

MODUL 1

PENGANTAR ILMU UKUR TANAH

Pemahaman awal apa itu ukur tanah, sejarah peralatannya, lingkup, praktek pengukuran dan profesi yang terkait dunia pengukuran yang lebih luas merupakan tahap yang penting bagi awam yang baru mempelajarinya maupun yang pernah mempelajarinya. Untuk maksud itu, modul 1 ini disusun menjadi 6 materi, yaitu pengukuran tanah, instrumen survei di masa lalu, klasifikasi survei, kompetensi surveyor, praktek pengukuran, ketelitian pengukuran, hukum kompensasi, dan catatan lapangan.

Standar kompetensi yang hendak dicapai dengan materi ini adalah mahasiswa mampu membedakan Ilmu Ukur Tanah dengan praktek survei lainnya, dan mampu siap bertindak menjadi surveyor profesional dalam konteks lingkup pengukuran yang lebih luas. Indikatornya, mahasiswa mampu membedakan Ilmu Ukur Tanah dalam arti sempit dan dalam arti luas, mampu menguraikan perkembangan berbagai peralatan survei, mampu mengklasifikasikan macam-macam survei, mampu menjelaskan syarat kompetensi yang harus dimiliki oleh seorang surveyor profesional dalam prakteknya, dan mampu menjelaskan pembuatan catatan-catatan lapangan yang baik.

PENGANTAR

ILMU UKUR TANAH

A. Pengukuran Tanah (*Surveying*)

Ilmu Ukur Tanah didefinisikan sebagai seni penentuan posisi relatif pada, di atas, atau di bawah permukaan bumi, berkenaan dengan pengukuran jarak-jarak, sudut-sudut, dan arah-arah (baik vertikal maupun horisontal).

Seorang yang melakukan pekerjaan pengukuran tanah ini dinamakan Surveyor. Dalam keseharian, seorang surveyor bekerja pada luasan permukaan bumi, dan dalam bekerja, ia adalah pengambil keputusan apakah bumi ini dianggap datar atau melengkung dengan mempertimbangkan cakupan wilayah, sifat pekerjaan, dan ketelitian yang dikehendaki.

Baik gambar rencana maupun peta merupakan representasi grafis permukaan bumi pada bidang horisontal dalam skala tertentu, ada yang mempunyai skala besar dan ada yang skala kecil. Skala didefinisikan sebagai perbandingan tetap antara jarak lokasi di peta dengan di permukaan bumi. Skala 1:500, artinya satu unit jarak di lapangan sama dengan 500 kali unit jarak di peta. Pemilihan skala pada proyek tertentu bergantung pada kerangka acuan yang telah ada atau bisa pula berdasarkan kepraktisan maksud pemetaan yang ada.

Pekerjaan pengukuran menghasilkan data ukuran dan peta yang antara lain berguna untuk menginformasikan bidang-bidang tanah pemilikan, penggunaan tanah, ketinggian permukaan tanah yang dinyatakan dengan garis kontur, peta/gambar rencana (*plan*) untuk persiapan proyek, menarik garis batas tanah, mengukur luasan dan volume tanah, dan memilih tempat yang cocok untuk suatu proyek rekayasa.

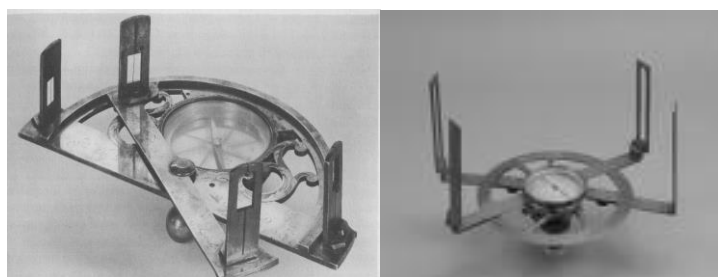
B. Instrumen Survei di Masa Lalu

Sejarah perkembangan survei pengukuran tidak terlepas dari ilmu-ilmu astronomi, astrologi dan matematika. Awalnya, matematika dikembangkan untuk

keperluan praktis dalam kehidupan masyarakat masa itu. Orang-orang Mesir, Yunani dan Romawi menggunakan prinsip-prinsip pengukuran (*surveying*) dan matematika untuk pematokan batas-batas kepemilikan tanah, penempatan (*stake out*) bangunan-bangunan publik, pengukuran dan penghitungan luas tanah. Hubungan yang erat antara matematika dan ilmu ukur tanah nampak dari istilah matematika: **geometri**, yang menurut bahasa Latin berarti **pengukuran bumi**.

Surveyor-surveyor Roma disebut juga *Gromatici* karena menggunakan *groma* dalam pengukurannya. Tujuan utama pengukuran saat itu adalah untuk membuat sudut dua garis satu dengan lainnya di permukaan tanah. *Chorobates* adalah nama yang diberikan pada instrumen sipat datar, terbuat dari kayu sepanjang 20 kaki, di tengahnya diberi lubang (*groove*) sedalam 1 inci dan panjang 5 kaki. Jika gelembung berada di tengah-tengah dan seimbang, garis horisontal (kedataran) telah terbentuk.

Teleskop ditemukan oleh Lippershey pada 1607. Penemuan ini mempunyai andil besar terhadap perkembangan peralatan survei dalam hal peningkatan ketelitian dan kecepatan pengukuran. Sebelum teleskop digunakan untuk pengukuran sudut, orang banyak menggunakan *peep sight* sebagai garis bidik yang banyak digunakan pada survei tambang dan survei tanah (Gb-1.1), instrumen tersebut dinamakan *circumferentor*.



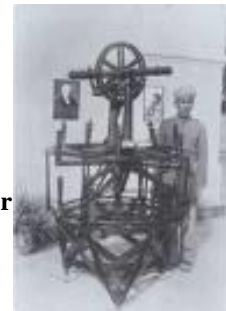
Gb-1.1 *Circumferentor*

Pada 1631, Pierre Vernier, orang Perancis mempublikasikan penemuan instrumen yang dinamakan *vernier*, yang digunakan sebagai alat pembagian skala piringan yang akurat.

Dua orang Amerika, Draper dan Young, 1830, merancang instrumen pengukuran sudut yang dapat diputar pada sumbunya tanpa harus melepaskannya. Instrumen ini sekarang dinamakan *transit*. Transit sebenarnya suatu istilah untuk *theodolite* yang teleskopnya dapat diputar 180° terhadap sumbu horisontalnya sehingga posisinya menjadi berlawanan. Lawannya adalah theodolit non transit yang teleskopnya tidak dapat diputar 180° . Sejak saat itu, peralatan mengalami perubahan-perubahan dan mempunyai andil yang besar dalam perkembangan survei. (Gb-1.2).



Gb-1.2b
Theodolit pertama



Gb-1.2a
Theodolit terbesar



Gb-1.2c
Theodolit pertama buatan AS (Keufel & Esser Co)

Transit atau pun theodolit adalah instrumen yang digunakan untuk mengukur sudut-sudut horisontal dan vertikal. Di Eropa, mula-mula dipakai istilah ‘transit theodolit’ untuk jenis instrumen ukur ini. Namun pada perkembangannya, orang-orang Eropa menyebutnya sebagai ‘theodolit’ saja, sedangkan orang-orang Amerika menyebutnya sebagai ‘transit’ saja. Dari kenampakannya, ‘transit’ lebih terbuka, lingkaran logamnya dapat dibaca melalui nonius/vernier, sedangkan theodolit mempunyai kenampakan yang tertutup. Theodolit mempunyai beberapa keuntungan yaitu lebih ringan, mudah dibaca, dan lain-lain, sehingga mampu mendominasi daripada ‘transit’ ala Amerika. Selanjutnya, buku modul ini menggunakan istilah theodolit.

Theodolit ditemukan oleh Roemer, seorang astronom Denmark pada 1690. Sekitar seabad kemudian, instrumen astronomi itu digunakan untuk keperluan *surveying*. Pada 1893, diadakan penambahan-penambahan pada bagian-bagian instrumen *prototipe* itu sehingga dimungkinkan dipakai untuk pengukuran-pengukuran lainnya dalam kaitannya dengan pengukuran sudut vertikal dan sudut horisontal. Karena sekarang ini theodolit banyak digunakan untuk berbagai keperluan, seperti mengukur sudut horisontal dan vertikal, membuat garis lurus, mengukur *bearing/azimuth*, mengukur jarak horisontal dan vertikal, maka theodolit sering disebut ‘instrumen universal’.

Atas dasar fasilitasnya theodolit dibagi menjadi: theodolit *vernier* sederhana, theodolit mikrometer, theodolit optik (*glass arc*) dan theodolit elektronik/digital. Dua jenis yang pertama sudah jarang digunakan. Theodolit modern saat ini adalah tipe optik dan digital.

Theodolit modern bersifat kompak, ringan, sederhana dan tahan banting. Bagian-bagian dan skalanya tertutup, kedap debu dan kelembaban. Ukuran theodolit ditentukan oleh piringan bawahnya. Sebagai contoh, 20 cm theodolit berarti diameter piringan bawahnya adalah 20 cm. Atas dasar itu, ukuran theodolit bervariasi antara 8 sampai dengan 25 cm.

C. Klasifikasi Survei

Pengklasifikasian survei tidak bersifat mutlak, mungkin ada perbedaan-perbedaan objek dan prosedur yang saling tumpang tindih. Secara garis besar survei dibedakan berdasarkan:

- akurasi yang diinginkan
- metode penentuan posisi
- instrumen yang digunakan
- tujuan survei
- tempat pengukuran

a. Survei atas dasar akurasi

1) **Survei planimetris.** Survei yang berasumsi bahwa permukaan bumi mendatar atau tidak melengkung, walau pun pada kenyataannya permukaan bumi melengkung. Survei ini berasumsi:

- a) Garis level (*level line*) dianggap sebagai garis lurus, oleh sebab itu garis unting-unting (*plumb line*) di suatu titik dianggap paralel (sejajar) dengan di titik lainnya.
- b) Sudut yang dibentuk oleh kedua garis semacam itu merupakan sudut pada bidang datar, bukan sudut pada bidang bola.
- c) Meridian yang melalui dua garis berupa garis paralel (saling sejajar).

Dengan asumsi itu, survei ini cocok bagi pengukuran yang tidak terlalu luas cakupannya. Sebagai gambaran, untuk panjang busur 18,5 km, jika kelengkungan bumi diabaikan akan terjadi kesalahan sebesar 1,52 cm lebih besar. Selisih sudut pengukuran segitiga datar dan bola hanya 1" untuk rata-rata luasan 195,5 km².

Survei planimetris ini tidak digunakan untuk proyek-proyek konstruksi skala besar, seperti pabrik-pabrik, jalan raya, dam, kanal, jembatan layang, rel kereta dan sebagainya, dan tidak juga untuk menentukan batas-batas wilayah.

2) **Survei geodetik.** Survei ini memperhitungkan bentuk bumi yang melengkung dan melakukan pengukuran jarak-jarak dan sudut-sudut ketelitian tinggi. Survei ini diterapkan untuk lokasi yang luas. Penghitungan-penghitungan pada survei ini didasarkan pada **ilmu geodesi**, yaitu ilmu yang mempelajari bentuk dan dimensi bumi, yang merupakan bagian dari prinsip-prinsip dan prosedur-prosedur matematis untuk penentuan posisi titik-titik di permukaan bumi. Boleh jadi, rentang jarak titik-titik itu antara benua satu dengan lainnya.

Berbeda dengan survei planimetris, survei geodetis menganggap garis yang menghubungkan dua titik berupa lengkungan. Panjang garis antar dua titik dikoreksi akibat kurva dan diplotkan pada bidang datar. Sudut-sudut yang terbentuk sebagai perpotongan garis-garis adalah sudut-sudut pada permukaan sferis. Untuk maksud semua itu, diperlukan keterpaduan pekerjaan lapangan dan pertimbangan penghitungan-penghitungan matematis.

Survei geodetis sering digunakan untuk pengadaan titik-titik kontrol teknologi ruang angkasa (*spaced control points*) yang selanjutnya akan digunakan untuk titik-titik ikat bagi titik-titik minor pada survei planimetris. Di Indonesia titik-titik ini banyak diadakan oleh Badan Informasi Geospasial (BIG) dan sebagian lagi diadakan oleh Badan Pertanahan Nasional (BPN).

b. Survei atas dasar metode penentuan posisi

Atas dasar metode penentuan posisi titik di permukaan bumi, dibedakan antara terestris dan ekstraterestris. Metode terestris dilakukan berdasarkan pengukuran dan pengamatan yang semuanya dilakukan di permukaan bumi. Metode ekstraterestris dilakukan berdasarkan pengukuran dan pengamatan dilakukan ke objek atau benda angkasa, baik yang alamiah (bulan, bintang, quasar) maupun yang buatan (satelit). Ada berbagai metode ekstraterestris yang dikenal selama ini: astronomi geodesi, fotografi satelit, SLR (*Satellite Laser Ranging*), LLR (*Lunar Laser Ranging*), VLBI (*Very Long Baseline*

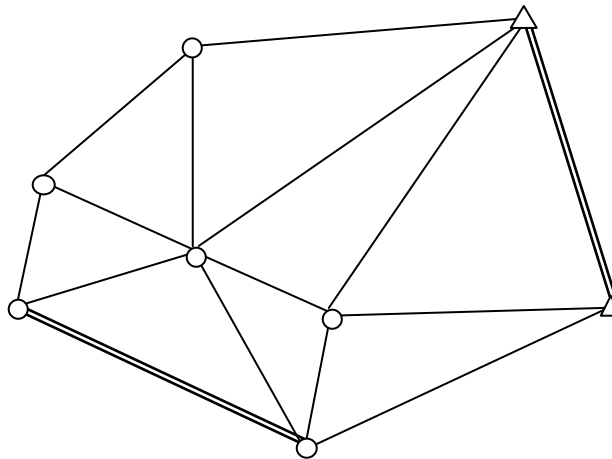
Interferometry), Transit (*Doppler*), dan GNSS (*Global Navigation Satellite System*).

c. Survei atas dasar instrumen

1. **Survei *chain***. Survei ini dilakukan pada luasan yang sempit-terbuka dan pekerjaan lapangannya hanya dilakukan dengan pengukuran-pengukuran linear (jarak-jarak dengan alat pita ukur). Kelemahannya: survei sulit dilakukan pada tempat yang banyak hambatan seperti pepohonan dan sulit dilakukan pada tempat-tempat padat. Survei ini direkomendasikan untuk perencanaan pembangunan gedung, jalan, irigasi, dan saluran limbah.
2. **Survei *traverse***. Istilah *traverse* digunakan untuk pengukuran yang melibatkan pengukuran jarak-jarak dengan pita ukur (*chain*), arah-arah dan sudut-sudut dengan kompas atau theodolit. Kecepatan dan akurasi *traverse* bergantung pada pekerjaan lapangannya. Sebagai contoh, pada pengukuran batas dirancang pengukuran dengan *traverse* terbuka. Sementara itu, untuk pengukuran daerah yang padat dirancang pengukuran *traverse* tertutup. Survei *traverse* cocok untuk proyek-proyek besar seperti pembangunan waduk atau dam. Survei ini identik dengan ‘survei poligon’ karena alat yang digunakannya sama.
3. **Survei *tachimetri***. Istilah ini digunakan untuk survei-survei yang menggunakan metode pengukuran jarak horisontal dan jarak vertikal (beda tinggi) dengan pengamatan rambu ukur melalui theodolit berteleskop khusus yang dilengkapi benang-benang stadia dan lensa-lensa analitis. metode ini sangat berguna untuk lokasi yang sulit dijangkau dalam melakukan pengukuran jarak secara langsung. metode ini cocok untuk membuat kontur bagi pembangunan perumahan, bendungan, dan sebagainya.
4. **Survei menyipat datar (*leveling*)**. Istilah ini digunakan untuk survei pengukuran ketinggian vertikal relatif titik-titik dengan suatu penyipat datar (*waterpass*) dan rambu ukur. Dalam perencanaan proyek konstruksi,

dari mulai bangunan kecil sampai dengan bendungan, penting diukur kedalaman galian pondasi, transis, urugan, dan sebagainya. Hal ini hanya mungkin dilakukan dengan baik dengan mengukur tinggi relatif permukaan tanah dengan penyipat datar.

5. **Plane tabling.** Istilah ini digunakan untuk pengukuran secara grafis yang dilakukan secara serentak antara pekerjaan lapangan dan plotting. Klinometer (alat ukur lereng) bersama *plan table* ini, digunakan untuk pengeplotan garis-garis kontur. Keuntungan survei ini: kecil kemungkinan dijumpai data pengukuran yang tertinggal atau terlupakan karena dilakukan plotting langsung di lapangan, sedangkan kelemahannya: tidak direkomendasikan pada medan beriklim lembab.



Gb-1.3 Jaringan triangulasi

6. **Survei triangulasi.** Jika akan dilakukan pengembangan wilayah, survei triangulasi diadakan. Wilayah itu dibagi-bagi menjadi jaringan segitiga-segitiga (Gb-1.3). Beberapa sisi dipilih dan diukur secara teliti yang disebut *baseline*. Semua sudut diukur dengan transit/theodolit. Kemudian garis-garis lainnya dihitung melalui data ukuran panjang *baseline*, dan sudut-sudut dikoreksi dengan rumus-rumus sinus.

d. Survei atas dasar tujuan

1. **Survei rekayasa.** Survei dilakukan untuk penyediaan data yang lengkap untuk desain rekayasa, seperti: jalan layang, rel kereta, saluran air, saluran limbah, bendungan, jembatan, dan sebagainya. Survei ini terdiri atas tahap-tahap: survei topografi, pengukuran kerja lapangan, penyediaan spesifikasi kualitas, dan pelaksanaan pengukuran sampai pekerjaan selesai. Survei ini sering juga disebut 'survei konstruksi'.



Gb-1.4 Prajurit dan theodolit

penangkis serangan udara, dan kenampakan-kenampakan topografis lainnya dapat disiapkan melalui survei ini. Foto udara dapat menyediakan informasi penting tentang konsentrasi dan pergerakan pasukan-pasukan atau peralatan perang. Informasi ini berguna untuk perencanaan strategis dan taktis untuk tetap bertahan atau menyerang. Pada Gb-1.4 ditunjukkan seorang prajurit yang sedang melakukan pengukuran dengan theodolit.

2. **Survei pertahanan.** Survei ini menjadi bagian sangat penting bagi militer. Hasil survei ini akan menyediakan informasi strategis yang dapat dijadikan putusan kebijakan jalannya peperangan. Peta, foto udara dan kenampakan topografi yang menggambarkan jalur-jalur penting, bandara, pabrik-pabrik, tempat peluncuran rudal, pemantau atau radar, posisi



Gb-1.5 Gyro

3. **Survei geologi.** Survei ini dilakukan baik di permukaan maupun sub-permukaan bumi untuk menentukan lokasi, volume dan cadangan mineral-mineral, dan tipe-tipe batuan. Dengan

penentuan perbedaan struktur, seperti lipatan-lipatan, patahan-patahan dan anomali formasi batuan, dapat ditentukan adanya mineral-mineral berharga.

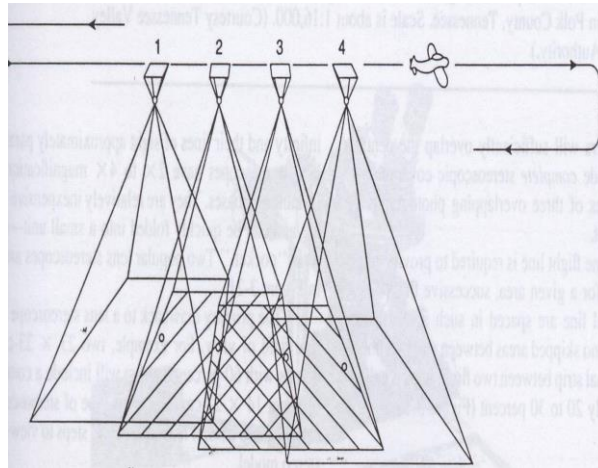
4. **Survei geografi.** Survei ini dilakukan untuk penyediaan data dalam rangka pembuatan peta-peta geografi. Peta-peta itu mungkin dipersiapkan untuk efisiensi atau analisis tata guna tanah, sumber dan intensitas irigasi, lokasi-lokasi fisiografis termasuk air terjun, drainase permukaan, kurva kemiringan, profil kemiringan dan kontur, juga termasuk keadaan geologisnya secara umum.
5. **Survei tambang.** Suatu survei diperlukan juga pada permukaan maupun bawah permukaan. Survei ini terdiri atas survei topografi terhadap kepemilikan tambang dan pembuatan peta permukaan, pembuatan peta bawah tanah untuk mendelineasi secara menyeluruh pekerjaan dan konstruksi rencana bawah tanah, penetapan posisi dan arah terowongan, lubang udara, arah aliran, dan sebagainya, dan persiapan peta geologisnya. Pada survei ini digunakan *gyro* (Gb-1.5).
6. **Survei arkeologi.** Survei ini dilakukan untuk pengungkapan relik-relik (barang peninggalan) antik, peradaban, kerajaan, kota, kampung, benteng, candi, dan sebagainya, yang terkubur akibat gempa bumi, longsor, atau bencana lainnya, dan semuanya itu dilokalisir, ditandai dan diidentifikasi. Ekskavasi di lokasi membantu kita merefleksikan sejarah, budaya dan perkembangan jaman. Hasil-hasil survei ini membantu merumuskan kaitan-kaitan evolusi peradaban dan manusia.
7. **Survei route.** Survei ini dilakukan untuk menempatkan dan mengeset garis-garis di permukaan tanah untuk keperluan jalan raya, rel kereta, jalur kabel dan pipa, dan untuk mengambil data yang perlu. Secara garis besar, urutan survei ini: (1) Survei pendahuluan, dilakukan untuk memperoleh peta-peta terkait, atau bila perlu dilakukan survei secara kasar, (2) survei awal, yaitu survei topografi untuk mendapatkan lokasi kenampakan-kenampakan di permukaan bumi, bila perlu dengan pemotretan udara (3)

survei kontrol, berupa triangulasi atau *traverse* (poligon), dan (4) survei lokasi, yaitu penempatan titik-titik di lapangan.

e. Survei atas dasar tempat

1. **Survei tanah.** Beberapa contoh survei ini di antaranya adalah pengukuran garis batas tanah, penentuan jarak dan asimutnya, pembagian tanah atas dasar bentuk, ukuran, penghitungan luas, pemasangan patok batas bidang tanah dan penentuan lokasinya. Yang termasuk survei ini adalah survei topografi, survei kadastral dan survei perkotaan. Survei topografi menghasilkan peta yang menggambarkan perbedaan-perbedaan ketinggian permukaan tanah dari hasil pengukuran elevasi dan menggambarkan lokasi kenampakan (detail-detail) alam atau buatan manusia. **Survei kadastral** disebut juga survei tanah publik, yaitu survei batas-batas bidang tanah, rumah-rumah dan properti lainnya yang dilakukan di perdesaan maupun perkotaan. Survei perkotaan hampir sama dengan survei kadastral kecuali dalam hal penyesuaian akurasi pengukuran dilakukan proporsional dengan harga tanah tempat survei dilakukan.
2. **Survei hidrografi.** Survei ini berkaitan dengan badan air, seperti sungai, danau, perairan pantai, dan pengambilan data garis pasang surut (pantai) dari badan-badan air tersebut. Selain itu, termasuk dalam survei ini adalah penentuan bentuk permukaan di bawah air untuk menilai faktor-faktor yang mempengaruhi navigasi (pelayaran), keperluan air, konstruksi bangunan air, dan sebagainya.
3. **Survei bawah tanah.** Survei ini dipersiapkan untuk perencanaan bawah tanah, penempatan titik-titik dan arah terowongan, lubang udara, arah aliran, dan sebagainya. Termasuk di dalamnya adalah pekerjaan transformasi koordinat dan arah (*bearing*) dari *baseline* permukaan tanah ke *baseline* bawah tanah. Salah satu contohnya: survei tambang.
4. **Survei udara.** Survei ini dilakukan dengan pemotretan dari pesawat berkamera (Gb-1.6). Survei ini sangat berguna untuk pengadaan peta

skala besar. Survei ini mahal, dan direkomendasikan untuk proyek-proyek pengembangan wilayah, karena survei dari permukaan tanah lambat dan sulit dilakukan bagi wilayah yang padat dan kompleks.



Gb-1.6 Pemotretan Udara

D. Kompetensi Surveyor

Kompetensi surveyor adalah kemampuan minimal surveyor yang wajib dimilikinya agar dapat bekerja dengan baik dan profesional, meliputi pengetahuan akademik, keterampilan teknis, dan karakternya. Ketiga komponen itu saling mendukung pada diri surveyor dalam menghadapi pekerjaan yang berat di lapangan (Gb-1.7).

Surveyor kompeten harus memiliki pengetahuan tentang teori-teori pengukuran dan keterampilan-keterampilan praktis. Pada pengukuran planimetris banyak digunakan geometri, aljabar dan trigonometri. Pengetahuan itu, khususnya trigonometri, wajib diberikan sejak awal kepada calon surveyor pemula. Sementara itu, pekerjaan-pekerjaan kantor pada survei geodetis memerlukan pelatihan hitungan-hitungan khusus lanjut yang lebih rumit.

Untuk kesuksesan kerjanya, karakter dan pola pikir surveyor merupakan faktor-faktor potensial yang lebih penting daripada sekedar pengetahuan-pengetahuan teknis. Surveyor harus bisa memutuskan sesuatu dengan tepat dan rasional. Dia harus memiliki kendali emosi, cepat tanggap terhadap rekan-rekan

kerjanya, membantu anak buahnya dan memperhatikan keperluan-keperluan kerja rekan-rekannya itu. Dengan semua itu, dia merasa belum puas terhadap hasil kerjanya kecuali diperoleh hasil akurat yang telah secara seksama dilakukan pengecekan- pengecekan. Dengan hanya membaca buku, seorang surveyor tidak akan dapat mengembangkan keterampilan dan kemampuan memutuskan, selain itu kemungkinannya dapat menggapai kepuasan kinerja menjadi rendah. Kecakapan bekerja hanya akan bisa terwujud hanya dengan pelatihan-pelatihan lapangan yang rutin dan pembimbingan oleh surveyor- surveyor profesional.



Gb-1.7 Surveyor pada medan dengan kesulitan sangat tinggi

Hal penting lain yang harus dimiliki oleh seorang surveyor adalah kemampuan bertahan, kerja di bawah tekanan alam, kelelahan fisik, dan kondisi keterbatasan. Keselamatan kerja dan alat-alat survei juga merupakan hal yang harus diperhatikan.

E. Praktek Pengukuran

Meskipun tampaknya teori survei planimetris dan survei topografis sederhana, prakteknya di lapangan tidak mudah bahkan bisa sangat kompleks. Oleh sebab itu, pelatihan-pelatihan kepada calon surveyor hendaknya dilakukan dengan arahan yang baik meliputi keseluruhan kompetensi metode lapangan, penggunaan instrumen-instrumen yang terkait, dan pekerjaan-pekerjaan kantor.

Perlu diketahui, permasalahan survei bisa diatasi dengan metode pengamatan yang berbeda dan dengan menggunakan instrumen-instrumen yang berbeda. Jelasnya, pengukuran dua batas pojok bidang tanah dapat dilakukan dengan metode perkiraan, dengan cara stadia, dengan pita ukur, dengan pengukur jarak elektronik (EDM), atau satelit GNSS. Dari beberapa metode itu, terdapat satu metode terbaik yaitu yang hemat waktu, hemat dana, dan tidak mengejar ketelitian tinggi yang memang tidak diperlukan. Namun, perlu diwaspadai, survei dikatakan gagal jika tidak memenuhi standar ketelitian yang diinginkan.

Seorang surveyor harus mengetahui keseluruhan kerugian dan keuntungan metode pengamatan yang berbeda dan juga keterbatasan-keterbatasan instrumen pada umumnya, dengan waktu dan dana yang terbatas. Oleh karena itu, seorang surveyor harus mampu memilih metode yang menghasilkan akurasi yang cukup untuk maksud survei tertentu. Dengan kata lain, seorang surveyor yang baik bukan seseorang yang semata dapat melakukan pengukuran secara teliti, tetapi seseorang yang dapat memilih dan menerapkan pengukuran yang cocok dengan syarat-syarat ketelitian bagi tujuan pengukurannya.

F. Kesalahan dalam Pengukuran

1. Sumber-sumber Kesalahan

Dalam pengukuran, kesalahan-kesalahan sering diklasifikasikan berdasarkan sumbernya, yaitu: kesalahan akibat instrumen, pengamat, dan alam.

- a. Kesalahan instrumen. Kesalahan ini terjadi akibat ketidaksempurnaan instrumen, antara lain: kekurangsempurnaan pembuatan atau kurang

sempurnanya hubungan antar bagian-bagian instrumen. Sebagai contoh, kesalahan panjang pita ukur atau kedataran tabung nivo pada theodolit. Karena alat tidak pernah sempurna, koreksi-koreksi, dan metode-metode pengukuran tertentu dapat dilakukan untuk memperoleh derajat ketelitian pengukuran yang dikehendaki. Perlu diketahui bahwa kesalahan ini telah menjadi perhatian besar bagi industri-industri pembuat instrumen dan dalam perkembangannya penyempurnaan-penyempurnaan itu terus-menerus dilakukan dalam hal desain dan manufakturnya.

- b. Kesalahan pengamat. Kesalahan ini terjadi akibat salah pembidikan dan salah penyentuhan pada bagian-bagian alat oleh pengamat. Seharusnya pengamat terbiasa mengestimasi sampai pada fraksi tertentu skala bacaan dan memperlakukan instrumen dengan tangkas. Kesalahan ini merupakan resultan kesalahan bidikan, sentuhan, salah pengiraan bacaan, dan keterampilan pengamat itu sendiri. Contoh kesalahan ini, salah baca pembagian skala atau salah menepatkan garis bidik pada target.
- c. Kesalahan alam. Kesalahan ini muncul akibat fenomena alam, seperti perubahan suhu, refraksi atmosfer, hembusan angin, dan kelengkungan bumi. Kesalahan ini relatif dapat dikontrol oleh pengamat, tetapi dia harus selalu waspada dan beradaptasi dengan metode-metode yang digunakannya agar kesalahan-kesalahan itu dapat ditolerir.

2. Jenis-jenis Kesalahan

Dalam pengukuran, dua jenis kesalahan akan terjadi, yaitu kesalahan sistematis dan kesalahan tak terduga (acak). Kedua jenis kesalahan ini dapat dikenali dari tanda dan besarnya pada kondisi lapangan tetap dan pada kondisi lapangan yang berubah.

- a. Kesalahan sistematis. Kesalahan ini, pada kondisi lapangan tetap, baik besarnya maupun tandanya akan tetap (Tabel 1). Pada kondisi lapangan yang berubah, besarnya akan berubah tetapi umumnya tandanya tetap. Resultan kesalahan jenis ini merupakan penjumlahan dari seri-seri

kesalahan yang terpisah-pisah. Contoh: kesalahan pita ukur baja akibat temperatur yang meninggi pada saat pengukuran. Diasumsikan panjang pita ukur memiliki standar pada temperatur tertentu. Jika pengukuran dilakukan pada temperatur yang berubah, kesalahan yang muncul akan mengikuti fungsi atau sistem tertentu dengan tanda yang tetap.

- b. Kesalahan tak terduga (acak atau *random*). Kesalahan ini mempunyai tanda – boleh jadi - minus atau plus sama baik pada kondisi tetap maupun berubah (Tabel 1). Pada pengukuran yang berbeda, untuk semua kondisi, besarnya kesalahan ini bervariasi mengikuti hukum peluang. Karena tanda dan besarnya berubah, pengaruh totalnya pada pengukuran akan terkompensasi. Sebagai contoh, kesalahan penempatan *pin* (penepatan tanda ukuran) pada pengukuran jarak. Penempatan *pin* seharusnya tepat pada akhir bacaan pita ukur, namun sering terjadi penempatannya kelebihan, atau kekurangan berada di sekitar tanda patok yang benar. Oleh sebab itu, kesalahan ini bisa negatif atau positif.

Tabel 1.1 Perbedaan kesalahan sistematis dan tak terduga (acak)

Jenis	Kondisi lapangan	
	Tetap	Berubah
Sistematis	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Besarnya tetap ▪ Tanda + atau – tetap 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Besarnya bervariasi ▪ Tanda + atau – umumnya tetap
Tak terduga (acak)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Besarnya bervariasi mengikuti hukum peluang ▪ Tanda + atau – memiliki peluang sama 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Besarnya bervariasi mengikuti hukum peluang ▪ Tanda + atau – memiliki peluang sama

Disarikan dari: Schmidt dan Rayner (1978)

Diskrepani adalah perbedaan antara dua pengukuran pada besaran tertentu. Umumnya, meskipun tidak selalu, mengindikasikan ketelitian pengukurannya.

- c. Kesalahan kasar (*mistake* atau *blunder*) yaitu perbedaan kasar hasil ukuran terhadap nilai sebenarnya (*true value*) akibat kecerobohan, atau kurang perhatian dari Pengamat. Kesalahan itu terdeteksi dengan mengecek hasil ukuran. Sebagai contoh, salah baca, salah catat panjang 89,96 meter ditulis 98,96 meter. Deteksi kesalahan ini hanya dengan pengulangan ukuran bersangkutan atau dengan mengetahui kondisi yang dimungkinkan kesalahan ini terdeteksi. Perlu dipahami, perbedaan antara *error* (kesalahan sistematis dan tak terduga) dengan *mistake* (kesalahan kasar atau sering juga disebut *blunder*) dalam kaitannya dengan perataan kesalahan. Dalam meratakan hasil-hasil ukuran, asumsi yang dipegang adalah: *mistake* sudah terdeteksi dan pengaruhnya terhadap data mentah telah tereliminir.
- d. Pengecekan. Pengecekan hasil ukuran hendaknya selalu dilakukan untuk menghindari kesalahan kasar dan untuk menentukan hasil ketelitian ukuran. Survei tidaklah lengkap sebelum dilakukan pengecekan, baik pekerjaan lapangan maupun kantor. Tidak ada jaminan bahwa hasil ukuran sebelumnya itu tanpa kesalahan. Dalam tanggungjawabnya, secara variatif Surveyor lebih memperhatikan *mistake* daripada *error*.

G. Presisi dan Akurasi

Penting untuk dibedakan antara presisi dan akurasi, atau sering disebut ketelitian dan ketepatan, karena kedua istilah tersebut digunakan dalam mendeskripsikan hasil-hasil pengukuran lapangan dan hitungan-hitungan terkait.

Presisi adalah derajat kehati-hatian atau kehalusan pengukuran-pengukuran fisik yang dibuat. Hal ini terkait dengan keterampilan dalam mengamati dan/atau kemampuan instrumennya.

Akurasi adalah perbedaan antara hasil akhir ukuran dengan nilai absolut (nilai sebenarnya), atau bisa juga disebut derajat kesempurnaan.

Sebagai contoh, jarak absolut ukuran sisi bidang tanah 24 m. diukur dengan instrumen A dihasilkan ukuran lebih panjang 0,1 m. Diukur dengan instrumen B, dihasilkan panjang lebih sebesar 0,001 m. Jika perlakuan kehati-hatian dan kehalusan pengukurannya sama, kedua pengukuran itu memiliki presisi yang sama. Dengan mudah dapat dilihat, ukuran B lebih akurat. Dengan kata lain, kedua ukuran itu memiliki presisi yang sama tetapi yang satu lebih akurat dari lainnya. Dapat dibayangkan juga dalam kasus tertentu, pengukuran A lebih presisi tapi kurang akurat. Pengukuran mungkin presisi tanpa selalu akurat, dan sebaliknya.

H. Hukum Kompensasi

Telah dijelaskan pada bagian ‘jenis-jenis kesalahan’, bahwa ada perbedaan perlakuan antara kesalahan sistematis dan kesalahan tak terduga. Berdasarkan pengalaman, kesalahan tak terduga mengikuti hukum kompensasi: ‘dalam sejumlah pengamatan, kesalahan tak terkompensasi atau residual besarnya sebanding dengan akar kuadrat dari jumlah kemungkinan kejadiannya’.

Sebagai contoh, jarak 1 Km akan diukur dengan pita ukur 50 m dengan 20 kali bentangan. Diketahui kesalahan akibat temperatur 0,5 mm lebih panjang dari pita ukur standar pada tiap kali bentangan. Kesalahan *pin* atau penepatan bacaan sebesar $\pm 0,5$ mm. Tanda \pm ini menunjukkan kesalahan berpeluang sama antara plus atau minus. Maka untuk jarak 1 Km, jumlah kejadiannya adalah 20 kali. Dengan demikian:

$$\text{Kesalahan yang disebabkan temperatur} = -0,5 \times 20 = -10,00 \text{ mm}$$

$$\text{Kesalahan yang disebabkan penepatan} = \pm 0,5 \times \sqrt{20} = \pm 2,24 \text{ mm}$$

Jadi, meskipun pada awalnya besarnya kesalahan pengukuran sama pada tiap kali bentangan, tetapi setelah 20 kali kejadian, resultannya berbeda. Besarnya kesalahan sistematis kurang lebih lima kali lebih besar daripada kesalahan tak terduga.

I. Catatan Lapangan

Catatan lapangan merupakan bagian penting yang perlu perhatian lebih. Para surveyor seharusnya menyadari sejak awal, bahwa kualitas pekerjaan bergantung pada catatan-catatan lapangan itu. Pencatatan seharusnya menyajikan hasil-hasil pengukuran yang handal dan informasi-informasi lain yang ada di lapangan. Oleh sebab itu, pencatatan hendaknya hanya dilakukan di lapangan, tidak cepat rusak, jelas terbaca, lengkap, dan satu penafsiran. Kertas yang digunakan harus yang baik dan digunakan pensil jenis keras-menengah (3H-4H) yang rucing sehingga dapat ditekan pada kertas, atau menggunakan tinta tahan air.

Pencatatan harus dilakukan di lapangan dan dilakukan dengan rapi, oleh karena itu dibutuhkan alas tulis/gambar berupa *fieldboard* (papan tulis lapangan). Mungkin suatu kali kita mencatat hasil ukuran pada kertas lepas yang kemudian disalin kembali, mungkin kita menggunakan memori perekaman khusus, cara-cara itu bermanfaat, namun semua itu bukanlah catatan lapangan. Keabsahan dan kehandalan catatan lapangan selalu disangsikan kecuali telah dituliskan pada waktu dan tempat ketika data ukuran itu diperoleh.

Untuk mewujudkan dokumen yang lengkap, pencatatan seharusnya mencatat semua data dan sekaligus interpretasinya untuk menjawab pertanyaan yang mungkin muncul pada saat survei dilakukan. Pencatatan tidak akan lengkap jika surveyor tidak sadar akan kegunaan data. Data tidak hanya digunakan saat itu saja, tetapi juga di masa mendatang. Sering pengukuran kembali dilakukan setelah beberapa tahun berlalu dengan kondisi fisik yang telah berubah, misalnya pengembalian batas tanah. Catatan asli yang lengkap merupakan hal penting untuk tujuan itu, jika tidak lengkap catatan itu bisa sia-sia, tidak berguna.

Supaya bermanfaat, catatan lapangan harus terbaca. Untuk itu, tidak hanya kejelasan penulisannya tetapi juga bentuk hurufnya. Beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam pencatatan lapangan, adalah:

1. Dilarang melakukan penghapusan. Jika ada kesalahan cukup dicoret dengan garis mendatar, kemudian data yang benar dituliskan di atas/bawah data aslinya. Penghapusan akan mengurangi keabsahan data ukuran.
2. Gunakan singkatan atau simbol yang baku supaya ringkas, supaya petugas kantor yang lain mengerti maksudnya.
3. Pastikan indeks diisi, nomor halaman (“halaman 2 dari 17”), hari, tanggal, nama surveyor, nama pencatat, instrumen yang digunakan, lokasi, dan cuaca yang mungkin mempengaruhi hasil ukuran.
4. Tidak perlu ragu, gunakan narasi untuk menjelaskan aspek-aspek penting dari proyek survei;
5. Gunakan selalu sumber data asli dalam memulai dan mengakhiri survei. Pengecekan berbagai sumber data sangatlah berguna.
6. Catat data sesuai dengan format formulirnya.

Latihan

- 1) Apa perbedaan survei planimetris dan geodetis?
- 2) Jelaskan secara singkat, survei tambang, survei pemoteratan udara, survei pertahanan, dan survei kadastral !
- 3) Jelaskan, untuk menjadi surveyor kompeten, apakah cukup seorang surveyor menguasai teori-teori pengukuran?
- 4) Berkaitan dengan tujuan pengukuran, apakah pertimbangan pengukuran yang teliti selalu baik?

Rangkuman

Ilmu Ukur Tanah merupakan bagian dari seni pengukuran (*suveying*) yaitu penentuan posisi relatif pada, di atas, atau di bawah permukaan bumi.

Peralatan survei ada sejak jaman Mesir Kuno yang ilmunya itu sendiri berinduk pada astronomi, astrologi dan matematika. Pada perkembangannya, peralatan

survei dipengaruhi oleh penemuan pembagian skala (*vernier*) dan teleskop, yang nantinya menjadi 'transit' di Amerika dan 'theodolit' di Eropa.

Survei, meskipun tidak kaku, dapat diklasifikasikan atas dasar akurasinya, metode penentuan posisinya, instrumen yang digunakannya, tujuannya, dan tempatnya. Atas dasar itu, pekerjaan survei dapat memiliki lebih dari satu klasifikasi bergantung pada sudut pandangnya.

Surveyor Kompeten tidak cukup hanya memiliki kemampuan akademis dan keterampilan teknis yang baik, tetapi harus didukung oleh fisik yang tangguh, dan karakter yang kuat yaitu kendali emosi yang baik dan ketahanan mental dalam menghadapi tekanan fisik di lapangan. Perlakuan terhadap peralatan survei dan keselamatan kerja juga faktor penting untuk menjadi Surveyor Kompeten.

Pada saat pengukuran, Surveyor secara bijak mempertimbangkan waktu dan dana untuk dapat menerapkan metode pengukuran yang optimal, metode yang teliti bagi suatu pekerjaan tidaklah selalu tepat untuk pekerjaan lainnya.

Catatan lapangan merupakan bukti otentik di lapangan, haruslah dibuat di lapangan secara lengkap dengan interpretasinya, jelas, dan terbaca. Beberapa tips catatan lapangan hendaknya diikuti oleh Surveyor untuk kelancaran kerjanya.

Tes formatif 1

1. Istilah yang digunakan pada theodolit yang dapat diputar 180^0 terhadap sumbu horisontalnya dinamakan:
 - a. Transit
 - b. Circumferentor
 - c. Gromatici
 - d. Chorobates
2. Peristiwa yang tidak mempengaruhi perkembangan theodolit:
 - a. ditemukannya vernier
 - b. ditemukannya transit
 - c. ditemukannya teleskop
 - d. ditemukannya chorobates

3. Survei dengan luasan sempit, menganggap bumi datar, atas dasar ketelitiannya tergolong survei:
 - a. Survei geodetis
 - b. Survei planimetris
 - c. Survei tachimetri
 - d. Survei traverse
4. Survei BPN yang di dalamnya terdapat pemasangan patok batas bidang tanah, atas dasar tempatnya tergolong survei:
 - a. Survei udara
 - b. Survei hidrografis
 - c. Survei terestris
 - d. Survei tanah
5. Berikut tiga jenis kompetensi yang harus dipunyai oleh seorang Surveyor, kecuali:
 - a. Akademik
 - b. Keterampilan teknis
 - c. Badan kekar
 - d. Karakter yang baik
6. Memiliki kendali emosi, cepat tanggap, termasuk kompetensi:
 - a. akademik
 - b. keterampilan teknis
 - c. karakter yang baik
 - d. psikomotorik
7. Pada pekerjaan pengukuran survei yang baik adalah:
 - a. Survei yang teliti
 - b. Survei yang menggunakan alat canggih
 - c. Survei yang cepat selesai
 - d. Survei yang disesuaikan antara tujuan, dana dan waktu
8. Pembuatan jarak dalam rangka pembuatan sketsa pada tempat terbuka, metode yang paling tepat digunakan:

- a. GPS
 - b. Pita ukur
 - c. Langkah kaki
 - d. Theodolit
9. Pensil yang digunakan untuk survei, sebaiknya:
- a. Pensil 2B
 - b. Pensil HB
 - c. Pensil EE
 - d. Pensil 4H
10. Peralatan tulis yang tidak perlu digunakan pada saat survei:
- a. Pensil
 - b. Ballpoint
 - c. Penghapus
 - d. Penggaris

Cocokkan jawaban Saudara dengan kunci jawaban tes formatif 1 yang ada pada halaman akhir modul ini. Hitunglah jawaban Saudara yang benar (B), hitunglah tingkat penguasaan Saudara dengan formula berikut ini:

Tingkat penguasaan = $B/10 \times 100\%$

Contoh:

Jawaban yang benar 7, maka,

Tingkat penguasaan = $7/10 \times 100\% = 70\%$

Jadi, penguasaan Saudara 70%

Jika penguasaan Saudara sama dengan atau lebih dari 80%, Saudara dapat melanjutkan pada modul berikutnya. Jika penguasaan Saudara yang benar kurang dari 80%, Saudara sebaiknya membaca kembali modul 1 di atas, utamanya bagian yang belum Saudara kuasai.

==