

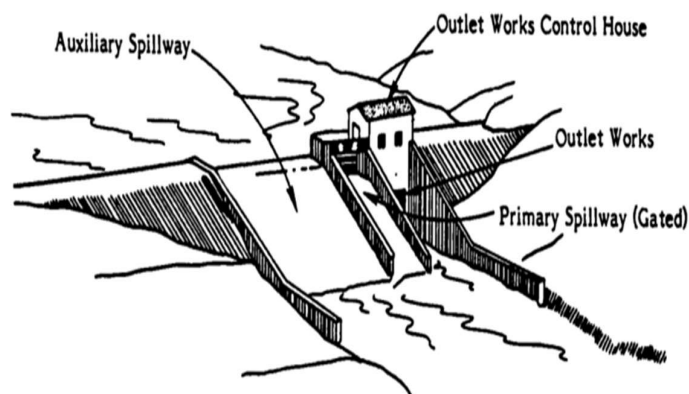
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Bangunan Pelimpah (*Spillway*)

Bangunan pelimpah adalah struktur yang digunakan untuk menyediakan aliran yang terkendali dari bendungan ke daerah hilir (Febriantoro & Priyanto, 2023). Bangunan pelimpah merupakan bagian pelengkap pada bendungan. Fungsi utama dari bangunan ini adalah untuk membuang kelebihan air pada *maindam*. Sehingga, dapat menjaga faktor keamanan saat air melimpas puncak bendungan (*overtopping*) terutama, saat terjadi hujan deras disertai kenaikan volume air pada bendungan.

Pelimpah dapat dibangun terpisah atau menjadi satu bagian dengan bendungan utama (*maindam*). Contoh bangunan pelimpah yang dibangun menyatu dengan bangunan pengeluaran (*outlet*) dapat dilihat pada Gambar 2.1 berikut :



Gambar 2.1 Bangunan Pelimpah Yang Menyatu Dengan *outlet*
(Sumber : Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2017)

Namun, bila kondisi topografi dapat memungkinkan, bangunan pelimpah (*spillway*) dapat dibangun secara terpisah dengan bendungan utama (*maindam*).

Berikut beberapa jenis bangunan pelimpah berdasarkan bentuknya :

1. Pelimpah luncur (*chute*)

Umumnya ditempatkan dengan yang berdekatan dengan tubuh bendungan dan mengalirkan air ke saluran terbuka yang terletak dibawahnya.

2. Pelimpah samping (*side channel spillway*)

Sama seperti pelimpah luncur hanya saja penempatan pelimpah samping berada di sisi bendungan dengan kondisi geografis tertentu.

3. Pelimpah corong (*shaft*)

Pelimpah corong memiliki sistem konduit tertutup sebagai pengganti saluran pada pelimpah konvensional.

4. Pelimpah sipon (*siphon*)

Pelimpah sipon mampu menyediakan pengaturan muka air otomatis.

5. Pelimpah labirin

Pelimpah labirin memiliki perubahan alinyemen pada tata letak pada perpanjangan mercu.

6. Pelimpah *inlet* bak terjun (*box inlet drop spillway*)

Air mengalir melalui saluran yang berbentuk kotak (*box*) dan kemudian terjun ke saluran yang lebih rendah.

7. Pelimpah terowongan (*tunnel*)

Pelimpah terowongan mengalirkan air melalui terowongan yang dibangun di dalam tanah atau pada struktur bendungan itu sendiri.

2.2 Pemetaan Digital

Pemetaan diambil dari kata peta. Peta merupakan data informasi spasial untuk menggambarkan kondisi serta tampak lingkungan. Pada bidang teknik sipil peta digunakan sebagai sarana penyajian elevasi dan kontur muka bumi secara nyata. Pemetaan merupakan suatu kegiatan untuk merepresentasikan bentuk visual dari suatu area atau lingkungan tertentu. Pemetaan dapat menyajikan bentuk dari permukaan bumi dengan skala, elevasi, dan kontur yang beragam.

Pemetaan digital atau dapat dikatakan dengan *digital mapping* merupakan pembuatan peta dengan berbasis penggunaan teknologi digital dengan hasil mulai dari 2D hingga 3D. Menurut (Rusliansyah et al., 2019), Pemetaan digital biasa juga disebut kartografi digital adalah proses dimana suatu kumpulan data dikompilasi dan diformat menjadi gambar digital. Sehingga, yang membedakan pemetaan digital dengan pemetaan konvensional adalah adanya penggunaan teknologi digital seperti computer dan *software* yang mumpuni.

Terdapat berbagai metode dari pemetaan digital, antara lain :

1. Citra satelit
2. Fotogrammetri
3. Survei terestrial
4. *Mobile mapping*
5. *Remote sensing*

2.3 *Photogrammetry*

Photogrammetry dalam bahasa Indonesia fotogrametri, merupakan suatu ilmu dan metode yang dapat digunakan untuk mengetahui informasi objek atau fitur lainnya. Kata fotogrametri berasal dari kata bahasa Yunani "*photos*" yang berarti cahaya, "*gramma*" yang berarti digambar atau ditulis, dan "*metron*" yang berarti pengukuran. Kontur permukaan bumi. Fotogrametri adalah seni, sains, dan teknologi untuk memperoleh informasi tentang objek fisik dan lingkungannya melalui proses perekaman, pengamatan, pengukuran, dan interpretasi gambar fotografi atau rekaman pada gelombang elektromagnetik. Fotogrametri merupakan salah satu metode dari pemetaan digital dengan pemanfaatan teknologi dan *software*.

Kegiatan pemetaan fotogrametri, terutama yang menggunakan fotografi udara, telah berlangsung selama beberapa dekade dan telah menghasilkan pengembangan peralatan dan teknik di bidang pemetaan. Pemetaan dengan metode fotogrametri cenderung menggunakan waktu yang lebih singkat dibandingkan dengan metode teristris, juga dari segi SDM yang dibutuhkan tidak sebanyak jika melakukan pengukuran teristris (Ferinandus, 2024). Pada dasarnya, kegiatan pemetaan dengan metode fotogrametri membutuhkan adanya *software* yang menunjang kegiatan pemetaan.

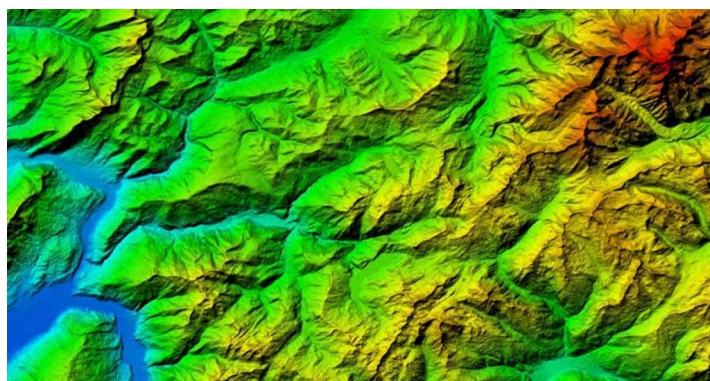
2.3.1 *Agisoft Metashape*



Gambar 2.2 Logo *Agisoft Metashape*
(Sumber : *Agisoft Metashape*, 2025)

Agisoft Metashape adalah perangkat lunak mandiri yang melakukan pemrosesan fotogrametri pada citra digital untuk membuat data spasial yang digunakan dalam aplikasi *Geographis Information System* (GIS), dokumentasi warisan budaya, produksi efek visual, dan pengukuran tidak langsung objek pada berbagai skala. *Agisoft Metashape* adalah salah satu program perangkat lunak terpenting untuk fotogrametri, teknik pembuatan model dan peta dari serangkaian foto. Dengan menggunakan algoritma canggih, *Metashape* dapat mengubah foto menjadi peta ortomosaik, model *Digital Elevation Model* (DEM), dan model dengan akurasi tinggi.

Digital Elevation Model (DEM) adalah representasi digital bentuk permukaan bumi dalam format grid atau raster. DEM menyimpan informasi ketinggian untuk setiap titik di permukaan bumi dan digunakan untuk berbagai analisis geospasial. DEM merupakan salah satu data geospasial dasar yang bisa digunakan untuk berbagai kebutuhan, seperti kepentingan analisis spasial kebencanaan, hidrologi, pertanian, kehutanan, infrastruktur dan bidang lainnya (Sulistiana et al., 2019). Contoh *Digital Elevation Model* (DEM) dapat dilihat pada gambar 2.3 berikut :



Gambar 2.3 *Digital Elevation Model* (DEM)
(Sumber : Zona Spasial, 2018)

2.3.2 *AutoCAD*



Gambar 2. 4 Logo *AutoCAD*
(Sumber : *AutoDesk*, 2025)

AutoCAD adalah salah satu perangkat lunak yang berbasis *CAD* (Desain Berbantu Komputer) dan memiliki peranan yang sangat penting dalam mendukung pekerjaan di bidang fotogrametri. Dalam fotogrametri, *AutoCAD* dimanfaatkan untuk mengimpor, mengolah, dan menampilkan berbagai data dari pemetaan udara seperti orthophoto, titik awan, dan model tiga dimensi. Data *orthophoto*, yang umumnya tersedia dalam format *GeoTIFF* atau *JPEG* yang dilengkapi dengan berkas dunia, dapat diintegrasikan ke dalam *AutoCAD* sebagai acuan dalam proses digitasi.

Dengan menggunakan alat seperti *polyline* dan *polygon*, pengguna dapat memetakan objek penting seperti bangunan, jalan, atau batas lahan dengan tepat, berkat fitur *snap* yang membantu mencapai akurasi yang tinggi. Selain itu, *AutoCAD* juga dapat mengolah data titik awan yang berasal dari pemindaian *LiDAR* atau fotogrametri, yang selanjutnya bisa diubah menjadi permukaan 3D atau model digital untuk analisis lanjutan. Berkat dukungan add-on seperti *AutoCAD*, *Civil 3D* atau *AutoCAD Map 3D*, perangkat lunak ini semakin efisien dalam menangani proyek geospasial, mulai dari pembuatan kontur, perencanaan infrastruktur, hingga simulasi permukaan tanah. Perpaduan antara akurasi fotogrametri dan kemampuan desain fleksibel *AutoCAD* membuatnya menjadi

alat yang sangat berguna dalam bidang survei pemetaan, konstruksi, dan perencanaan wilayah.

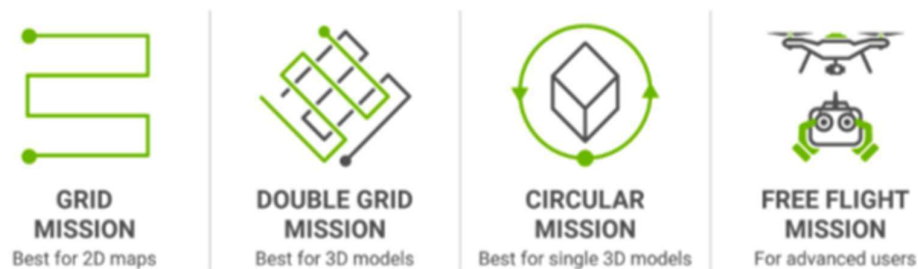
2.3.3 *DJI Fly dan Type Mission*



Gambar 2. 5 Logo *DJI Fly*
(Sumber : *DJI*, 2025)

DJI Fly adalah aplikasi resmi yang dibuat oleh DJI (*Da-Jiang Innovations*), perusahaan terkenal yang menghasilkan drone seperti *DJI Mavic*, *Phantom*, dan *Mini*. Aplikasi ini dibuat khusus untuk pengoperasian *drone* DJI dengan antarmuka yang mudah digunakan, sehingga pengguna dapat dengan mudah menerbangkan *drone*, mengatur pengambilan gambar atau video, serta mengakses berbagai fitur canggih seperti pemetaan otomatis, pelacakan objek (*ActiveTrack*), dan mode penerbangan pintar. *DJI Fly* dapat digunakan dengan berbagai model *drone* DJI terbaru, termasuk *Mavic Air 2*, *Mini 2*, dan *Mavic 3*, serta menawarkan tampilan live view berkualitas tinggi melalui *smartphone* atau tablet. Di samping itu, aplikasi ini juga menyediakan fitur untuk membuat konten dengan cepat (*QuickShots*), pengeditan video yang sederhana, dan pembaruan firmware untuk memperbaiki kinerja *drone*. Dengan desain yang intuitif dan berbagai fitur lengkap, *DJI Fly* menjadi pilihan utama bagi pemula maupun profesional dalam memaksimalkan penggunaan *drone* DJI.

Terdapat beberapa pilihan untuk pengaturan terbang dengan kegunaannya masing-masing, ini disebut dengan *Type Mission*. Dalam fotogrametri yang menggunakan drone, istilah "tipe misi" merujuk pada pola penerbangan spesifik yang diterapkan untuk pengambilan gambar secara sistematis. Pemilihan tipe misi ini sangat bergantung pada tujuan pemetaan yang ingin dicapai, jenis *drone* yang digunakan, serta kondisi medan yang ada. seperti pada gambar 2.6 berikut :



Gambar 2.6 *Type Mission*
(Sumber : Pix4D, 2025)

1. *Grid Mission*

Drone terbang dalam pola grid zig-zag dengan tingkat tumpang tindih tertentu antara gambar untuk memastikan cakupan area yang luas dan hasil yang akurat. Gambar yang diambil dari ketinggian tetap ini akan digunakan untuk menyusun peta orthomosaic, model tiga dimensi, dan melakukan analisis topografi.

2. *Double Grid Mission*

Pola penerbangan drone ini melibatkan dua jalur grid yang saling bersilangan pada sudut tertentu, biasanya 90° . Dalam misi ini, drone akan terbang dalam pola zig-zag ke satu arah, setelah itu, penerbangan akan diulang dengan pola yang sama tetapi dalam arah yang tegak lurus terhadap jalur yang pertama.

3. *Circular Mission*

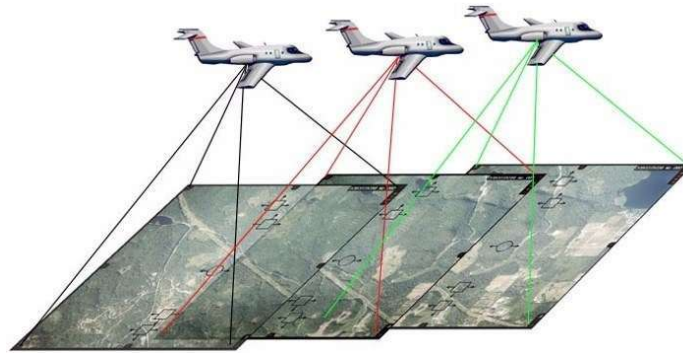
Drone terbang sekeliling objek dengan radius tertentu, sambil memastikan kamera tetap fokus pada pusat objek tersebut. Misi ini sering dimanfaatkan untuk melakukan inspeksi pada bangunan, monumen, menara telekomunikasi, serta objek vertikal lainnya.

4. *Free Flight Mission*

Mode penerbangan ini memungkinkan pilot untuk mengendalikan *drone* secara manual tanpa mengikuti jalur penerbangan yang telah diprogram sebelumnya. Dalam mode ini, operator memiliki kebebasan untuk mengambil gambar atau video dari sudut mana pun yang diinginkan, memberikan fleksibilitas penuh dalam pengambilan data.

2.4 *Unmanned Aerial Vehicle (UAV)*

Unmanned Aerial Vehicle (UAV) yang biasa disebut *drone*/pesawat nirawak merupakan kendaraan udara yang bergerak secara otonom, sesuai perencanaan terbang, dan dikendalikan jarak jauh oleh pilot dengan perangkat lunak. Pemetaan dengan *Unmanned Aerial Vehicle (UAV)* merupakan suatu strategi atau cara untuk pemetaan dengan skala besar dengan waktu yang lebih cepat dan efisien dan tentunya kita dapat menghemat waktu dibandingkan dengan menggunakan metode survey konvensional (Prayogo et al., 2020).



Gambar 2.7 Pemetaan *Aerial*
(Sumber : PlazaGPS, 2020)

Terdapat banyak keunggulan dengan menggunakan *drone* pada metode fotogrametri seperti efisiensi tinggi, biaya yang relatif lebih murah, data yang akurat, fleksibilitas dan aksesibilitas yang mumpuni.

2.5 Ground Control Point (GCP)

Ground Control Point (GCP) atau biasa dikenal sebagai titik control tanah, merupakan titik referensi di permukaan tanah yang memiliki koordinat yang diketahui dengan presisi tinggi. Titik-titik ini sangat penting dalam dunia fotogrametri dan pemetaan berbasis drone, karena dapat meningkatkan akurasi spasial dari hasil pemrosesan data, seperti orthomosaic, model digital elevasi (DEM), dan model 3D. Biasanya, GCP ditempatkan di berbagai lokasi di dalam area survei, dan berfungsi sebagai acuan saat mengoreksi data yang diperoleh dari *drone* menggunakan perangkat lunak fotogrametri.



Gambar 2.8 *Ground Control Point (GCP)*
(Sumber : TerraStore, 2021)

2.6 *Universal Transverse Mercator (UTM)*

Zona UTM (Universal Transverse Mercator) merupakan suatu sistem koordinat internasional yang membagi permukaan bumi menjadi 60 zona vertikal, masing-masing memiliki lebar 6 derajat bujur. Sistem ini berfungsi untuk mengubah koordinat geografis (lintang dan bujur) menjadi koordinat datar (X dan Y atau Easting dan Northing), yang sangat bermanfaat dalam kegiatan pemetaan dan survei. Sistem UTM membagi permukaan bumi menjadi 60 zona vertikal yang masing-masing memiliki lebar 6 derajat, serta memberikan koordinat dalam satuan meter untuk pemetaan yang akurat (GISGeography, 2020).

2.7 *Survei Triangulasi Koordinat*

Triangulasi koordinat, merupakan cara yang dipakai untuk mengidentifikasi lokasi suatu titik di permukaan bumi (ruang dua atau tiga dimensi lainnya). Triangulasi memanfaatkan informasi dari dua titik acuan atau lebih, yang telah diketahui posisinya atau koordinatnya. Survei Triangulasi adalah proses pencarian koordinat dan jarak sebuah titik dengan mengukur sudut antara titik tersebut dan dua titik referensi lainnya yang

sudah diketahui posisi dan jarak antara keduanya. Koordinat dan jarak ditentukan dengan menggunakan hukum sinus (Oktavianto, 2018).

Hasil pengukuran dengan metode triangulasi pada mulanya dimanfaatkan untuk pemetaan area dan navigasi. Seiring waktu, metode ini kemudian diperluas untuk berbagai tujuan seperti metrologi, astrometri, pembuatan gambar menggunakan binokular, serta pengukuran untuk arah tembakan senjata artileri. Bentuk geometri triangulasi adalah seperti halnya metode trilaterasi, dengan perbedaan berupa tidak adanya sudut- sudut lapangan yang diukur, dimana yang diukur hanyalah semua sisi segitiga-segitiganya saja (Hawinuti, 2022).

Tujuan dari Survei Triangulasi adalah sebagai berikut:

1. Untuk menciptakan atau menetapkan Jaring Kontrol Geodesi yang tepat dalam kegiatan Pengukuran Tanah, survei Geodetik, serta survei Fotogrametri.
2. Untuk menjelaskan bentuk dan ukuran bumi dengan melakukan pengukuran terhadap lintang, bujur, dan gaya berat.
3. Untuk menetapkan posisi titik yang tepat untuk keperluan rekayasa.

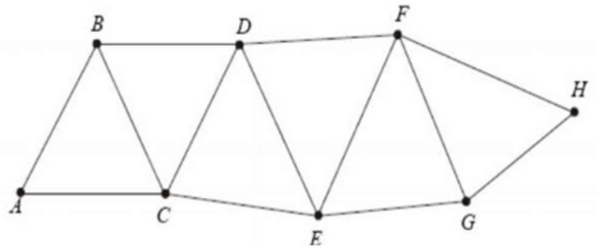
Klasifikasi titik Triangulasi berdasarkan urutannya terdiri dari:

1. Primer, yang bertujuan untuk mengidentifikasi bentuk dan ukuran Bumi serta mencakup area yang luas seperti negara.
2. Sekunder, yang merupakan jaringan dalam urutan primer, ditujukan untuk tingkat provinsi.
3. Tersier, yang merupakan jaringan dalam urutan sekunder, digunakan untuk keperluan rekayasa terperinci dan survei lokasi.

2.8 Jenis Jaring Triangulasi

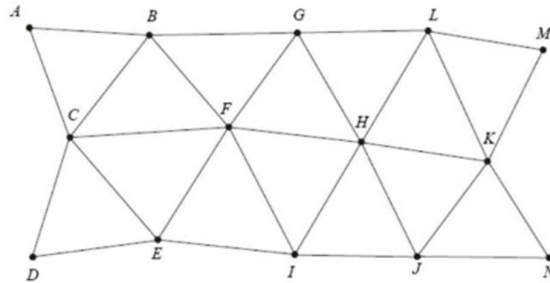
Jaring triangulasi merupakan sebuah sistem titik kontrol geodetik yang terbentuk menggunakan teknik pengukuran sudut dalam rangkaian segitiga untuk menentukan lokasi horizontal dengan tingkat ketelitian yang tinggi. Menurut (*B.M.S Institute of Technology*, 2016), jenis – jenis jaring triangulasi sebagai berikut :

1. *Single chain of triangles*



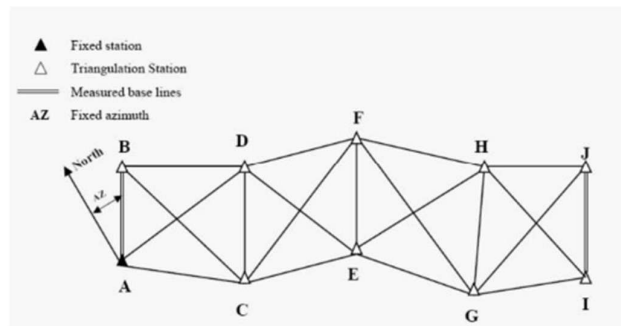
Gambar 2. 9 *Single Chain of Triangles*
(Sumber : *B.M.S Institute of Technology*, 2016)

2. *Double chain of triangles*



Gambar 2. 10 *Double Chain of Triangles*
(Sumber : *B.M.S Institute of Technology*, 2016)

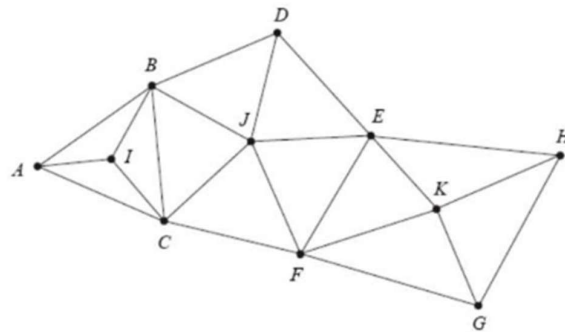
3. *Braced quadrilaterals*



Gambar 2. 11 Braced Quadrilaterals

(Sumber : B.M.S Institute of Technology, 2016)

4. Centered triangles and polygons

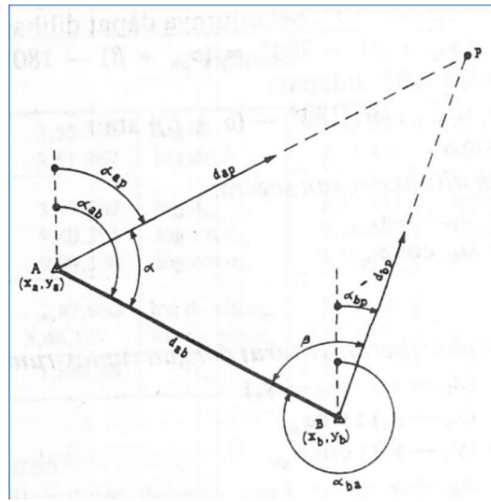


Gambar 2. 12 Centered Triangles and Polygons

(Sumber : B.M.S Institute of Technology, 2016)

2.8.1 Metode Pengukuran Pengikatan ke - Muka

Metode Pengikatan ke Muka (Triangulasi) adalah cara survei untuk menemukan lokasi titik baru (P) dengan mengukur sudut dari dua titik referensi (A dan B) yang koordinatnya sudah diketahui. Pada metode ini, pengukuran yang dilakukan hanya pengukuran sudut. Bentuk yang digunakan metoda ini adalah bentuk segitiga (Purwaamijaya, 2008). Dampak dari sudut yang diukur adalah sudut yang menghadap titik yang sedang dicari, sehingga salah satu sisi dari segitiga tersebut perlu diketahui agar bisa menentukan bentuk dan ukuran segitiga itu. Ilustrasi segitiga pengukuran pengikatan ke muka, dapat dilihat pada gambar 2.8 berikut :

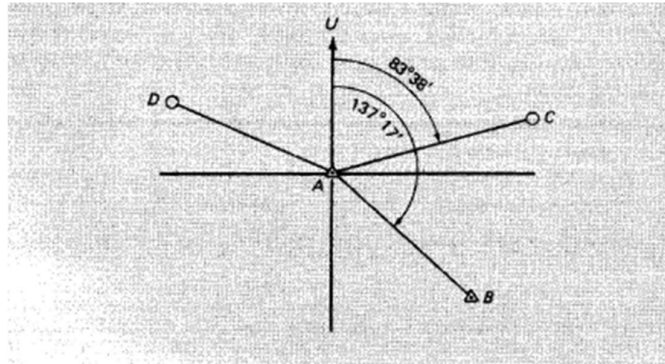


Gambar 2. 13 Segitiga Pegukuran Pengikatan ke Muka
(Sumber : Purwaamijaya,2008)

2.9 Segitiga dan Azimut Triangulasi

Triangulasi adalah jenis survei yang menggunakan prinsip trigonometri untuk menentukan posisi di permukaan Bumi (yaitu, lintang dan bujur) (*National Geodetic Survey*, 2020). Triangulasi secara dasar didasarkan pada prinsip-prinsip trigonometri, terutama hukum sinus serta kosinus, guna menentukan lokasi titik-titik yang belum diketahui dengan menggunakan sudut dan jarak yang telah diukur.

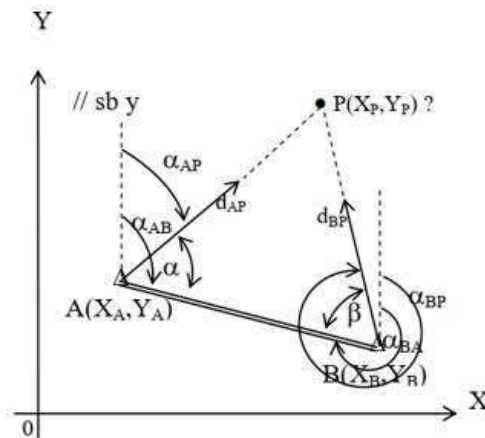
Dalam proses triangulasi, azimut memiliki peran penting untuk menentukan koordinat dan mengatur posisi jaringan segitiga. Azimut merupakan sudut horizontal yang diukur dari arah utara (geografis/magnetis/*grid*) dengan arah searah jarum jam menuju titik tujuan tertentu. Azimut diukur dari sebuah arah acuan yang harus ditentukan dari (a) pengukuran sebelumnya, (b) jarum magnetik, (c) pengamatan matahari atau bintang, atau (d) anggapan (Brinker & Wolf, 2000).



Gambar 2. 14 Contoh Pengaplikasian Azimut
(Sumber : Brinker & Wolf, 2016)

2.10 Penentuan Titik Tambahan C (X_C, Y_C)

Penentuan posisi dengan mengaitkan ke permukaan setidaknya memerlukan dua titik yang telah diketahui koordinatnya. Sementara itu, syarat teknik dalam pelaksanaannya adalah ketiga titik tersebut harus saling terlihat. Titik ikat adalah istilah yang digunakan untuk merujuk pada titik yang koordinatnya sudah diketahui.



Gambar 2. 15 Contoh Perhitungan Segitiga
(Sumber : Indosurta, 2025)

Proses penghitungan ini menggunakan prinsip-prinsip trigonometri, terutama hukum sinus, untuk menemukan jarak dari titik kontrol ke titik P (d_{AP} dan d_{BP}), serta

menghitung azimut guna mengubah sudut dan jarak menjadi koordinat kartesian. Berikut adalah tahapan pengerjaan triangulasi segitiga ke muka (*resection*) dengan titik tumpu A:

1. 2 Titik dan 2 Sudut yang telah diketahui nilainya

A (XA,YA) = Koordinat A dalam UTM (*Easting, Northing*) (m)

B (XB,YB) = Koordinat B dalam UTM (*Easting, Northing*) (m)

β_A = Sudut di sisi A ($^{\circ}$)

β_B = Sudut di sisi B ($^{\circ}$)

Nilai ini dapat diketahui dengan menggunakan *software AutoCAD* / hasil pengolahan fotogrammetri dan triangulasi koordinat.

2. Panjang A – B (dAB) dan Azimut AB (α_{AB})

Pertama, perhitungan dapat dilakukan dengan mencari sisi tegak dan sisi mendatar sebagai berikut,

$$\Delta X = XB - XA \dots \dots \dots (2.1)$$

$$\Delta Y = YB - YA \dots \dots \dots (2.2)$$

Dimana,

ΔY = Selisih koordinat vertikal (m)

ΔX = Sisi koordinat horizontal (m)

Untuk menghitung panjang, rumus yang digunakan adalah jarak *Euclidean* seperti berikut,

$$dAB = \sqrt{(\Delta Y)^2 + (\Delta X)^2} \dots \dots \dots (2.3)$$

dimana , dAB adalah panjang titik A ke titik B dalam meter.

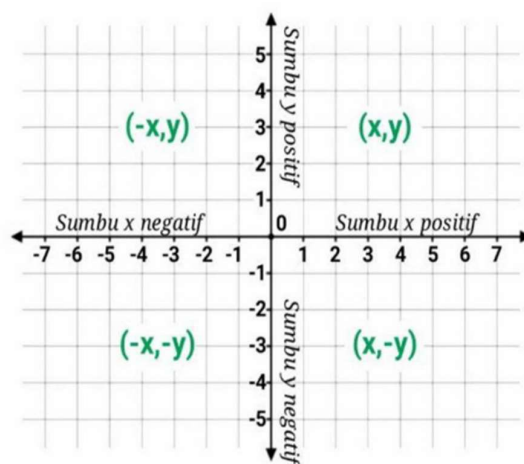
Azimut AB juga dapat dihitung menggunakan rumus azimut dalam pemetaan. Rumus ini menentukan sudut (α) yang terbentuk oleh garis yang

menghubungkan dua titik (A dan B) dengan sumbu horizontal (sumbu X), dengan memanfaatkan perbandingan antara selisih koordinat ($\Delta Y/\Delta X$).

$$\tan \alpha = \left(\frac{\Delta X}{\Delta Y}\right) \dots \dots \dots (2.4)$$

$$\alpha = \tan^{-1}\left(\frac{\Delta X}{\Delta Y}\right) \dots \dots \dots (2.5)$$

Kemudian, hasil dari perhitungan α dapat mencari α_{AB} dengan menggunakan fungsi kuadran. karena fungsi *arctangen* hanya menghasilkan sudut dalam kisaran -90° sampai $+90^\circ$ (Kuadran I dan IV), tanpa memperhatikan arah penuh (0° - 360°). Berikut sebaran sistem kuadran pada diagram kartesius:



Gambar 2. 16 Diagram Kuadran dan Penentuan Sudut
(Sumber : A.Puspitaningtyas , 2023)

- a. Kuadran I (+/+) maka, $\alpha_{AB} = \alpha$
- b. Kuadran II (+/-) maka, $\alpha_{AB} = 180 + \alpha$
- c. Kuadran III (-/-) maka, $\alpha_{AB} = 180 + \alpha$
- d. Kuadran IV (-/+) maka, $\alpha_{AB} = 360 + \alpha$

3. Azimut AP (α_{AP}) dan Sudut di titik C (β_C)

Dengan melihat gambar segitiga, arah β_A berlawanan dengan jarum jam.

Maka untuk mencari α_{AP} dapat menggunakan rumus berikut,

$$\alpha_{AP} = \alpha_{AB} - \beta_A \dots\dots\dots(2.6)$$

Dimana,

Searah jarum jam = *positive* (+)

Berlawanan jarum jam = *negative* (-)

Konsep dasar segitiga digunakan untuk mencari sudut di titik C (β_C)

dengan rumus penjumlahan sudut dalam segitiga,

$$\beta_C = 180 - (\beta_A - \beta_B) \dots\dots\dots(2.7)$$

4. Panjang A – P (d_{AP})

Menggunakan rumus *law of sines*, dengan menghubungkan panjang sisi segitiga terhadap sinus sudut yang berlawanan.

$$\frac{a}{\sin A} = \frac{b}{\sin B} = \frac{P}{\sin P} \dots\dots\dots(2.8)$$

Maka, untuk mencari panjang dari A ke P dapat menggunakan rumus,

$$\frac{d_{AP}}{\sin \beta_B} = \frac{d_{AB}}{\sin \beta_C} \dots\dots\dots(2.9)$$

5. Koordinat titik P dengan titik acuan A (X_P, Y_P)

Pada komponen horizontal (sumbu-x) rumus yang digunnakan adalah

$$X_P = X_A + d_{AC} \sin \alpha_{AP} \dots\dots\dots(2.10)$$

Untuk komponen vertikal (sumbu-y),

$$Y_P = Y_A + d_{AC} \cos \alpha_{AP} \dots\dots\dots(2.12)$$

Sehingga didapatkan titik koordinat P (X_P, Y_P) dari titik acuan A.

2.11 *Google Earth*



Gambar 2. 17 *Google Earth*
(Sumber : *Google Earth* , 2025)

Google Earth berfungsi sebagai alat bantu dalam fotogrametri, khususnya pada tahap perencanaan awal dan untuk referensi visual. *Platform* ini menawarkan gambar satelit dan udara yang dapat membantu para profesional fotogrametri dalam menemukan lokasi survei, memahami kondisi lapangan, serta menetapkan titik kontrol sebelum proses pengambilan gambar. Namun, *Google Earth* memiliki batasan yang cukup signifikan untuk penggunaan fotogrametri yang memerlukan presisi tinggi karena akurasi koordinatnya yang bersifat relatif (umumnya dalam rentang beberapa meter), konsistensi resolusi gambar yang berbeda di berbagai lokasi, serta tidak adanya fitur untuk pemrosesan data fotogrametri.

2.12 *Root Mean Squared Error (RMSE)*

Pengukuran kesalahan model dalam fotogrametri dan triangulasi menggunakan metrik seperti Root Mean Square Error (RMSE), untuk memberikan wawasan yang penting mengenai akurasi model. Metrik ini sangat berguna untuk mendeteksi kesalahan terbesar dalam data yang diukur dibandingkan dengan data referensi (Zhou et al., 2021). *Root Mean Squared Error (RMSE)* adalah metode yang digunakan untuk menilai model regresi linear dengan cara mengukur seberapa tepat ramalan yang dihasilkan oleh model.

Root Mean Squared Error (RMSE) diperoleh dengan cara mengkuadratkan selisih antara hasil prediksi dan pengamatan, kemudian dibagi dengan jumlah data, dan terakhir dilakukan akar.

Root Mean Square Error (RMSE) adalah salah satu metrik paling umum untuk mengukur besarnya error dalam data geografis. Metrik ini sensitif terhadap error besar karena menggunakan kuadrat selisih, sehingga cocok untuk aplikasi yang memprioritaskan outlier (misalnya, penilaian risiko lingkungan). Sebaliknya, *Mean Absolute Error* (MAE) memberikan skor linier yang memperlakukan semua error secara setara, sehingga lebih robust untuk data dengan distribusi miring atau nilai ekstrem (Li & Heap D, 2014).

Dalam proyek fotogrametri, kesalahan maksimum selalu harus dicatat bersamaan dengan *Root Mean Square Error* (RMSE). Sebagai contoh, dalam pemetaan berbasis *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV), nilai Emax yang tinggi di lokasi GCP mengindikasikan adanya kesalahan penempatan atau kalibrasi kamera yang tidak tepat (Förstner & Wrobel, 2016). Sebuah kesalahan besar yang terisolasi dapat membuat model yang biasanya tepat menjadi tidak valid jika terjadi di area yang penting. Menurut Badan Informasi Geospasial (BIG) (2014), mengelompokkan akurasi ke dalam 3 kategori berdasarkan RMSE (Kesalahan Kuadrat Rata-Rata) untuk peta dengan skala besar (1:5. 000 atau lebih rinci) seperti pada tabel 2.1 berikut :

Tabel 2. 1 Tabel Kelas Akurasi RMSE Pada Pemetaan

Kelas Akurasi	RMSE	Aplikasi
Kelas 1	≤ 0.5 m	Infrastruktur, batas properti, pertanian presisi
Kelas 2	0,5 – 1,0 m	Pemetaan tematik
Kelas 3	1,0 – 3,0 m	Pemetaan umum
Tidak memenuhi	>3 m	Perlu kalibrasi ulang

(Sumber : Badan Informasi Geospasial , 2014)