

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Pustaka

Tribuhuwana (2018), melakukan penelitian tentang Perbandingan Pengukuran Luas Area *Theodolite* dan *Global Positioning System* (GPS). Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui perbedaan pengukuran luas dengan menggunakan *Theodolite* dan GPS, serta untuk menganalisis faktor-faktor yang mempengaruhi pengukuran poligon. Penelitian dilaksanakan di Majasem Kota Cirebon pada Bulan Maret 2018. Alat yang digunakan dalam pengukuran luas area adalah *Theodolite* dan GPS. Hasil pengukuran lapangan dianalisis data pengukuran *Theodolite* dan GPS sehingga mendapatkan hasil koordinat *Theodolite* dan koordinat GPS. Untuk menentukan besaran luasan area dalam penelitian ini digunakan metode koordinat. Penelitian ini membandingkan hasil pengukuran *Theodolite* dan GPS yang dilakukan di Perumahan Majasem Cirebon, dari hasil pengolahan data dihasilkan perbandingan luas pengukuran *Theodolite* 2129,65 m² dan GPS 2132,500 m². Selisih luas antara pengukuran *Theodolite* dan GPS adalah 2,848 m². Faktor penentu terjadinya selisih disebabkan oleh setting *Theodolite* sangat berpengaruh pada pengolahan data, pada saat membidik maupun pada saat pengukuran jarak langsung, keadaan cuaca agar memberikan efek pencahayaan pada *Theodolite*.

Suhendra (2017), melakukan penelitian tentang Studi Perbandingan Hasil Pengukuran Alat *Theodolite* Digital dan Manual, Studi Kasus Pemetaan Situasi Kampus Kijang. Kegiatan pengukuran lahan membantu menggambarkan peta situasi suatu lahan untuk mempermudah insinyur teknik sipil menentukan titik as bangunan di lapangan. Dari hasil peta situasi ini dapat ditentukan pekerjaan selanjutnya yaitu penentuan as bangunan, perataan lahan, penentuan titik pondasi dan volume pekerjaan untuk pengurangan dan penimbunan lahan. Salah satu alat bantu yang digunakan untuk kegiatan pengukuran adalah *Theodolite*. *Theodolite* berfungsi sebagai alat untuk menentukan sudut yang dibentuk antara dua titik pada saat pengukuran. Dalam penggambaran peta situasi dibutuhkan hasil data sudut pengukuran tersebut. *Theodolite* dibagi menjadi dua tipe yaitu digital dan manual.

Penelitian ini membandingkan hasil pengukuran menggunakan *Theodolite* digital dan manual yang dilakukan di Kampus Kijang, Universitas Bina Nusantara. Dari hasil pengolahan data dihasilkan perbandingan besar perbedaan sistem koordinat pada peta situasi dengan kisaran 1,31% hingga 322,67% pada sumbu absis dan 0,39% hingga 41,83% pada sumbu ordinatnya.

Adi dan Syahrul (2016), melakukan penelitian tentang Analisa Perbandingan Hasil Pengukuran Koordinat dan Elevasi Dengan Menggunakan Alat Total Station dan GPS Geodetik di Folder Sangatta KAB.Kutai Timur. Penelitian ini bertujuan untuk menilai sejauh mana perbandingan koordinat dan pengukuran ketinggian yang didapat dari hasil pengukuran dengan menggunakan Total Station Spectra fokus 8" dan GPS Geodetik SP80. Dari hasil pengukuran dan pengolahan data dimana hasil selisih koordinat Spektrum Total Station fokus 8" dengan spektra GPS geodetik sp80 sebesar 0,009 meter, sedangkan hasil selisih elevasi spektra Total Station fokus 8" dengan GPS geodetik sp80 pada 0,011 meter.

Susanto dan Ridwan (2016), melakukan penelitian tentang Teknologi drone dalam Untuk Pembuatan Peta Kontur: Studi Kasus Pada Kawasan P3SON Hambalang. Dalam melakukan evaluasi dan kajian penanganan P3SON Hambalang, tim PUPR memerlukan data topografi terbaru, akurat, dan terpercaya dalam waktu yang sesingkat-singkatnya. Oleh karena itu tim Balai Litbang Sabo mendapatkan amanat untuk melakukan pengukuran tersebut. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan teknik fotogrametri dari foto udara yang dihasilkan oleh drone. Hasil dari pengukuran tersebut berupa data Digital Surface Model (DSM), Digital Terrain Model (DTM), dan hasil akhir berupa kontur dengan resolusi yang tinggi, yaitu sebesar 5 cm. Waktu yang diperlukan dari pengukuran hingga hasil akhir yang diperoleh yaitu kontur berkisar antara 4-5 hari. Dengan hasil yang mempunyai akurasi tinggi, murah, dan dapat dilakukan dengan waktu yang sesingkat-singkatnya, maka penggunaan drone dalam pembuatan peta topografi akan lebih banyak dimanfaatkan kedepannya. Meskipun demikian, pengukuran dengan menggunakan drone akan mengalami kendala jika digunakan pada sungai non- vulkanik (sungai yang berair). Dasar sungai yang berair tidak dapat dipetakan dengan baik, apalagi pada sungai-sungai yang mengandung tingkat sedimen yang tinggi seperti sungai-sungai di Indonesia pada umumnya.

Hadriansyah (2013), melakukan penelitian tentang Studi Evaluasi pengukuran dengan alat *Theodolite* dan GPS Pada Proyek Jalan Ahmad Yani Kota Banjar Baru. Penelitian ini bertujuan Mendapatkan selisih Absis (delta x) dan Ordinat (delta y) antara alat *Theodolite* dan alat GPS, Mengetahui hasil gambar penggabungan antara program AutoCad, Mapsource, Surfer 8 dan AEC serta Mengetahui hasil perhitungan Luas dengan Metode Koordinat (M.S Excel) dan Luas dengan Metode Area dari program AutoCad. Hasil Dari pengukuran dan pengolahan data bahwa Pengukuran dengan Alat *Theodolite* dan alat GPS ternyata tidak jauh selisihnya asalkan selama pengukuran cuaca dalam keadaan cerah dan waktu jangan berselang cukup lama, adapun selisih mutlak Absis = 0.268m dengan simpangan baku sebesar 0.138 m, selisih mutlak Ordinat = 0.223m dengan simpangan baku sebesar 0.148m dengan panjang 1600 meter. Ternyata penggambaran dengan Program AutoCad dan dibantu dengan program MapSource, Surfer 8, dan Aec akan mempermudah pekerjaan dan selisih perhitungan volume antara program M.S Excel dengan AutoCAD adalah 0.050 m³ (0.0073 %).

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Ilmu Ukur Tanah

Berdasarkan bidang pengukurannya, ilmu ukur tanah dapat dibedakan menjadi dua yaitu pengukuran horizontal dan pengukuran vertikal. Kedua pengukuran tersebut memiliki tujuan untuk mencari (Purworahardjo, 1986):

- a. Pengukuran horizontal meliputi sudut jurusan, sudut mendatar dan sudut miring jarak (mendatar dan miring).
- b. Pengukuran vertikal meliputi jarak (mendatar dan miring) beda tinggi (jarak vertikal).

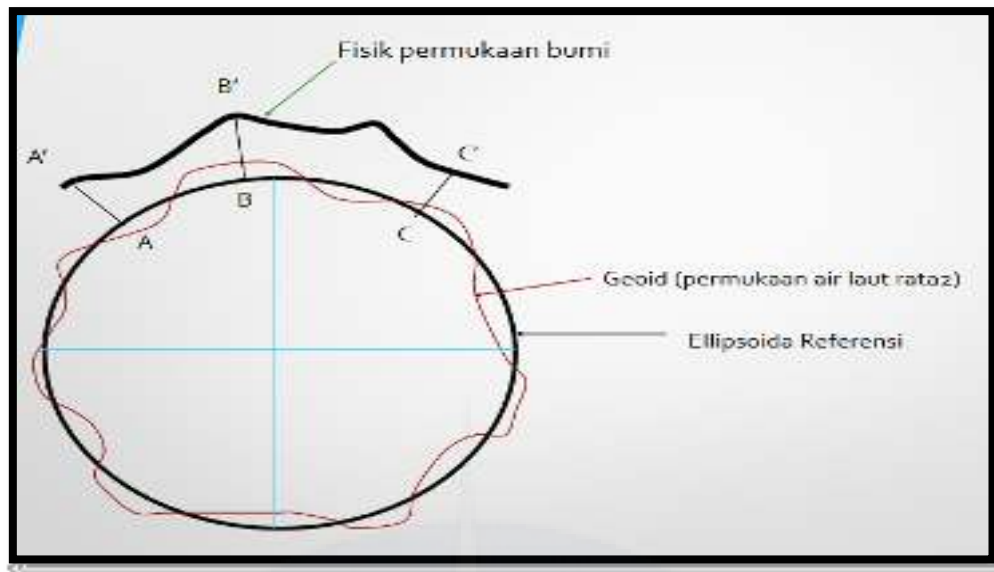
Kedua pengukuran tersebut bertujuan untuk mencari besaran sudut dan jarak untuk mencari posisi penentuan titik – titik koordinat absis, koordinat dan tinggi dengan notasi umum (X,Y,Z) pada suatu sistem koordinat tertentu. Pengukuran untuk menentukan koordinat horizontal dinamakan pengukuran horizontal sedangkan untuk ketinggian disebut pengukuran vertikal (tinggi). Jadi maksud dari ilmu ukur tanah adalah melakukan pengukuran besaran-besaran bidang horizontal dan vertikal sedangkan tujuan akhirnya adalah memperoleh data dan informasi mengenai posisi atau lokasi titik-titik objek di muka bumi yang dituangkan dalam

bentuk peta mendatar. Peta merupakan produk dari hasil kegiatan ilmu ukur tanah yang dibuat melalui tiga tahapan pekerjaan yaitu (Purworahardjo, 1986):

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

Menurut Purworahardjo (1986), titik-titik di muka bumi yang diukur dan dikelompokkan ke dalam dua kelompok besar yaitu titik-titik kerangka dasar dan titik-titik detail. Titik-titik kerangka dasar merupakan sejumlah titik-titik yang ditandai dengan patok terbuat dari kayu atau beton yang dibuat dengan jarak tertentu untuk digunakan menentukan koordinat dan ketinggian. Titik-titik detail adalah titik-titik yang telah ada di lapangan yaitu titik-titik sepanjang pinggiran sungai, jalan, pojok-pojok bangunan, dan lain-lain. Titik-titik tersebut digunakan untuk menentukan koordinat horizontal dan ketinggian titik-titik lainnya.

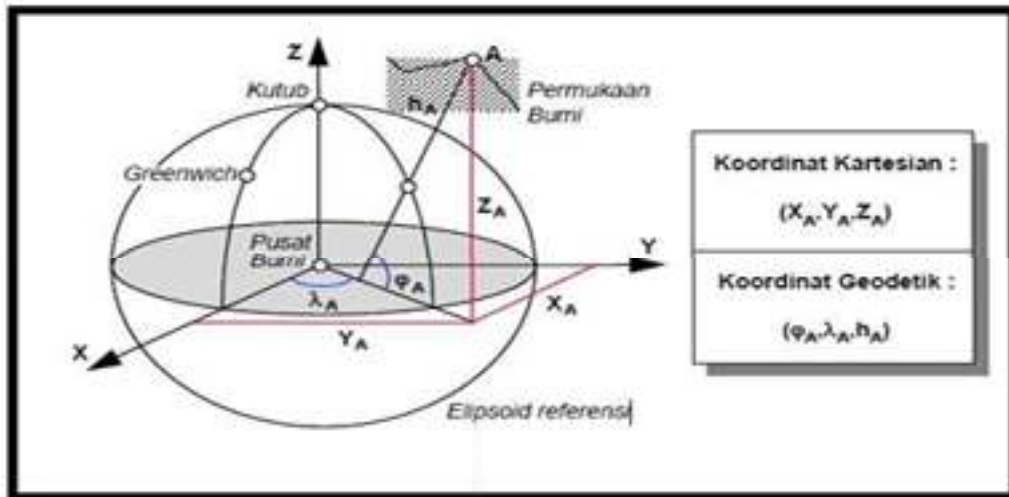
Untuk menghitung koordinat titik-titik di muka bumi (baik titik kerangka maupun detail) diperlukan adanya bidang hitungan tertentu. Mengingat bahwa permukaan fisik bumi sangat tidak beraturan, maka permukaannya tidak dapat digunakan sebagai bidang hitungan (Abidin, 2001). Untuk itu permukaan bumi yang tidak beraturan tersebut diganti dengan bidang yang teratur yaitu bidang yang mempunyai bentuk dan ukuran yang mendekati geoid yaitu permukaan air laut rata – rata dalam keadaan tidak terganggu (tenang). Bidang teratur atau bidang geoid tersebut secara global mendekati bentuk permukaan bumi dan bentuk elips putar (elipsoida) yang digunakan sebagai bidang hitungan (Abidin, 2001).



sumber : Abidin 2001

Gambar 2.1 Perbandingan bentuk geoid dan bentuk elipsoid.

Sistem koordinat permukaan bumi keseluruhan menggunakan sistem koordinat geografik (Geodetik) yang diukur dengan menggunakan derajat (*degree*) garis-garis lingkaran yang menghubungkan kutub utara ke kutub selatan dikenal dengan nama garis bujur (*longitude*) atau garis-garis meridian. Nilai 0° garis meridian berada kota *Greenwich* di kota *Greenwich* Inggris adalah 0° sampai dengan 180° bujur barat. Nilai garis meridian dari *Greenwich* ke arah timur dikenal dengan nama bujur timur yang besarnya adalah 0° sampai dengan 180° bujur timur. Garis-garis lingkaran yang tegak lurus terhadap garis meridian dikenal dengan nama garis lintang (*latitude*). Nilai 0° garis lintang memotong di tengah garis meridian yang menghubungkan kutub utara dengan kutub selatan dikenal dengan nama garis ekuator atau garis katulistiwa. Nilai garis lintang dari ekuator ke kutub utara dikenal dengan istilah lintang utara yang besarnya dari 0° sampai dengan 90° Lintang Utara. Nilai garis lintang dari ekuator ke kutub Selatan dikenal dengan istilah Lintang Selatan yang besarnya dari 0° sampai dengan 90° Lintang Selatan (Abidin, 2001).



Sumber : Abidin 2001

Gambar 2. 2 Posisi titik dalam koordinat.

2.2.2 Pengukuran Tanah

Secara umum pengukuran tanah merupakan proses pemberian angka pada titik-titik dibawah dan diatas permukaan bumi dan merupakan ilmu yang mempelajari tentang metode-metode untuk mengumpulkan data informasi bentuk permukaan bumi secara fisik. Menurut Russell dkk (2000), menjelaskan ada dua klasifikasi umum pengukuran yaitu pengukuran geodetik dan pengukuran tanah datar. Pengukuran geodetik itu sendiri merupakan pengukuran yang memperhatikan informasi lengkungan bumi dalam bentuk koordinat, Sedangkan pengukuran tanah datar merupakan pengukuran bidang bumi yang dianggap sebagai bidang datar dengan luasan yang terbatas. Dari kedua klasifikasi pengukuran tersebut merupakan bagian dari ilmu geodesi. Ilmu geodesi itu sendiri mempunyai dua maksud, yaitu (Russell dkk, 2000):

- Maksud ilmiah merupakan penentuan bentuk permukaan bumi.
- Maksud praktis merupakan pembuatan gambaran yang dinamakan peta dari sebagian besar atau sebagian kecil permukaan bumi.

Pada maksud kedua inilah yang sering disebut dengan istilah pemetaan.

2.2.3 Dasar – dasar Teori Pengukuran

Pekerjaan survei dan pemetaan merupakan kegiatan pertama dan mendampingi kegiatan perencanaan dan pelaksanaan konstruksi bangunan teknik sipil. Pekerjaan proyek di bidang teknik sipil dapat dibagi dalam tiga tahap (Tumewu, 1981):

- a. Feasibility Study Pada tahap ini akan dipelajari keuntungan dan kerugian dinilai dari segi sosial, ekonomi, politik, teknik, kebudayaan, lingkungan, untuk membenarkan dan memungkinkan proyek bersangkutan.
- b. Perencanaan Teknis berdasarkan pada pengumpulan data dan penyuluhan untuk keperluan desain proyek baru atau perbaikan (*betterment*) proyek yang kebutuhannya sudah tidak memenuhi syarat lagi. Target tahap ini adalah untuk mendapatkan lokasi proyek terbaik yang sesuai dengan perencanaan.
- c. Lokasi dan konstruksi bangunan-bangunan seperti jembatan, terowongan, saluran irigasi, kompleks gedung-gedung dan sebagainya. Pada semua tahap di atas diperlukan informasi berupa peta dengan ketelitian yang diinginkan, dengan memerlukan resiko toleransi yang bisa diabaikan (Basuki, 2011). Peta-peta yang diperlukan akan berbeda pada setiap detail pelaksanaannya baik dalam hal skala, metode pengukuran, macam dan jumlah informasi dengan menggunakan teknik dan peralatan yang relevan. Jika suatu pekerjaan harus diulangi karena tidak memenuhi ketelitian yang dikehendaki, maka ini berarti harus dilaksanakan pengukuran kembali dan biaya pengukuran akan menjadi berlipat ganda dari rencana biaya pengukuran yang direncanakan.

Pada pekerjaan pemetaan, salah satu tahap pekerjaan yang sangat penting adalah pengukuran kerangka peta yang akan digunakan sebagai dasar acuan perencanaan konstruksi. Kegunaan dari kerangka peta adalah sebagai pengikat detail yang berada di sekitarnya, sehingga bisa dipresentasikan menjadi sebuah peta yang mengacu pada dasar kerangka dasar yang ada. Ada beberapa cara atau metode pengadaan kerangka peta, antara lain (Basuki, 2011):

- a. Metode poligon.
 - b. Metode triangulasi atau trilaterasi.
 - c. Metode pemotongan (ke muka dan ke belakang).
 - d. GPS (Global Positioning System), yang paling modern dengan bantuan satelit.
- Metode poligon sampai saat ini merupakan yang paling sering digunakan, hal ini disebabkan poligon paling mudah menyesuaikan dengan keadaan lapangan dan mudah dalam persiapan maupun pelaksanaan pengukurannya.

A. Pengukuran Kerangka Kontrol Horizontal (KKH)

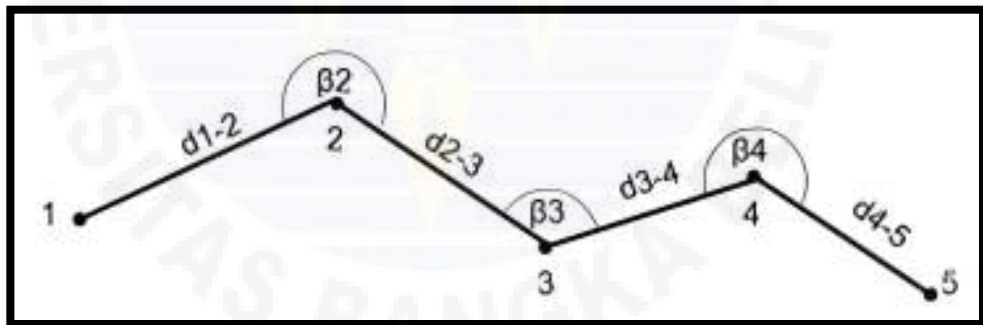
Seperti yang telah dijelaskan Pengukuran kerangka kontrol horizontal (KKH) ini digunakan untuk mengukur jarak dan sudut. dalam pemetaan kerangka horizontal metode yang digunakan adalah metode pengukuran poligon. Kegiatan yang dilakukan pada pengukuran poligon adalah pengukuran sudut, jarak, dan *azimuth* (Basuki, 2011). Metode poligon adalah cara untuk penentuan posisi horizontal banyak titik dimana titik yang satu dengan lainnya dihubungkan satu dengan yang lain dengan pengukuran jarak dan sudut sehingga membentuk rangkaian titik-titik (poligon). Ditinjau dari cara menyambungkan titik satu dengan yang lainnya poligon dapat digolongkan sebagai berikut (Kusmawati, 2014);

1. Poligon terbuka

Dilihat dari penyambungan titik awal dan akhir pengukuran poligon terbuka tidaklah sama. Poligon terbuka dapat dibedakan menjadi:

a) Tidak terikat

- 1) *Azimuth* dan koordinat titik-titik poligon bisa dihitung dengan datum yang ditentukan
- 2) Kesalahan sudut dan jarak tidak bisa dikoreksi.



Sumber : Kusmawati, 2014

Gambar 2.3 Poligon Terbuka tidak terikat.

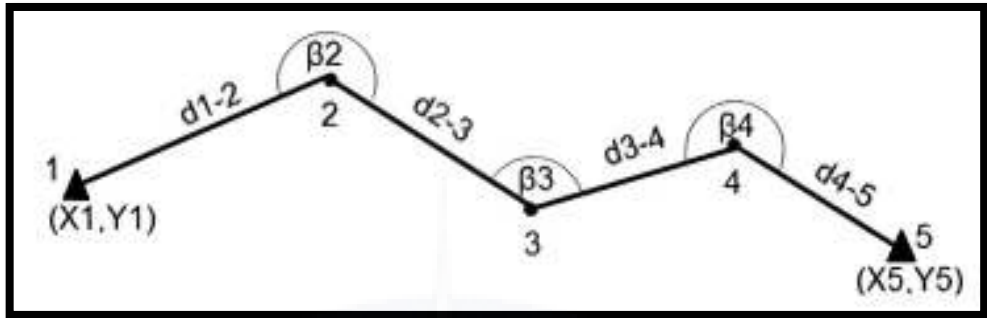
Keterangan:

- 1, 2, 3, 4, 5 : titik poligon regu yang akan dihitung
koordinatnya β_1, β_2, \dots dst : sudut dalam poligon
 d_{A-1}, d_{1-2}, \dots dst : jarak antar titik

b) Terikat sebagian

Poligon terbuka terikat koordinat saja:

- 1) *Azimuth* dihitung berdasarkan *azimuth* yang ditentukan.
- 2) Koordinat dihitung berdasarkan koordinat yang sudah diketahui.
- 3) Kesalahan sudut tidak bisa dikoreksi.
- 4) Kesalahan absis dan ordinat bisa dikoreksi.



Sumber : Kusmawati, 2014

Gambar 2.4 Poligon terbuka Terikat Koordinat

Keterangan:

$(X_1, Y_1), (X_5, Y_5)$: titik poligon utama yang diketahui koordinatnya

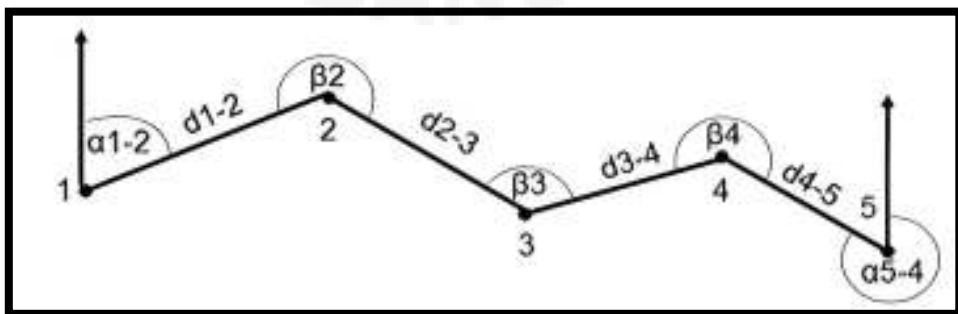
1, 2, 3, 4, 5 : titik poligon regu yang akan dihitung

koordinatnya $\alpha_1, \alpha_2, \dots$: sudut dalam poligon

d_{A-1}, d_{1-2}, \dots : jarak antar titik

c) Poligon terikat *azimuth* saja:

- 1) *Azimuth* dihitung berdasarkan *azimuth* yang sudah diketahui.
- 2) Koordinat dihitung berdasarkan koordinat yang ditentukan.
- 3) Kesalahan sudut bisa dikoreksi
- 4) Kesalahan absis dan ordinat tidak bisa dikoreksi.



Sumber : Kusmawati, 2014

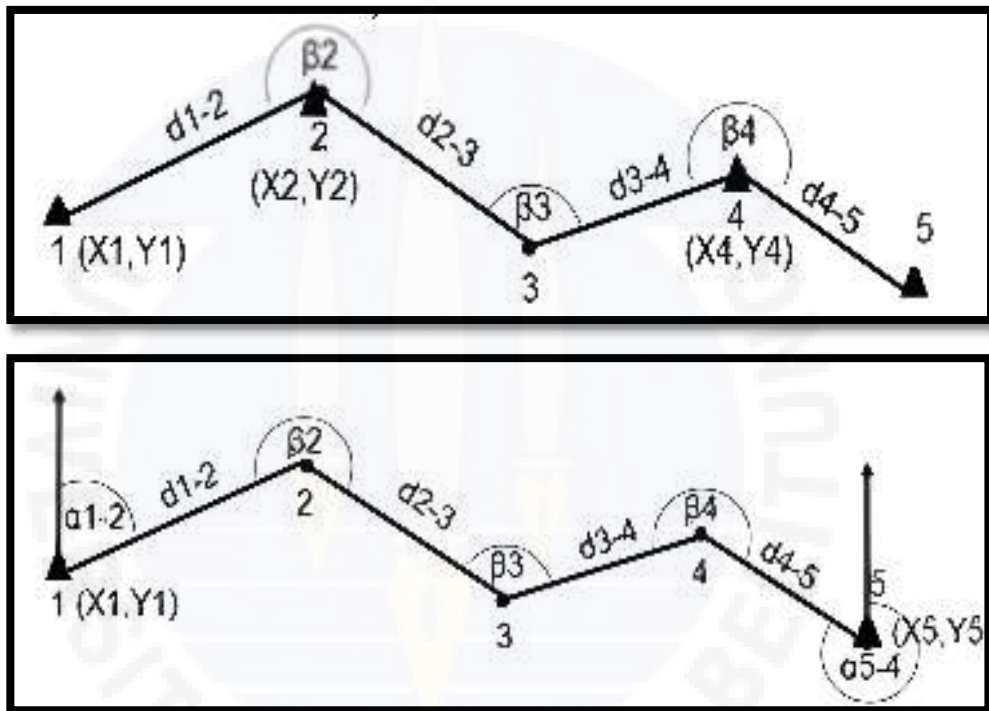
Gambar 2.5 Poligon Terbuka Terikat Azimuth.

Keterangan:

- 1, 2, 3, 4, 5 : titik poligon regu yang akan dihitung
koordinatnya $\alpha_{1-2}, \alpha_{4-5}$: azimuth
 β_1, β_2, \dots dst : sudut dalam poligond
A-1, d1-2, ... dst : jarak antar titik

d) Terikat sempurna (terikat koordinat dan azimuth)

- 1) Azimuth dihitung berdasarkan azimuth yang sudah diketahui.
- 2) Koordinat dihitung berdasarkan koordinat yang sudah diketahui.
- 3) Kesalahan sudut, absis dan ordinat bisa dikoreksi



Sumber : Kusmawati, 2014

Gambar 2.6 Poligon Terbuka Terikat Sempurna.

Keterangan:

- $(X_1, Y_1), (X_2, Y_2)$: titik poligon utama yang diketahui koordinatnya
1, 2, 3, 4, 5 : titik poligon regu yang akan dihitung
koordinatnya $\alpha_{1-2}, \alpha_{4-5}$: azimuth
 β_1, β_2, \dots dst : sudut dalam poligond
A-1, d1-2, ... dst : jarak antar titik

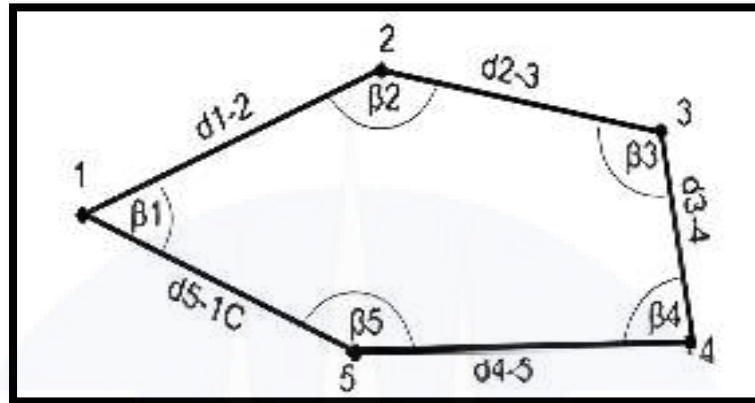
2. Poligon tertutup

Poligon tertutup dapat dilihat dari cara pengambilan data dan titik-titiknya,

yang mana titik awal pada pengukuran menjadi titik akhir pengukuran.
Poligon tertutup dapat dibedakan menjadi:

a) Tidak terikat

- 1) *Azimuth* dan koordinat titik-titik poligon bisa dihitung dengan datum yang ditentukan.
- 2) Kesalahan sudut, absis dan ordinat bisa dikoreksi.



Sumber : Kusmawati, 2014

Gambar 2.7 Poligon tertutup Tidak Terikat.

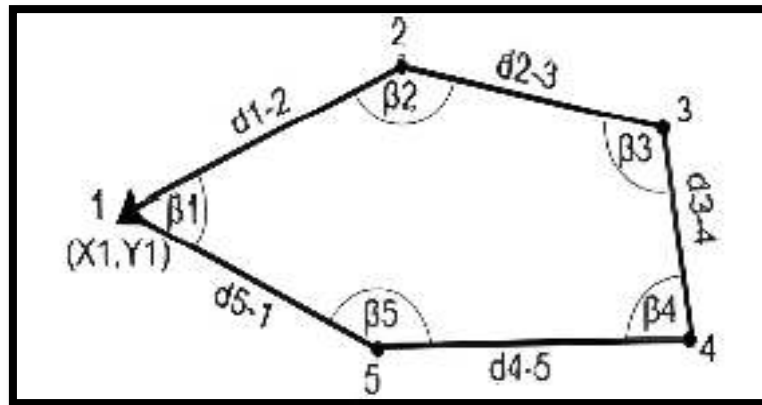
Keterangan:

- 1, 2, 3, 4, 5 : titik poligon regu yang akan dihitung koordinatnya
 β_1, β_2, \dots dst : sudut dalam poligon
 d_{A-1}, d_{1-2}, \dots dst : jarak antar titik

b) Terikat sebagian (koordinat saja atau azimuth saja)

poligon tertutup terikat koordinat saja:

- 1) Azimuth dihitung berdasarkan azimuth yang ditentukan.
- 2) Koordinat dihitung berdasarkan koordinat yang sudah diketahui.
- 3) Kesalahan sudut, absis, dan ordinat bisa dikoreksi.



Sumber : Kusmawati, 2014

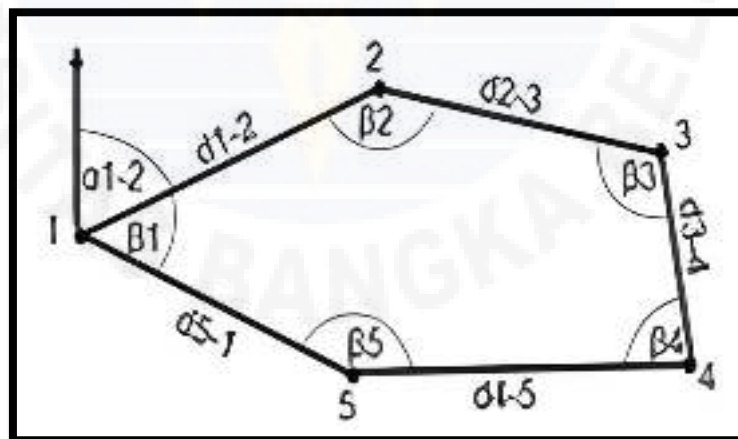
Gambar 2. 8 Poligon Tertutup Terikat Koordinat.

Keterangan:

- (X1,Y1) : titik poligon utama yang diketahui koordinatnya
 1, 2, 3, 4, 5 : titik poligon regu yang akan dihitung koordinatnya
 β_1, β_2, \dots dst : sudut dalam poligon
 d_{A-1}, d_{1-2}, \dots dst : jarak antar titik

c) Poligon tertutup terikat azimuth saja:

- 1) Azimuth dihitung berdasarkan azimuth yang sudah diketahui.
- 2) Koordinat dihitung berdasarkan koordinat yang ditentukan.
- 3) Kesalahan sudut, absis, dan ordinat bisa dikoreksi.



Sumber : Kusmawati, 2014

Gambar 2.9 Poligon Tertutup Terikat Azimuth.

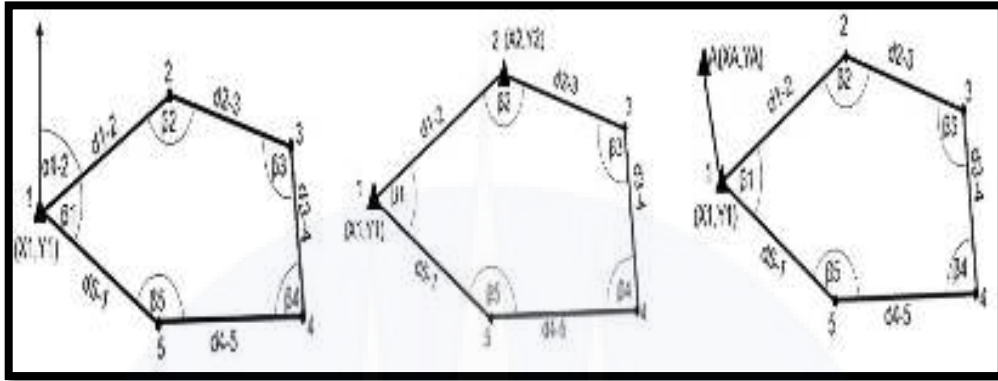
Keterangan:

- 1, 2, 3, 4, 5 : titik poligon regu yang akan dihitung koordinatnya
 α_{1-2}, \dots : azimuth

β_1, β_2, \dots dst : sudut dalam poligon
 d_{A-1}, d_{1-2}, \dots dst : jarak antar titik

d) Terikat sempurna (terikat koordinat dan azimuth)

- 1) Azimuth dihitung berdasarkan azimuth yang sudah diketahui.
- 2) Koordinat dihitung berdasarkan koordinat yang ditentukan.
- 3) Kesalahan sudut, absis, dan ordinat bisa dikoreksi.



Sumber : Kusmawati, 2014

Gambar 2. 10 Poligon Tertutup Terikat Sempurna.

Keterangan :

$(X_1, Y_1), (X_A, Y_A)$: titik poligon utama yang diketahui koordinatnya
 1, 2, 3, 4, 5 : titik poligon regu yang akan dihitung koordinatnya
 α_{1-2}, \dots : azimuth
 β_1, β_2, \dots dst : sudut dalam poligon
 d_{A-1}, d_{1-2}, \dots dst : jarak antar titik

Sebagai kerangka dasar pemetaan, posisi atau koordinat titik-titik poligon harus diketahui atau ditentukan secara teliti karena akan digunakan sebagai ikatan detil. Sudut horizontal pada suatu titik lapangan dapat dibagi dalam sudut tunggal dan sudut yang lebih dari satu sehingga teknik pengukurannya juga berbeda (Basuki, 2011). Pengukuran jarak-jarak merupakan panjang terpendeknya jarak antara dua titik di lapangan pada bidang horizontal. Metode poligon merupakan metode yang paling sering digunakan pada pengukuran horizontal. Hal ini karena metode poligon dianggap sebagai metode yang mudah untuk digunakan. Di dalam perhitungan poligon minimal satu titik diketahui koordinatnya, satu sudut jurusan (umumnya sudut jurusan awal), jarak antara masing-masing titik dan sudut-sudut mendatar harus diukur di

lapangan. Pengukuran jarak dapat dilakukan dengan metode secara langsung dan tidak langsung (Wedagama, 2013). Pengukuran horizontal biasanya menggunakan alat ukur elektronik seperti *Theodolite* dan total station yang merupakan peralatan pengukuran canggih berbasis elektronik. Pengukuran jarak dilakukan secara pengukuran pergi dan pulang.

3. Pengolahan data poligon

Pengolahan data poligon dari hasil pengukuran dapat dilakukan secara manual langsung atau menggunakan bantuan formulir ukuran menggunakan lembar elektrolisis (spreadsheet) di komputer menggunakan perangkat lunak Microsoft Excell. Pengolahan data poligon dikontrol terhadap sudut-sudut dalam atau luar poligon dan dikontrol terhadap koordinat baik absis maupun koordinat (Purwaamijaya, 2008). Pengolahan data poligon dimulai dengan mengoreksi hitungan sudut awal dan sudut akhir dari titik-titik ikat poligon yang telah diambil sebelumnya di lapangan. Perhitungan-perhitungan koreksi tersebut meliputi (Kusmawati, 2014) :

Syarat geometris pada poligon terbuka terikat sempurna:

$$\text{Syarat sudut: } \sum \beta_u = \alpha_{akhir} - \alpha_{awal} + (n \times 1800) \dots\dots\dots 2.1$$

$$\text{Syarat absis: } \sum d \sin \alpha = X_{akhir} - X_{awal} \dots\dots\dots 2.2$$

$$\text{Syarat ordinat: } \sum d \cos \alpha = Y_{akhir} - Y_{awal} \dots\dots\dots 2.3$$

Kesalahan-kesalahan data pengukuran poligon terbuka adalah:

1. Kesalahan penutup sudut:

$$f\beta = (\alpha_{akhir} - \alpha_{awal} + (n \times 1800)) - \sum \beta_u \dots\dots\dots 2.4$$

Kesalahan penutup sudut dikoreksikan sama rata pada sudut-sudut hasil ukuran:

$$k\beta = f\beta/n \dots\dots\dots 2.5$$

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

2. Kesalahan penutup absis:

$$f_x = (X_{akhir} - X_{awal}) - \sum d \sin \alpha \dots\dots\dots 2.6$$

$$\Delta X = d \sin \alpha \dots\dots\dots 2.7$$

3. Kesalahan penutup ordinat:

$$fy = (Yakhir - Yawal) - \sum d \cos \alpha \dots\dots\dots 2.8$$

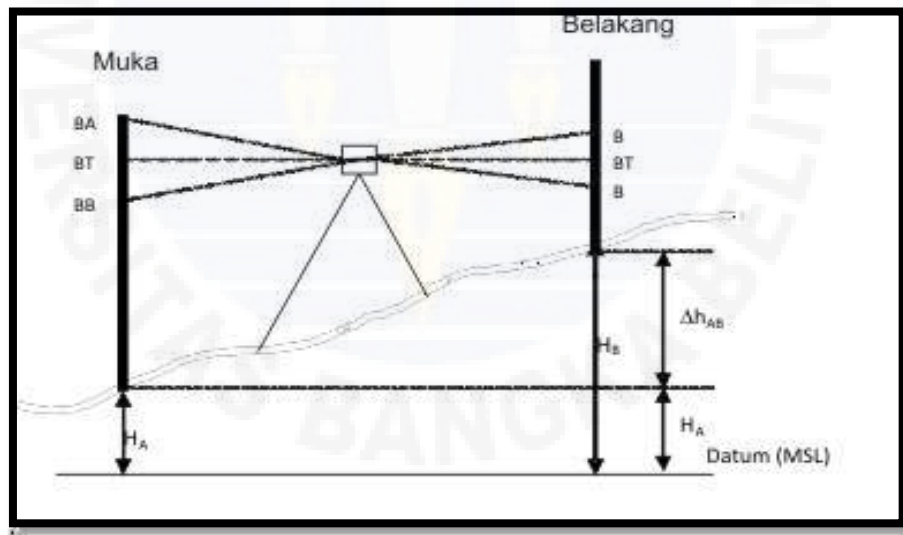
$$\Delta Y = d \cos \alpha \dots\dots\dots 2.9$$

Keterangan notasi :

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

B. Pengukuran Kerangka Kontrol Vertikal (KKV)

Pengukuran kerangka kontrol vertikal (KKV) ini merupakan metode mengukur tinggi. Pengukuran tinggi adalah menentukan beda tinggi antara dua titik. Beda tinggi antara dua titik dapat ditentukan dengan metode pengukuran sifat datar atau dengan metode *trigonometrik* dan metode *tachimetri*. Sifat datar merupakan metode penentuan beda tinggi antara dua titik atau lebih dengan garis bidik (garis lurus pada teropong) secara mendatar atau horizontal yang diarahkan pada rambu-rambu yang berdiri secara vertikal. Sedangkan alat ukurnya dinamakan penyipat datar atau waterpass, dibantu alat lainnya seperti rambu ukur dan sepatu rambu.



Sumber : Wedagama, 2013

Gambar 2.11 Prinsip Pengukuran Beda Tinggi.

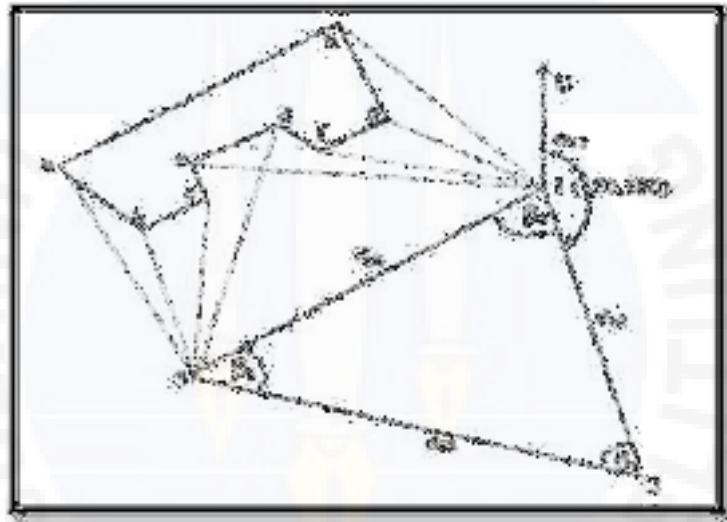
keterangan :

- | | |
|-----------------------|---|
| H_A dan H_B | : titik yang akan diukur beda tinggi |
| $BA, BB, BT,$ dan B | : bacaan rambu atau tinggi garis mendatar titik |
| ΔH_{AB} | : beda tinggi antara titik A dan B |

Pengukuran beda tinggi tidak dapat dilakukan dengan sekali berdiri alat apabila jarak antar titik kontrol pemetaan relatif jauh. Oleh karena itu antara dua buah titik kontrol dibuat beberapa selang dan pengukurannya dibuat secara berantai. Pengukuran beda tinggi juga dibuat pengukuran pergi-pulang yang pelaksanaannya dapat dilakukan dalam satu hari (dinamakan seksi), serta dimulai dan diakhiri pada titik tetap.

2.2.4 Metode Pengukuran Situasi (*Tachymetri*)

Metode tachymetri adalah pengukuran menggunakan alat-alat optis, elektronis, dan digital (Purwaamijaya, 2008). Pengukuran titik-titik detail situasi dilakukan sesudah pengukuran kerangka dasar vertikal dan pengukuran kerangka dasar horizontal dilakukan.



Sumber : Purwaamijaya, 2008

Gambar 2.12 Pengukuran Titik-Titik Situasi.

Pengukuran titik-titik detail dengan metode tachymetri ini adalah cara yang paling banyak digunakan dalam praktek, terutama untuk pemetaan daerah yang luas dan untuk detail-detail yang bentuknya tidak beraturan. Pengukuran titik-titik detail metode tachymetri relatif cepat dan mudah karena yang diperoleh dari lapangan adalah pembacaan rambu, sudut horizontal (azimuth magnetis), sudut vertikal (zenith atau inklinasi) dan tinggi alat (Purwaamijaya, 2008).

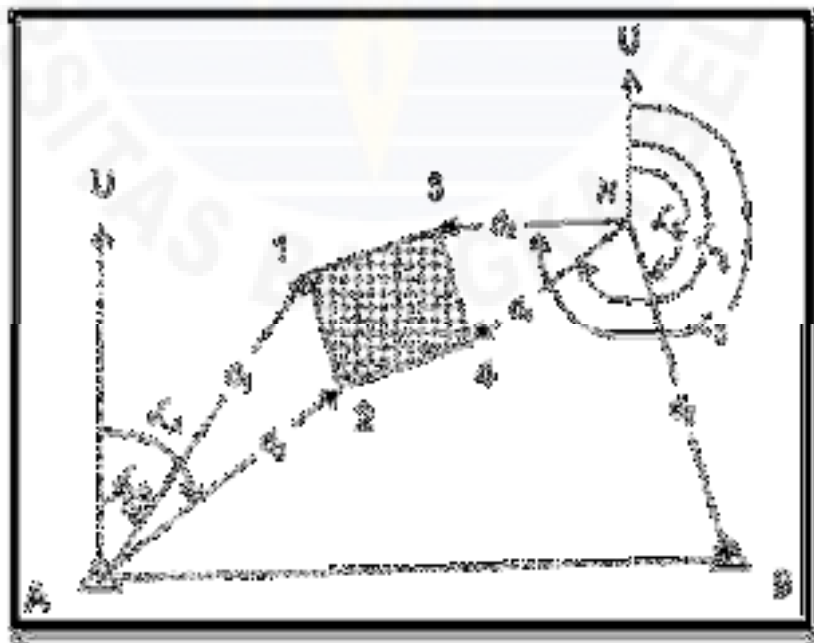
Prinsip pengukuran tachymetri terbagi menjadi 2 prinsip berdasarkan keadaan lapangan yaitu lapangan mendatar dan lapangan miring (Purwaamijaya, 2008). Metode tachymetri didasarkan pada prinsip bahwa pada segitiga-segitiga

sebangun, sisi yang sepihak adalah sebanding. Metode tachymetri paling bermanfaat dalam penentuan lokasi sejumlah besar detail topografi, baik horizontal maupun vertikal, dengan transit atau planset. Di wilayah-wilayah perkotaan, pembacaan sudut dan jarak dapat dikerjakan lebih cepat, salah satunya unsur penting pada peta topografi adalah unsur ketinggian yang biasanya disajikan dalam bentuk garis kontur. Bila *Theodolite* yang digunakan untuk pengukuran cara tachymetri juga dilengkapi dengan kompas, maka sekaligus bisa dilakukan pengukuran untuk pengukuran detail topografi dan pengukuran untuk pembuatan kerangka peta pembantu pada pengukuran dengan kawasan yang luas secara efektif dan efisien (Purwaamijaya, 2008).

a. Pengukuran Tachymetri Untuk Pembuatan Peta Topografi Cara Polar

Posisi horizontal dan vertikal titik detail diperoleh dari pengukuran cara polar langsung diikatkan ke titik kerangka dasar pemetaan atau titik (kerangka) penolong yang juga diikatkan langsung dengan cara polar ke titik kerangka dasar pemetaan. Unsur yang diukur (Purwaamijaya, 2008):

1. Azimuth magnetis dari titik ikat ke titik detail
2. Bacaan benang atas, tengah, dan bawah
3. Sudut miring, dan
4. Tinggi alat di atas titik ikat.



Sumber : Purwaamijaya, 2008

Gambar 2.13 Pengukuran Topografi Cara Tachymetri-polar.

Dimana:

A dan B : titik kerangka dasar pemetaan

H : adalah titik penolong,

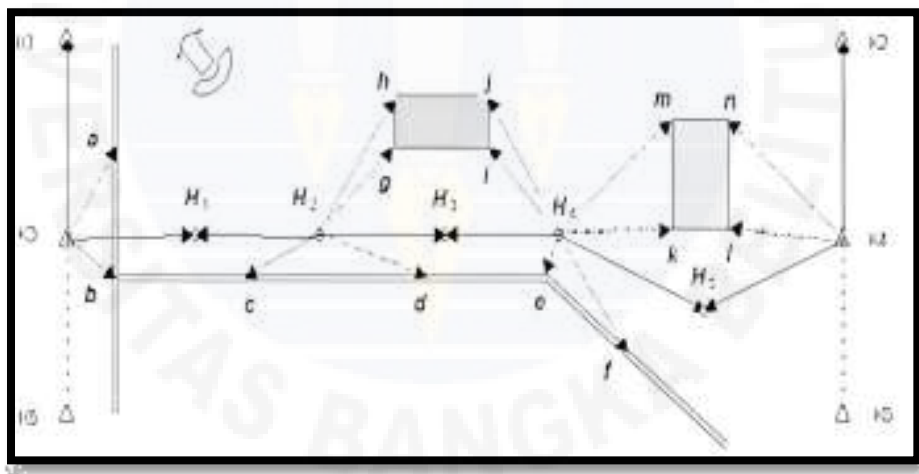
1,2... : titik detil

Um : arah utara magnet di tempat pengukuran.

Berdasarkan skema pada Gambar 2.13, maka:

1. Titik 1 dan 2 diukur dan diikatkan langsung dari titik kerangka dasar
2. Titik H, diukur dan diikatkan langsung dari titik kerangka dasar B
3. Titik 3 dan 4 diukur dan diikatkan langsung dari titik penolong H.

Pengukuran tachymetri untuk pembuatan peta topografi cara poligon kompas dengan letak titik kerangka dasar pemetaan berjauhan, sehingga diperlukan titik penolong yang banyak. Titik-titik penolong ini diukur dengan cara poligon kompas yang titik awal dan titik akhirnya adalah titik kerangka dasar pemetaan. Unsur jarak dan beda tinggi titik-titik penolong ini diukur dengan menggunakan cara tachymetri. Posisi horizontal dan vertikal titik detil diukur dengan cara polar dari titik-titik penolong (Purwaamijaya, 2008).



Sumber : Purwaamijaya, 2008

Gambar 2.14 Pengukuran Topografi Cara Tachymetri-Poligon Kompas.

Berdasarkan skema pada gambar, maka :

K1, K3, K5, K2, K4 dan K6 : titik-titik kerangka dasar pemetaan,

H1, H2, H3, H4 dan H5 : titik-titik penolong

a, b, c, ... : titik detil.

Pengukuran poligon kompas K3, H1, H2, H3, H4, H5, K4 dilakukan untuk

memperoleh posisi horizontal dan vertikal titik-titik penolong, sehingga ada dua hitungan (Purwaamijaya, 2008):

1. Hitungan poligon
2. Hitungan beda tinggi

Data yang diperoleh dari lapangan lalu diolah untuk menghilangkan kesalahan sistematis dan acak yang terjadi serta membuang kesalahan besar yang mungkin timbul. Pengolahan data sipat datar kerangka dasar vertikal dan poligon kerangka dasar horizontal dapat diolah secara manual dengan bantuan mesin hitung atau secara tabelaris menggunakan bantuan komputer. Penentuan beda elevasi dengan *tachymetri* dapat dibandingkan dengan sipat datar memanjang sesuai bidikan, dan pembacaan rambu sesuai bidikan minus. Pengukuran metode *tachymetri* menggunakan alat *Theodolite*, baik yang bekerja secara optis maupun elektronik digital yang sering dinamakan dengan *total station*. Penggambaran hasil pengukuran *tachymetri* dapat dengan manual ataupun dengan program komputerisasi. Data yang diambil dari lapangan semakin banyak semakin baik.

2.2.5 Perhitungan luas Tanah

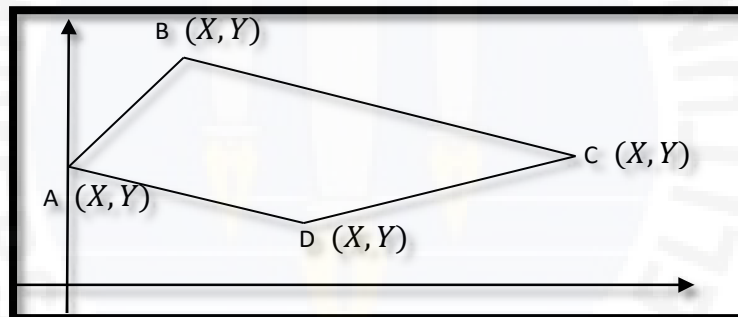
Perhitungan dan informasi luas merupakan salah satu informasi yang dibutuhkan perencana dari hasil pengukuran lapangan. Untuk mengukur luas terdapat berbagai macam instrumen yang dikembangkan. Contohnya, metode dimana koordinat-koordinat dari titik potong batas dari gambar dimasukkan dengan menggunakan plotter X dan Y untuk menghitung luas dengan komputer. Ada dua macam metode pengukuran luas, yaitu :

- a. Diukur pada gambar situasi (pengukuran tak langsung).
- b. Dihitung dengan menggunakan data jarak dan sudut yang langsung diperoleh dari pengukuran di lapangan (pengukuran langsung).

Luas yang diukur pada gambar situasi disebut pengukuran tak langsung, karena luas yang diperoleh secara tak langsung dengan menggunakan instrumen dan gambar situasi. Sedangkan luas yang dihitung dengan menggunakan data jarak dan sudut yang langsung diperoleh dari pengukuran di lapangan disebut pengukuran langsung, karena luas diperoleh secara langsung tanpa gambar dengan melakukan pengukuran yang dibutuhkan untuk menghitung luas di lapangan. Metode pengukuran langsung lebih tinggi ketelitiannya bila dibandingkan dengan

pengukuran tak langsung karena lapangan besarnya skala gambar, harga yang diperoleh dari gambar selalu kurang teliti dibandingkan dengan harga dari pengukuran dilapangan (Purwaamijaya, 2008).

Selain itu, perhitungan luas dapat dilakukan secara numeris analog, mekanis planimetris dan numeris digital. Perhitungan luas secara numeris analog menggunakan metode sarrus, yaitu menggunakan koordinat-koordinat titik batas sebagai masukan untuk perhitungan luas. Bentuk daerah yang dihitung luas daerahnya dengan metode sarrus ini haruslah beraturan dengan segmen garis yang jelas. Apabila suatu bidang tanah akan diukur luasnya, maka dapat dilakukan dengan pengukuran poligon tertutup, pada batas-batas bidang tanah tersebut dengan mengukur jarak dan sudut. Dari hasil pengukuran sudut dan jarak serta sudut jurusan awal pada batas bidang tersebut, maka data ukuran dapat diolah sehingga mendapat koordinat dari titik-titik poligon yang diukur tadi. Dengan koordinat tiap titik sudut dari bidang tanah itu maka dapat dihitung luas bidang tanah tersebut dengan cara sebagai berikut:



Sumber : Purwaamijaya, 2008

Gambar 2.15 Pengukuran Luas Dengan Cara Koordinat.

Sehingga:

$$(Luas) = 0,5 \cdot [XA \cdot YB + XB \cdot YC + XC \cdot YD + XD \cdot YA - (XB \cdot YA + XC \cdot YB + XD \cdot YC + XA \cdot YD)] \dots\dots\dots 2.10$$

Perhitungan luas secara numeris digital dapat menggunakan bantuan perangkat lunak CAD (Computer Aided Design) dan perangkat keras komputer. Daerah yang akan dihitung luasnya harus sudah dimasukkan ke dalam bentuk digital melalui papan ketik (keyboard), digitizer (alat digitasi) atau scanner. Koordinat batas-batas daerah yang akan masuk ke dalam memori komputer dan diolah secara digital ini dapat berbentuk beraturan dengan jumlah segmen terbatas atau tidak

beraturan dengan jumlah segmen banyak serta berjarak kecil-kecil. Perhitungan luas metode numeris digital relatif lebih disukai dan lebih unggul dibandingkan metode numeris analog dan metode mekanis planimetris. Tingkat akurasi dan keamanan penyimpanan data pada numeris digital merupakan salah satu keunggulan dibandingkan metode numeris analog dan metode planimetris (Purwaamijaya, 2008).

2.2.6 GPS (*Global Positioning System*)

Sistem penentuan posisi global atau dikenal dengan nama *The NAVSTAR (Navigation Satellite Time and Ranging) GPS (Global Positioning System)* adalah suatu sistem radio navigasi dan penentuan posisi menggunakan satelit yang dimiliki dan dikelola oleh Amerika Serikat (Abidin, 2000). *Global Positioning System (GPS)* adalah sistem yang berfungsi sebagai sistem navigasi global yang dapat menerima informasi dari satelit. Informasi yang diterima lebih dari tiga satelit GPS mengorbit di atas permukaan bumi. Satelit GPS memancarkan sinyal GPS yang memungkinkan penerima sinyal GPS untuk mendapatkan informasi berupa lokasi penerima, arah, dan kecepatan. Ada 3 macam tipe alat GPS, masing-masing memberikan tingkat ketelitian (posisi) yang berbeda-beda (Abidin, 2000):

- a. Tipe Navigasi (*Handheld, Handy GPS*) tipe ini harganya cukup terjangkau
- b. Tipe *geodetic* single frekuensi (tipe pemetaan atau biasa disebut mapping), yang biasa digunakan dalam survei dan pemetaan yang membutuhkan ketelitian posisi sekitar sentimeter sampai dengan beberapa desimeter
- c. Tipe *Geodetic* dual frekuensi yang dapat memberikan ketelitian posisi hingga mencapai milimeter. Tipe ini biasa digunakan untuk aplikasi *precise positioning* seperti pembangunan jaring-jaring titik kontrol, dan sebagainya.

Berbagai macam tipe GPS di atas mempunyai cara pemakaian / penggunaan yang masing-masing berbeda satu sama lain. Mulai dari yang lebih praktis yaitu tipe *Handheld* sampai yang paling rumit (*geodetic*).

a. Posisi dan sistem koordinat GPS

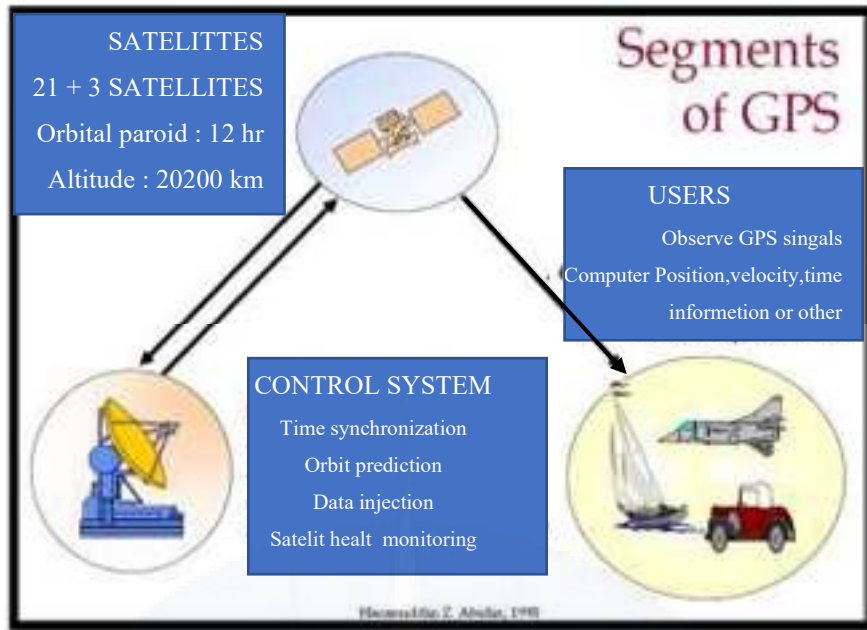
Posisi yang diberikan oleh GPS adalah posisi tiga dimensi (X, Y, Z ataupun ϕ, λ, h) yang dinyatakan dalam WGS (*world geodetic system*) 1984. Sistem koordinat itu sendiri didefinisikan dengan menspesifikasikan tiga parameter, yaitu (Abidin, 2000):

1. Lokasi titik nol dari sistem koordinat.
2. Orientasi dari sumbu koordinat.
3. Besaran (*kartesian, curvilimear*) yang digunakan untuk mendefinisikan posisi suatu titik dalam sistem koordinat tersebut.

Dalam penentuan posisi dengan satelit-satelit GPS, ada dua sistem koordinat referensi yaitu CIS (*Conventional Inertial System*) dan CTS (*Conventional Testrial System*). Sistem CTS digunakan untuk menyatakan posisi titik dipermukaan bumi.

b. Segmen GPS

Secara umum ada tiga segmen dalam sistem GPS yaitu segmen sistem kontrol, segmen satelit, dan segmen pengguna. Satelit GPS dapat dianalogikan sebagai stasiun radio angkasa, yang dilengkapi dengan antena-antena untuk mengirim dan menerima gelombang sinyal. Sinyal-sinyal ini selanjutnya diterima oleh *receiver* GPS di permukaan bumi, dan digunakan untuk menentukan informasi posisi, kecepatan, maupun waktu. Secara umum segmen sistem kontrol berfungsi mengontrol dan memantau operasional satelit dan memastikan bahwa satelit berfungsi sebagaimana mestinya. Segmen pengguna terdiri dari para pengguna satelit GPS di manapun berada. Dalam hal ini alat penerima sinyal GPS (*GPS receiver*) diperlukan untuk menerima dan memproses sinyal-sinyal dari satelit GPS untuk digunakan dalam penentuan posisi, kecepatan dan waktu. Menurut Abidin (2001) komponen utama dari suatu *receiver* GPS secara umum adalah antena dengan *pre-amplifier*, bagian RF dengan mengidentifikasi sinyal dan pemrosesan sinyal, pemrosesan mikro untuk pengontrolan *receiver*, data sampling dan pemroses data (solusi navigasi), osilator presisi, catu daya, unit perintah dan tampilan, dan memori serta perekam data.

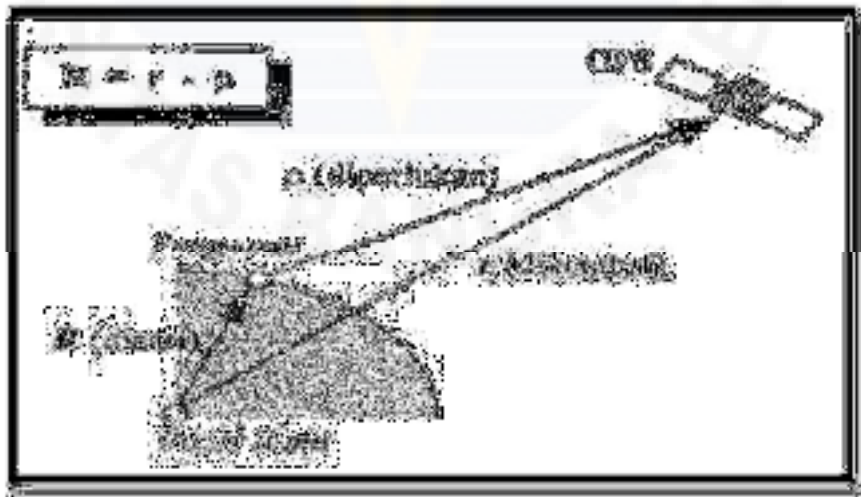


Sumber : Abidin 2001

Gambar 2.17 Segmen GPS.

c. Metode penentuan dengan GPS

Pada dasarnya konsep dasar penentuan posisi dengan GPS adalah *reseksi* (pengikatan ke belakang) dengan jarak, yaitu dengan mengukur jarak dengan simultan ke beberapa satelit GPS yang koordinatnya telah diketahui. Secara vektor, prinsip-prinsip dasar penentuan posisi dengan GPS diperlihatkan pada Gambar 2.18.



Sumber : Abidin 2000

Gambar 2.18 Prinsip Dasar Penentu Posisi Dengan GPS (Pendekatan Vektor).

Parameter yang akan ditentukan adalah sektor posisi *geosentrik*, pengamat pada

pengamatan menggunakan GPS, yang bisa diukur hanyalah jarak antara pengamat dengan satelit bukan dengan vektornya. Oleh karena itu rumus yang ada pada Gambar 2.18 tidak dapat diterapkan. Untuk mengatasi hal ini, penentuan posisi pengamat dilakukan melalui pengamatan terhadap beberapa satelit sekaligus secara simultan, dan tidak hanya terhadap satu satelit, seperti yang ada pada Gambar 2.18 pada operasionalnya, prinsip dasar penentu posisi GPS, tergantung pada mekanisme implementasinya. Dengan GPS, titik yang akan ditentukan posisinya dapat diam (*static positioning*) ataupun bergerak (*kinematic positioning*).

Posisi titik dapat ditentukan dengan menggunakan satu resiver GPS terhadap pusat bumi dengan menggunakan metode penentuan posisi absolut, ataupun dengan titik-titik lainnya yang telah ditentukan posisi koordinatnya. Disamping itu, GPS dapat memberikan posisi secara instan (*real-time*) ataupun sesudah pengamatan setelah data pengamatannya diproses secara lebih ekstensif (*post processing*) yang biasanya dilakukan untuk mendapatkan ketelitian yang lebih baik (Abidin, 2000). Pada penentu posisi penentuan posisi GPS titik-titik dilakukan melalui pengamatan terhadap target atau objek yang terletak dipermukaan bumi. Dalam hal ini, metode-metode penentuan posisi yang umum digunakan adalah metode poligon. Dari beberapa metode penentuan posisi, metode survei GPS secara umum dapat didefinisikan sebagai proses penentuan koordinat dari sejumlah titik terhadap beberapa buah titik yang telah diketahui koordinatnya, dengan menggunakan metode penentu posisi difrensial serta data pengamatan fase dari sinyal GPS. Pada survei GPS, pengolahan data pada umumnya dilakukan setelah pengamatan selesai (*post processing*), meskipun dengan berkembangnya sistem RTK (*Real Time Kinematic*), survei GPS secara *real time* juga mulai dapat terealisasi (Abidin, 2011).

d. Ketelitian posisi dan kesalahan GPS

Abidin (2000) menjelaskan tentang ketelitian posisi yang didapat dengan pengamatan GPS secara umum akan bergantung pada empat faktor yaitu metode penentuan posisi yang digunakan, geometri dan distribusi dari satelit-satelit yang diamati, ketelitian data yang digunakan, dan metode pengolahan data yang diterapkan. Masing-masing faktor tersebut mempunyai beberapa

parameter yang berpengaruh pada ketelitian posisi yang akan diperoleh dari GPS. Dalam perjalanannya dari satelit hingga mencapai antena di permukaan bumi, sinyal GPS akan dipengaruhi oleh beberapa kesalahan dan bias. Kesalahan dan bias GPS pada dasarnya dapat dikelompokkan atas kesalahan dan bias yang terkait dengan:

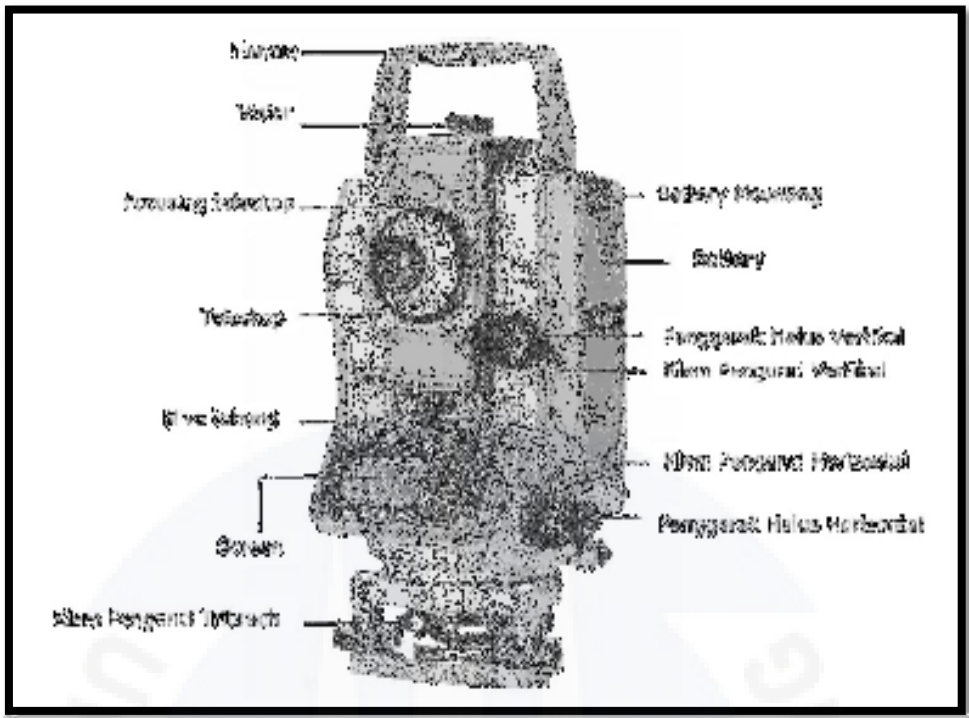
1. Satelit, seperti kesalahan ephemeris, jam satelit, dan *selective availability* (SA).
2. Medium propagasi, seperti bias *ionosfer* dan bias *troposfer*.
3. *Receiver* GPS, seperti kesalahan jam *receiver*, kesalahan yang terkait dengan antena, dan *noise* (derau).
4. Data pengamatan, seperti ambiguitas fase dan *cycle slips*.
5. Lingkungan sekitar GPS *receiver*, seperti *multipath*.

2.2.7 Theodolite

Berdasarkan Modul praktikum survey dan pemetaan jurusan teknik sipil universitas bangka belitung 2017 *Theodolite* adalah salah satu alat ukur tanah yang digunakan untuk menentukan tinggi tanah dengan sudut mendatar dan sudut tegak. Berbeda dengan waterpass yang hanya memiliki sudut mendatar saja. Di dalam *Theodolite* sudut yang dapat di baca bisa sampai pada satuan sekon (detik). *Theodolite* merupakan alat yang paling canggih diantara peralatan yang digunakan dalam survei. Pada dasarnya alat ini berupa sebuah teleskop yang ditempatkan pada suatu dasar berbentuk membulat (piringan) yang dapat diputar-putar mengelilingi sumbu vertikal, sehingga memungkinkan sudut horizontal untuk dibaca. Teleskop tersebut juga dipasang pada piringan kedua dan dapat diputar-putar mengelilingi sumbu horizontal, sehingga memungkinkan sudut vertikal untuk dibaca. Kedua sudut tersebut dapat dibaca dengan tingkat ketelitian yang tinggi (Farrington 1997).

Theodolite juga bisa berubah fungsinya menjadi seperti pesawat penyipat datar bila sudut vertikalnya dibuat 90° . Dengan adanya teropong pada *Theodolite*, maka *Theodolite* dapat dibidikan kesegala arah. Di dalam pekerjaan bangunan gedung, *Theodolite* sering digunakan untuk menentukan sudut siku-siku pada perencanaan/ pekerjaan pondasi, *Theodolite* juga dapat digunakan untuk mengukur ketinggian suatu bangunan bertingkat.

A. Bagian – bagian *Theodolite* dan kegunaannya menurut modul praktikum survey dan pemetaan jurusan teknik sipil universitas bangka belitung 2017



Sumber : Modul praktikum survey dan pemetaan jurusan teknik sipil, 2017

Gambar 2.19 *Theodolite* Nikon NE-102.

1. *Tribrach* (Plat Landasan)

Digunakan untuk memasang atau mendudukan pesawat. Pada *Tribrach* terdapat:

a. Sekrup ABC atau Sekrup Nivo

Digunakan untuk kedataran nivo/kedataran pesawat.

b. Klem pengunci Pesawat

Digunakan untuk melekatkan/mengunci pesawat terhadap tri brach. Pesawat dalam keadaan terkunci jika ujung segitiga pada klem menghadap arah bawah.

c. Nivo Tabung

Digunakan untuk mengontrol kedataran pesawat.

2. Klem pengunci gerak horizontal

Gunanya untuk mengunci plat skala horizontal bacaan sudut pada awal sudut pengukuran sudut horizontal.

3. Sekrup gerak halus horizontal

Gunanya untuk menempatkan bidikan awal pengukuran sudut horizontal sehingga bidikan tepat pada sasaran dan bacaan sudut horizontal tetap (Dalam kondisi ini klem horizontal bagian bawah dan bagian atas sama-sama dikeraskan/dikunci).

4. Display skala bacaan sudut

Berisi skala bacaan sudut dari 0° - 360° .

5. Optis Center Point (OCP)

Gunanya untuk membidik titik ukur yang berada di bawah pesawat, sehingga pesawat tepat di atas titik ukur. Pada sekrup tersebut dilengkapi sekrup lensa objektif untuk memperjelas titik ukur yang berada di bawah pesawat dan lensa okuler untuk memperjelas tanda titik dan lingkaran yang berada pada sekrup OCP tersebut.

6. Tombol on/oof

Gunanya untuk menghidupkan dan mematikan pesawat.

7. Klem pengunci teropong

Gunanya untuk mengunci teropong sehingga teropong tidak dapat digerakkan ke arah putaran vertikal.

8. Sekrup gerak halus vertikal

Untuk menempatkan bidikan arah vertikal.

9. Sekrup Lensa Okuler

Gunanya untuk memperjelas benang diafragma.

10. Sekrup Lensa Objektif

Untuk mengatur lensa objektif sehingga sasaran terlihat jelas.

11. Lensa Okuler

12. Lensa Objektif

13. Visir

Untuk membidik sasaran secara kasar.

14. Nivo Kotak

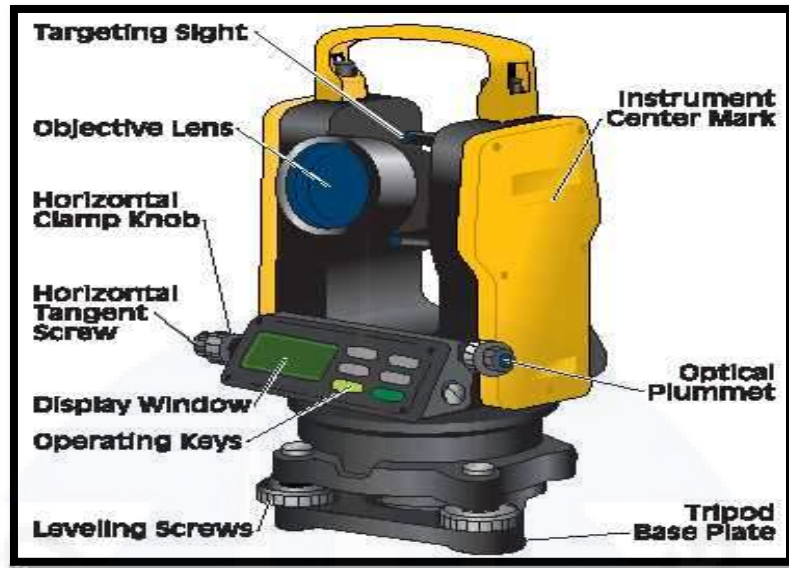
Untuk mengetahui kedataran pesawat.

15. Handle

Untuk memegang pesawat.

B. *Theodolite* Reiterasi (*Theodolite* sumbu tunggal).

Dalam *Theodolite* ini, lingkaran skala mendatar menjadi satu dengan kiap, sehingga bacaan skala mendatarnya tidak bisa di atur. *Theodolite* yang dimaksud adalah *Theodolite* type T0 (wild) dan type DKM 2A (Kem) (Hidayanti dkk, 2012).

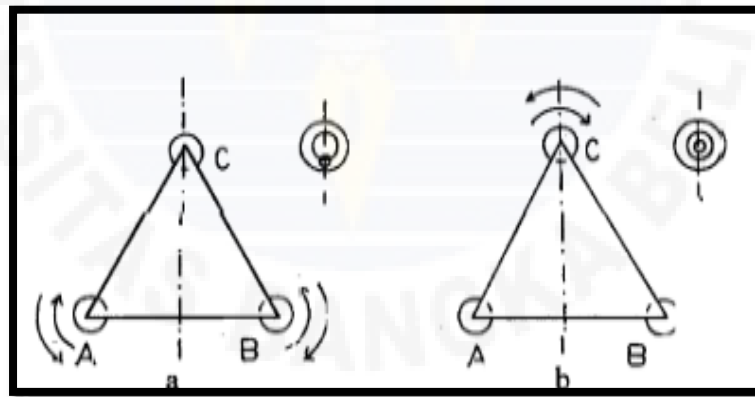


Sumber : Hidayanti dkk, 2012

Gambar 2.20 *Theodolite* Reiterasi.

1. Menurut Modul Kuliah Ilmu Ukur Tanah Jurusan Teknik Sipil Politeknik Bandung (2015) Macam – macam *Theodolite* menurut sistem pembacaannya ada 5 yaitu :
 - a. *Theodolite* sistem bacaan dengan Nonius
 - b. *Theodolite* sistem bacaan dengan Micrometer
 - c. *Theodolite* sistem bacaan dengan Koinsidens
 - d. *Theodolite* sistem bacaan dengan Digital
 - e. *Theodolite* sistem bacaan dengan Index Garis
2. Menurut Modul Kuliah Ilmu Ukur Tanah Jurusan Teknik Sipil Politeknik Bandung (2015) Macam – macam *Theodolite* menurut skala ketelitian ada 5 yaitu :
 - a. *Theodolite* Presisi (Type T3/ Wild)
 - b. *Theodolite* Satu Sekon (Type T2 / Wild)
 - c. *Theodolite* Sepuluh Sekon (Type TM-10C / Sokkisha)
 - d. *Theodolite* Satu Menit (Type To / Wild)

- e. *Theodolite* Sepuluh Menit (Type DK-1 / Kern)
2. Menurut Modul Kuliah Ilmu Ukur Tanah Jurusan Teknik Sipil Politeknik Bandung (2015) persyaratan pengoperasian *Theodolite*
 1. Sumbu I harus tegak lurus dengan sumbu II (dengan menyetel nivo tabung dan nivo kotaknya).
 2. Garis bidik harus tegak lurus dengan sumbu II.
 3. Garis jurusan nivo skala tegak, harus sejajar dengan garis indeks skala tegak.
 4. Garis jurusan nivo skala mendatar, harus tegak lurus dengan sumbu II.
 5. (syarat 2, 3, 4 sudah dipenuhi oleh pabrik pembuatnya)
 3. Menurut Modul Kuliah Ilmu Ukur Tanah Jurusan Teknik Sipil Politeknik Bandung (2015) tata cara penyetelan *Theodolite*
 Pertama dirikan statif sesuai dengan prosedur yang telah ditentukan kemudian pasang pesawat di atas kepala statif dengan mengikatkan landasan pesawat dan sekrup pengunci di kepala statif lalu setel nivo kotak dengan cara :
 1. Putarlah sekrup A, B secara bersama – sama hingga gelembung nivo bergeser ke arah garis sekrup C. (lihat Gambar 2.28)
 2. Putarlah sekrup C ke kiri atau ke kanan hingga gelembung nivo bergeser ke tengah. (lihat gambar 2.29)



Sumber : Modul teknik sipil Poliban, 2015

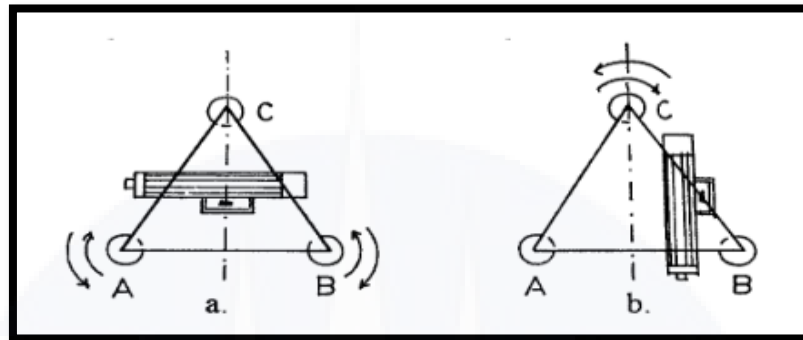
Gambar 2. 21 Tata cara memutar sekrup.

Selanjutnya setel nivo tabung dengan sekrup ungkit (heling). Bila penyetelan nivo tabung menggunakan tiga sekrup penyetelan (sekrup ABC), maka caranya adalah :

1. Putarlah teropong dan sejajarkan dengan dua sekrup AB (lihat Gambar 2.21).

2. Putarlah sekrup A, B masuk atau keluar secara bersama – sama, hingga gelembung nivo bergeser ke tengah (lihat Gambar 2.21).
3. Putarlah teropong 90° ke arah garis sekrup C (lihat Gambar 2.21).
4. Putarlah sekrup C ke kiri atau ke kanan hingga gelembung nivo bergeser ke tengah – tengah.

Selanjutnya periksa kembali kedudukan gelembung nivo kotak dan nivo tabung dengan cara memutar teropong ke segala arah dan pesawat ke segala arah.

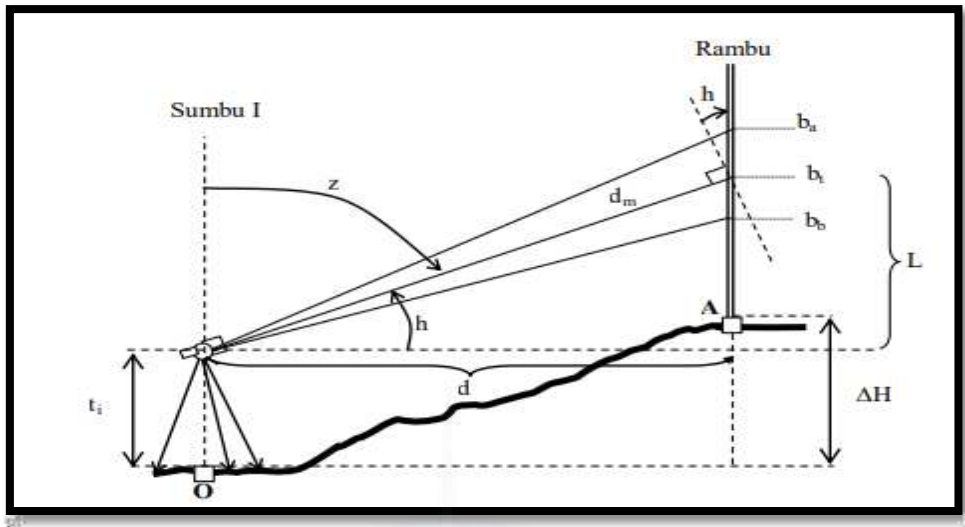


Sumber : Modul teknik sipil Poliban, 2015

Gambar 2.22 Tata cara memutar sekrup.

4. Menurut Modul Kuliah Ilmu Ukur Tanah Jurusan Teknik Sipil Politeknik Bandung (2015), Tata cara pembacaan BAK ukur Pada rambu ukur akan terlihat huruf E dan beberapa kotak kecil yang berwarna merah dan hitam yang berada di atas warna dasar putih. Setiap huruf E mempunyai jarak 5 cm dan setiap kotak kecil panjangnya 1 cm.
5. Menurut Modul Kuliah Ilmu Ukur Tanah Jurusan Teknik Sipil Politeknik Bandung (2015) Pengukuran Jarak secara Tidak Langsung dengan Cara Optis Pengukuran jarak secara optis menggunakan instrumen *Theodolite* yang mempunyai benang stadia dan rambu ukur. Pada rambu ukur perlu dibaca benang tengah (bt), benang atas (ba) dan benang bawah (bb) secara berurutan. Pada *Theodolite* dibaca piringan vertikal.

Gambar berikut mengilustrasikan pengukuran jarak secara optis,



Sumber : Modul teknik sipil Politeknik bandung, 2015

Gambar 2.23 Pengukuran jarak secara optis.

Perhitungan jarak :

$$1. Dm = 100 (ba-bb) , \text{ jarak miring} \dots\dots\dots 2.11$$

$$2. d = Dm \cos (z - 90) , \text{ jarak datar} \dots\dots\dots 2.12$$

Di samping dapat untuk mengukur jarak, cara optis ini juga dapat digunakan untuk mengukur beda tinggi antara kedua titik jika tinggi alat instrumen (t_i) diukur:

$$\Delta H = d \tan h + t_i - b \dots\dots\dots 2.13$$

keterangan:

- | | |
|--|-----------------------------|
| dm : Jarak miring | d : Jarak datar |
| h : heling | z : zenith |
| ba : bacaan benang atas | bt : bacaan benang tengah |
| bb : bacaan benang bawah | ΔH : beda tinggi |
| t_i : tinggi alat ukur <i>Theodolite</i> | h : heling |

2.2.8 Drone

Drone merupakan pesawat tanpa pilot. Pesawat ini dikendalikan secara otomatis melalui program komputer yang dirancang, atau melalui kendali jarak jauh dari pilot yang terdapat di dataran atau di kendaraan lainnya. Awalnya UAV merupakan pesawat yang dikendalikan jarak jauh, namun sistem otomatis kini mulai banyak diterapkan (Bahar, 2020).



Sumber : Bahar, 2020

Gambar 2.24 Drone.

Drone, yang lebih dikenal *Unmanned Aerial Vehicle (UAV)* awalnya dikembangkan untuk kebutuhan militer. Menurut sejarahnya, ide pengembangan pesawat tanpa pilot sudah ada sejak 22 Agustus 1849. Waktu itu, Austria berusaha menyerang kota Venesia di Italia dengan menggunakan balon tak berawak yang penuh akan bahan peledak. Cara kerja drone sederhana ini tidak sepenuhnya berhasil. Beberapa balon mengenai sasaran, tetapi ada pula yang terjebak angin dan berubah arah. Perkembangan teknologi membuat drone juga mulai banyak diterapkan untuk kebutuhan sipil, terutama di bidang bisnis, industri dan logistik. Amazon memulai persaingan industri ini melalui peluncuran layanan *Amazon Prime Air*. Pengangkutan barang menjadi lebih cepat, lebih praktis, minim *human error*, dan mampu menjangkau lokasi terpencil (Bahar, 2020).

Hingga saat ini di dunia industri bisnis, drone telah diterapkan dalam berbagai layanan seperti (Bahar, 2020) :

1. Pengawasan Infrastruktur Fisik (pabrik, pelabuhan, jaringan listrik, dsb.)
2. Pengiriman Paket Barang.
3. Pemadam Kebakaran Hutan.
4. Eksplorasi Lokasi Tambang, Minyak/Mineral.
5. Dan untuk pemetaan atau pembuatan peta kontur/topografi.

Menurut Bahar tahun 2016, klasifikasi drone atas dasar sayapnya dibagi menjadi dua, yaitu multicopter Drone Untuk Percepatan Pemetaan Bidang Tanah dan *fixed wing*. *Fixed wing* memiliki bentuk seperti pesawat terbang biasa yang dilengkapi sistem sayap. Sedangkan multicopter yaitu jenis drone yang

memanfaatkan putaran baling-baling untuk terbang. Multicopter dibagi lagi menjadi dua yaitu single-rotor dan multi-rotor. Tipe single-rotor berbentuk seperti helikopter menggunakan baling-baling tunggal, sedangkan multi-rotor menggunakan 3 sampai 8 baling-baling.

Dalam kongres ISPRS (*International Society for Photogrammetry and Remote Sensing*), UAV memberikan *platform* baru dan terkendali untuk proses akuisisi data tanpa menimbulkan dampak berbahaya ataupun kerusakan lingkungan. Disebutkan juga bahwa UAV dapat melewati daerah berbahaya seperti aktivitas vulkanik gunung berapi, tumpahan racun dan tebing yang curam. Pesawat udara tanpaawak yang mengeluarkan biaya operasional yang rendah serta kemampuan terbang yang fleksibel ini dapat memberikan data dengan cepat dan dapat memperbarui data secara *real time* tanpa menunggujangka waktu panjang seperti citra satelit. Sistem navigasi pada UAV disebut juga *Autonomous Navigation System* karena diterbangkan dengan menggunakan GPS (*Global Positioning System*) dan pengecekan telemetri di GCS (*Ground Control Station*) untuk memantau dan menavigasi UAV saat pengambilan data. Data yang diterima akan diproses di tempat atau di lab. Pergerakan UAV disimpan di unit *aircraft* dan GCS mendapatkan data untuk pemrosesan gambar yang telah diambil.

Teknologi terbaru ini adalah inovasi untuk survei fotogrametri. Sistem ini menggunakan perangkat lunak pengguna yang lebih mudah dan ramah lingkungan seperti perencanaan penerbangan, GSC serta perangkat lunak sistem pemantauan dan telemetri. Kamera atau sensor UAV didasarkan pada ukuran dan muatan yang kompatibel dengan unit *aircraft* itu sendiri. Fotogrametri pesawat terbang menggunakan kamera matriks yang sudah dikalibrasi dan memiliki parameter yang diketahui. Pada UAV, sensor dapat menggunakan kamera saku, *camcorder*, kamera digital SLR dan sensor penginderaan jauh seperti UltraCAM dan membutuhkan parameter untuk mengontrol distorsi lensa (Basyuni, 2021).

Sistem UAV ini berpotensi untuk pengambilan fotogrametri yang mencakup area kecil untuk mendapatkan gambar dengan resolusi tinggi. Sistem ini mampu terbang di dekat objek dalam ketinggian dan posisi yang relatif rendah. Untuk pengendalian secara manual akan menjadi masalah yang disebabkan oleh getaran UAV dan pengaruh angin namun, saat ini perkembangan teknologi dalam meningkatkan sistem UAV yakni dengan menggunakan GPS dan autopilot pada

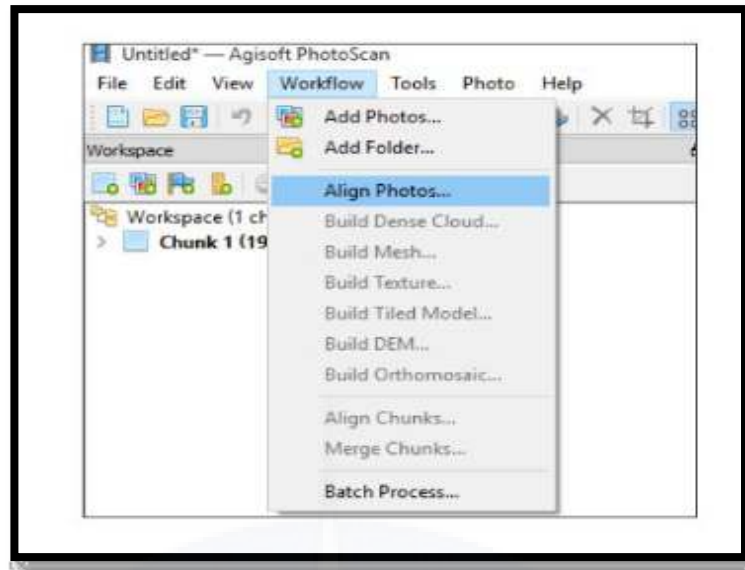
sistem UAV, dan GSC yang dapat memantau telemetri UAV. Teknologi terbaru akan memberikan revolusi untuk fotogrametri dengan operasional biaya rendah dan dapat terbang pada ketinggian rendah (Basyuni, 2021).

Ketinggian terbang UAV berada dalam 100 hingga 300m di atas tanah dan terbang di bawah awan. Ketinggian terbang yang sesuai berdasarkan medan bumi penting untuk menghindari distorsi pada gambar yang diambil. Beberapa perhitungan harus dilakukan untuk mendapatkan ketinggian yang sesuai sebelum terbang. Waktu penerbangan tergantung penggunaan pada sumber energi seperti baterai ataupun bahan bakar minyak. UAV dengan sumber tenaga bahan bakar minyak memiliki durasi penerbangan yang lebih lama daripada baterai namun tergantung pada muatan yang dapat diangkut oleh *aircraft*. Untuk UAV ringan atau mikro, biasanya muatan maksimumnya sekitar 1 - 2 kilogram dalam sekali penerbangan. Penggunaan sumber daya yang berbeda akan mempengaruhi durasi penerbangan dan wilayah jangkauan. Untuk tenaga baterai, pesawat bisa melakukan 2 atau 3 kali penerbangan untuk menempuh area yang luas (Basyuni, 2021).

A. Prosedur Penggunaan UAV atau Drone untuk Pemetaan

Data yang diperoleh dari UAV adalah foto berformat JPEG yang sudah memiliki referensi geografis atau koordinat. Jumlah foto yang dapat mencapai puluhan bahkan ratusan tergantung dari luas area terbang. Hanya foto terbaik yang akan diproses lebih lanjut menggunakan software Agisoft Photoscan (Basyuni, 2021).

Pada menu *workflow*, langkah pertama dari proses ini adalah menelaraskan foto pada sub menu *align photos*.



Sumber : Basyuni, 2021

Gambar 2. 25 Proses *align photos* pada software *Agisoft Photoscan*

Pada tahap ini, foto akan disejajarkan sesuai dengan koordinatnya. Langkah kedua adalah membuat *Dense Point Cloud* pada sub menu *build dense cloud*. *Dense Point Cloud* didasarkan pada kombinasi perkiraan posisi kamera dan informasi kedalaman dari setiap foto.

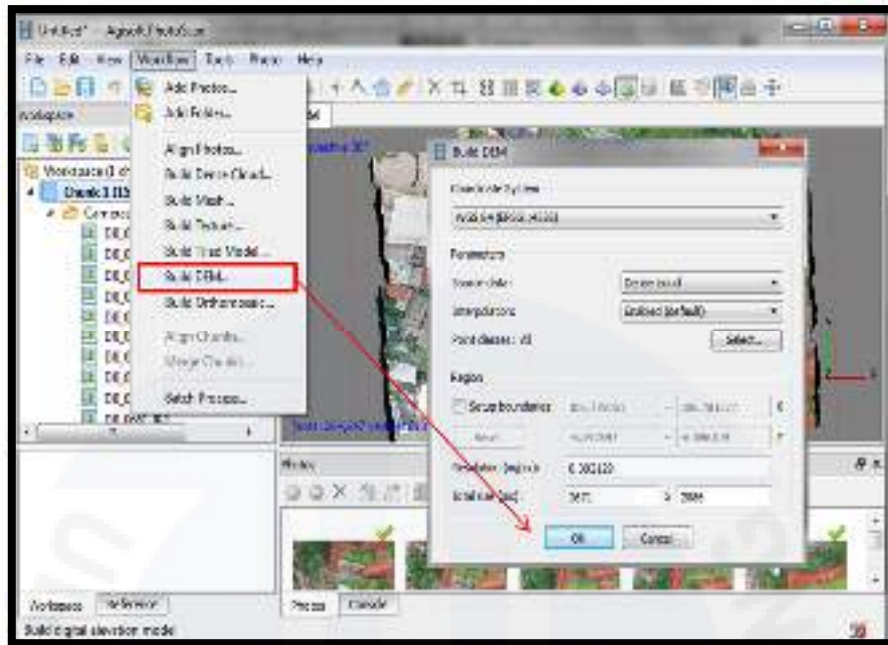


Sumber : Basyuni, 2021

Gambar 2.26 Proses *build dense cloud* pada software *Agisoft Photoscan*

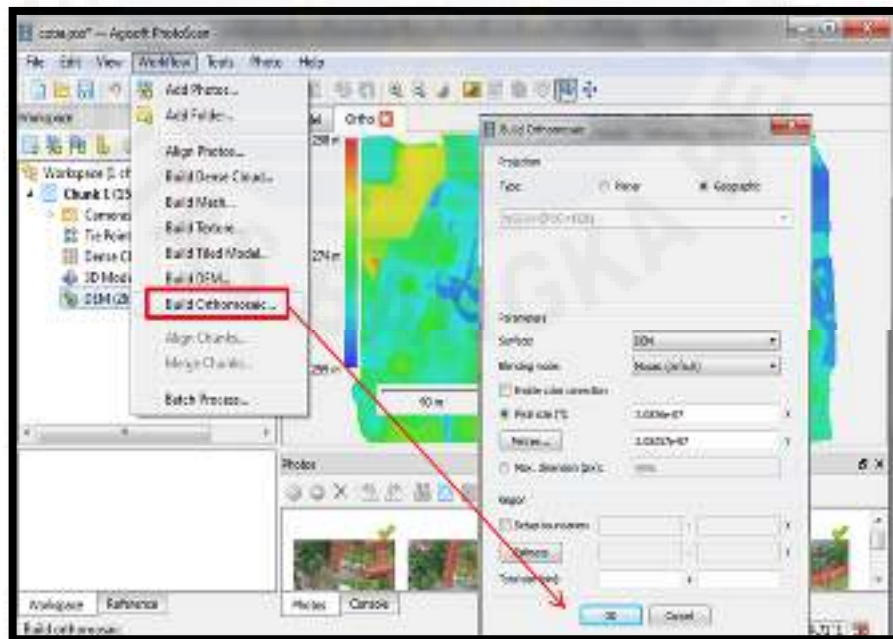
Setelah proses *Dense Point Cloud* berhasil dibuat, langkah selanjutnya adalah membuat *mesh* pada sub menu *build mesh*. PhotoScan merekonstruksi jaring poligonal 3D yang merepresentasikan permukaan objek berdasarkan titik *cloud* padat atau jarang sesuai dengan pilihan pengguna.

Hasil dari data *mesh* selanjutnya dibuat tekstur pada sub menu *build texture* kemudian dilanjutkan ke sub menu *build tiled model*, *build DEM* dan *build orthomosaic* untuk diolah menjadi *Digital Surface Model (DSM)*, *Digital Elevation Model (DEM)* dan *Orthophoto* (Basyuni, 2021).



Sumber : Basyuni, 2021

Gambar 2.27 Proses *build DEM* pada software Agisoft Photoscan



Sumber : Basyuni, 2021

Gambar 2.27 Proses *build DEM* pada software Agisoft Photoscan

2.2.9 Uji Statistik

a. Simpangan baku

Simpangan baku merupakan ukuran penyebaran yang paling banyak digunakan dengan menggunakan simpangan rata-rata hasil pengamatan penyebaran sudah memperhitungkan seluruh nilai yang ada pada data. Namun demikian karena dalam penghitungan menggunakan nilai absolut maka tidak dapat diketahui arah penyebarannya. Maka dengan simpangan baku kelemahan ini dapat diatasi, yakni dengan cara membuat nilai pangkat dua, sehingga nilai negatif menjadi positif. Simpangan baku ini mengukur nilai-nilai data tersebut atau bisa juga didefinisikan sebagai rata-rata penyimpangan data yang diukur dari nilai rata-rata data tersebut. Simpangan baku ini merupakan ukuran penyebaran yang paling teliti. Simpangan baku untuk sampel dapat disimbolkan dengan S (Suharyadi dan Purwanto, 2009). Rumus dari simpangan baku tersebut adalah sebagai berikut :

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (x - \bar{x})^2} \dots\dots\dots 2.17$$

Keterangan :

s : Simpangan Baku atau standar deviasi

n : banyaknya data

x : nilai x

\bar{x} : nilai rata-rata x

b. Uji ketelitian

Pengujian data yang akan dicari ketelitiannya dibandingkan dengan data yang dinyatakan dianggap benar, data akurasi yaitu data hasil pengukuran luas bidang tanah dengan menggunakan Theodolit. Pengolahan data untuk mencari ketelitian pengukuran luas bidang tanah adalah dengan mencari selisih antara pengukuran yang diperoleh dari metode GPS dan Drone dengan metode *Theodolite* sebagai varian, kemudian melakukan perhitungan untuk mendapatkan RMS atau ketelitian menggunakan persamaan berikut ini :

$$SL = \sqrt{\frac{(L1-L2)^2}{n-1}} \dots\dots\dots 2.18$$

Keterangan :

SL : RMS / standar deviasi

$L1$: Luas bidang tanah hasil pengukuran Theodolite

$L2$: Luas bidang tanah hasil pengukuran metode *GPS*

n : Banyaknya bidang tanah

Selain melakukan perhitungan ketelitian luas bidang tanah, ketelitian koordinat antar dua titik yang dibandingkan pun dapat dilakukan dengan rumus, seperti berikut ini :

$$d = d = \sqrt{(x_T - x_{GPS})^2 + (Y_T - Y_{GPS})^2} \dots\dots\dots 2.19$$

$$Sd = \sqrt{\frac{\sum d^2}{n-1}} \dots\dots\dots 2.20$$

Keterangan :

sd : RMS / standar deviasi

n : Banyaknya bidang tanah

d : Jarak (meter)

X_T : Koordinat X pada *Theodolite*

X_{GPS} : Koordinat X pada *GPS*

Y_T : Koordinat Y pada *Theodolite*

Y_{GPS} : Koordinat Y pada *GPS*