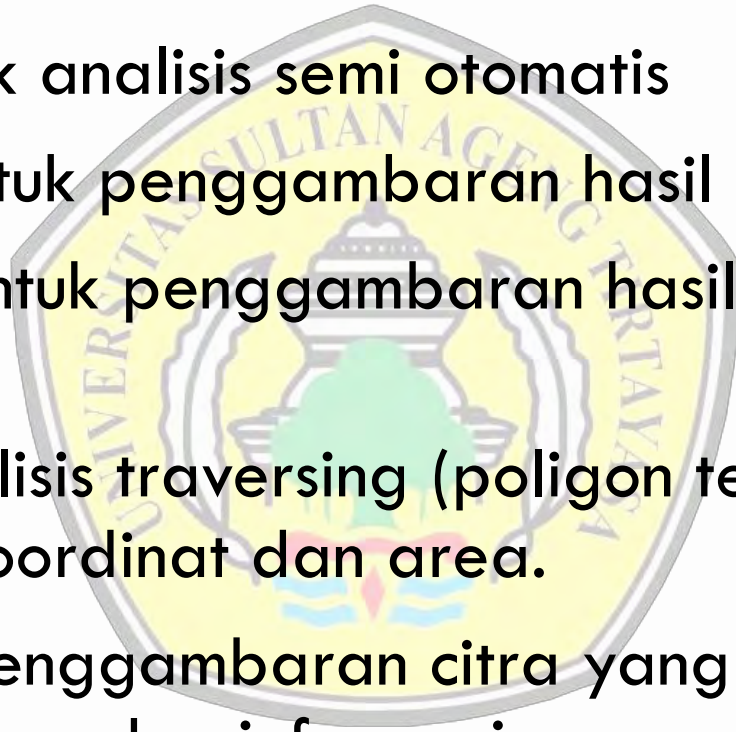
Tanah asli

Rencana permukaan jalan



# Contoh-Contoh Instrumen dan Aplikasi

- Scientific and surveyor calculator: untuk analisis secara manual
- Microsoft Excel: untuk analisis semi otomatis
- AutoCAD 2D/3D: untuk penggambaran hasil pengukuran
- AutoCAD Civil 3D: untuk penggambaran hasil pengukuran (lebih sophisticated)
- WolfPack: untuk analisis traversing (poligon tertutup/terikat), pengukuran sudut, koordinat dan area.
- Google Earth Pro: penggambaran citra yang lebih luas. Bisa menentukan jarak, luas, dan informasi geografis lainnya.



- TCX Converter: untuk mengubah format hasil ukur menjadi format CSV. Format CSV. Sangat berguna untuk transformasi titik ke AutoCAD
- Surfer: untuk membuat kontur.
- QuikGrid: untuk membuat kontur dan transformasi file ke AutoCAD
- dll



Dewasa ini, AutoCAD Civil 3D cukup menjadi primadona, karena bisa mengakomodasi semua pengukuran geometri hasil survey, bahkan hingga pembuatan peta kontur.

Namun terkadang sumber daya yang dimiliki setiap individu tidaklah sama, karena AutoCAD Civil 3D memerlukan spesifikasi computer yang cukup andal dan aktual.

Bagaimana jika spesifikasi computer tidak memadai ? Penggunaan AutoCAD Civil 3D akan sedikit terganggu.

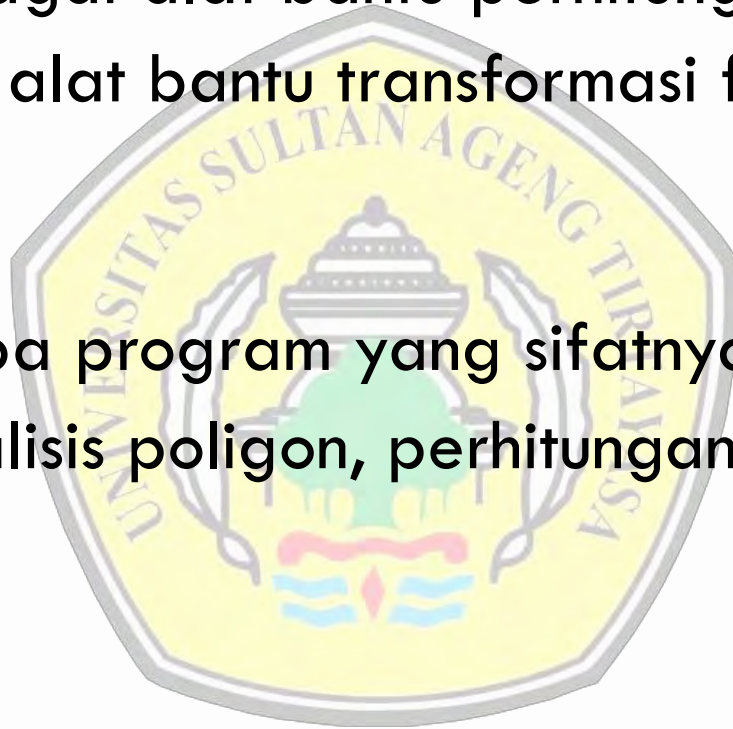


Namun demikian ada beberapas solusi jika computer tidak kuat menggunakan AutoCAD Civil 3D. Salah satunya memaksimalkan **minimal** software-software berikut:

1. AutoCAD 2D/3D. AutoCAD versi 2007 pun masih bisa digunakan.
2. Microsoft Excel, sebagai alat bantu perhitungan.
3. QuickGrid, sebagai alat bantu transformasi file pengukuran ke AutoCAD.

Kemudian ada beberapa program yang sifatnya sedondary:

1. WolfPack, untuk analisis poligon, perhitungan sudut dan area.
2. TCX Converter
3. Surfer
4. dll



Kelemahan dari cara ini adalah visualisasi dan proses yang lebih lama dari AutoCAD Civil 3D. Namun keunggulan dengan cara ini adalah lebih memahami filosofi perhitungan dan mudah dalam pelacakan kesalahan.

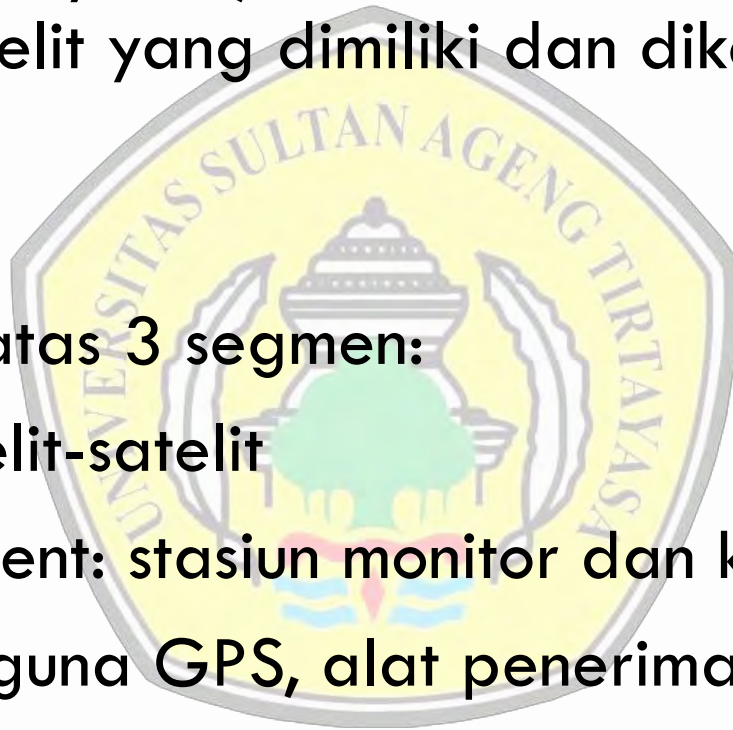


# Pengenalan GPS dan Remote Sensing (Ref: Prof. D M Priyantha Wedagama)

GPS (Global Positioning System) → sistem radio navigasi dan penentuan posisi menggunakan satelit yang dimiliki dan dikelola oleh Amerika Serikat.

SISTEM GPS → terdiri atas 3 segmen:

1. Space segment: satelit-satelit
2. Control system segment: stasiun monitor dan kontrol satelit
3. User segment: pengguna GPS, alat penerima dan pengolah sinyal dan data GPS.



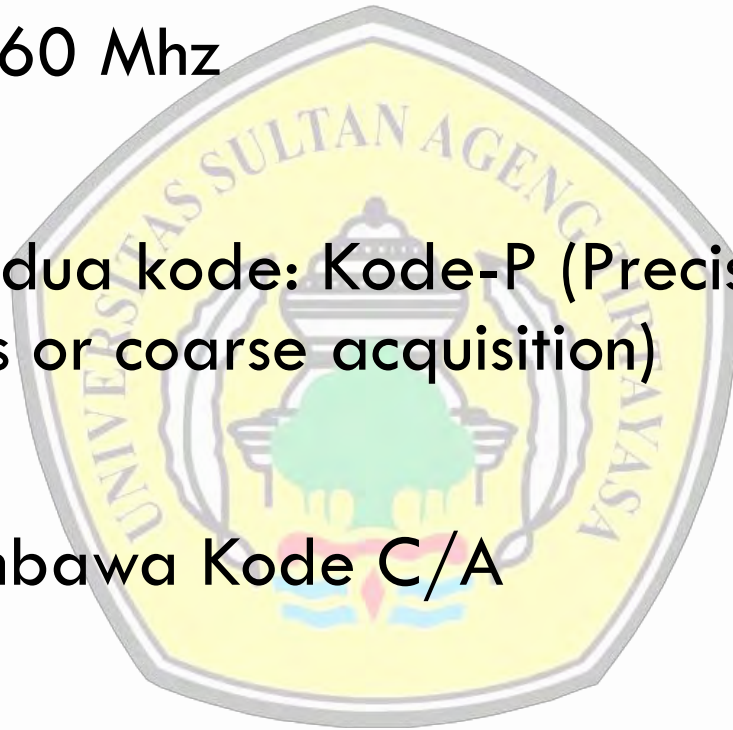
## Space segment

Setiap satelit GPS secara kontinyu memancarkan sinyal-sinyal gelombang pada dua frekuensi L-Band, dinamakan L1 dan L2.

- Frekuensi L1 → 1575.42 Mhz
- Frekuensi L2 → 1227.60 Mhz

Sinyal L1 → membawa dua kode: Kode-P (Precise or private code) dan Kode-C/A (Clear access or coarse acquisition)

Sinyal L2 → hanya membawa Kode C/A





Dengan adanya informasi sinyal tsb → para surveyor mengolah sinyal untuk mendapat informasi mengenai posisi, kecepatan atau waktu.

Satelit-satelit GPS disusun dalam 6 orbit dan berinklinasi sebesar  $55^\circ$  dari garis khatulistiwa. Setiap orbit akan berputar mengelilingi bumi dengan ketinggian 20183 km.



## Control system segment

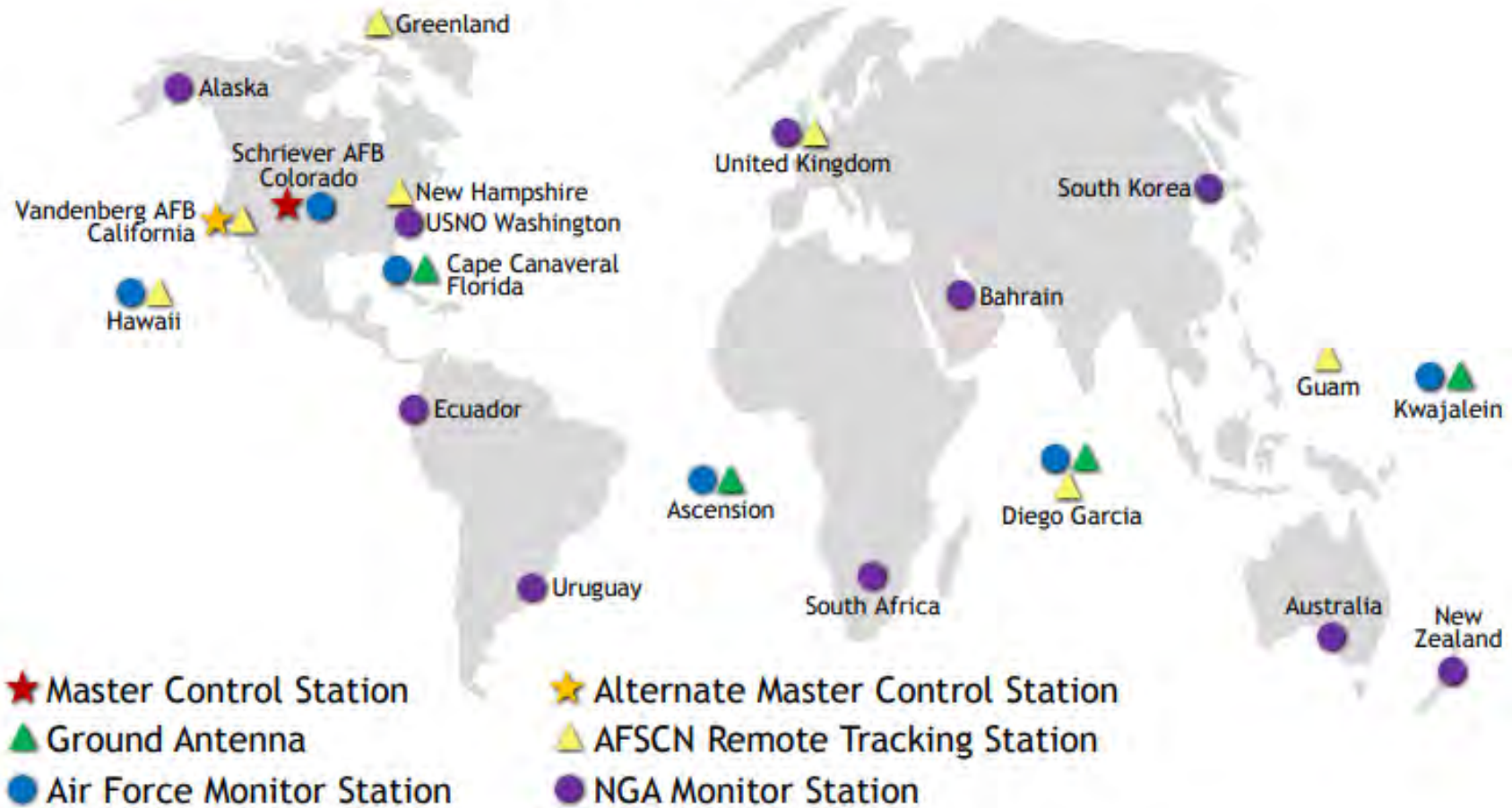
Sistem kontrol berada pada stasiun monitor:

1. Diego Garcia
2. Ascension Island
3. Kwajalein
4. Hawaii

Kemudian untuk stasiun kontrol udara berada pada Colorado Spring

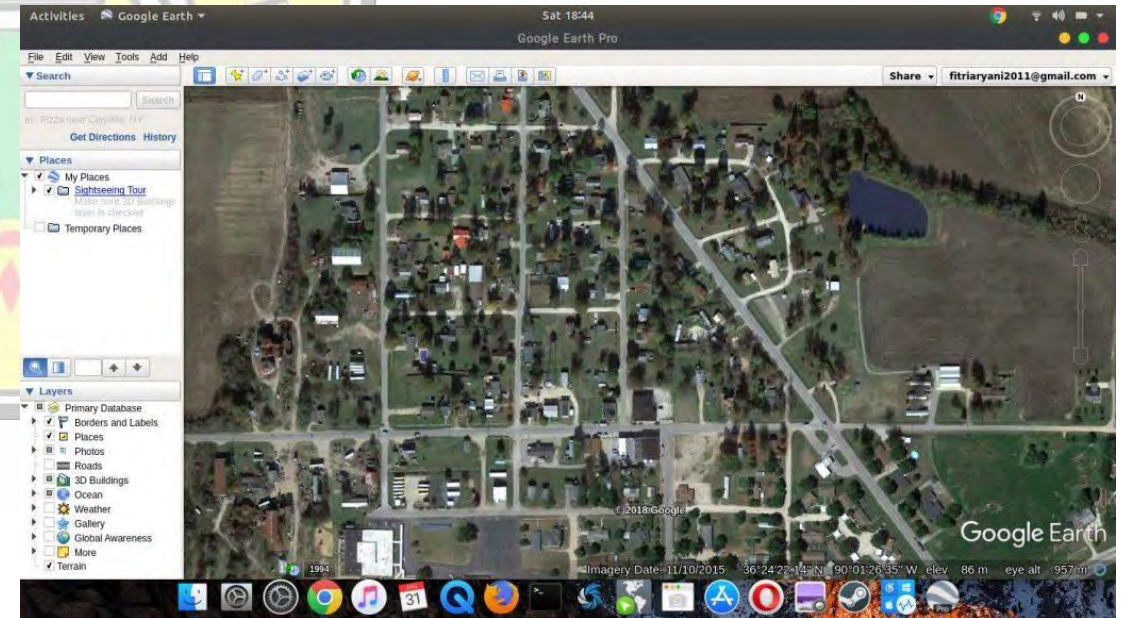
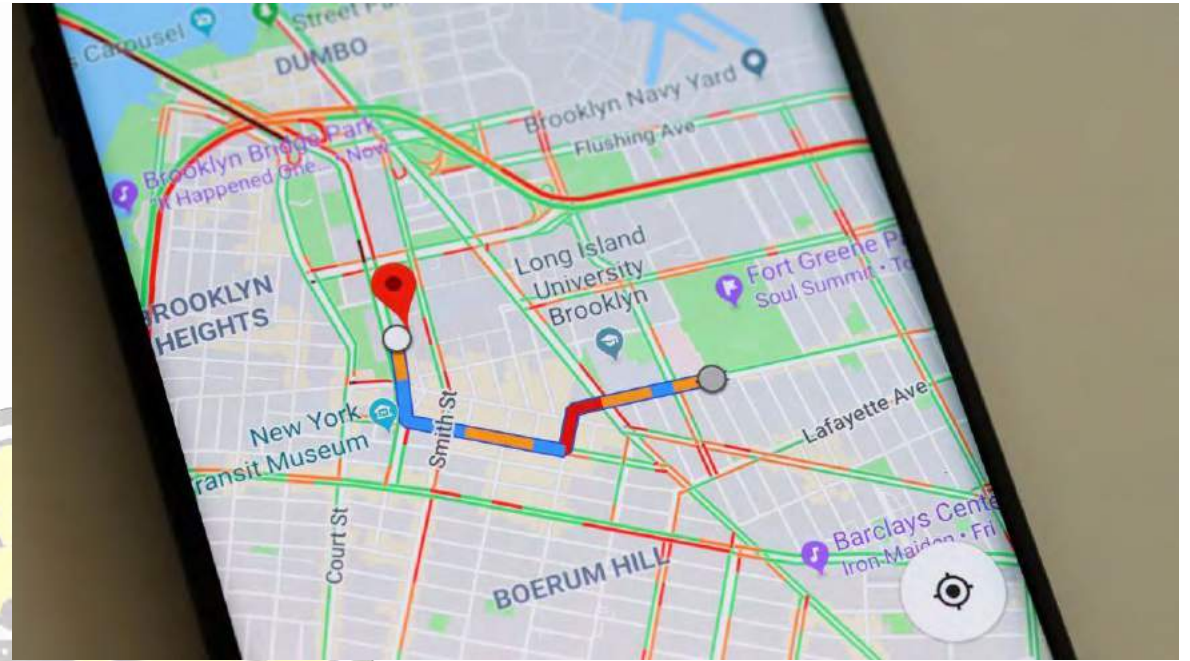


# GPS Control Segment



Updated May 2017

# User Segment



# HOW GPS WORKS



## GPS

IS A CONSTELLATION OF 24 OR MORE SATELLITES FLYING 20,350 KM ABOVE THE SURFACE OF THE EARTH. EACH ONE CIRCLES THE PLANET TWICE A DAY IN ONE OF SIX ORBITS TO PROVIDE CONTINUOUS, WORLDWIDE COVERAGE.

1 GPS satellites broadcast radio signals providing their locations, status, and precise time  $\{t_s\}$  from on-board atomic clocks.

2 The GPS radio signals travel through space at the speed of light  $\{c\}$ , more than 299,792 km/second.

3 A GPS device receives the radio signals, noting their exact time of arrival  $\{t_r\}$ , and uses these to calculate its distance from each satellite in view.

To calculate its distance from a satellite, a GPS device applies this formula to the satellite's signal:

$$\text{distance} = \text{rate} \times \text{time}$$

where **rate** is  $\{c\}$  and **time** is how long the signal traveled through space.

The signal's travel **time** is the difference between the time broadcast by the satellite  $\{t_s\}$  and the time the signal is received  $\{t_r\}$ .

4 Once a GPS device knows its distance from at least four satellites, it can use geometry to determine its location on Earth in three dimensions.

The GPS Master Control Station tracks the satellites via a global monitoring network and manages their health on a daily basis.

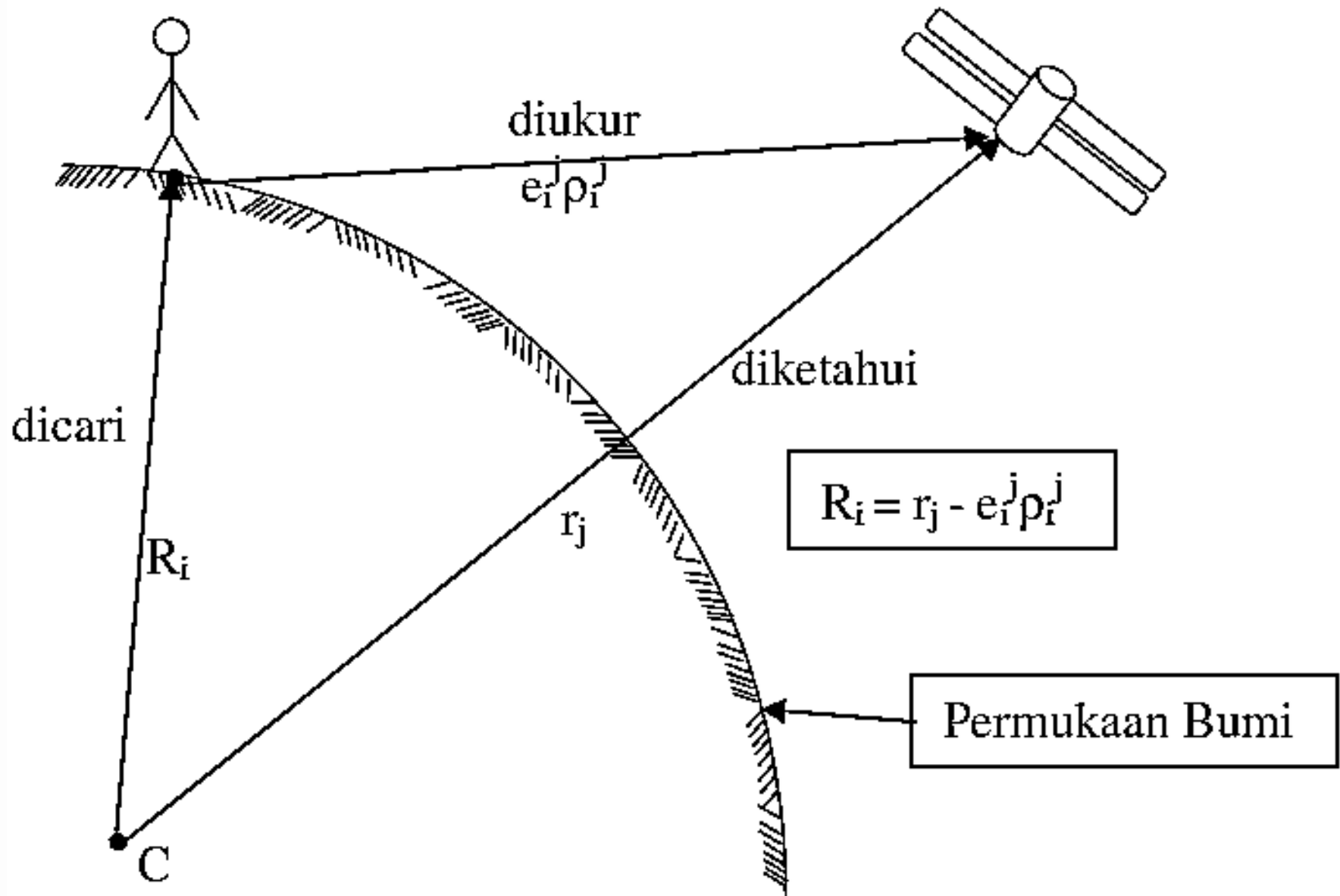
Ground antennas around the world send data updates and operational commands to the satellites.



The Air Force launches new satellites to replace aging ones when needed. The new satellites offer upgraded accuracy and reliability.

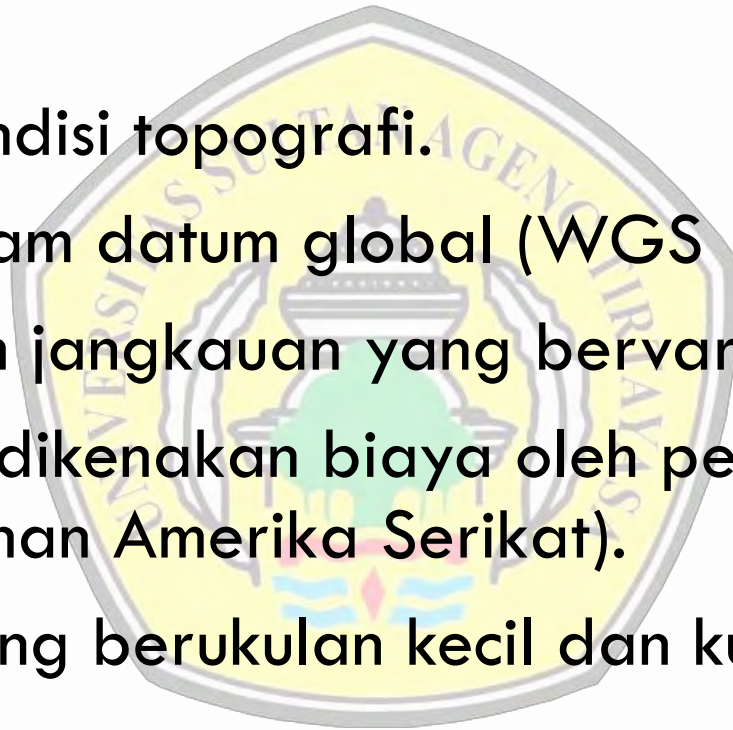
How does GPS help farmers? Learn more about the Global Positioning System and its many applications at

[www.gps.gov](http://www.gps.gov)



## Keunggulan GPS:

- 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 dalam datum global (WGS 1984).
- Ketelitian posisi dalam jangkauan yang bervariasi.
- Sampai saat ini tidak dikenakan biaya oleh pemilik satelit (departemen pertahanan Amerika Serikat).
- Receiver GPS cenderung berukuran kecil dan kualitas data yang diberikan cukup andal.



- Pengoperasian GPS cukup mudah dan tidak memerlukan banyak tenaga.
- Kualitas data terjamin karena data GPS tidak dapat dimanipulasi.

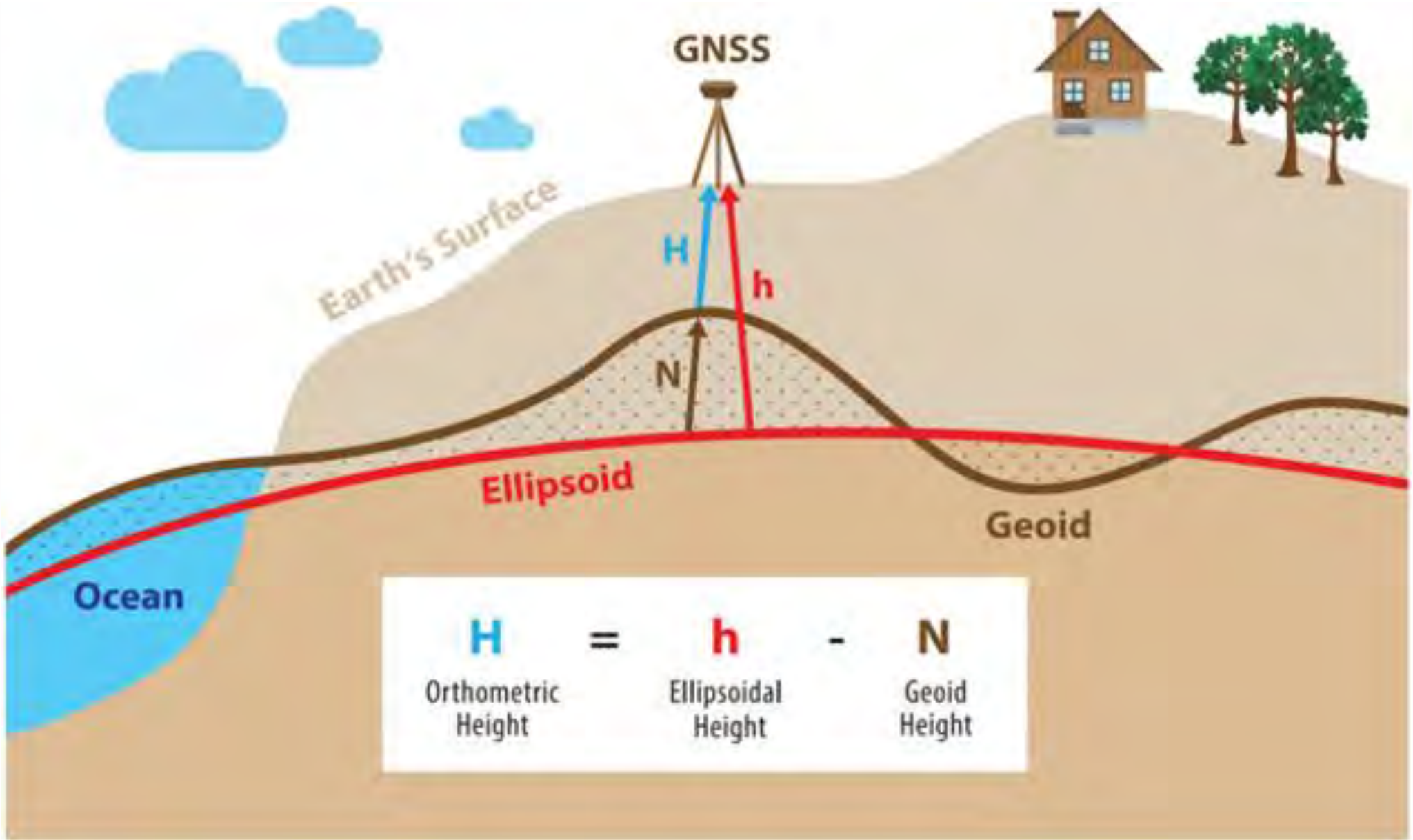




## Keterbatasan GPS:

- Tidak boleh ada penghalang antara receiver dengan satelit (misalnya pepohonan).
- Datum resmi Indonesia bukan WGS 1984 melainkan DGN 1995 sehingga perlu ada kegiatan transformasi koordinat.
- Data tinggi GPS mengacu pada ellipsoid, sedangkan untuk keperluan praktis di Indonesia digunakan muka air laut rata-rata (MSL). Sehingga perlu transformasi data GPS ke tinggi orthometris (MSL).
- Proses dan analisis data GPS bukan suatu proses yang mudah.
- SDM yang menguasai teknologi ini secara **komprensif** belum begitu banyak.





$$H = h - N$$

Orthometric Height = Ellipsoidal Height - Geoid Height

# Remote Sensing

Remote sensing → disebut juga penginderaan jauh, dibagi menjadi 2 bagian:

1. Peninderaan jauh fotografik.
2. Penginderaan jauh non fotografik (sistem termal, gelombang mikro, radar dan satelit).



## Penginderaan jauh fotografik

Merupakan teknik pemetaan objek-objek di bumi yang dilakukan dari udara atau antariksa dengan pesawat udara yang dilengkapi kamera sebagai sensor, film sebagai detector dan tenaga elektromagnetik berupa spektrum tampak (saluran inframerah dekat, saluran ultraviolet dekat).

Output → foto udara atau foto satelit. Sering disebut sebagai citra satelit.



## Penginderaan jauh non fotografik

pada sistem termal → memanfaatkan tenaga kinetik dan radiasi panas yang dimiliki oleh objek-objek di bumi. Sebagai contoh, batuan geologi.



Thank  
you!

*Kind Regards,  
Ngakan Putu Purnaditya  
FI-Untirta*



# Pengukuran Luas dan Volume Dalam IUT dan Aplikasinya

**Oleh:**

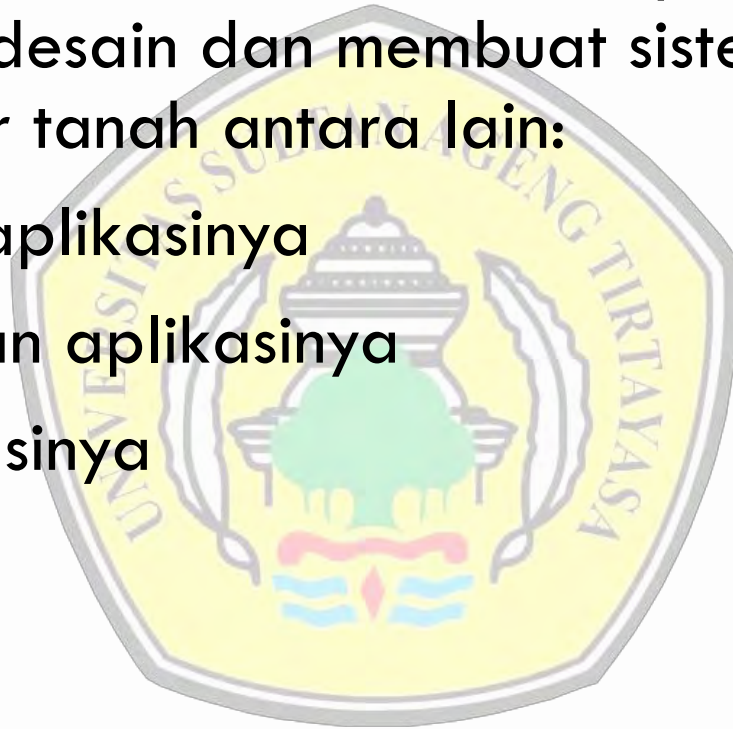
**Ngakan Putu Purnaditya**

**Jurusan Teknik Sipil, FT Untirta**

# Capaian Kompetensi

Mahasiswa diharapkan memiliki keterbukaan pikiran dalam mengingat, memahami, menganalisis, desain dan membuat sistem perhitungan yang terkait dengan ilmu ukur tanah antara lain:

- Perhitungan luas dan aplikasinya
- Perhitungan volume dan aplikasinya
- Contouring dan aplikasinya





# Perhitungan Luas

- **Perhitungan luas berdasarkan koordinat**
- **Partition of land**
- **Cross section**
- **Perhitungan luas dengan menggunakan aplikasi**

# Perhitungan Luas Bisa Ditentukan Berdasarkan Koordinat

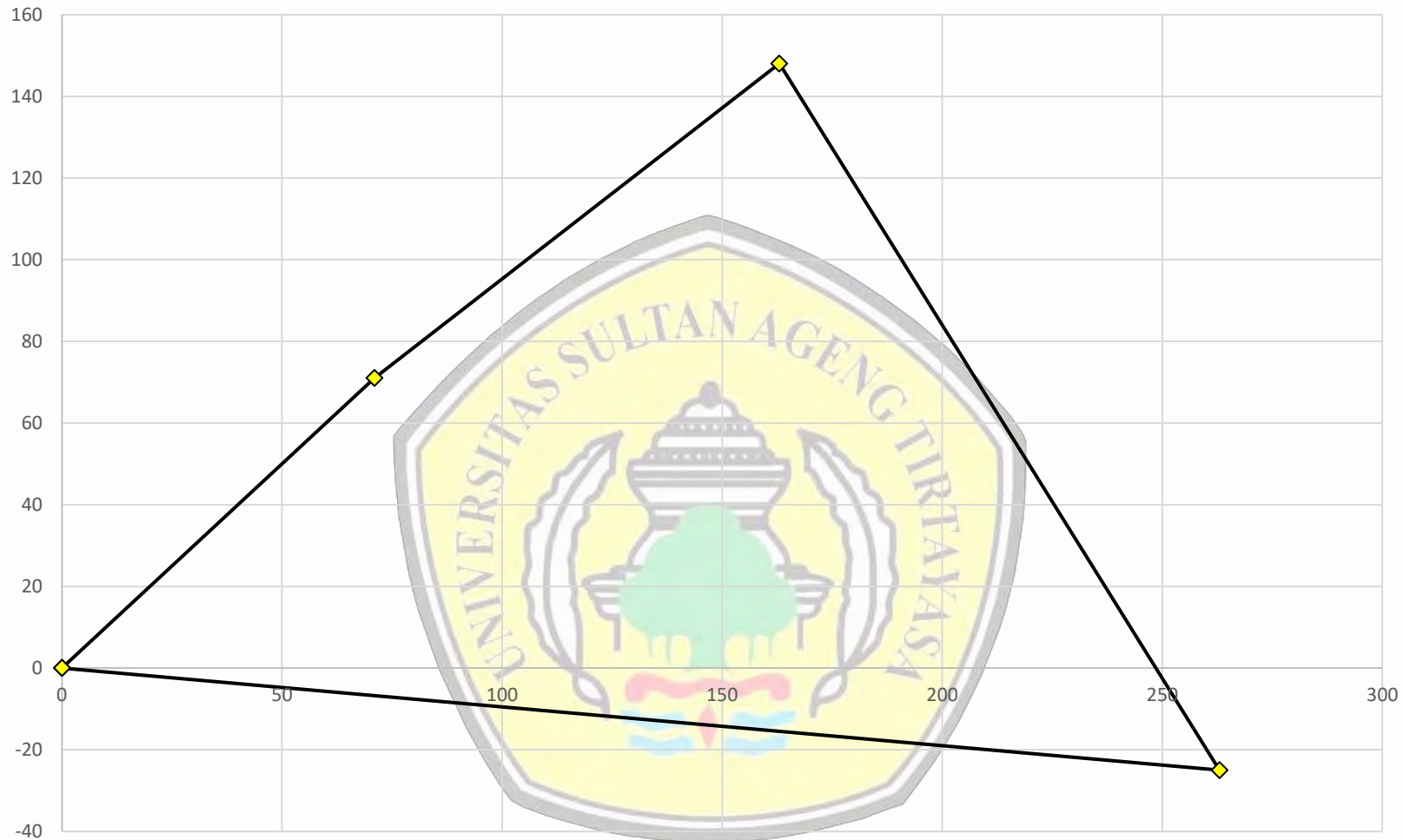
Dalam filosofinya  $\rightarrow$  integral merupakan luas area di bawah kurva.

Semisal kasus pada hasil koordinat titik ABCD berikut

Titik	E	N
A	0	0
B	71	71
C	163	148
D	263	-25
A	0	0

# Jika dilakukan plotting maka hasilnya

Hasil Ukur



Ilmu Ukur Tanah

Dengan mengacu konsep integral, maka kita butuh fungsi yang membentuk poligon tersebut agar perhitungan luas dapat dilakukan.

Pembentukan fungsi  $\rightarrow$  melibatkan koordinat dilakukan dengan polynomial Lagrange.

Fungsi yang terbentuk  $\rightarrow$  diintegrasikan sesuai syarat batasnya.

Semakin tinggi orde polinomial lagrange semakin besar fungsinya.

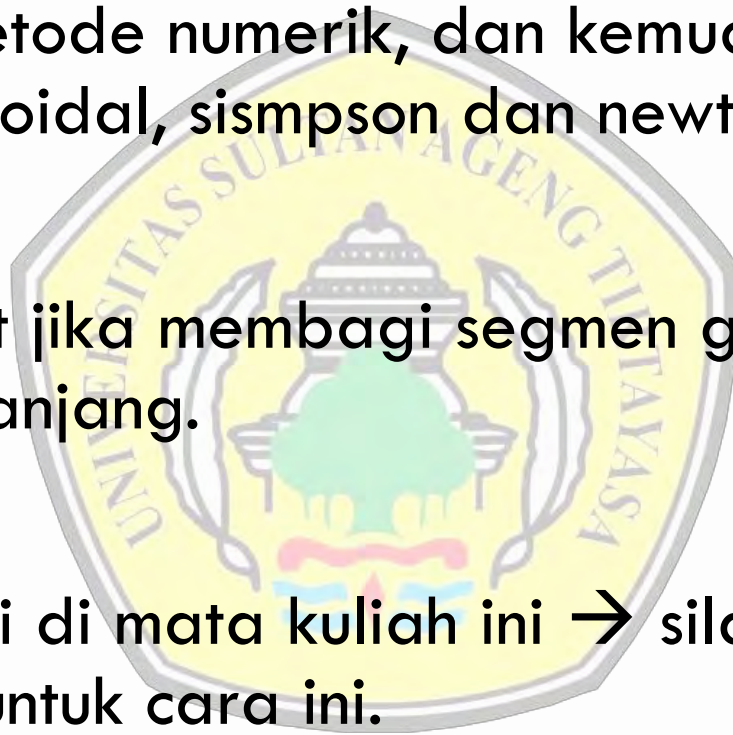


Masalah → tidak semua fungsi dapat diintegrasikan secara langsung, misalnya pada kasus kurva yang zig-zag, sehingga penggunaan aritmatik dapat dilakukan untuk mengatasi masalah ini.

Eksekusi aritmatik → metode numerik, dan kemudian untuk aplikasi integral, metode trapezoidal, simpson dan newton dapat digunakan

Metode ini cukup akurat jika membagi segmen grafik menjadi kecil, namun hitungan akan panjang.

Cara ini tidak dipelajari di mata kuliah ini → silakan mempelajari mata kuliah metode numerik untuk cara ini.

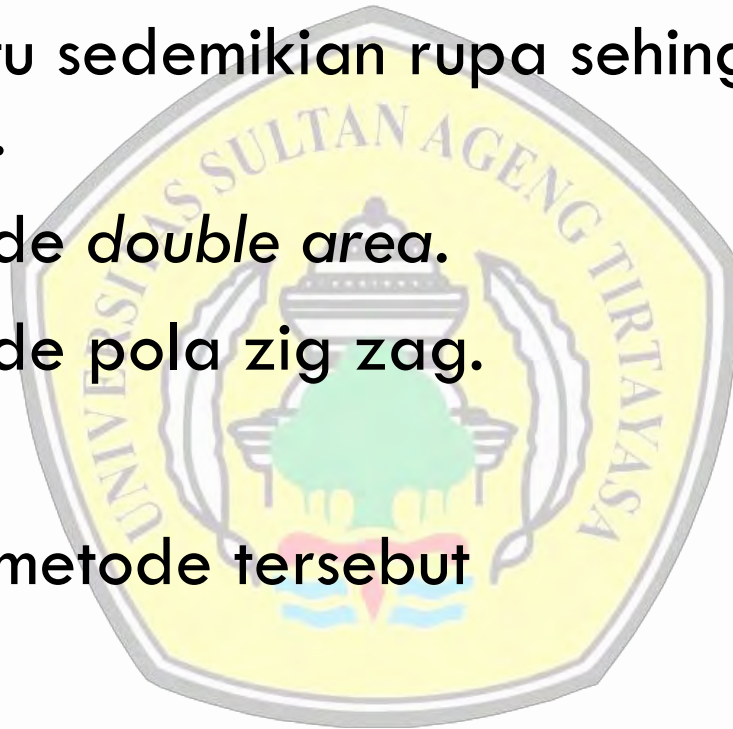


Cara menghitung luas suatu kurva dapat dilakukan dengan memanfaatkan informasi koordinat tiap titik.

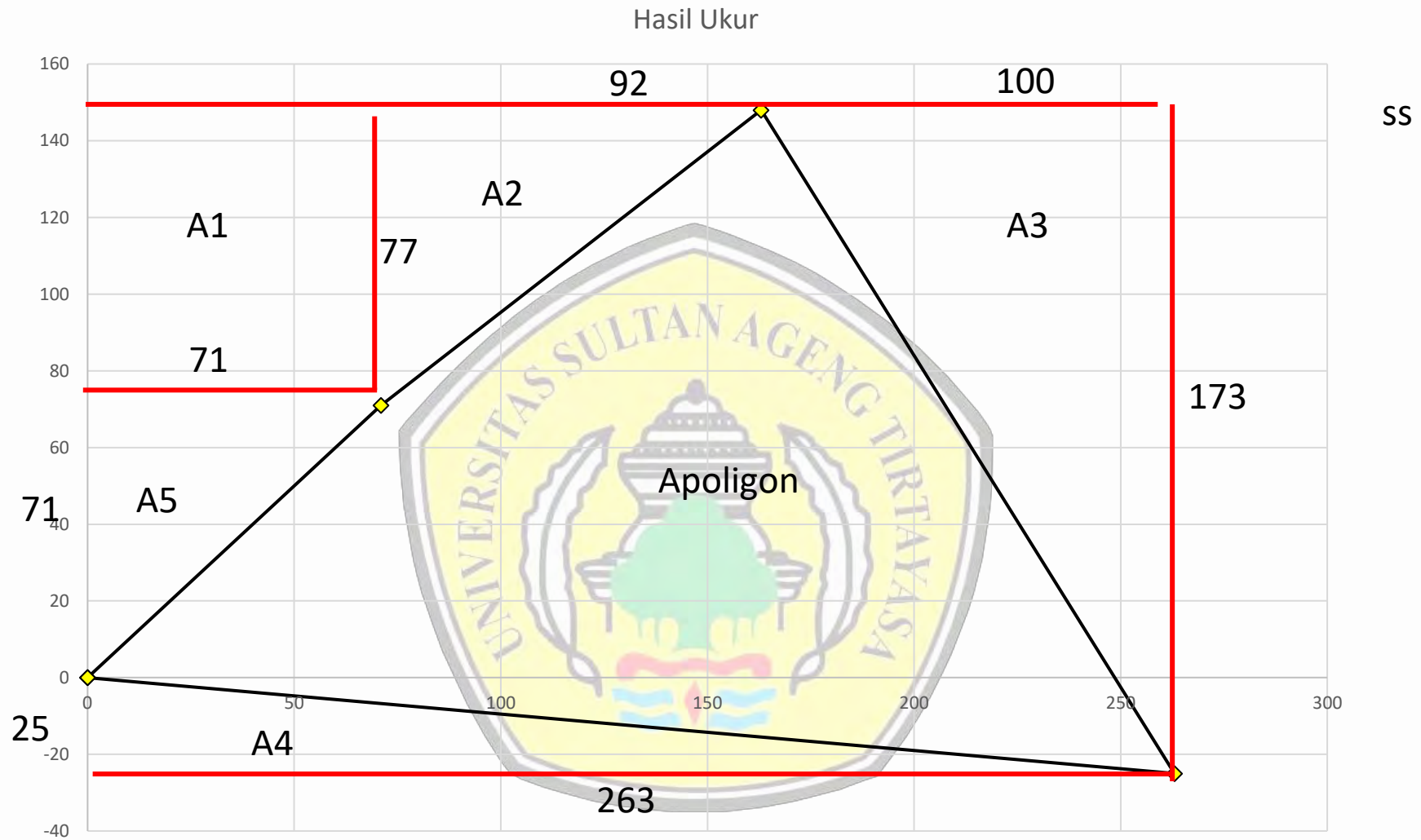
Ada tiga cara yang dapat dilakukan:

1. Membuat garis bantu sedemikian rupa sehingga bentuk poligon menjadi rectangular.
2. Menggunakan metode *double area*.
3. Menggunakan metode pola zig zag.

Mari kita bahas kedua metode tersebut



# Cara pertama: membuat garis bantu



Dengan cara ini, sangat mudah dilakukan perhitungan:

$$A_{rec} = 263 \times 173 = 45499$$

$$\begin{aligned} A_{out} &= A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_5 \\ A_{out} &= (77 \times 71) + \left( \frac{1}{2} \times 77 \times 92 \right) + \left( \frac{1}{2} \times 100 \times 173 \right) \\ &+ \left( \frac{1}{2} \times 263 \times 25 \right) + \left( \frac{1}{2} \times 71 \times 71 \right) \end{aligned}$$

$$A_{out} = 23467$$



Dengan demikian maka

$$A_{poligon} = A_{rec} - A_{out}$$

$$A_{poligon} = 45499 - 23467$$

$$A_{poligon} = 22032$$



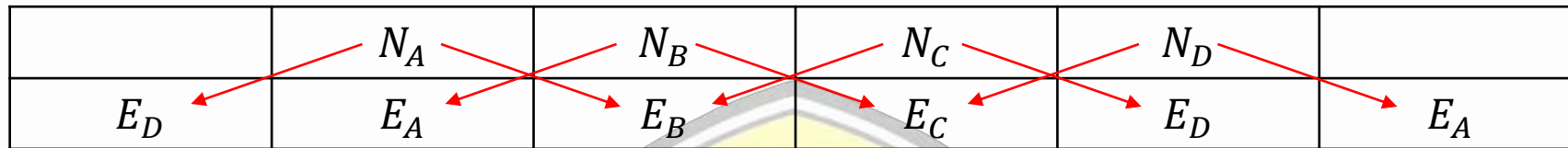
## Cara kedua: metode *double area*

Metode double area ini jika ditabelkan (agar lebih mudah) adalah sebagai berikut

Titik	E	N	Delta E	Sum N	Double Area	
					+	-
A	0	0	-71	71		-5041.00
B	71	71	-92	219		-20148.00
C	163	148	-100	123		-12300.00
D	263	-25	263	-25		-6575.00
A	0	0	0	0		0.00
JUMLAH A-B-C-D						-44064.00
<b>AREA</b>						<b>22032.00</b>

## Cara ketiga: cara pola zig zag

Cara ini secara sederhana memanfaatkan pola atau pattern berikut



Mengacu pada kasus, maka

$$A_{poligon} = 0.5(N_A[E_B - E_D] + N_B[E_C - E_A] + N_C[E_D - E_B] + N_D[E_A - E_C])$$

$$A_{poligon} = 0.5(0[71 - 263] + 71[163 - 0] + 148[263 - 71] - 25[0 - 163])$$

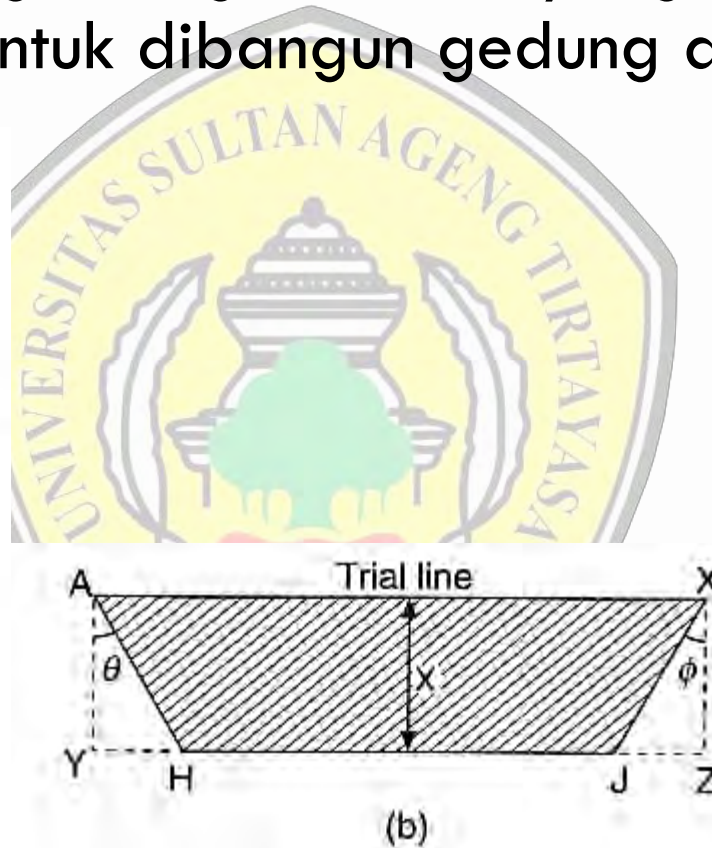
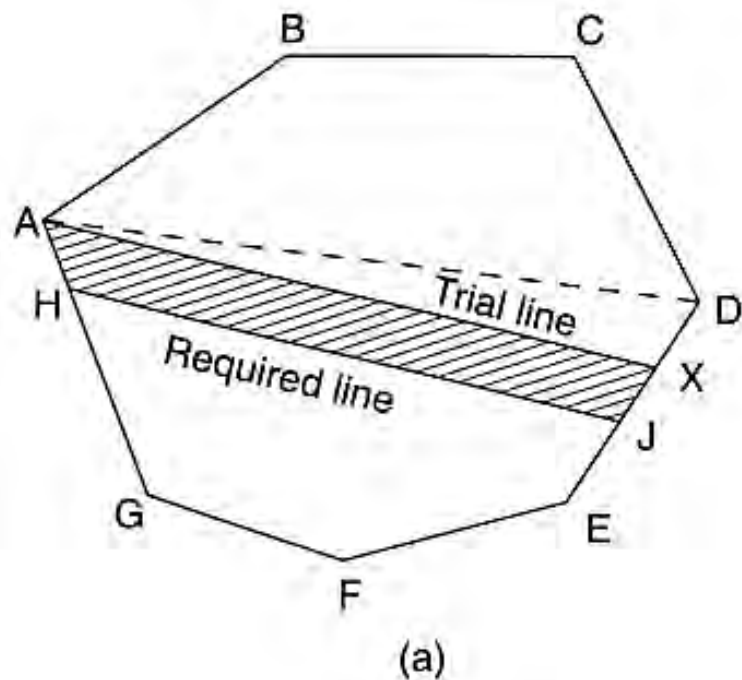
$$A_{poligon} = 22032$$

Metode zig zag ini hendaknya disusun berdasarkan **clockwise**, namun demikian jika disusun **anticlockwise** sebenarnya angka yang dihasilkan akan sama, perbedaannya hanya berlawanan tanda saja (**anticlockwise** menghasilkan tanda negatif).



# Partition of Land

Partition of land memotong sebagian lahan yang tersedia untuk keperluan lain, misalnya untuk dibangun gedung atau dijual sebagian.

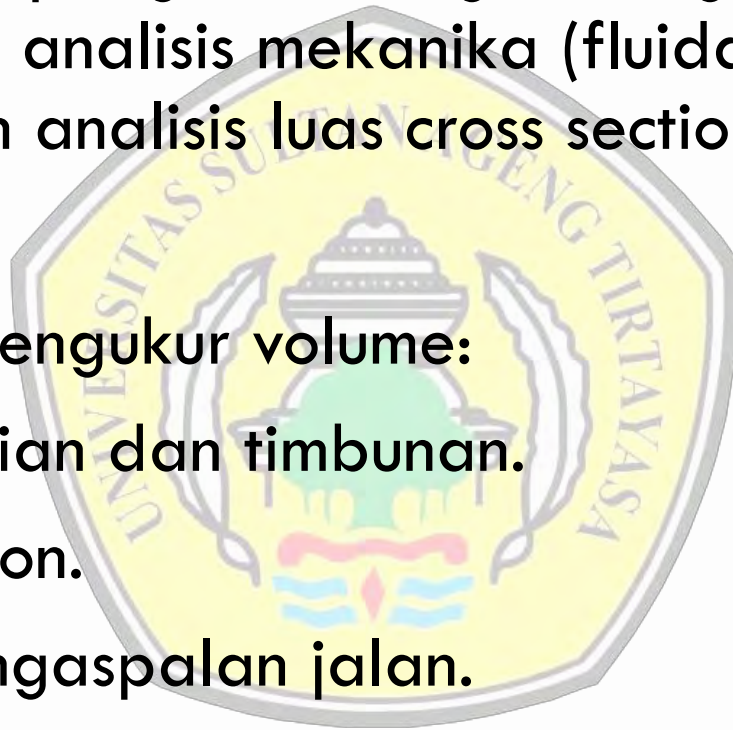


# Cross Section

cross section atau penampang melintang → bagian penting dalam pengukuran volume dan analisis mekanika (fluida dan benda padat). Keduanya membutuhkan analisis luas cross section.

Contoh terapan untuk mengukur volume:

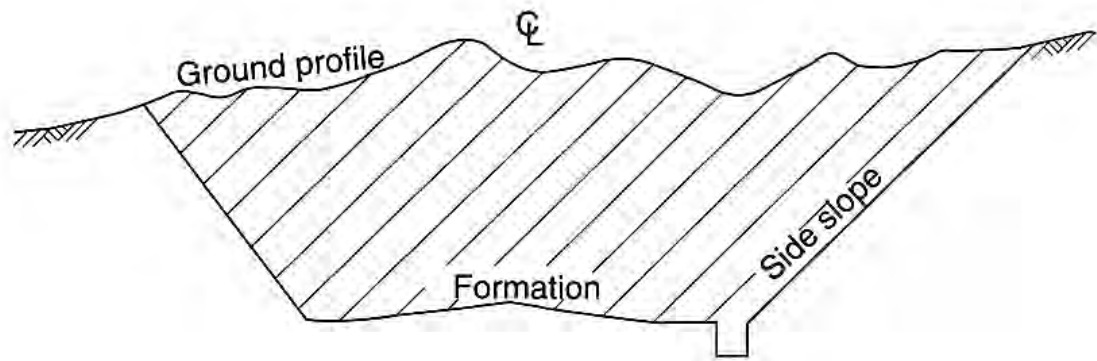
- Volume pekerjaan galian dan timbunan.
- Volume pekerjaan beton.
- Volume pekerjaan pengaspalan jalan.
- Dll.



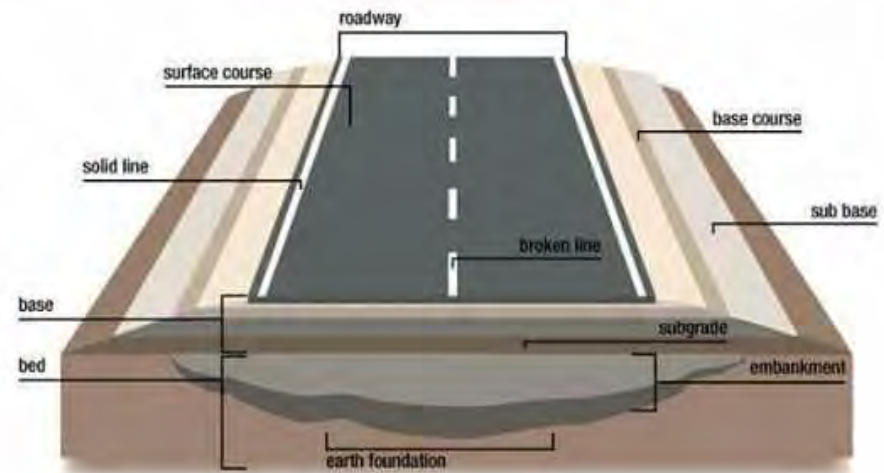
Contoh terapan untuk analisis mekanika:

- Analisis gaya tekan fluida pada dinding pintu air atau bendungan.
- Analisis debit aliran pada sungai/saluran.
- Analisis gaya tekan tanah pada permukaan bidang dinding.
- Dll.

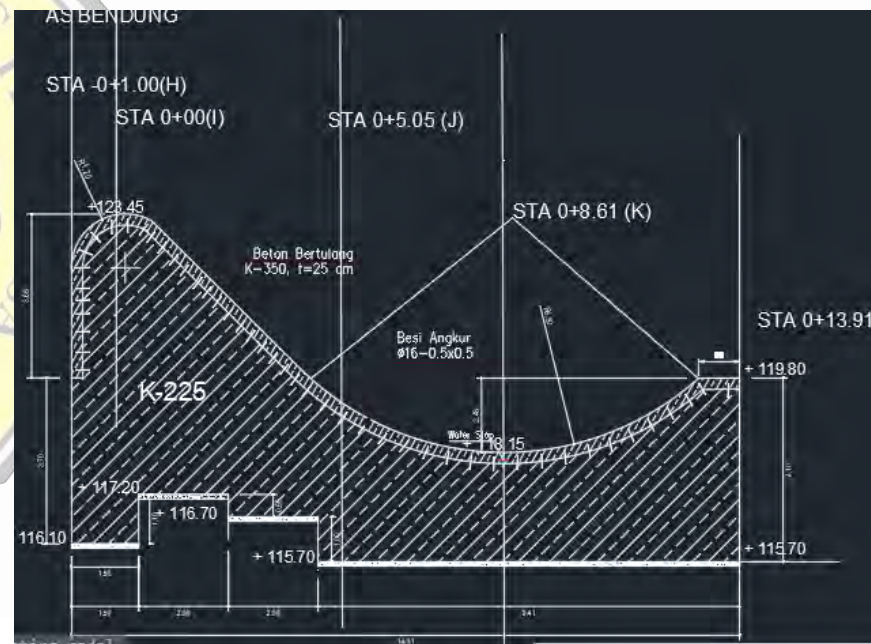




### Cross section of a road



Source: Merriam-Webster

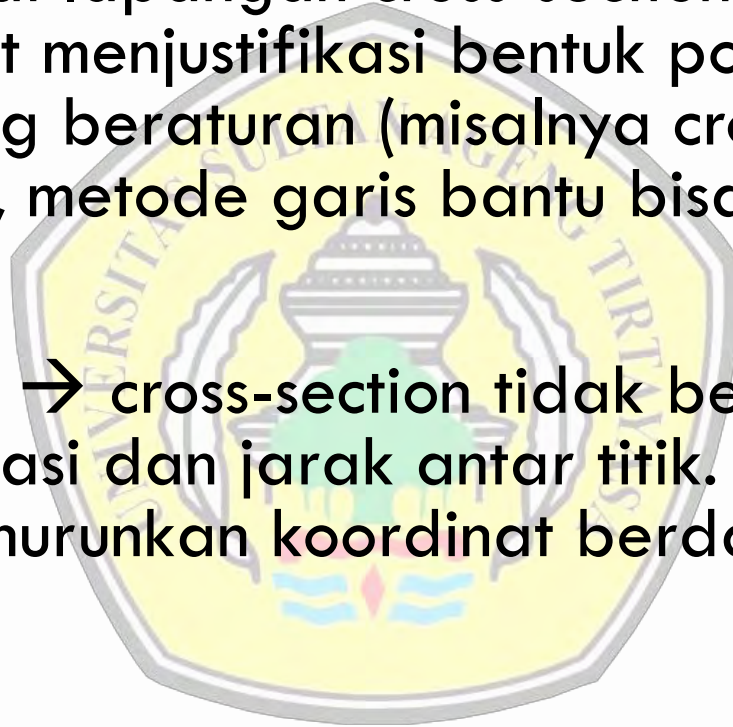




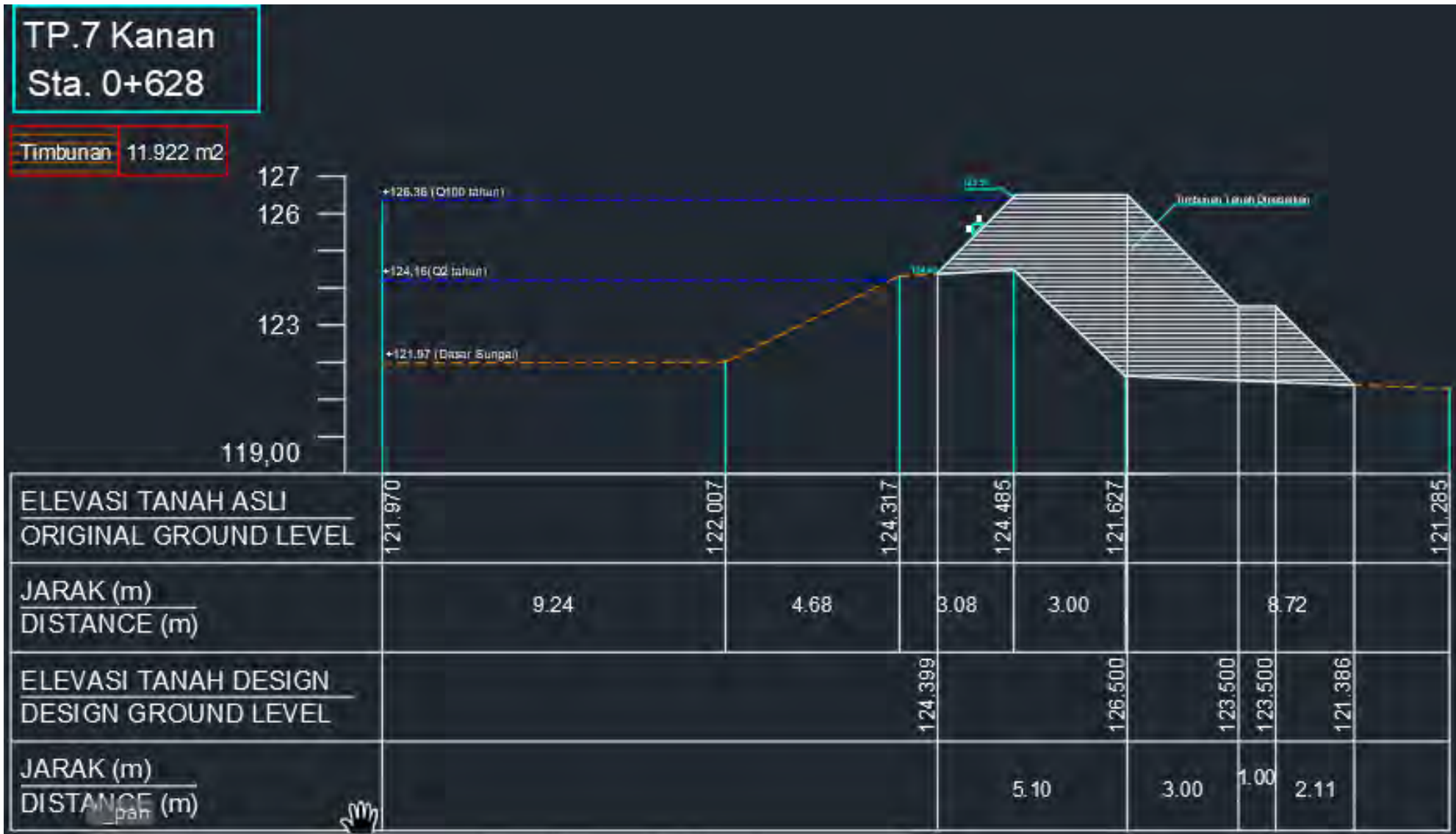
Perhitungan luas cross-section → sama seperti cara sebelumnya yaitu dengan memanfaatkan koordinat.

Namun demikian cara pertama (menggunakan garis bantu) agak sulit dilakukan → biasanya di lapangan cross-section bentuknya tidak beraturan, sehingga sulit menjustifikasi bentuk poligon bantu. Kecuali jika cross-section bentuk yang beraturan (misalnya cross-section hasil pekerjaan pengecoran), metode garis bantu bisa digunakan.

Kenyataan di lapangan → cross-section tidak bermaik koordinat, melainkan bermain elevasi dan jarak antar titik. Dengan demikian perlu PENYESUAIAN atau menurunkan koordinat berdasarkan elevasi dan jarak antar titik.



# Contoh hasil cross-section di lapangan

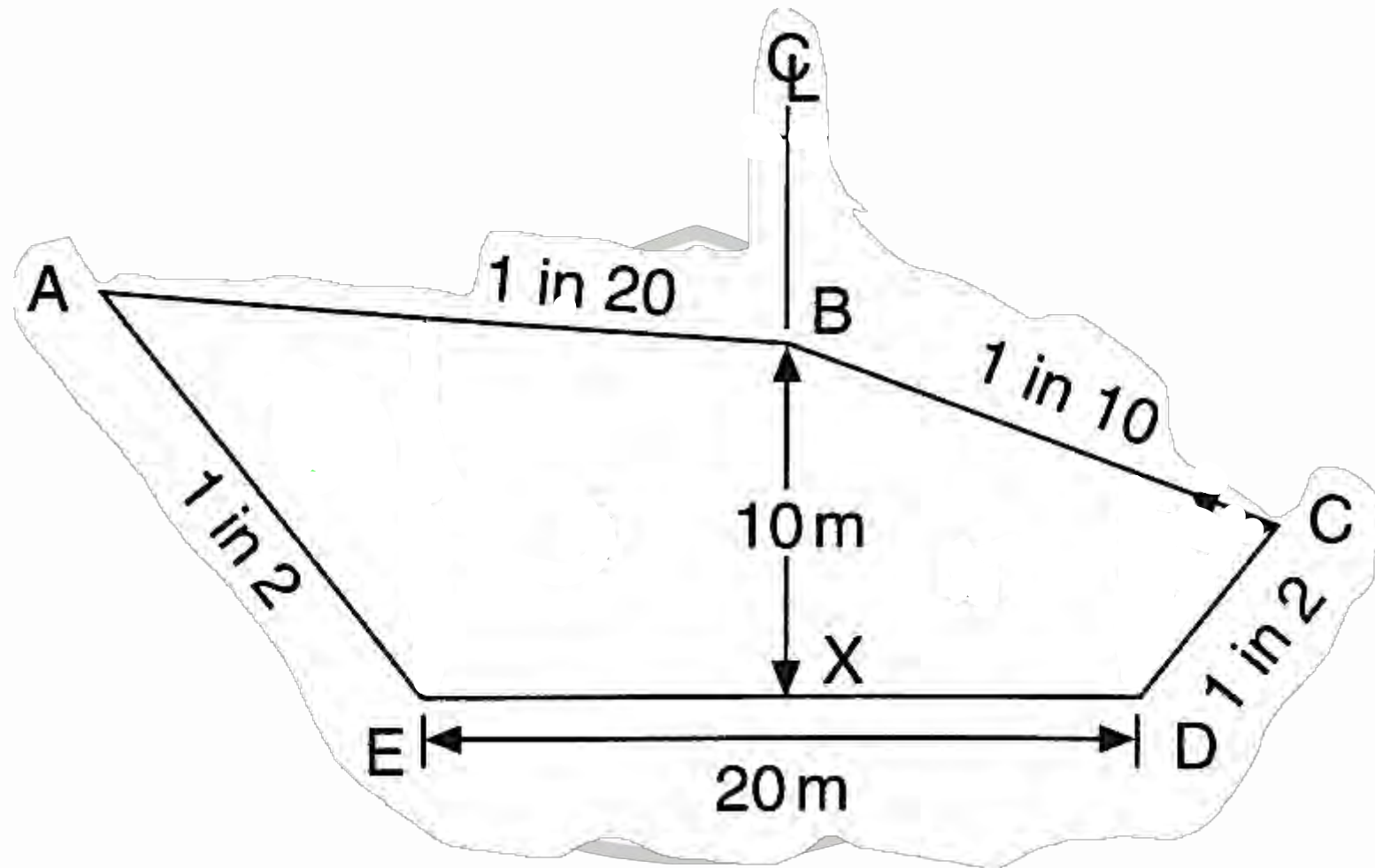


# Jadi, bagaimana cara hitung luas cross-section jika tidak ada koordinat ??

Jika cross-section terdiri dari elevasi dan jarak antar titik maka koordinat bisa dibuat dengan centerline atau titik bantu lain pada cross-section.



Contoh: Tentukan luas cross-section di bawah ini



Karena cross-section tersebut tidak ada koordinatnya, maka bisa dibuat koordinat bantu dengan memanfaatkan centerline (CL) sebagai pusat. Dengan demikian dapat ditentukan koordinat masing-masing titik berikut

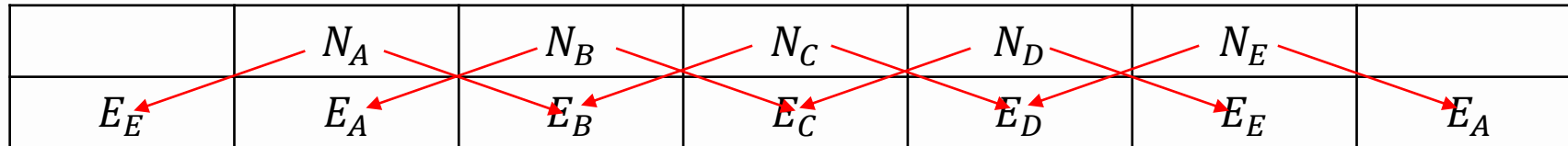
Titik	E	N
A	-33.33	11.67
B	0	10
C	25	7.5
D	10	0
E	-10	0

Dengan hasil koordinat ini, maka dapat ditentukan luas cross-section dengan metode *double area* dan pola zig zag

## Hasil hitungan dengan metode *double area*

Titik	E	N	Delta E	Sum N	Double Area	
					+	-
A	-33.33	11.67	-33.33	21.67		-722.26
B	0	10	-25	17.5		-437.50
C	25	7.5	15	7.5	112.50	
D	10	0	20	0		0.00
E	-10	0	23.33	11.67	272.26	
A	-33.33	11.67	-33.33	11.67		-388.96
JUMLAH A-B-C-D-E					384.76	-1159.76
					-775.00	
<b>AREA</b>						<b>387.50</b>

## Hasil hitungan dengan metode pola zig zag



$$A_{cross} = 0.5(N_A[E_B - E_E] + N_B[E_C - E_A] + N_C[E_D - E_B] + N_D[E_E - E_C] + N_E[E_A - E_D])$$

$$A_{cross} = 0.5(11.67[0 + 10] + 10[25 + 33.33] + 7.5[10 - 0])$$

$$A_{cross} = 387.5$$

# Perhitungan Luas Dengan Menggunakan Aplikasi

Perhitungan luas → dapat dilakukan dengan bantuan aplikasi di komputer.

Dengan Microsoft excel → bisa dengan mudah menggunakan metode area jika koordinat titik-titik luas diketahui.

Paling muktahir dan cukup menjadi primadona → menggunakan Autocad Civil 3D. Karena program ini sudah mengakomodir segala hal terkait pekerjaan sipil (luas, volume, kontur, dll).



Kadang ada kendala spesifikasi komputer yang kurang mumpuni, sehingga penggunaan AutoCAD Civil 3D kurang maksimal.

Ide solusi → menggunakan program berikut ini:

1. Kombinasi Microsoft Excel + AutoCAD.
2. Menggunakan program wolfpack surveying versi 8.2.3 (dapat diunduh gratis pada tautan berikut:  
[http://www.personal.psu.edu/cdg3/WolfPack\\_Setup.exe](http://www.personal.psu.edu/cdg3/WolfPack_Setup.exe)).



## Perhitungan luas menggunakan kombinasi Microsoft Excel + AutoCAD

Modal utama dalam cara ini adalah **input koordinat** dan/atau **langsung menggambar** di AutoCAD.

Sebelum memasukkan koordinat di AutoCAD, perlu disatukan dahulu pada Microsoft Excel, misalnya gunakan contoh pertama:

1. Buat kolom koordinat seperti di bawah ini (tidak mengikat, bisa dengan

Titik	E	N	OPERATOR	GABUNG
A	0	0	PO	
B	71	71	PO	
C	163	148	PO	
D	263	-25	PO	

2. Pada kolom GABUNG, gunakan fungsi berikut:

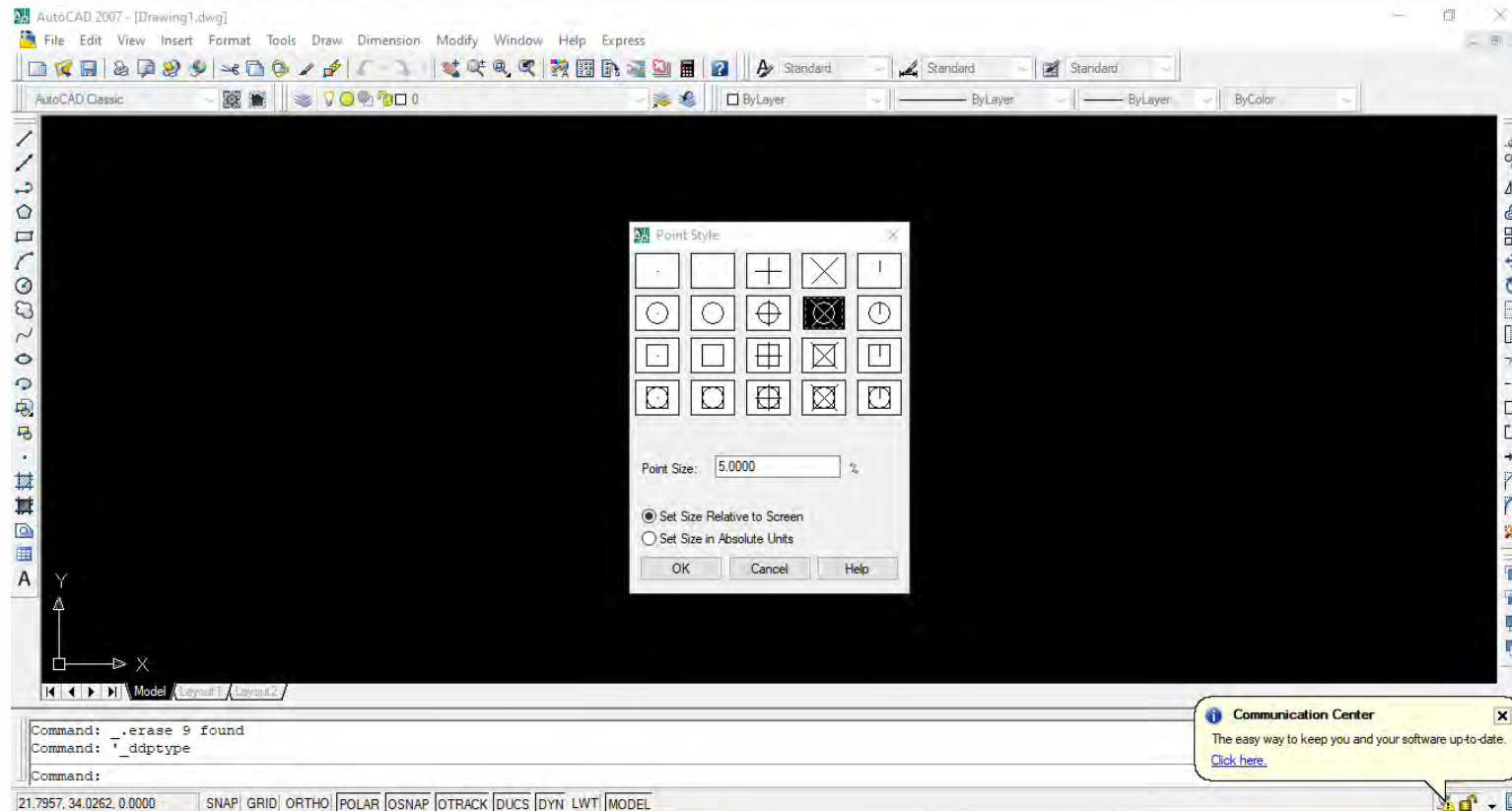
=CONCATENATE(Titik X,"",Titik Y)

Titik	E	N	OPERATOR	GABUNG
A	0	0	PO	=CONCATENATE(D5,"",E5)
B	71	71	PO	
C	163	148	PO	
D	263	-25	PO	

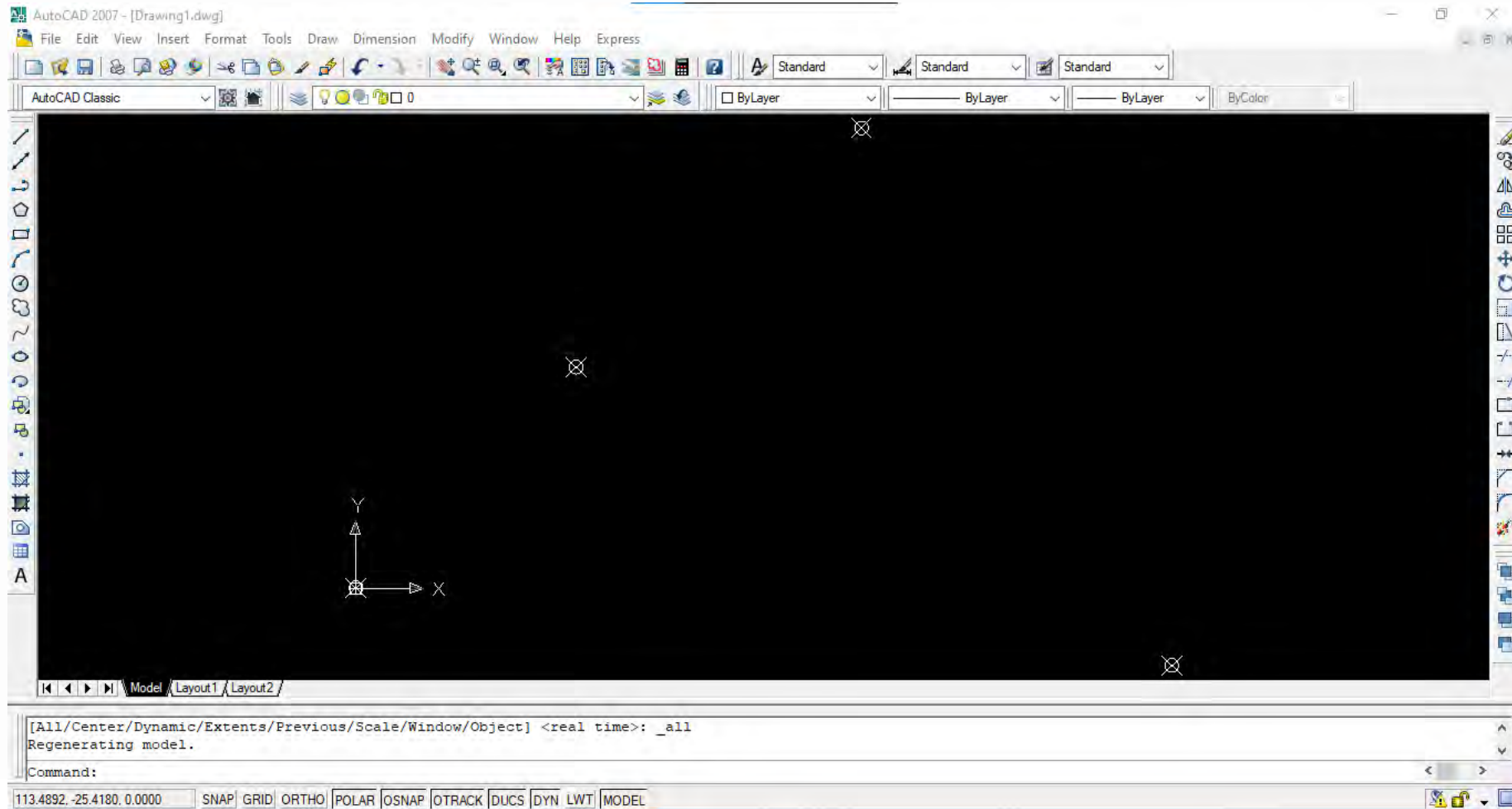
3. Isikan langkah 2 tersebut untuk semua titik, maka hasilnya

Titik	E	N	OPERATOR	GABUNG
A	0	0	PO	0,0
B	71	71	PO	71,71
C	163	148	PO	163,148
D	263	-25	PO	263,-25

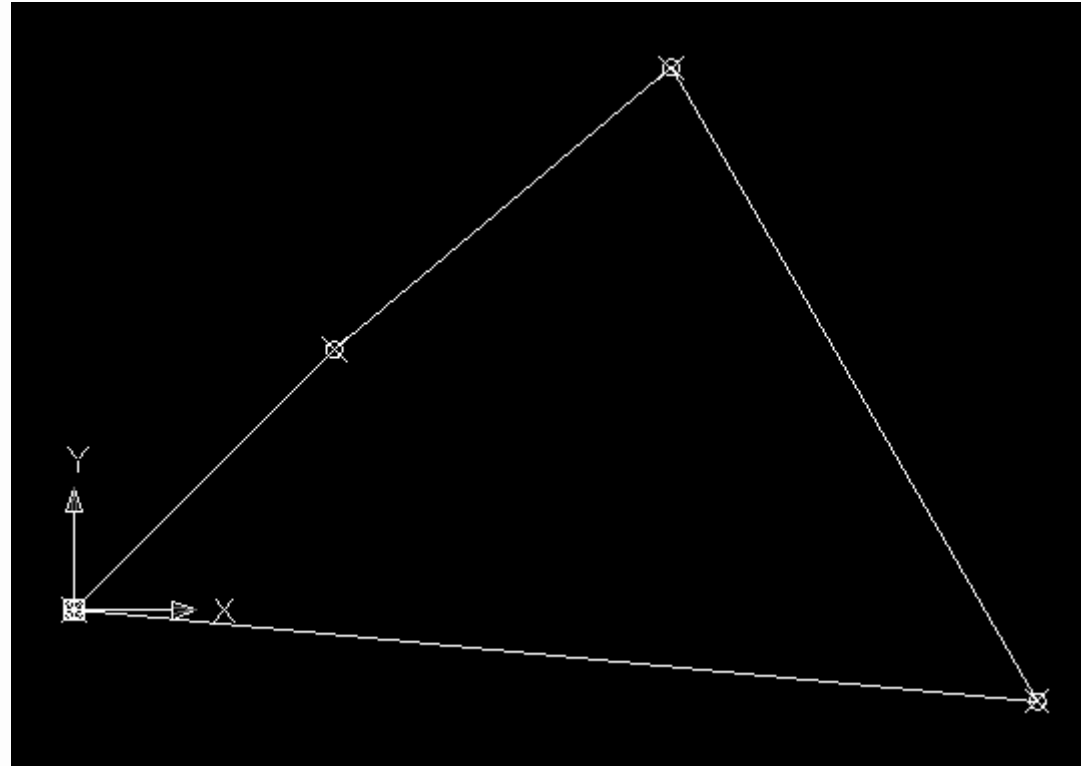
4. Kolom OPERATOR dan GABUNG kemudian di-copy atau ctrl+C
5. Buka AutoCAD, dalam contoh ini menggunakan AutoCAD 2007.
6. Atur bentukan titik koordinat dengan pilih FORMAT pada menu bar → kemudian pilih POINT STYLE. Lalu pilih style titik koordinatnya.



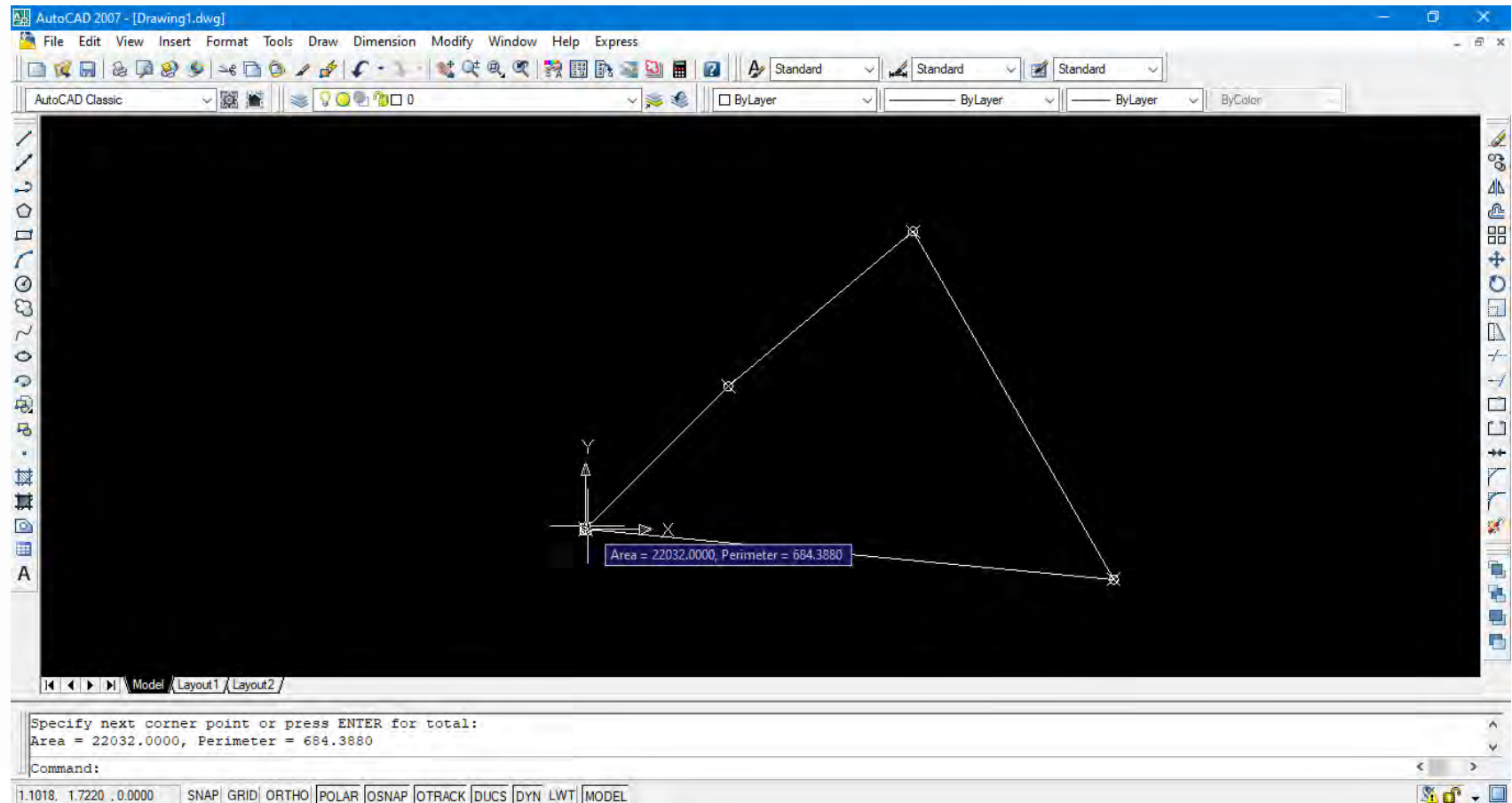
7. Kemudian pada bagian COMMAND di kiri bawah AutoCAD, lakukan paste isian Microsoft Excel yang di-copy tadi.
8. Setelah itu hasilnya akan Nampak sebagai berikut



9. Titik-titik tersebut kemudian dihubungkan dengan garis menggunakan fitur LINE. Hasilnya sebagai berikut



10. Untuk menghitung luas poligon, maka tinggal ketik AREA kemudian ENTER pada AutoCAD, lalu kemudian hubungkan titik-titik koordinat, dalam contoh ini titik A-B-C-D-A. Penghubungan titik koordinat harus kembali ke koordinat asal. Kemudian tekan ENTER dan hasilnya akan muncul.



Didapat Area = 22032 dan perimeter = 684.388

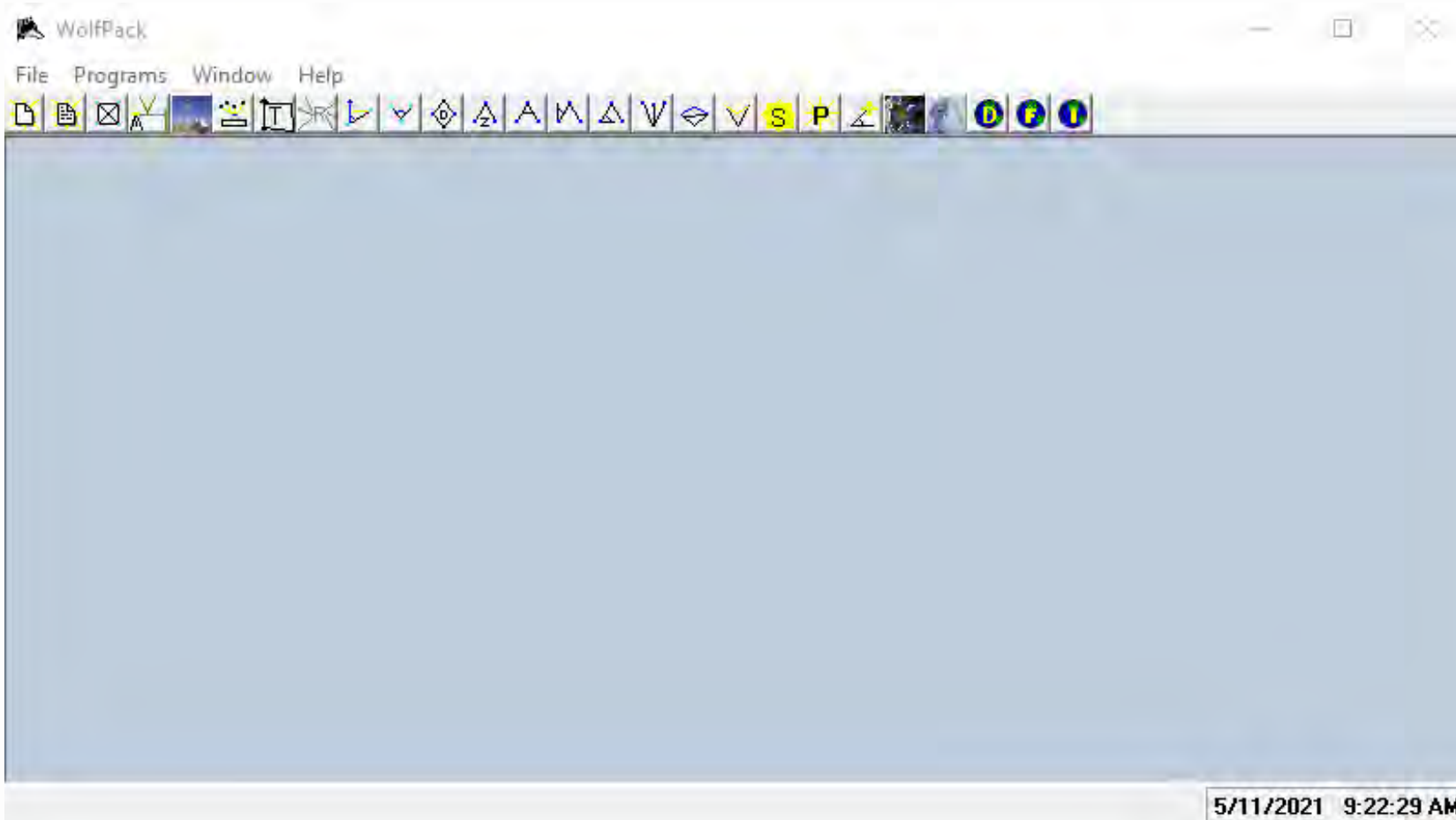
Nb: perimeter keliling poligon.





## Perhitungan luas menggunakan aplikasi Wolfpack Surveying 8.2.3

Setelah download dan dilakukan instalasi, maka bukalah program tersebut dan akan muncul tampilan berikut



Wolfpack memiliki kapabilitas dalam analisis ilmu ukur tanah yang meliputi:

- Analisis poligon dengan traversing.
- Jarak dengan koordinat
- Sudut azimuth
- Kurvatur
- Area dengan koordinat
- DII



Kelemahan program ini adalah menggunakan perintah algoritma layaknya membuat program,, setiap analisis memiliki algoritma yang berbeda. Misalnya, analisis traversing akan berbeda dengan area.

Dlaam hal ini akan fokus pada area. Algoritma yang harus dibuat untuk hitung area adalah

Baris 1 → berisi judul analisis

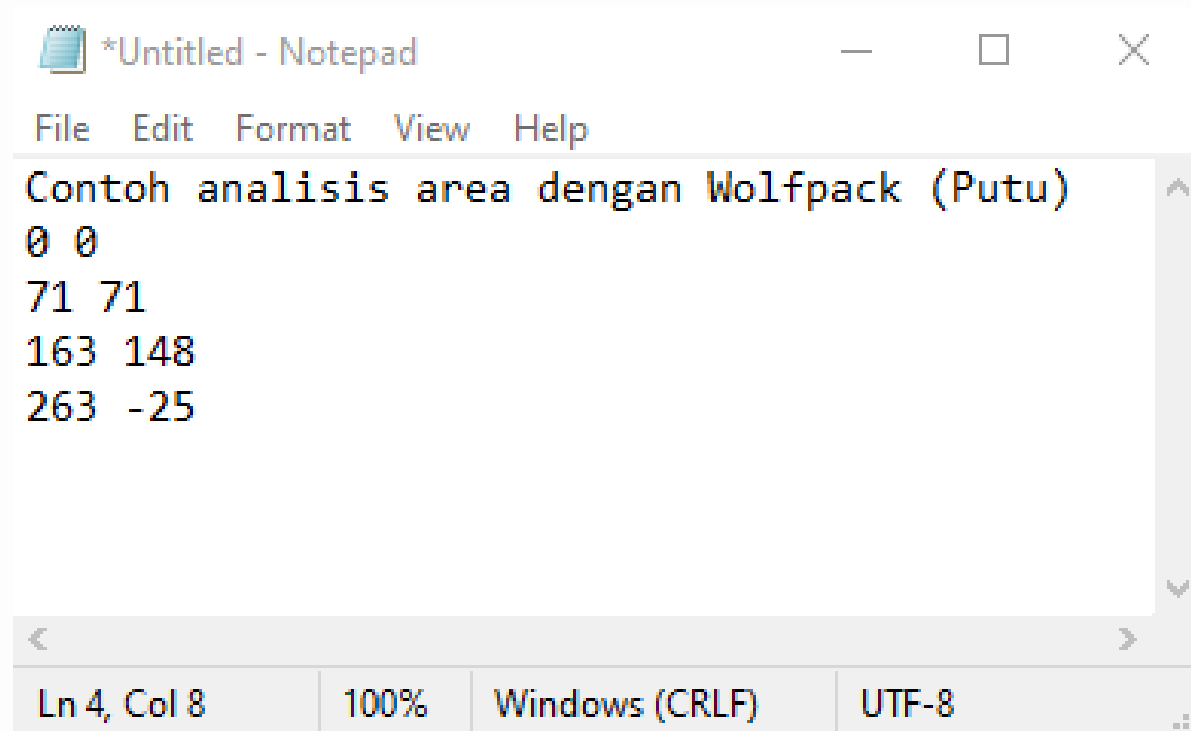
Baris 2 dst → berisi koordinat. Aturan penulisan koordinat adalah:

KOORDINAT X <SPASI> KOORDINAT Y

Agar lebih mudah, bisa ketik dahulu sementara di notepad

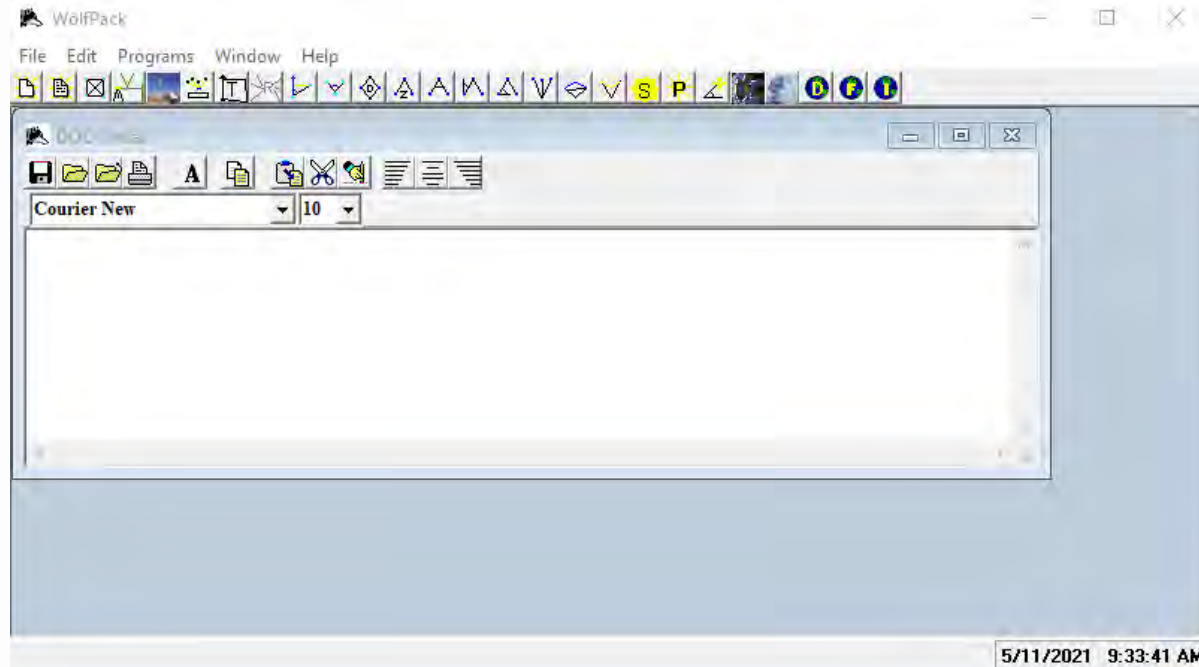


Mengacu pada contoh, maka ketik dahulu di notepad

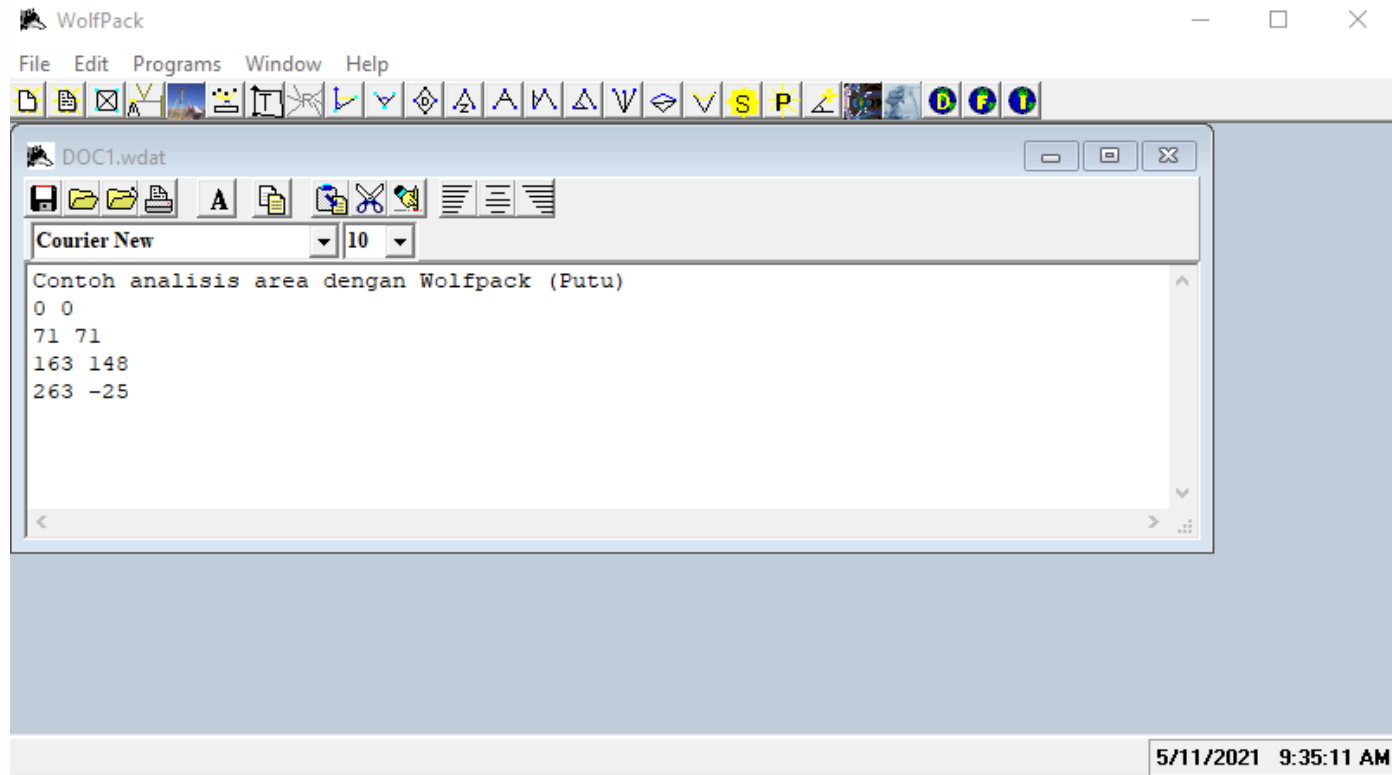


```
*Untitled - Notepad
File Edit Format View Help
Contoh analisis area dengan Wolfpack (Putu)
0 0
71 71
163 148
263 -25
Ln 4, Col 8 | 100% | Windows (CRLF) | UTF-8
```

1. Pada halaman depan WolfPack, pilih FILE → NEW. Akan tampil halaman kerja berikut



2. Copy dan Paste isi kode yang ditulis pada notepad ke lembar kerja nomor 1.



3. Save lembar kerja ini dengan nama dan direktori tertentu yang dipilih, misalnya desktop dll.
4. Kembali ke lembar kerja utama.

5. Pada lembar kerja utama Wolfpack, pilih PROGRAMS → COORDINATE COMPUTATIONS → AREA
6. Pilih file inputan program yang sudah disimpan pada langkah nomor 3.
7. Maka hasilnya terlihat sebagai berikut

```

c:\users\purnaditya\desktop\luas.wout
AREA COMPUTATIONS
*****

Contoh analisis area dengan Wolfpack (Putu)

      X           Y           -           +
-----
      0           0           1,775
      71          71          15,648           0
     163         148          45,499          12,283
     263         -25           0           0
      0           0           0           6,575
-----

                        Sum = 62,922   Sum = 18,858

Area = |Plus area - Minus area|/2 = |18,858 - 62,922|/2
Area = 22,032

```

# Perhitungan Volume

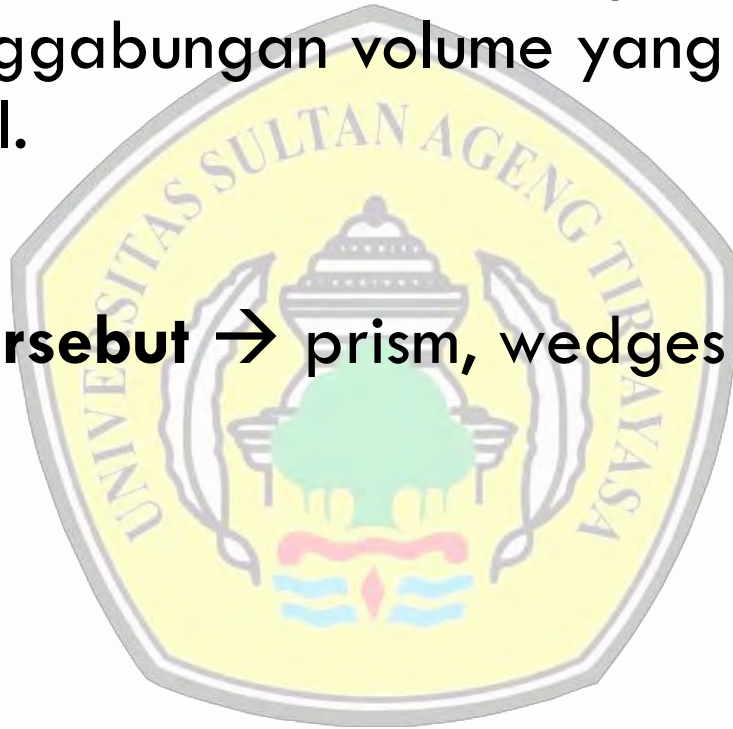
- **Persamaan prismaoidal**
- **Metode end-area**
- **Perhitungan volume berdasarkan kontur**

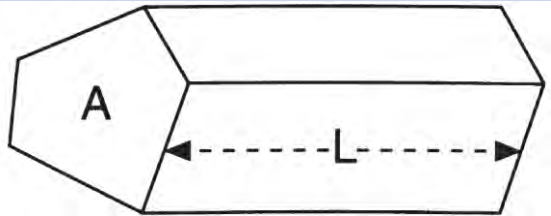
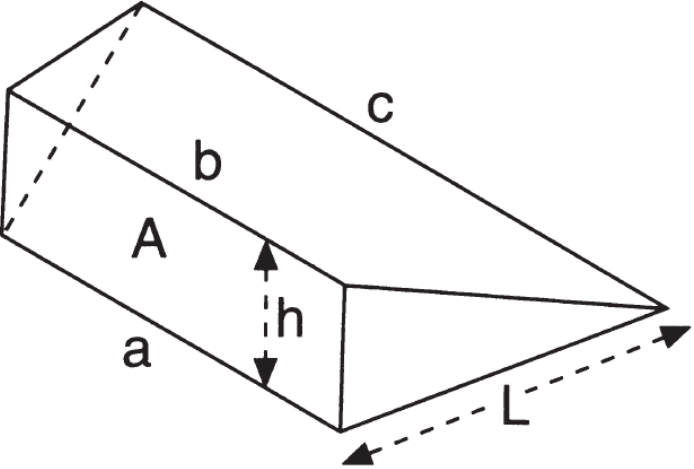
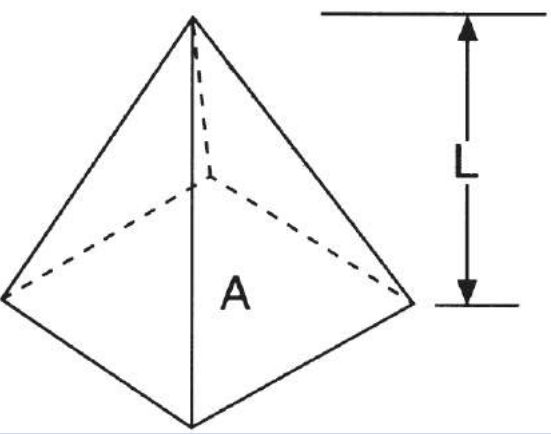


# Persamaan Prismoidal

Pada perhitungan volume, terutama volume geometri ruang yang tidak beraturan → perlu penggabungan volume yang berasal dari bentuk-bentuk dasar prismoidal.

**Bentuk-bentuk dasar tersebut** → prism, wedges dan pyramid



Prismoidal	Gambar	Volume
Prism	 <p>A 3D diagram of a prism. The front face is a pentagon labeled 'A'. A dashed line with arrows at both ends, labeled 'L', indicates the length of the prism.</p>	$V = AL$
Wedges	 <p>A 3D diagram of a wedge. The front face is a trapezoid with a height 'h' indicated by a vertical dashed line with arrows. The top edges are labeled 'a', 'b', and 'c' from left to right. A dashed line with arrows at both ends, labeled 'L', indicates the length of the wedge.</p>	$V = \frac{1}{6}L[(a + b + c)h]$
Pyramid	 <p>A 3D diagram of a pyramid. The base is a square labeled 'A'. A vertical dashed line with arrows at both ends, labeled 'L', indicates the height of the pyramid.</p>	$V = \frac{1}{3}AL$

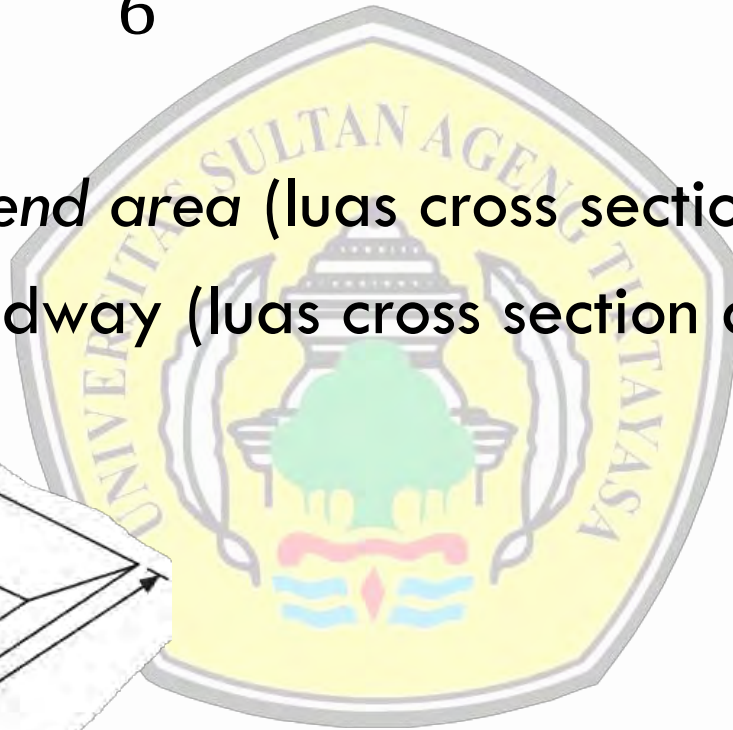
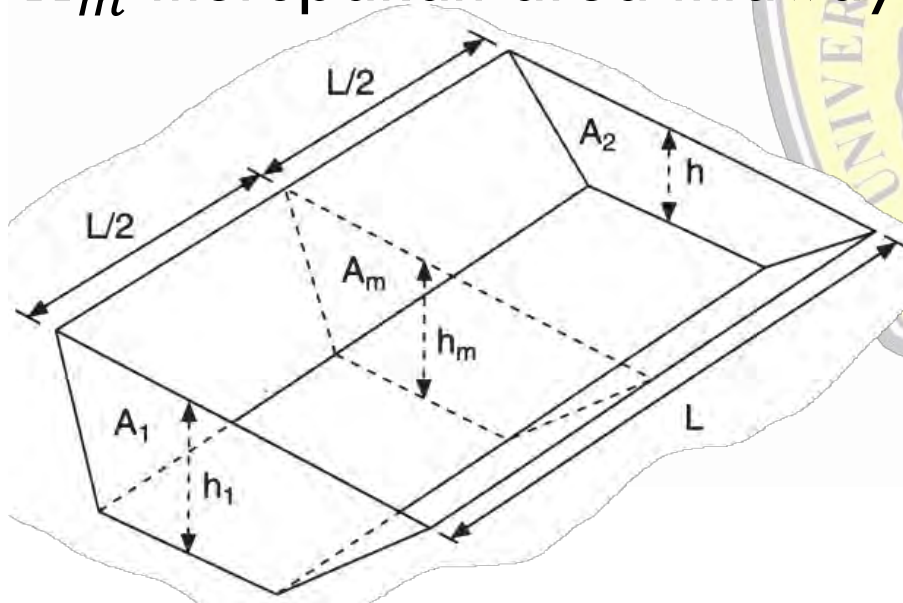
Persamaan-persamaan prismoidal pada tabel tersebut, dapat digeneralkan menjadi **persamaan prismoidal umum**:

$$V = \frac{1}{6} (A_1 + 4A_m + A_2)L$$

Dengan

$A_1$  dan  $A_2$  merupakan *end area* (luas cross section di kedua ujung)

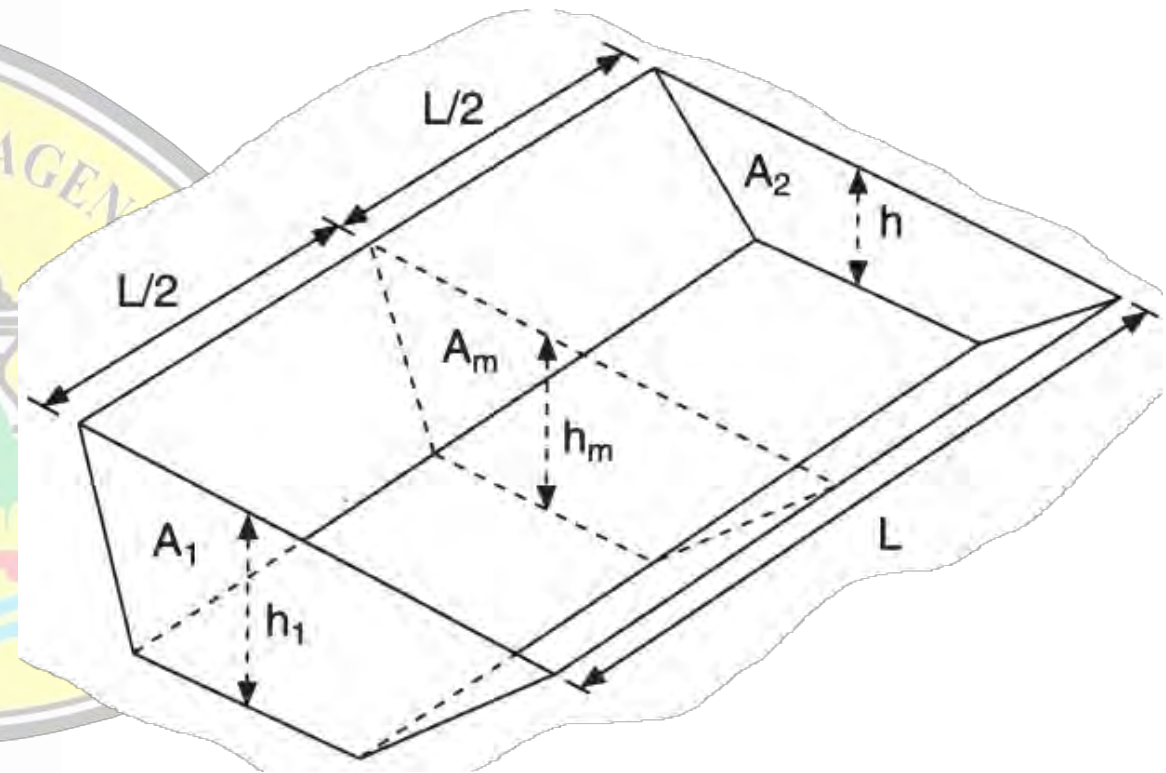
$A_m$  merupakan *area midway* (luas cross section di antara  $A_1$  dan  $A_2$ )



# Metode End-Area

Metode end-area mengalih-ragamkan suatu poligon ruang menjadi bentuk-bentuk kecil sepanjang  $L$ . Artinya adalah bentang poligon ruang yang sepanjang  $L$  tersebut, dibagi-bagi menjadi beberapa panjang  $l$

Misal pada gambar di samping ini, bentang  $L$  dibagi menjadi  $\frac{L}{2}$  sehingga akan ada dua buah bangun poligon ruang



Perhitungan analisis volume akan menjadi:

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

Metode ini akan semakin akurat pada **poligon ruang tak beraturan** jika  $L$  yang dipotong semakin banyak, sehingga rumus umum untuk metode ini adalah

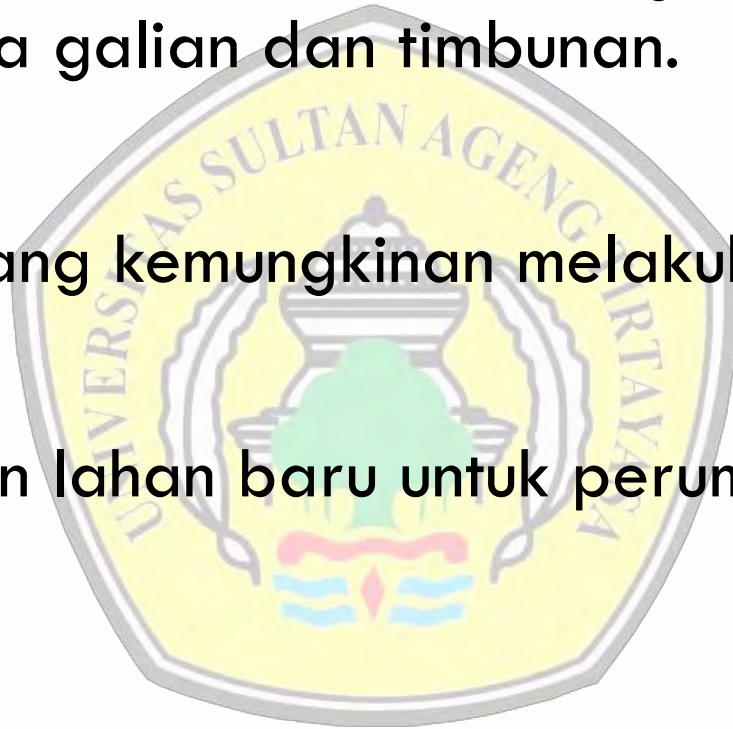
$$V = \sum_{i=1}^n \frac{L}{2n} (A_i + A_{i+1})$$

# Perhitungan Volume Berdasarkan Kontur

Perhitungan volume berdasarkan kontur → digunakan dalam rangka menyeimbangkan antara galian dan timbunan.

Keperluan pekerjaan yang kemungkinan melakukan hal ini:

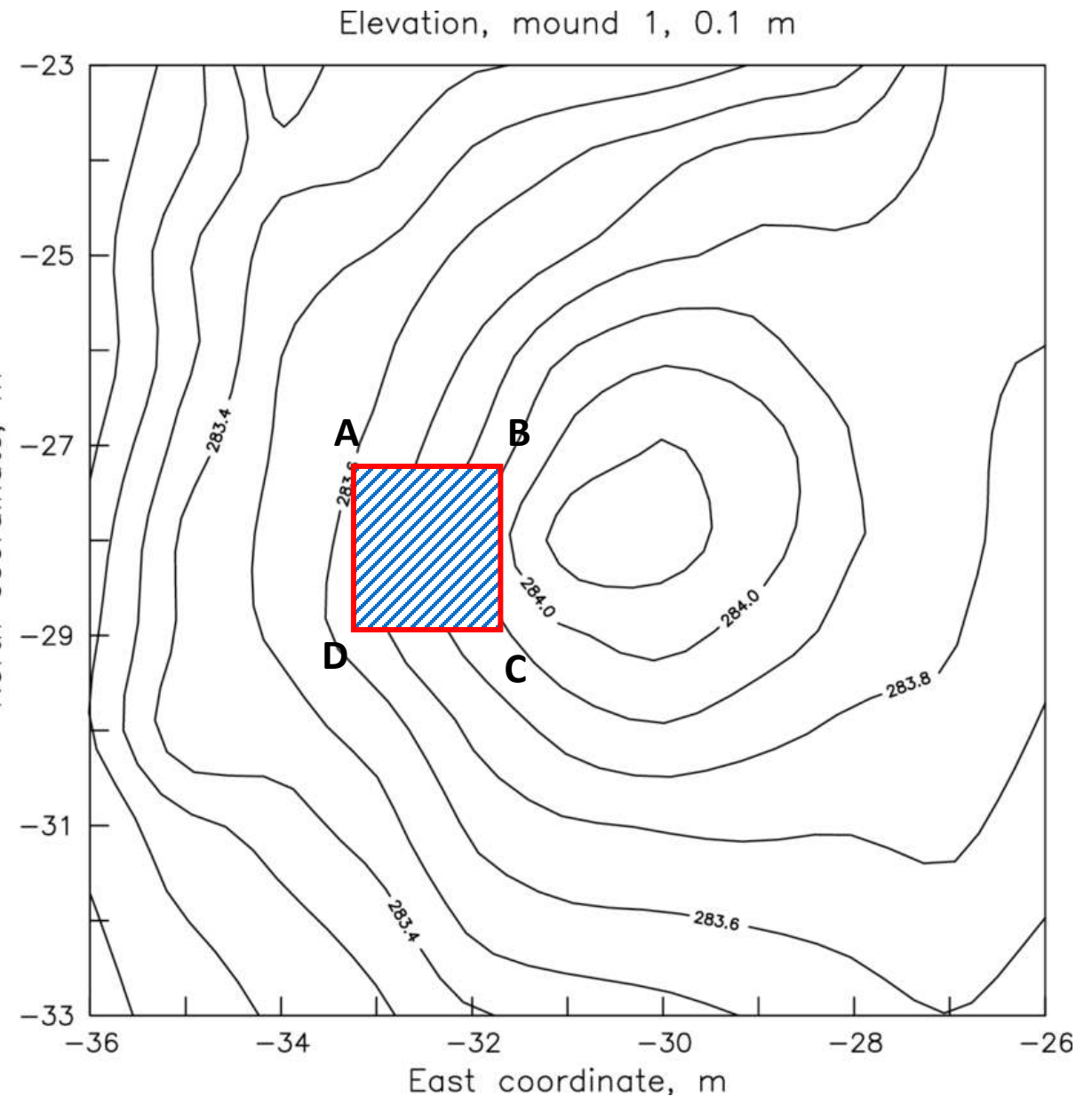
- Pekerjaan jalan.
- Pekerjaan pembukaan lahan baru untuk perumahan, gedung, dll.



Pada kondisi ini, biasanya dilakukan *spot heights* pada kontur dengan menggunakan geometri tertentu, misalnya rectangular. Maksudnya adalah seperti gambar di samping ini

Volume pada area yang dikotak merah dihitung dengan:

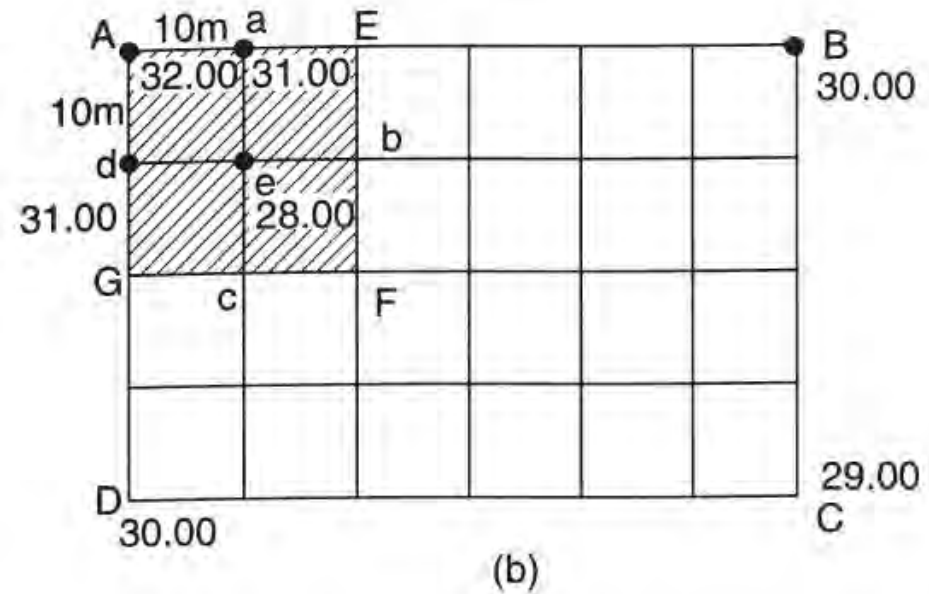
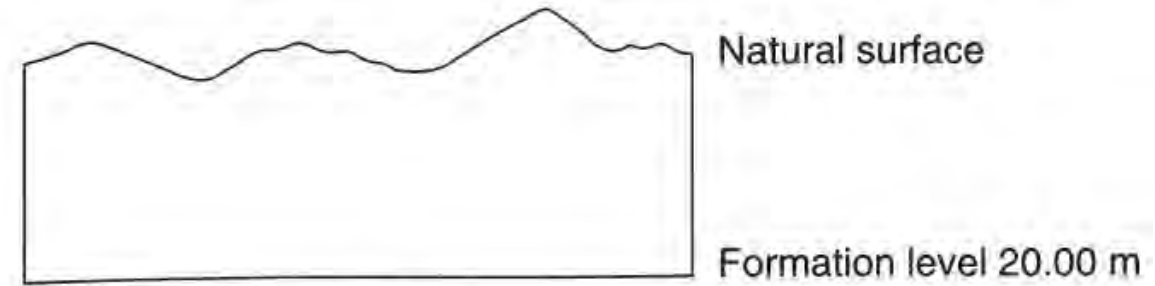
$$V = \text{luas } ABCD \times \text{rerata elevasi } ABCD$$



Jika area terlampau besar, hendaknya dalam satu area dibagi-bagi menjadi banyak *spot heights*, misalnya pada gambar di disamping ini

Volume total dihitung dengan menjumlahkan volume setiap spot.

Semakin kecil ukuran 1 spot dan semakin banyak, perhitungan volume akan semakin teliti.





# Contoh

Diketahui pekerjaan galian sebagai ilustrasi berikut

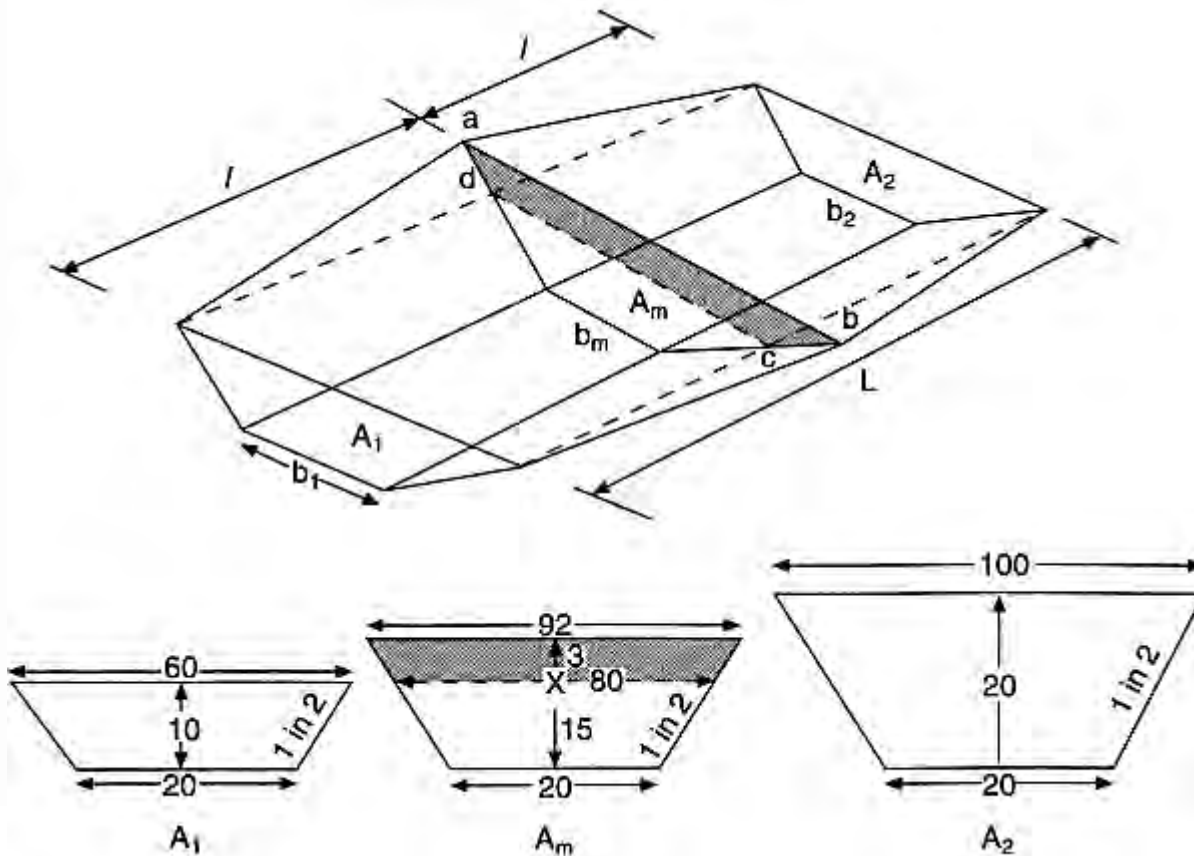
Dengan:

$$L = 60 \text{ m}$$

$$l = 30 \text{ m}$$

Tentukan volume pekerjaan galian tersebut dengan menggunakan metode:

- Kombinasi bentuk-bentuk dasar prismoidal.
- Persamaan umum prismoidal
- Metode end-area



## PEMBAHASAN:

Sebelum dihitung berdasarkan pendekatan beberapa metode, perlu kita definisikan dahulu luas cross section pada beberapa bagian.

$$A_1 = \frac{1}{2} \times (60 + 20) \times 10 = 400 \text{ m}^2$$

$$A_2 = \frac{1}{2} \times (100 + 20) \times 20 = 1200 \text{ m}^2$$

$$A_m = \frac{1}{2} \times (80 + 20) \times 15 = 750 \text{ m}^2$$

## Metode kombinasi bentuk-bentuk dasar prismoidal

Jika menilik gambar pada soal, maka bentuk galian pada soal terdiri atas:

- Bentuk prism
- Bentuk wedge

Dengan demikian maka

$$V_{prism} = \frac{1}{6} (A_1 + 4A_m + A_2)L$$

$$V_{prism} = \frac{1}{6} (400 + 4[750] + 1200)60$$

$$V_{prism} = 46000 \text{ m}^3$$

$$\begin{aligned} V_{wedge 1} &= \frac{1}{6} L([a + b + c]h) \\ V_{wedge 1} &= \frac{1}{6} \times 30 \times ([92 + 80 + 60]3) = 3480 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{wedge 2} &= \frac{1}{6} L([a + b + c]h) \\ V_{wedge 2} &= \frac{1}{6} \times 30 \times ([92 + 80 + 100]3) = 4080 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

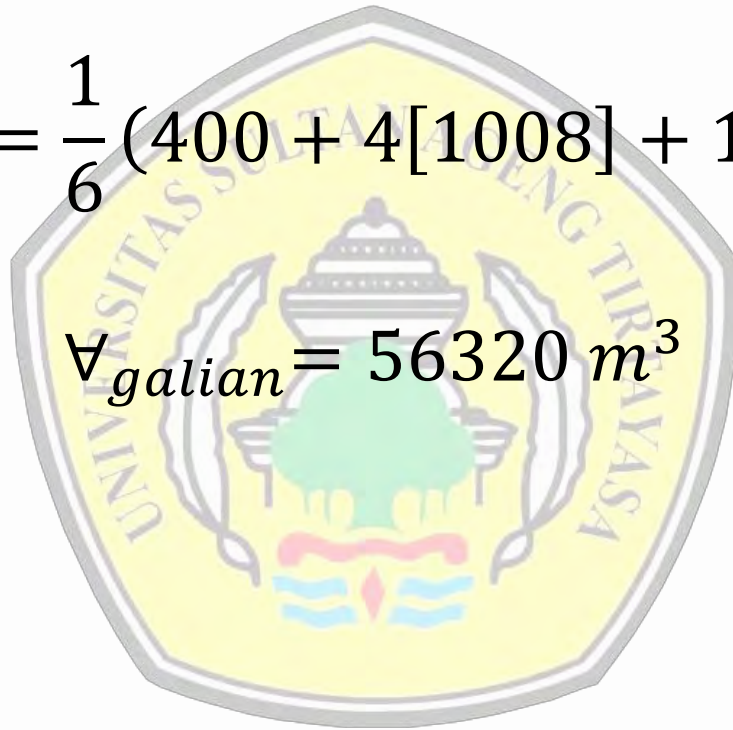
$$\begin{aligned} V_{galian} &= V_{prism} + V_{wedge 1} + V_{wedge 2} \\ V_{galian} &= 46000 + 3480 + 4080 \\ V_{galian} &= 53560 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

## Metode persamaan umum prismoidal

$$A_m = \frac{1}{2} \times (92 + 20) \times 18 = 1008 \text{ m}^2$$

$$V_{galian} = \frac{1}{6} (400 + 4[1008] + 1200)60$$

$$V_{galian} = 56320 \text{ m}^3$$



## Metode end-area

Berdasarkan informasi pada gambar, galian tersebut dibagi menjadi 2 bagian ( $n = 2$ ), dengan demikian maka

$$V_{galian} = \sum_{i=1}^n \frac{L}{2n} (A_i + A_{i+1})$$

$$V_{galian} = \frac{L}{4} (A_1 + A_2) + \frac{L}{4} (A_2 + A_3)$$

Pada kasus ini  $A_2$  pada rumus merujuk pada  $A_m$  pada gambar dan  $A_3$  pada rumus merujuk pada  $A_2$  pada gambar.

$$\nabla_{galian} = \frac{60}{4} (400 + 1008) + \frac{60}{4} (1008 + 1200)$$

$$\nabla_{galian} = 21120 + 33120$$

$$\nabla_{galian} = 54240 \text{ m}^3$$



**- AKAN BERLANJUT KE MATERI  
TERAKHIR: CONTOURING -**





Thank  
you!

*Kind Regards,  
Ngakan Putu Purnaditya  
FI-Untirta*

# Pembuatan Kontur Di AutoCAD Dengan Bantuan QuikGrid

- Ngakan Putu Purnaditya -

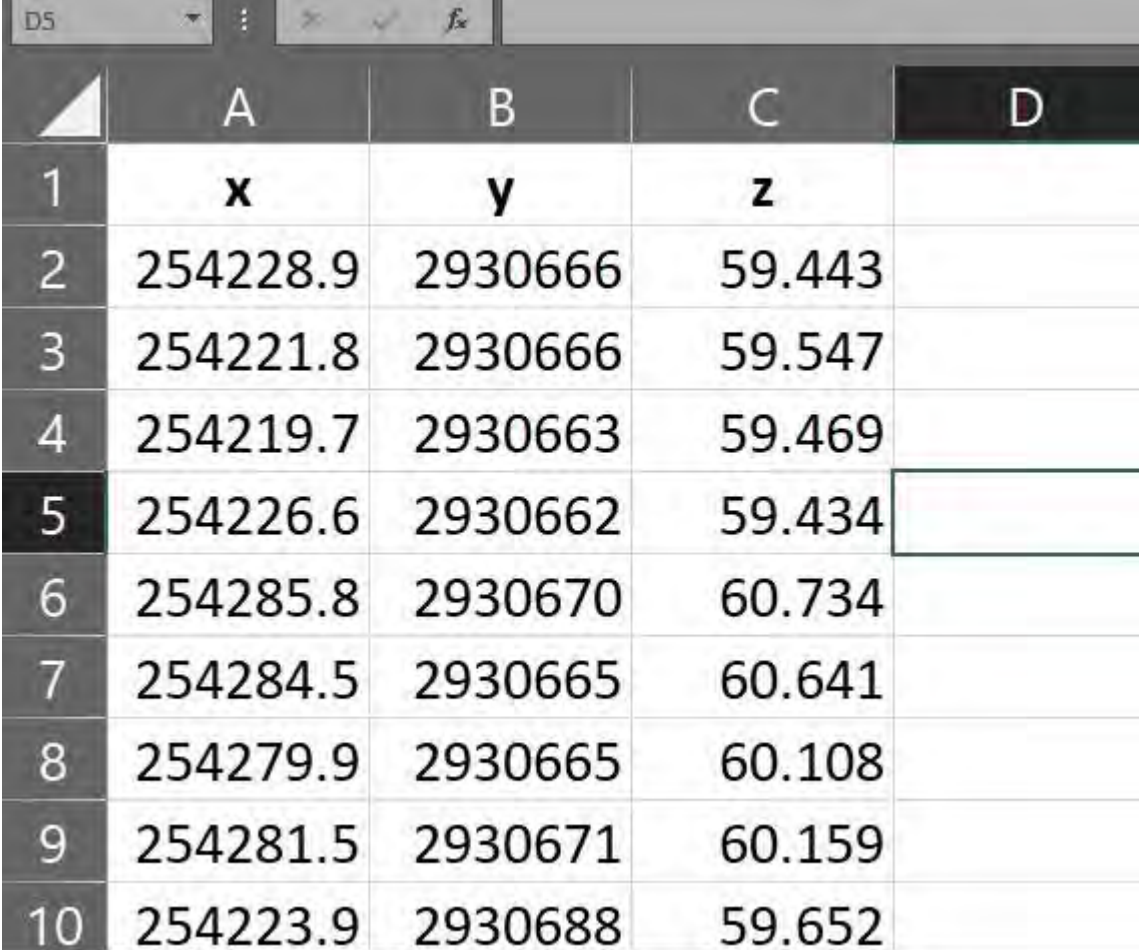
FT UNTIRTA

# LATAR BELAKANG

1. Peta kontur sangat diperlukan untuk mengetahui kondisi topografi suatu wilayah untuk keperluan pembangunan sipil maupun untuk keperluan informasi pola aliran air pada suatu wilayah.
2. Banyak cara digunakan untuk menggambar kontur:
  - Menggambar langsung/free hand → sulit, butuh data elevasi yang sangat banyak dan merata.
  - Menggunakan program GIS → ArcGIS, QGIS dll.
  - Menggunakan program-program berikut → Autodesk Civil3D, ESURVEY CADD, Surfer, dll yang sejenis
  - **Menggunakan program AutoCAD standar dengan bantuan software QuikGrid → ini yang akan dibahas**

# DATA YANG DIPERLUKAN

Dalam membuat kontur dengan AutoCAD + QuikGrid yang diperlukan **HANYA data koordinat x, y, z dengan format file csv.** Contohnya seperti di samping ini (PATUHI URUTAN DAN TATA LETAK KOLOM KOORDINAT X, Y, Z)



The image shows a screenshot of an Excel spreadsheet with a grid of data. The spreadsheet has columns labeled A, B, C, and D, and rows numbered 1 through 10. The data in the spreadsheet is as follows:

	A	B	C	D
1	x	y	z	
2	254228.9	2930666	59.443	
3	254221.8	2930666	59.547	
4	254219.7	2930663	59.469	
5	254226.6	2930662	59.434	
6	254285.8	2930670	60.734	
7	254284.5	2930665	60.641	
8	254279.9	2930665	60.108	
9	254281.5	2930671	60.159	
10	254223.9	2930688	59.652	

# SUMBER-SUMBER DATA

Data yang diperlukan sesuai yang dijelaskan sebelumnya dapat diperoleh dari:

- Pengukuran langsung di lapangan, praktikum, dll
- Tracing GPS
- **Google Earth → ini akan dijelaskan berikutnya**

# TENTANG GOOGLE EARTH: PENGAMBILAN DATA KOORDINAT SUATU WILAYAH

## Pengenalan aplikasi Google Earth Pro

Dengan aplikasi google earth pro, geometriikal dapat dihitung berdasarkan koordinat latitude/lintang dan longitude/bujur. Keunggulan dari program ini bisa menghitung luas/area yang sangat besar, misalnya skala DAS.

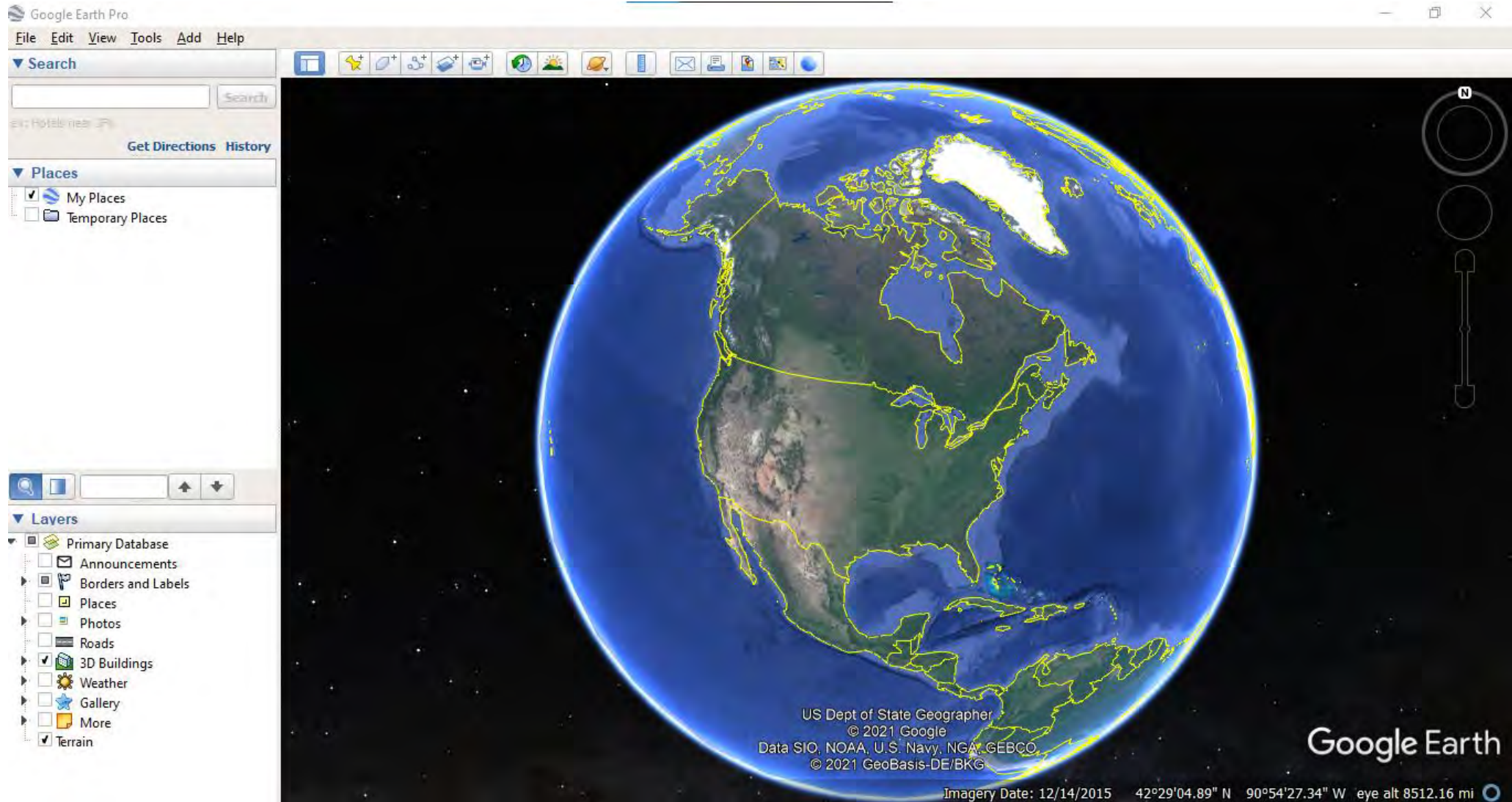
Google Earth Pro dapat diunduh pada tautan:

<https://www.google.com/intl/id/earth/download/gep/agree.html>

Fitur-fitur yang tersedia pada google earth pro

- Koordiat latitude dan longitude
- Altitude sebagai elevasi
- Pengukuran panjang/jarak horizontal
- Image overlay
- Time lapse
- Cross section
- Data exporting
- Dll

# Tampilan awal Google Earh pro

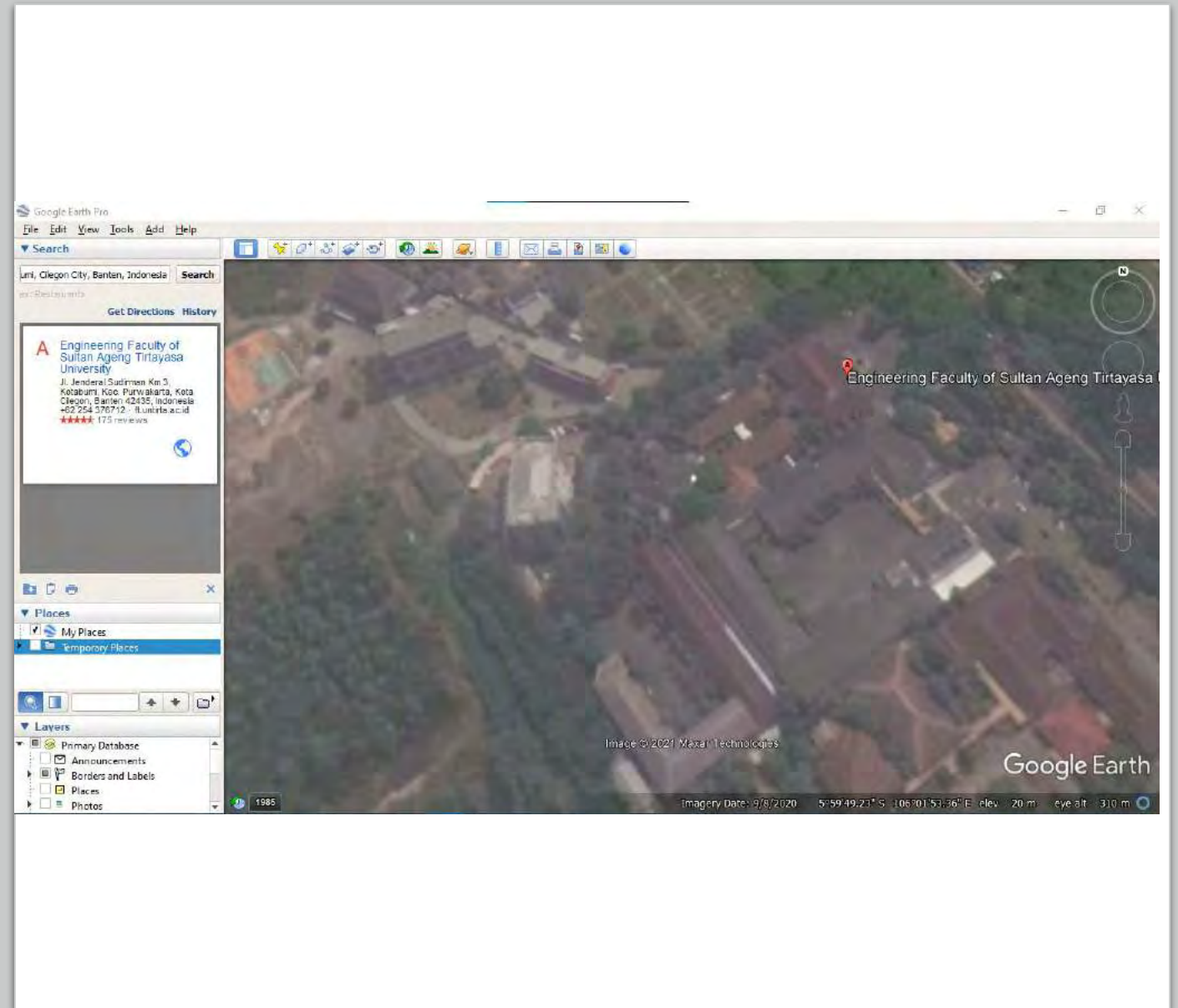




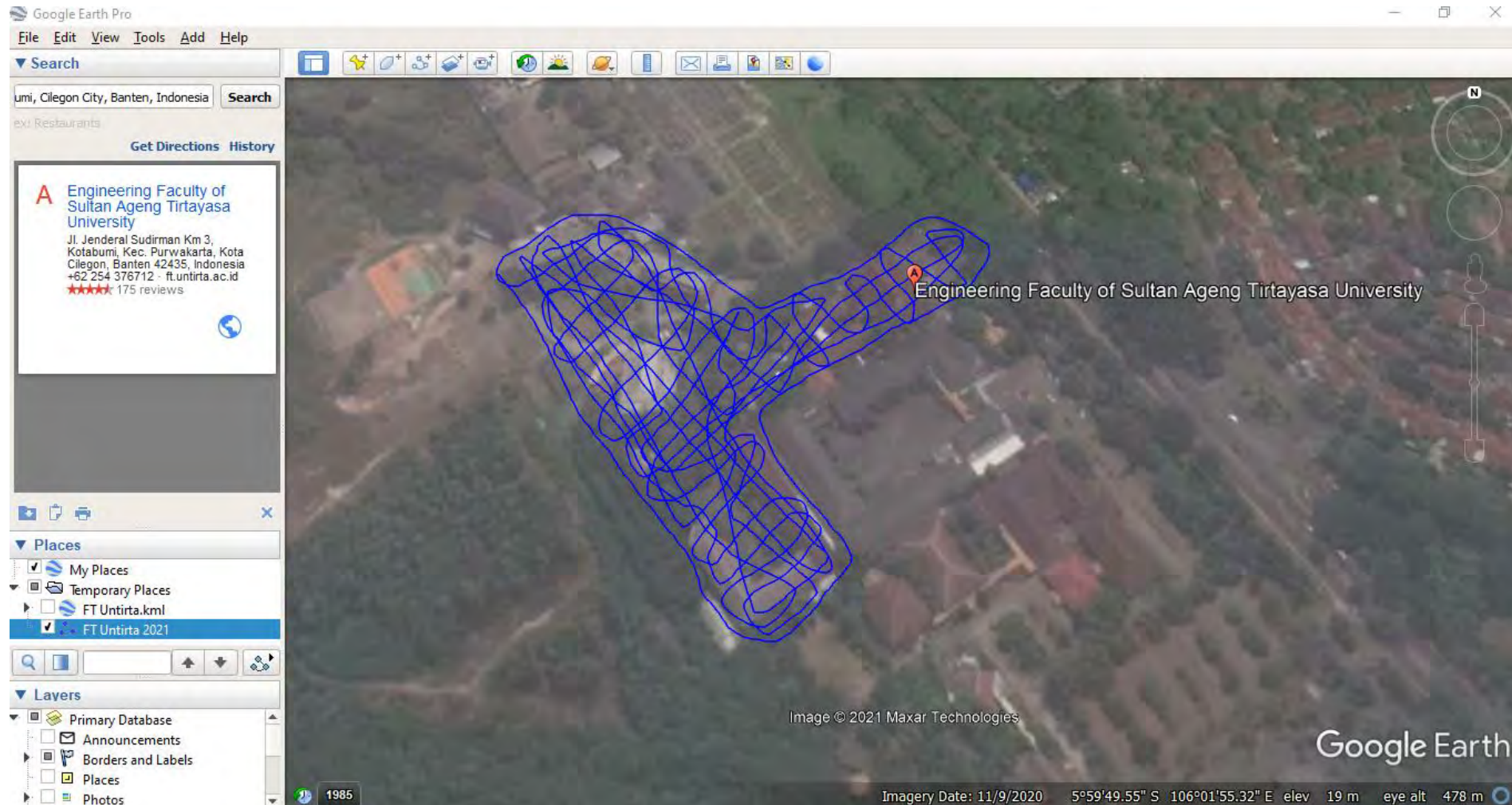
# Pengambilan Data Koordinat x, y, z Suatu Lokasi

Misalnya ingin mengambil koordinat x, y, z kampus FT Untirta

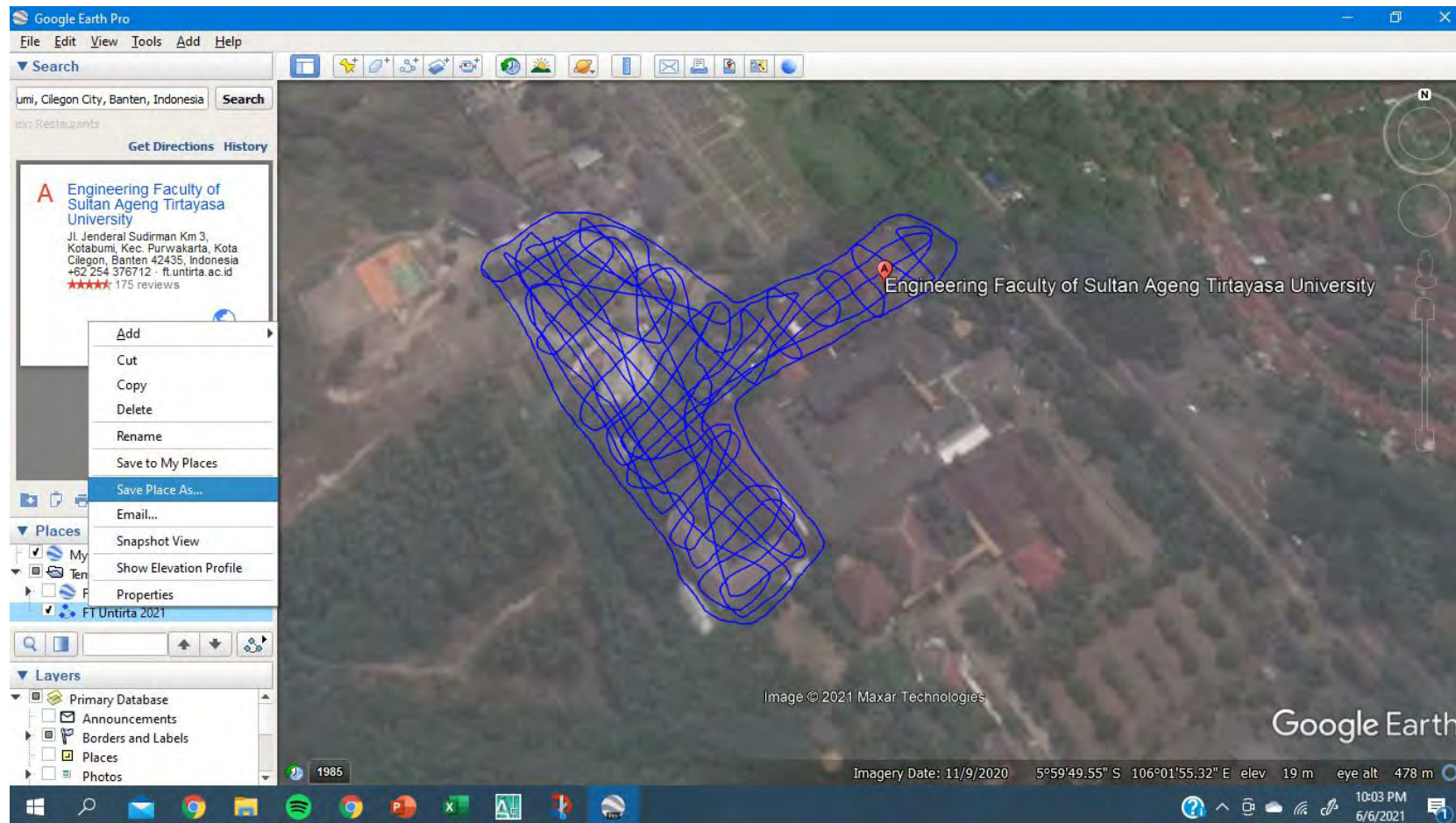
1. Carilah lokasi FT Untirta, bisa mencari manual menggunakan mouse, atau dengan fitur search pada halaman depan Google Earth Pro.



2. Buat garis sembarang dan merata pada area FT Untirta dengan fitur **add path**  pada bagian atas Google Earth Pro. Contoh hasilnya sebagai berikut



3. Lihat bagian kiri Google Earth Pro, klik kanan pada nama garis yang sudah dibuat, pilih **save my place as**
4. Ketik nama file sesuai keinginan dan **GANTI type file sebagai .kml**



# Transformasi File .kml Menjadi File .csv

File .kml yang sudah disimpan, harus dikonversi menjadi file .csv. Langkah-langkahnya adalah.

1. Buka tautan berikut <https://www.gpsvisualizer.com/elevation>
2. Pada bagian **upload file** pilih file .kml yang sudah disimpan.
3. Ganti output file sebagai **plain text**.
4. Klik **convert & add elevation**.
5. Setelah selesai, akan muncul file yang sudah diconvert, klik download

NB: pastikan koneksi internet aktif.

6. Buka MS-Excel
7. Pilih **Data** pada menu bar, kemudian pilih **Get & Transform Data**, lalu pilih **from text/CSV**
8. Pilih file text yang sudah didownload dari GPSVisualizer. Hasilnya harusnya seperti di samping ini

The screenshot shows the Microsoft Excel interface with a CSV file imported. The data is displayed in a table with the following columns: type, latitude, longitude, altitude (m), color, opacity, width, name, and desc. The data rows are as follows:

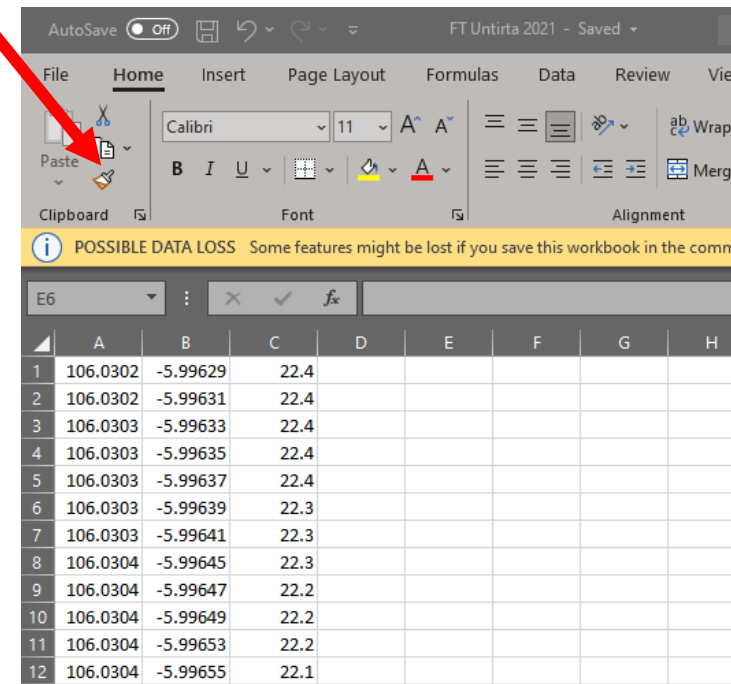
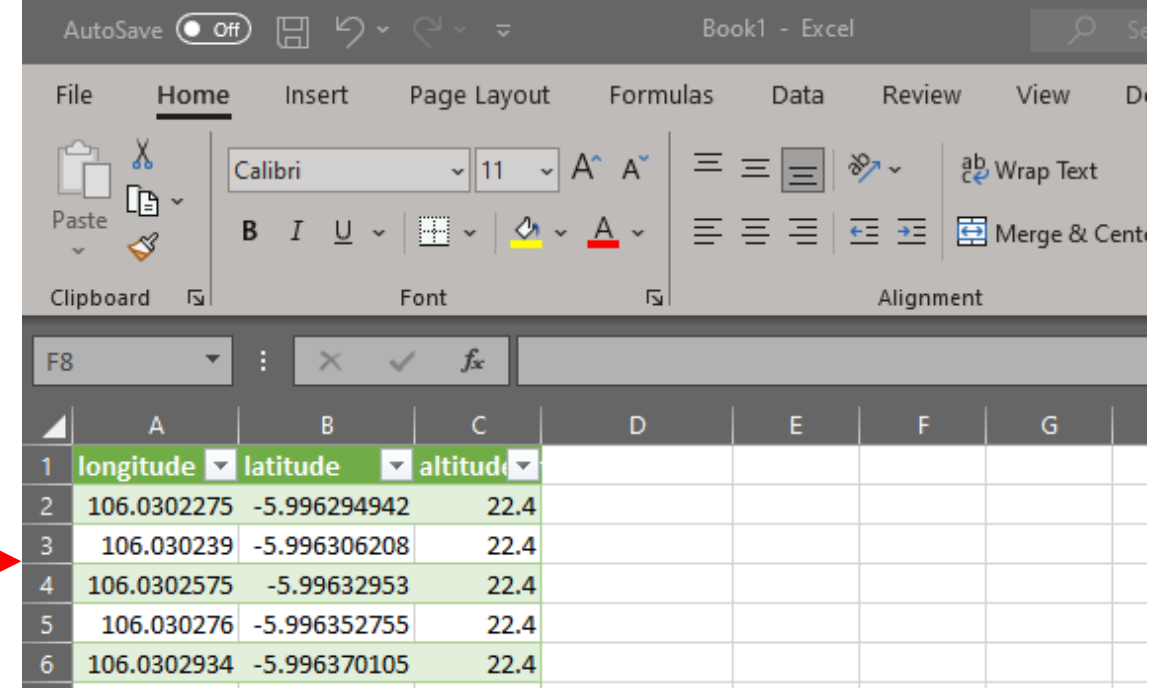
type	latitude	longitude	altitude (m)	color	opacity	width	name	desc
T	-5.996294942	106.0302275	22.4	#0000ff	1	1.5	FT Untirta 2021	
T	-5.996306208	106.030239	22.4					
T	-5.99632953	106.0302575	22.4					
T	-5.996352755	106.030276	22.4					
T	-5.996370105	106.0302934	22.4					
T	-5.99638706	106.0303106	22.3					
T	-5.996408534	106.0303277	22.3					
T	-5.9964462	106.0303517	22.3					
T	-5.996467333	106.0303735	22.2					
T	-5.996493897	106.0303911	22.2					
T	-5.996530503	106.0304192	22.2					
T	-5.99655167	106.0304313	22.1					
T	-5.996584431	106.0304501	22.1					
T	-5.996600792	106.030462	22.1					
T	-5.996622491	106.0304697	22.1					
T	-5.996649584	106.0304925	22					
T	-5.996671091	106.0305001	22					
T	-5.996692584	106.0305124	22.1					
T	-5.996730546	106.030532	22.2					
T	-5.996751794	106.0305443	22.3					
T	-5.996767551	106.0305557	22.3					
T	-5.996784136	106.0305687	22.4					

9. HAPUS kolom **type**, **color**, **opacity**, **width**, **name**, **desc**

10. SUSUN kolom sesuai urutan :  
longitude, latitude, altitude.  
Hasilnya harusnya seperti  
berikut:

11. HAPUS baris 1, sehingga tersisa

12. SAVE file tersebut menjadi .csv



# Mengubah Koordinat Latitude-Longitude Menjadi Cartesian

Koordinat yang diambil pada Google Earth Pro merupakan koordinat garis lintang dan bujur. Data data ini sebenarnya sudah cukup buat diplot ke QuikGrid maupun AutoCAD, namun jika menginginkan dikonversi dapat menggunakan cara berikut

$$x = R \cos(\textit{latitude}) \cos(\textit{longitude})$$

$$y = R \cos(\textit{latitude}) \sin(\textit{longitude})$$

$R \rightarrow$  jari-jari bumi, bisa diambil 6371 km

# PLOT KE QUIKGRID

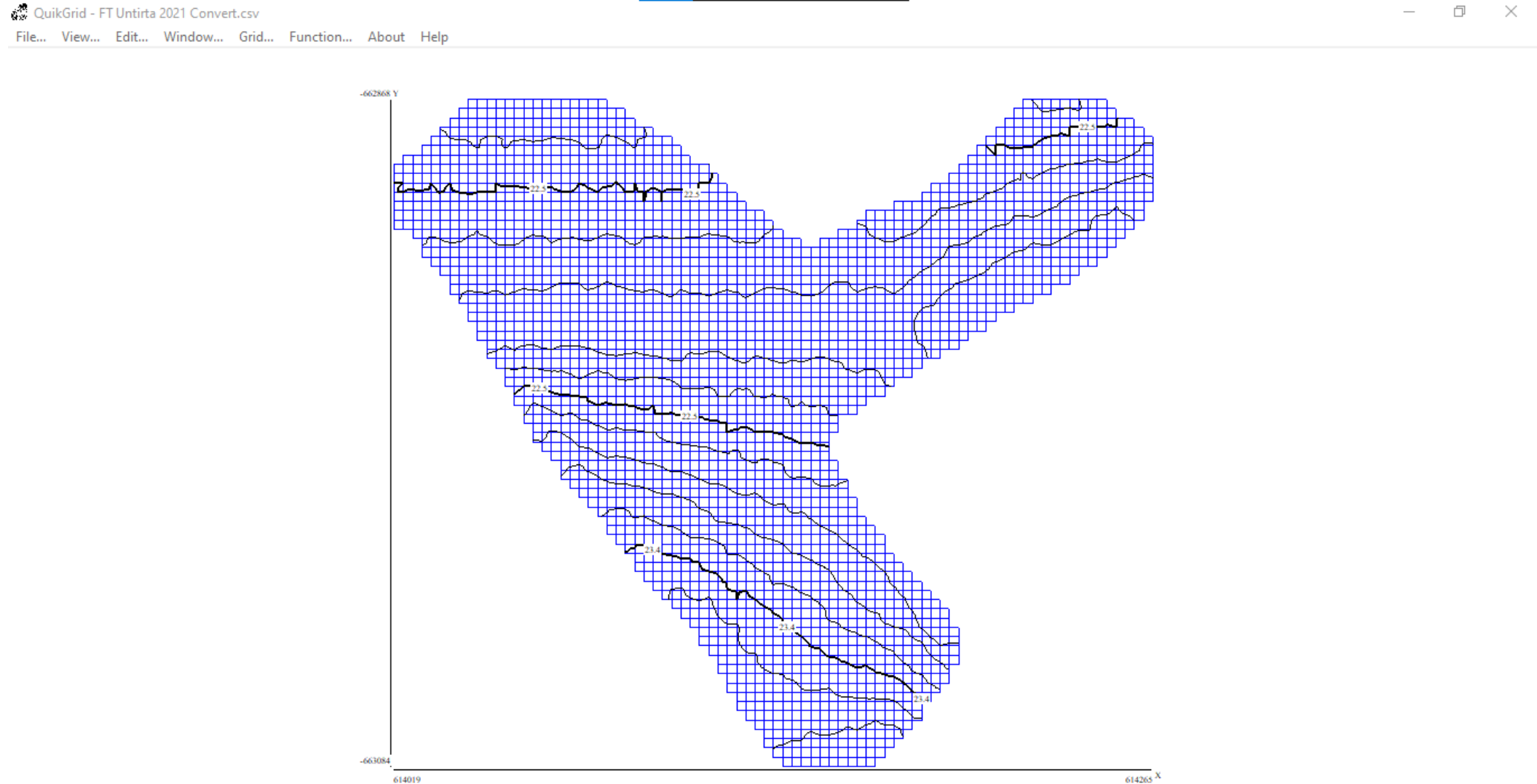
Quikgrid dapat diunduh pada tautan:

<https://www.galiander.ca/quikgrid/>

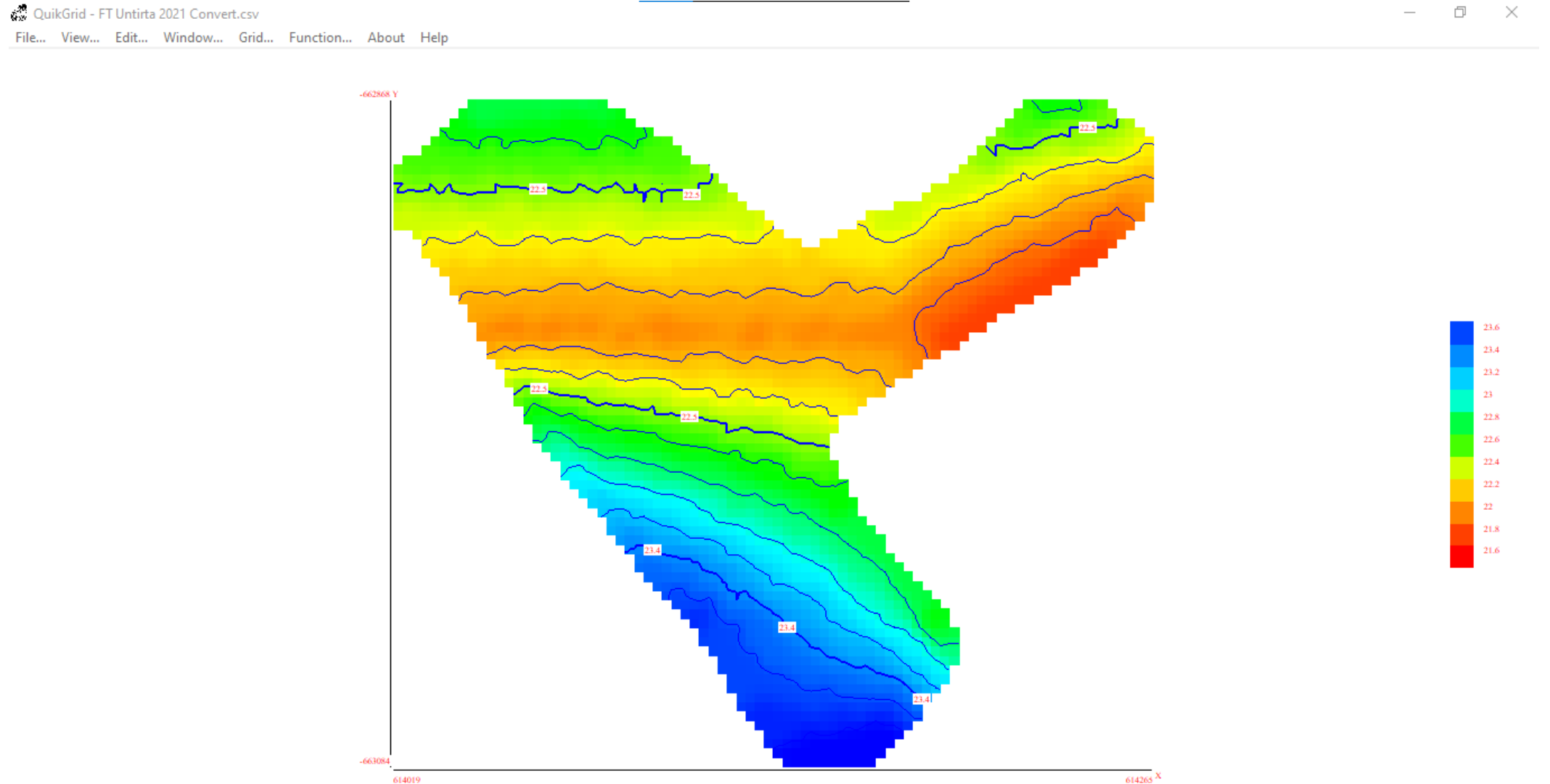
1. Buka quikgrid.
2. Pilih **file** pada menu bar, pilih **input scattered data points**, kemudian pilih **input metric data points**, pilih file .csv yang sudah disimpan.



### 3. Maka hasilnya akan muncul sebagai berikut: peta kontur FT Untirta



#### 4. Operasikan fasilitas-fasilitas pada menu bar **edit** agar tampilan peta kontur dapat menarik. Contohnya

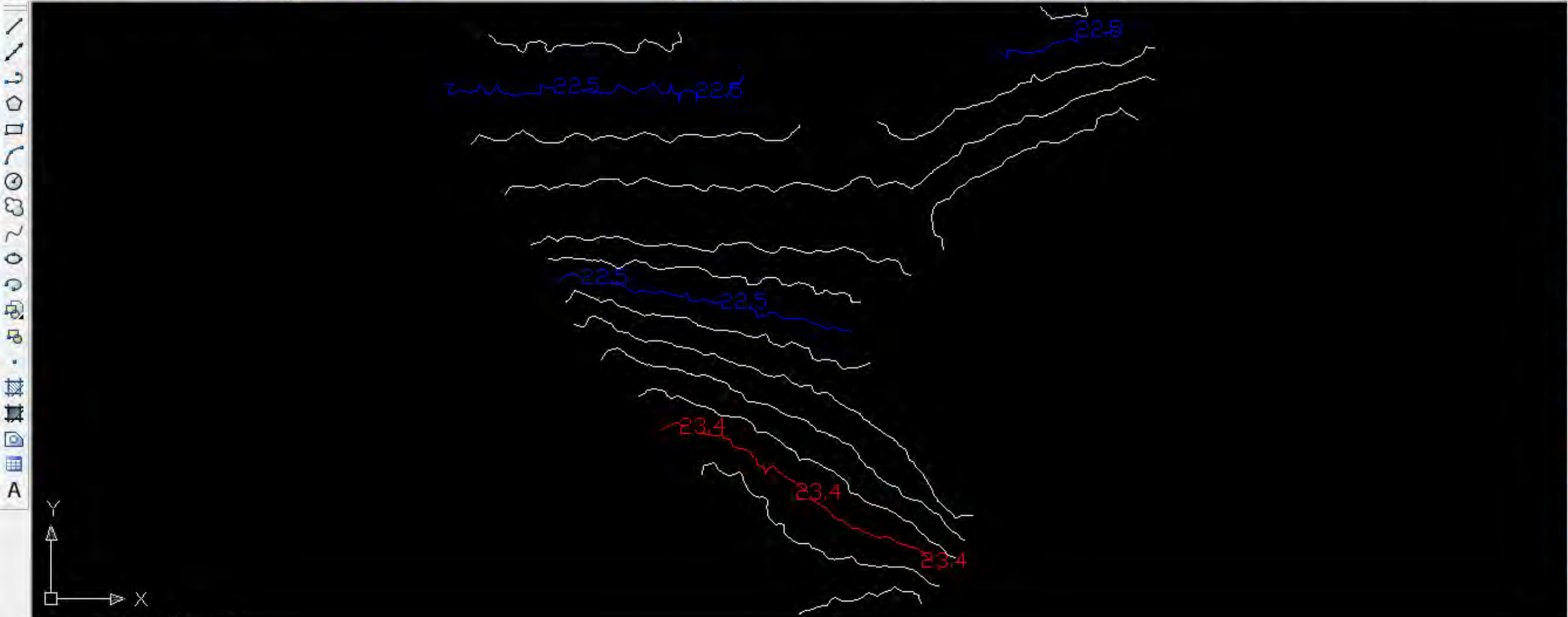


# Transformasi File QuikGrid Ke AutoCAD

Hasil pada QuikGrid dapat diExport ke AutoCAD. Langkah-langkahnya:

1. Pada QuikGrid, pilih **file**, kemudian pilih **export a DXF file**. Simpan di tempat yang diinginkan.
2. Kemudian buka file DXF yang sudah disimpan.

Contoh hasil nya ada pada halaman berikutnya



# TUGAS III (INDIVIDU)

1. Ambil titik-titik koordinat daerah kecamatan tempat tinggal masing-masing. Titik-titik Koordinat bisa diambil dari Google Earth Pro seperti contoh sebelumnya atau boleh dari sumber lain.
2. Buat kontur pada:
  - QuikGrid dan AutoCAD.
  - Program lain yang dikuasai (Program GIS, Civil 3D, Surfer, dll). Jika tidak menguasai program-program ini, dapat diabaikan saja/tidak usah dikerjakan.
3. Buka hasil masing-masing tugas 1. Pada tugas itu sudah didapat nilai x dan y. silakan tambahkan nilai elevasi atau z secara bebas/sembarang angkanya. Plot nilai x, y dan z tersebut pada AutoCAD, kemudian gambar garis konturnya dengan fitur line/gambar langsung. Berikan komentar apa yang dirasakan/didapat, bandingkan dengan teknik pengerjaan pada nomor 2, kemudian berikan penjelasan.
4. Tugas dibuat dalam file **.pdf**, kumpulkan pada tautan: <https://s.id/BinuZ>
5. **Deadline tugas: 11 Juni 2021.**