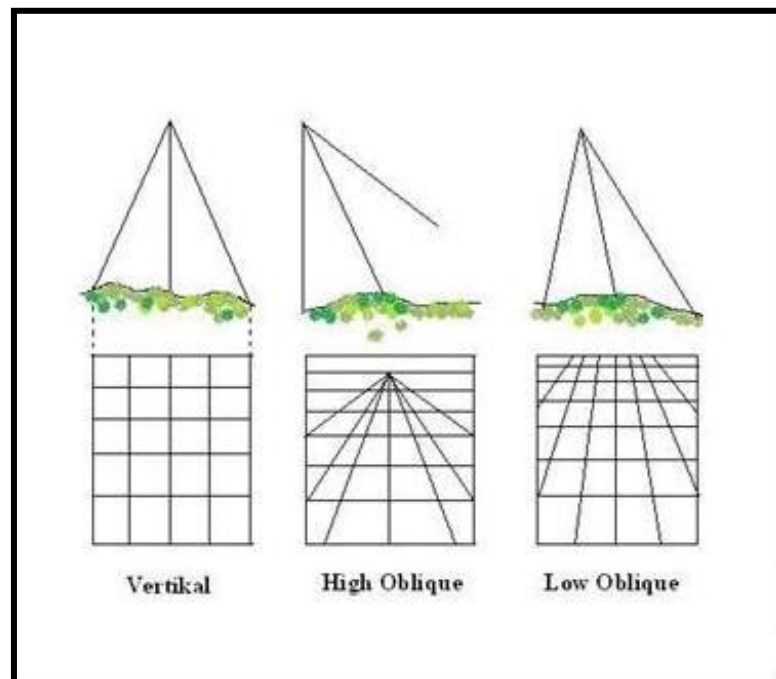


BAB II

DASAR TEORI

2.1 Fotogrametri Jarak Dekat

Fotogrametri adalah seni ilmu dan teknologi untuk mendapatkan informasi tentang objek-objek yang ada di lapangan, dengan proses perekaman pengukuran dan penafsiran citra fotografik serta gelombang energi elektromagnetik yang bercahaya. Salah satu karakteristik fotogrametri adalah pengukuran terhadap objek yang dilakukan tanpa perlu berhubungan ataupun bersentuhan secara langsung pada objek kamera atau sensor terpasang pada wahana yang dapat dipicu dari jarak jauh atau dapat juga secara otomatis. Berdasarkan jenisnya, foto udara dibedakan atas beberapa jenis pemotretan, yaitu pemotretan udara secara tegak (*vertical*), pemotretan udara secara condong (*oblique*), dan pemotretan udara sangat condong (*high oblique*) (Hadi, 2007)



Gambar 2. 1 Sudut Foto Udara

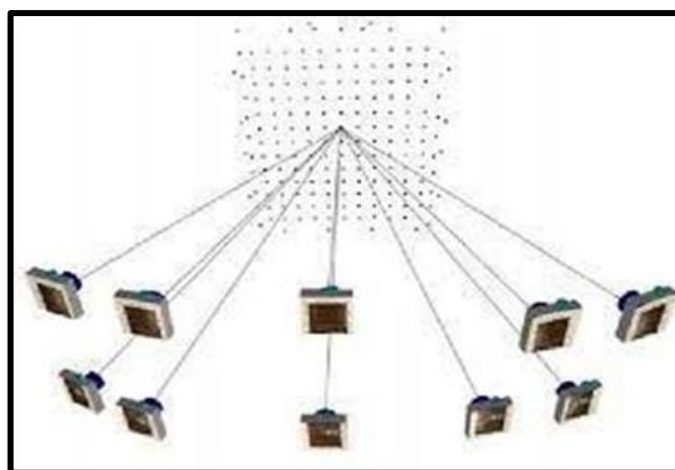
Adapun cabang dari ilmu fotogrametri yaitu fotogrametri jarak dekat (*close range photogrammetry*), perbedaannya terletak pada posisi kamera dengan objek tersebut. Jika fotogrametri merekam objek di bumi dengan posisi kamera di udara, maka fotogrametri jarak dekat merekam objek di bumi

dengan posisi kamera di bumi (lokasi yang dekat dan memberikan informasi rinci dari dimensi suatu objek) (Cooper dan Robson, 2017).

2.2 *Close Range Photogrammetry*

Fotogrametri jarak dekat atau disingkat dengan (CRP) yang relatif meningkat selama bertahun-tahun dengan prinsip dan teorinya diterapkan dalam beragam aplikasi. Ada beberapa keuntungan dari fotogrametri jarak dekat, diantaranya adalah teknik ini mengambil data tanpa bersentuh langsung dengan objek sehingga mampu mengukur struktur yang sulit dilewati, merekam sejumlah besar informasi geometris dalam waktu singkat dari gambar yang diperoleh, dapat dilakukan peninjauan kembali catatan visual dan melakukan analisis tambahan di lain waktu (Alwie et al., 2020).

Fotogrametri jarak dekat pada umumnya digunakan untuk foto terestrial yang mempunyai jarak objek sampai dengan 300 meter. Fotogrametri jarak dekat sendiri mengkombinasikan antara akuisisi data geometri dan tekstur suatu benda sehingga ketelitian dalam rekonstruksi suatu bangunan sangat baik. Pada saat sebuah foto diambil, berkas sinar dari objek akan menjalar menyerupai garis lurus menuju pusat lensa kamera hingga mencapai bidang sensor. Kondisi dimana titik objek pada dunia nyata, titik pusat 8 proyeksi, dan titik objek pada bidang foto terletak satu garis dalam ruang dinamakan kondisi kegarisan berkas sinar atau kondisi kolinearitas (*collinearity condition*) (Hadi, 2007).



Gambar 2. 2 Sudut Foto Udara

Dalam bidang geodesi, metode fotogrametri rentang dekat ini banyak dimanfaatkan dikarenakan dapat memberikan informasi tentang jarak, luas, dan volume. Dari hasil pengukuran dengan metode fotogrametri rentang dekat 7 dapat diperoleh juga koordinat tiga dimensi dalam sistem foto. Untuk itu agar dapat dibandingkan dengan koordinat yang sebenarnya, maka dari itu harus dilakukan transformasi ke sistem koordinat tanah. Fotogrametri rentang dekat banyak juga diaplikasikan dalam berbagai bidang non-topografi karena banyak memiliki keunggulan. Aplikasi yang berkembang antara lain dalam bidang arsitektur, arkeologi, *forensic*, medis, deformasi, *industry* dan lain sebagainya (Bani, 2022).

2.3 Pemodelan 3D Bangunan

Pemodelan tiga dimensi sangat banyak digunakan dalam perencanaan suatu pembangunan atau pelestarian bangunan yang sudah ada. Pemodelan 3D juga tertuju pada proses pembuatan representasi digital tiga dimensi dari objek fisik atau lingkungan dalam bentuk digital. Konsep ini melibatkan penggunaan data geometris, visual, tekstur, dan atribut lainnya untuk membuat model yang mendekati realitas fisik dalam ruang tiga dimensi. Dalam pemodelan 3D, objek- objek dapat diwakili sebagai entitas tiga dimensi yang memiliki panjang, lebar, dan tinggi (Falahesa et al., 2020).



Gambar 2. 3 Bangunan Gereja 3D

Manfaat dari pemodelan 3D dalam industri konstruksi bangunan mempunyai visualisasi yang akurat. Pemodelan 3D memungkinkan dalam proyek untuk melihat objek secara nyata yang sudah dibangun, dan membantu dalam pemahaman desain. Salah satu metode pembuatan model tiga dimensi adalah dengan teknik fotogrametri digital, pembentukan model 3D UAV itu

sendiri dengan memulai proses pengambilan data yang dilakukan menggunakan UAV dengan menggunakan *fitur intelligent flight* pada UAV untuk mengitari objek penelitian dengan jarak (Pauzi & Zam, 2020).

Model bangunan 3D untuk aplikasi seperti Google Earth dan Apple Maps biasanya dibuat dengan melakukan pemetaan tekstur dari Foto Udara dan *terrain*. Pemodelan geometris bangunan 3D dilakukan dengan menggunakan metode manual untuk membangun model geometris yang memerlukan waktu cukup lama untuk membuat sebuah gedung. Hal tersebut sangat sulit dan membutuhkan waktu lama, terutama untuk membangun wilayah perkotaan yang luas.

2.4 Deteksi Bangunan

Deteksi bidang atap bangunan, dinding luar bangunan, menara bangunan yang diperoleh berdasarkan segmentasi dari model permukaan digital untuk menemukan bidang-bidang yang berada pada daerah kajian. Setelah memperoleh semua *patch* atap, dinding luar bangunan, menara bangunan setiap tapak bangunan dapat diproses untuk melakukan pemodelan bangunan 3D. Proses pemodelan bangunan 3D dilakukan dengan memanfaatkan sumber daya komputasi. Pada tahap ini dapat dimungkinkan untuk membangun sebuah model bangunan 3D dari masing-masing *set point*. Namun untuk mencapai model yang mengandung banyak *detail* perlu untuk mengidentifikasi fitur signifikan yang berada di atas atap bangunan dan dapat mewakili bentuk atap dinding luar bangunan, menara bangunan dengan sedetail mungkin.



Gambar 2. 4 Deteksi Bangunan Menara Gereja

2.5 UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*)

UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*) merupakan sistem tanpa awak (*Unmanned System*), yaitu sistem berbasis elektro-mekanik yang dapat melakukan misi-misi terprogram dengan karakteristik: tanpa awak pesawat. Sistem kendali pada UAV dibagi menjadi dua yaitu kendali secara manual oleh pilot dan kendali secara otomatis menggunakan sistem *auto pilot*.

Menurut (Wolf et al., 2014) pada system *auto pilot* kendali pesawat sepenuhnya dilakukan oleh *microprocessor* atau *microcontroller*. kemudian pilot otomatis adalah sistem mekanikal, elektrik, atau hidrolik yang memandu sebuah kendaraan tanpa campur tangan dari manusia. Umumnya pilot otomatis dihubungkan dengan pesawat, tetapi pilot otomatis juga digunakan di kapal dengan istilah yang sama. UAV ini memiliki keterbatasan, keterbatasan dari UAV dibatasi oleh dimensi dari UAV itu sendiri. Sehingga biasanya digunakan sensor atau perangkat kamera yang beratnya ringan berupa kamera format kecil. Selain itu daya jelajah dan tinggi terbang UAV juga terbatas karena kemampuan mesinnya yang memang tidak dirancang untuk terbang jarak jauh dan tinggi (Spectra & 2017, n.d.).

2.6 Ortorektifikasi

Ortorektifikasi adalah proses pembuatan foto miring ke foto/*image* yang ekuivalen dengan foto tegak. Foto tegak ekuivalen yang dihasilkan disebut foto terektifikasi. Ortorektifikasi pada dasarnya merupakan proses manipulasi citra untuk mengurangi/menghilangkan berbagai distorsi yang disebabkan oleh kemiringan, tetapi masih mengandung pergeseran. Secara teoritik foto terektifikasi merupakan foto yang benar-benar tegak dan oleh karenanya bebas dari pergeseran karena relief topografi (*relief displacement*). Pada foto udara pergeseran relief ini dihilangkan dengan rektifikasi *diferensial* (Frianzah, 2009). Proses ortorektifikasi dilakukan dengan menggunakan data DEM yang telah dihasilkan dari *plotting* fotogrametri, sehingga akan didapatkan *Ortho Rectified Image* (ORI). Data yang dihasilkan untuk menghasilkan Ortofoto secara digital.

Orthofoto/image adalah foto yang menyajikan gambaran objek pada posisi ortografik yang benar (Wolf, 1981).

Orthorektifikasi menjadi tahap penting dalam pemrosesan foto udara karena berfungsi untuk menghilangkan distorsi geometrik akibat variasi topografi dan sudut pengambilan gambar. Dengan menggunakan model elevasi digital (DEM) yang akurat, proses ini memungkinkan koreksi terhadap pergeseran perspektif, sehingga menghasilkan ortofoto yang dapat digunakan dalam analisis spasial dengan presisi tinggi (Kraus, 2007). Orthorektifikasi sangat berguna dalam aplikasi pemetaan, pemantauan lingkungan, serta perencanaan kota karena dapat menghasilkan citra yang memiliki skala seragam dan akurat untuk pengukuran jarak, luas, serta posisi geografis suatu objek.

Selain itu, kemajuan teknologi penginderaan jauh telah memungkinkan penggunaan data dari berbagai sumber, seperti citra satelit resolusi tinggi dan data LiDAR, untuk menghasilkan ortofoto dengan tingkat akurasi yang lebih baik (Zhou et al., 2018). Dengan demikian, orthorektifikasi tidak hanya berperan dalam pemetaan dasar tetapi juga menjadi elemen kunci dalam pemodelan 3D, analisis perubahan lahan, serta berbagai aplikasi geospasial lainnya.

2.7 DSM (*Digital Surface Model*)

Digital Surface Model (DSM) adalah model digital yang merepresentasikan permukaan bumi termasuk semua objek di atas tanah, seperti bangunan, pohon, dan infrastruktur lainnya. DSM memberikan gambaran yang lebih lengkap tentang permukaan bumi dan sering digunakan dalam analisis visual, perencanaan kota, dan pemodelan lingkungan. Contoh sumber data yang digunakan untuk membuat data DSM yaitu dengan menggunakan data foto udara dan data LiDAR (*Light Detection and Ranging*) (Alwie et al., 2020).

DSM sebenarnya identik dengan DEM, bahkan disamakan posisinya. Ini berarti bahwa DSM adalah model digital yang merepresentasikan permukaan bumi, termasuk semua objek di atas tanah, seperti bangunan,

pohon, dan infrastruktur lainnya. Dengan kata lain, DSM memberikangambaran yang lebih lengkap tentang permukaan bumi dibandingkan dengan DEM.



Gambar 2. 5 *Digital Surface Model*

Pada foto udara pergeseran relief ini dihilangkan dengan rektifikasi *diferensial* (Frianzah, 2009). Proses orthorektifikasi dilakukan dengan menggunakan data DEM yang telah dihasilkan dari *plotting* fotogrametri, sehingga akan didapatkan *Ortho Rectified Image* (ORI). Data yang dihasilkan untuk menghasilkan Orthofoto secara digital. *Orthofoto/image* adalah foto yang menyajikan gambaran objek pada posisi ortografik yang benar (Wolf, 1981).

2.8 RMSE (*Root Mean Square*)

RMSE adalah akar kuadrat dari rata-rata yang dimana kuadrat selisih antara nilai koordinat data dan nilai koordinat dari sumber *independent* yang akurasiya lebih tinggi. Penelitian ini akan didapatkan nilai RMSE yaitu nilai RMSE horizontal. RMSE horizontal ditentukan dari nilai RMSE absis dan RMSE ordinat. Nilai RMSE absis dan RMSE ordinat dapat dihitung dengan persamaan berikut (Gunawan et al., 2019):

$$RMSE \text{ Horizontal} = \sqrt{\frac{RMSE_x^2 + RMSE_y^2}{n}}$$

$$\frac{\sqrt{(xData^2 - xData^2) \pm \sqrt{(yData^2 - yData^2)}}}{n} \dots\dots\dots (2.1)$$

$$RMSE \text{ VERTIKAL} = \sqrt{\frac{ZData - ZCek^2}{n}} \dots\dots\dots (2.2)$$

Selain itu, RMSE sering digunakan dalam berbagai penelitian geospasial untuk menilai kualitas data hasil pemetaan terhadap data acuan (Abdullah et al., 2020). Semakin kecil nilai RMSE, semakin tinggi tingkat akurasi hasil pemetaan yang dilakukan (Wang & Cheng, 2021). Oleh karena itu, perhitungan RMSE menjadi salah satu metode yang penting dalam analisis ketelitian geospasial.

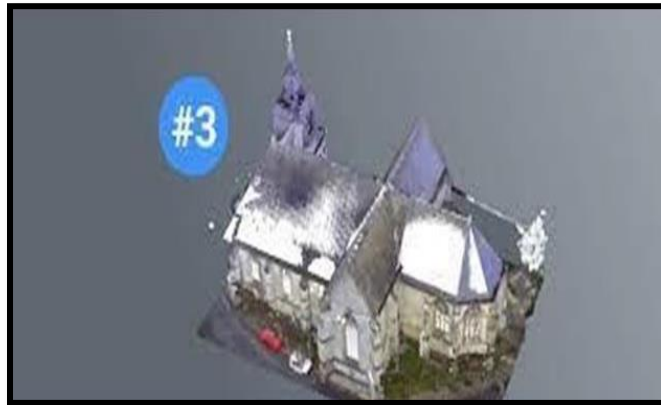
2.9 *Point Cloud*

Point cloud adalah sekumpulan data yang berupa titik-titik pada beberapa koordinat sistem. Dalam sistem koordinat tiga dimensi, titik-titik ini biasanya ditentukan oleh X, Y, dan Z koordinat, dan sering dimaksudkan untuk mewakili permukaan eksternal dari suatu objek (Benshlomo, 2023). *Point cloud* yang dihasilkan merupakan himpunan dari titik-titik yang terukur. Sebagai hasil proses 3D *scanning*, *point cloud* dapat digunakan untuk berbagai tujuan termasuk untuk membuat model 3D. Teknik untuk mengkonversi *point cloud* menjadi *surface* 3D menggunakan beberapa pendekatan seperti *delaunay triangulation*, *alpha shapes*, dan *ball pivoting* (Mwangangi, 2019).

Delaunay triangulation adalah metode yang menghasilkan triangulasi di mana tidak ada titik yang berada di dalam lingkaran yang dibentuk oleh setiap segitiga dalam triangulasi tersebut. Metode ini sering digunakan dalam rekonstruksi permukaan 3D karena kemampuannya menghasilkan mesh yang baik dari data point cloud yang padat (Jia et al., 2018).

Alpha shapes adalah generalisasi dari *convex hull* yang digunakan untuk mendefinisikan bentuk suatu himpunan titik. Dengan mengatur parameter *alpha*, metode ini dapat mengontrol tingkat detail permukaan yang direkonstruksi, memungkinkan rekonstruksi permukaan yang lebih akurat dari *point cloud* yang tidak beraturan (Edelsbrunner & Mücke, 1994).

Ball pivoting adalah algoritma yang membentuk mesh dengan memutar bola dengan radius tertentu di atas *point cloud*, membuat segitiga ketika bola menyentuh tiga titik tanpa ada titik lain di dalamnya. Metode ini efektif untuk menghasilkan mesh dari data *point cloud* yang diambil dari pemindaian permukaan objek (Bernardini et al., 1999).



Gambar 2. 6 *Point Cloud* Yang Dikonversikan Menjadi *Surface* 3D

2.10 Model 3D

Model tiga dimensi (3D) adalah representasi digital dari objek atau permukaan yang ada di dunia nyata, yang didefinisikan dalam sistem koordinat kartesian tiga sumbu: x, y, dan z. Dalam konteks Sistem Informasi Geografis (SIG), model 3D dapat dibedakan menjadi dua kategori utama:

1. Model 3D dengan referensi kebumihan georeferensi yaitu Model ini memiliki koordinat geografis yang sesuai dengan lokasi sebenarnya di permukaan bumi, memungkinkan integrasi dengan data spasial lainnya dalam SIG.
2. Model 3D tanpa referensi kebumihan adalah Model ini tidak memiliki koordinat geografis yang terkait dengan lokasi nyata di bumi dan biasanya digunakan untuk tujuan visualisasi atau desain tanpa memerlukan konteks spasial yang akurat.

Tiga dimensi dapat diartikan sebagai objek yang dapat didefinisikan dalam sistem koordinat kartesian tiga sumbu, yaitu pada sumbu x, sumbu y dan sumbu z, sederhananya objek 3D adalah objek yang memiliki panjang lebar dan tinggi. Semua objek *real-world* (dunia nyata) berbentuk 3D. Model dapat diartikan sebagai representasi/tiruan dari dunia nyata, sehingga model 3D dapat diartikan sebagai penggambaran atau representasi dunia nyata dalam bentuk 3D dalam sistem lain.



Gambar 2. 7 Model 3D Georeferensi

2.11 *Ground Sampling Distance (GSD)*

Ground Sampling Distance (GSD) adalah ukuran resolusi spasial dari citra hasil pemotretan udara, yang menunjukkan jarak sebenarnya di permukaan tanah yang direpresentasikan oleh satu piksel dalam gambar. GSD dihitung berdasarkan tinggi terbang pesawat atau *drone* serta spesifikasi kamera yang digunakan, seperti panjang fokus dan ukuran sensor. Nilai GSD berpengaruh langsung terhadap tingkat ketelitian dan akurasi data fotogrametri. Semakin kecil nilai GSD, semakin tinggi resolusi citra yang dihasilkan, sehingga detail objek pada permukaan tanah dapat terlihat lebih jelas. Sebaliknya, GSD yang besar menghasilkan resolusi yang lebih rendah, sehingga detail kecil pada permukaan tanah menjadi kurang terlihat.

Dalam fotogrametri, penentuan GSD sangat penting untuk memastikan bahwa data yang dikumpulkan sesuai dengan kebutuhan analisis, seperti pemetaan skala besar, pemantauan lingkungan, atau rekonstruksi model 3D. Dengan menetapkan nilai GSD yang optimal, tinggi terbang dan parameter

kamera dapat disesuaikan untuk menghasilkan data dengan tingkat akurasi yang diinginkan.

Menentukan nilai GSD ini menggunakan rumus sebagai berikut:

$$GSD = \frac{H}{F} \times I$$

- **GSD** = *Ground Sampling Distance* (jarak sebenarnya di tanah yang diwakili oleh satu piksel)
- **H** = Ketinggian terbang kamera atau drone di atas permukaan tanah (meter)
- **F** = Panjang fokus lensa kamera (mm)
- **I** = Resolusi gambar (jumlah piksel dalam satu dimensi, misalnya lebar gambar dalam piksel)