

## **BAB II**

### **DASAR TEORI**

#### **2.1 Fotogrametri**

*Menurut American Society of Photogrammetry (ASP)*, Fotogrametri dapat dijelaskan sebagai suatu bidang yang menggabungkan seni, ilmu, dan teknologi untuk mendapatkan informasi yang dapat diandalkan tentang objek fisik dan lingkungannya. Hal ini dicapai melalui serangkaian proses yang melibatkan perekaman, pengukuran, dan interpretasi dari dua jenis gambaran fotografik dan pola radiasi tenaga elektromagnetik yang direkam. Dalam konteks ini, gambaran fotografik yang dimaksud adalah foto udara, yaitu gambar yang diambil dari sebagian permukaan bumi menggunakan kamera yang dipasang pada wahana seperti pesawat terbang. Fotogrametri telah berkembang lebih jauh dari sekadar pengambilan gambar udara. Kini, konsep fotogrametri mencakup ilmu pengetahuan dan teknologi yang lebih luas dalam pengolahan foto udara dengan tujuan untuk memperoleh data dan informasi yang akurat, terutama untuk keperluan pemetaan dan rekayasa. Dengan demikian, Fotogrametri merupakan bidang yang sangat penting dalam pemahaman dan pengukuran objek fisik serta lingkungan mereka dengan menggunakan gambar-gambar udara, yang pada gilirannya mendukung berbagai aplikasi seperti pemetaan wilayah dan perencanaan rekayasa. (Suyudi, 2014).

Kegiatan pemetaan dengan menggunakan teknik fotogrametri telah berlangsung selama puluhan tahun, dan seiring berjalannya waktu, perkembangan dalam peralatan dan teknik pemetaan semakin pesat. Hal ini telah menghasilkan kemajuan yang signifikan dalam bidang fotogrametri, yang kini dapat memberikan hasil yang akurat dan efisien. Perkembangan ini memiliki dampak positif yang besar dalam dunia pemetaan. Fotogrametri telah terbukti sangat menguntungkan dalam bidang pemetaan, terutama untuk kegiatan pemetaan yang memerlukan tingkat ketelitian yang tinggi (Suyudi, 2014).

Pemetaan fotogrametri menggunakan foto udara sebagai sumber data utamanya. Kualitas peta atau informasi yang dihasilkan sangat bergantung pada kualitas metrik (yang berkaitan dengan pengukuran) dan kualitas gambar (pictorial

quality) dari sumber data foto udara tersebut. Penting untuk diingat bahwa pengadaan foto udara biasanya dipandu oleh tujuan pemetaan yang ingin dicapai. Ditinjau dari data yang dapat diperoleh dari foto udara, maka fotogrametri dapat dibagi menjadi dua yaitu (Herjuno, 2013) :

a. Fotogrametri Metrik

Fotogrametri Metrik, atau sering disebut metrik fotogrametri, adalah cabang dari fotogrametri yang memiliki tujuan utama untuk mengumpulkan data kuantitatif, seperti jarak, sudut, luas, dan posisi dari suatu objek. Untuk mencapai tujuan ini, diperlukan peralatan khusus, serta pengetahuan dan keterampilan yang spesifik dalam bidang ini. (Tjahjadi, M. E., & Rifaan, M. 2019).

b. Fotogrametri Interpretatif

Fotogrametri Interpretatif bertujuan untuk memperoleh data kualitatif dengan cara pengenalan, identifikasi dan interpretasi foto udara (Octavan, H.A. R. I.2022).

## 2.2 Kemiringan Lereng (*Slope Gradient*)

Kemiringan lereng mengacu pada variasi ketinggian yang terdapat dalam bentuk lahan tertentu. Dalam pemetaan, untuk menentukan kemiringan lahan rata-rata pada berbagai kelompok pemetaan, digunakan pendekatan dengan menghubungkan titik-titik tertentu yang memiliki kelerengan yang serupa. Setiap garis yang digambar menggambarkan tingkat kemiringan yang serupa di seluruh daerah tersebut. Informasi mengenai kemiringan lahan ini memainkan peran penting dalam menentukan karakteristik suatu daerah yang akan diperhitungkan dalam penggunaan lahan. (Sinery, A. S. 2019). Menurut Gunawan (2011), kelas kelerengan lahan digolongkan dalam lima tipe sebagai berikut.

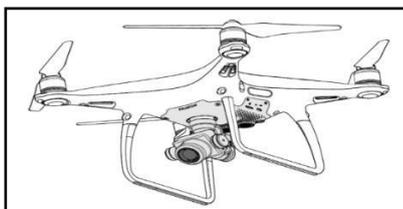
1. Bergunung dengan kelerengan lebih dari 45 % (lebih besar dari 24°)
2. Berbukit dengan kelerengan 25-45 % atau 14°-24°
3. Bergelombang dengan kelerengan 15-25 % atau 8°-14°
4. Landai dengan kelerengan 8-15 % atau 5-8°
5. Datar dengan kelerengan 0-8 % atau 0-5°

Peta kelerengan atau peta kemiringan lereng adalah jenis peta yang menggambarkan kondisi tingkat kemiringan pada suatu lahan. Kelerengan diukur dengan membandingkan jarak vertikal dengan jarak horizontal. Nilai kelerengan biasanya dapat dinyatakan dalam persentase (%) atau dalam derajat (°). Informasi

spasial tentang kelerengan memberikan deskripsi tentang bagaimana permukaan lahan tersebut, apakah datar, landai, curam, atau terjal. Selain melakukan pengukuran langsung di lapangan dengan menggunakan alat ukur kemiringan lereng, seperti clinometer, nilai kelerengan juga bisa dihitung berdasarkan data Digital Elevation Model (DEM) atau Digital Terrain Model (DTM) yang dihasilkan dari pengukuran terestris atau penginderaan jauh (Husni 2017).

### **2.3 Drone Dji Phantom 4 Pro**

*UAV (Unmanned Aerial Vehicle)* adalah Salah satu wahana tanpa awak di udara yang dapat terbang tanpa ada pilot di dalamnya. Untuk dapat menghasilkan gaya angkat (*lift*), *UAV* menggunakan gaya aerodinamik dalam sistemnya. *UAV* sendiri dapat terbang secara *autonomous* atau dioperasikan dengan radio kontrol (Hidayat dan Mardiyanto, 2017). Salah satu contoh *UAV* adalah drone *DJI hantom 4 Pro* yang menjadi wahana dalam penelitian ini. *DJI Phantom 4 Pro* adalah kamera terbang yang sangat cerdas yang dilengkapi dengan sensor lima arah untuk mendeteksi rintangan yang terdiri dari sensor pengelihatan dan inframerah, sehingga dapat dengan cerdas menghindari rintangan selama penerbangan. *DJI Phantom 4 Pro* memiliki kamera dengan kualitas gambar yang belum pernah ada sebelumnya untuk Phantom, dengan kejernihan lebih besar, noise lebih rendah, foto dan video beresolusi tinggi (DJI, 2016).



**Gambar 2. 1** *DJI Phantom 4 Pro* (DJI, 2016)

### **2.4 Ground Control Point (GCP)**

*GCP, atau Ground Control Point*, merujuk pada titik-titik lokasi yang telah diketahui atau diidentifikasi di dunia nyata, yaitu di permukaan tanah. *GCP* digunakan untuk memverifikasi atau mengonfirmasi posisi fitur pada peta. *GCP* berfungsi sebagai titik referensi atau titik sekutu yang menghubungkan sistem koordinat pada peta dengan sistem koordinat pada foto udara atau citra satelit. (Amin, 2017).

Dalam proses ortorektifikasi diperlukan *GCP* yang tersebar secara merata pada daerah pemetaan. Sebaran *GCP* tergantung pada desain jaringan yang dibuat pada proses pengadaan *GCP*. Desain *GCP* yang ideal pada setiap area citra adalah dengan memperhitungkan faktor di atas yaitu tersebarnya *GCP* secara merata pada cakupan areal pemetaan (setiap scene citra) yang akan digunakan dalam proses ortorektifikasi citra (Amin, 2017).



*Gambar 2. 2Titik GCP (Albertho, 2021)*

#### **2.4.1 Sebaran *GCP* atau titik kontrol tanah**

Titik ini merupakan titik kontrol tanah yang digunakan dalam koreksi citra ortorektifikasi. Syarat penentuan sebaran titik kontrol tanah adalah sebagai berikut (Amin, 2017) :

- a) Pada sisi perimeter area citra
- b) Pada tengah area
- c) Pada wilayah perbatasan/overlap area citra
- d) Tersebar secara merata dalam area citra
- e) Menyesuaikan kondisi terrain

#### **2.5 *Independent Check Point (ICP)***

*ICP* atau titik cek adalah titik kontrol tanah yang digunakan sebagai control kualitas dari objek dengan cara membandingkan koordinat model dengan koordinat

sebenarnya. Perbedaan utama antara *GCP* dan *ICP* adalah *GCP* digunakan saat pengolahan data sedangkan *ICP* berfungsi ketika data sudah menjadi produk dan



*Gambar 2.3 Titik ICP (Albertho, 2021 )*

tidak termasuk dalam proses pengolahan data. Titik ini digunakan untuk mendapatkan ketelitian horizontal foto udara hasil pemotretan (Lailissaum, 2015, dikutip dalam Cristovel at al, 2020 ).

### **2.5.1 Sebaran *ICP* atau titik uji akurasi**

Titik kontrol tanah yang digunakan sebagai titik uji hasil ortorektifikasi harus memenuhi syarat bahwa obyek yang dipilih sebagai titik uji harus memiliki persebaran yang merata di seluruh area yang akan diuji. Dengan kata lain, titik-titik kontrol ini harus tersebar secara merata di seluruh wilayah yang menjadi objek ortorektifikasi. Hal ini diperlukan agar proses ortorektifikasi dapat diuji secara representatif dan akurat di berbagai bagian dari area yang akan diperbaiki. Dengan menggunakan titik-titik kontrol yang tersebar merata, kita dapat memastikan bahwa hasil ortorektifikasi menghasilkan data yang akurat dan konsisten di seluruh wilayah yang diuji (Amin, 2017).

## **2.6 *Digital Surface Model (DSM)***

*DSM*, atau *Digital Surface Model*, adalah model ketinggian yang menggambarkan elevasi pada permukaan pertama di tanah, yang mencakup semua fitur yang ada di permukaan, termasuk bangunan, vegetasi, dan objek-objek lainnya. *DSM* digunakan sebagai dasar untuk membuat *Digital Terrain Model (DTM)*. Dalam proses pembuatan *DTM*, semua fitur yang tidak berhubungan dengan topografi tanah seperti bangunan dan vegetasi biasanya dihilangkan atau dihapus secara digital, sehingga yang tersisa hanyalah representasi elevasi dari permukaan tanah yang sesungguhnya (Purwanto 2015).

*DSM (Digital Surface Model)* adalah jenis model ketinggian yang

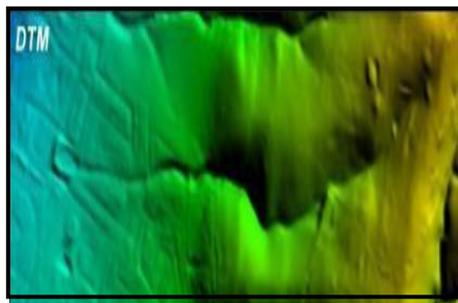
mencerminkan elevasi dari berbagai elemen, termasuk vegetasi seperti pohon, serta fitur-fitur lainnya seperti bangunan (seperti yang dijelaskan oleh Hirt, 2015). *DSM* adalah representasi dari suatu permukaan fisik yang dihasilkan dari kumpulan titik koordinat tiga dimensi. Data yang dihasilkan dari *DSM* mencakup berbagai elemen seperti vegetasi, jalan, bangunan, dan fitur terrain alami (Sari, 2016).



**Gambar 2. 4 DSM**  
(gisresourcesl.com)

### **2.7 Digital Terrain Model (DTM)**

*DTM*, atau *Digital Terrain Model*, merupakan model yang dibentuk dari *DSM* (*Digital Surface Model*), di mana nilai elevasi yang direpresentasikan adalah untuk permukaan tanah yang tidak termasuk objek di atasnya (seperti yang dijelaskan oleh (Purwanto, 2015). Proses pembuatan *DTM* secara digital melibatkan penghapusan seluruh fitur yang ada di permukaan area, seperti bangunan dan vegetasi, sehingga yang tersisa hanyalah representasi ketinggian dari permukaan tanah yang sebenarnya. *DTM* secara singkat merupakan DEM yang telah ditambah



**Gambar 2. 5 DTM**  
(gisresourcesl.com)

dengan unsur-unsur seperti breaklines dan pengamatan selain data asli . Dalam proses pembuatan *DTM*, filtering *DSM* dilakukan untuk menghasilkan model permukaan bumi yang berfokus pada topografi tanah. *DTM* yang dihasilkan dari

proses ini dapat digunakan dalam berbagai aplikasi, termasuk pemetaan dan analisis topografi. Selain itu, *DTM* dapat digunakan untuk melakukan klasifikasi area penelitian berdasarkan kemiringan lereng wilayah tersebut, sehingga memberikan wawasan yang lebih dalam tentang karakteristik lingkungan di area tersebut (Sari, 2016). Berdasarkan proses *filtering DSM* maka didapatkan model permukaan bumi berupa digital terrain model (*DTM*). *DTM* hasil filtering dapat digunakan untuk melakukan klasifikasi area penelitian dari pemotretan udara berdasarkan kemiringan lereng wilayah tersebut (Pratama Arbad, S. T. 2017).

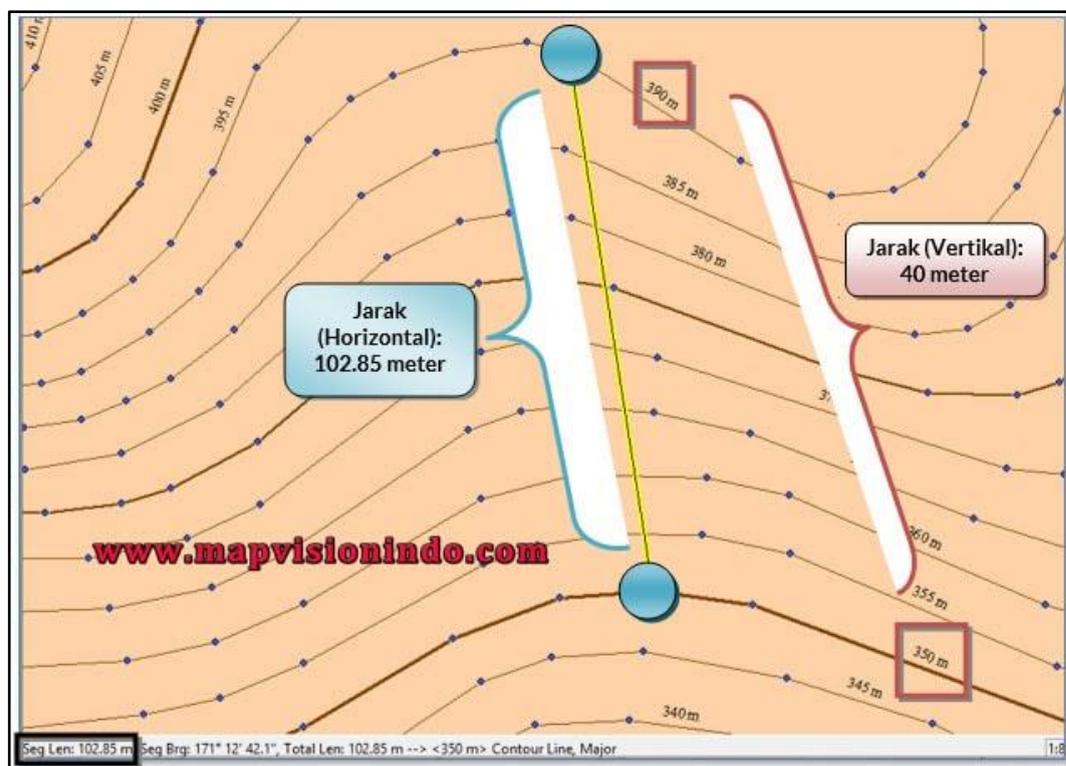
## **2.8 Metode Grid**

metode Grid, Grid merupakan garis koordinat pada peta. Grid menunjukkan lokasi sebuah titik dalam peta pada koordinat sebenarnya di lapangan. Dengan adanya grid ini, peta dapat digunakan sebagai panduan lapangan, pengukuran jarak antar titik, pencarian lokasi absolute ataupun lokasi relatif terhadap lokasi lain. Metode grid atau yang sering disebut sebagai metode Borrow Pit. Seperti pada metode Depth area, metode grid juga menggunakan nilai ketebalan atau kedalaman, namun ketebalan atau kedalaman tersebut bisa saja bervariasi di seluruh area pekerjaan (Azka, dkk, 2017)

## **2.9 Rumus Slope Gradient**

*Slope gradient* adalah sudut kemiringan atau tingkat kemiringan dari suatu permukaan tanah. Ini bisa dinyatakan dalam derajat atau persentase dan menunjukkan tingkat kemiringan dari suatu permukaan. Digital Terrain Model (*DTM*) adalah representasi digital dari permukaan tanah. Ini dibuat dengan mengukur tinggi tanah pada titik-titik tertentu dan menggunakan informasi ini untuk membuat model 3D dari permukaan tanah. Kemiringan suatu lahan atau lereng berpengaruh terhadap kestabilan lereng. Lereng yang memiliki kecuraman yang tinggi tidak dapat menahan beban sehingga akan berpotensi longsor (Amalia, 2019). Setelah data *DEM/DTM* membentuk format raster grid, maka dapat dilakukan perhitungan nilai kelerengan. Pada dasarnya nilai kelerengan adalah perbandingan antara jarak horizontal dan jarak vertikal. Menurut Nugraha (2013) dengan mengetahui beda tinggi dan jarak di antara dua titik, maka dapat dihitung persentase kemiringannya. Data *DSM* yang didapatkan perlu diubah menjadi *DTM* supaya memudahkan proses pengolahan karena untuk memastikan model

yang didapatkan berdasarkan dari permukaan tanah dan bukan dari benda-benda di atas permukaan tanah seperti bangunan dan pepohonan yang terukur oleh drone. Setelah itu dilakukan proses build orthophoto untuk mendapatkan hasil data orthomosaic dengan resolusi tinggi. Pada Pengolahan *DSM* menjadi *DTM* dilakukan menggunakan software PCI Geomatica 2015 dengan menginputkan data *DEM* yang telah di ekspor dari Agisoft, dan memberikan beberapa filtering pada data. Filter yang digunakan yaitu Terrain Filter (flat) yang diberikan pada area yang memiliki tingkat tutupan lahan yang tinggi. Setelah dilakukan proses ekstraksi dari data *DSM* menjadi *DTM*. Pengolahan *DTM* pada software ArcGIS dilakukan untuk mendapatkan peta kemiringan lereng dengan memanfaatkan hasil kenampakan *DTM*, Rumus: Kemiringan  $x-y = \frac{\text{beda tinggi } x-y}{\text{jarak dilapangan}} \times 100$  (SAPIANEM, S. 2020).



**Gambar 2. 6** bagian kemiringan lereng

$$\text{Persentase Kelerengan (\%)} = \frac{h}{r} \times 100\% .$$

Atau bisa juga menggunakan rumus di bawah ini apabila hasil yang diharapkan berupa derajat kemiringan.

$$\text{Derajat Kelerengan } (^{\circ}) = \text{arc tan } \frac{h}{r} \times 57.29578.$$

Keterangan : h : Elevasi (m) r : Jarak datar (m)

## 2.10 Spot Height

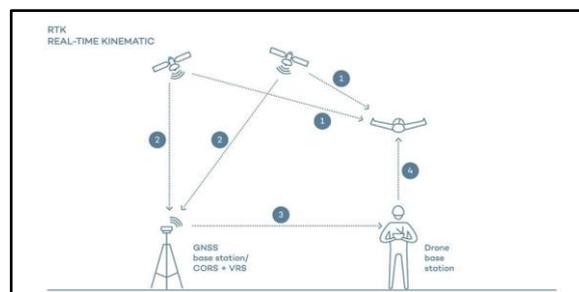
*Spot height*, atau ketinggian titik, adalah nilai ketinggian tunggal yang terdapat pada peta topografi. Biasanya, *spot height* digunakan untuk menunjukkan lokasi dan ketinggian dari bentuk-bentuk yang menonjol di antara garis kontur pada peta. Titik tinggi adalah titik pada permukaan bumi yang memiliki ketinggian tertentu di atas suatu datum tertentu, seperti ketinggian di atas permukaan laut. Pengukuran titik ikat atau *Benchmark (BM)* adalah kegiatan yang dilakukan untuk menemukan atau menentukan titik koordinat tertentu. Titik *BM* menjadi acuan penting dalam kegiatan pengukuran dan pemetaan. Oleh karena itu, koordinat titik *BM* harus diketahui terlebih dahulu. Koordinat yang biasanya dicari melibatkan koordinat tiga dimensi, yaitu X, Y, dan Z. Pengukuran titik BM dapat dilakukan dengan berbagai metode, dan seringkali melibatkan penggunaan alat seperti *GPS (Global Positioning System)*. *GPS* adalah alat navigasi radio yang dikelola dan dimiliki oleh Amerika Serikat. *GPS* digunakan untuk menentukan posisi secara akurat dengan memanfaatkan sinyal dari satelit-satelit yang mengorbit bumi. *GPS* merupakan alat yang sangat berguna dalam pemetaan dan pengukuran, karena dapat memberikan koordinat yang sangat tepat dan akurat untuk berbagai titik di permukaan bumi. (Rahman et al., 2019).

### 2.10.1 Pengukuran Detail Tinggi (*spot-height*)

Adapun metode-metode pada pengukuran detail adalah:

#### 1. Metode Real-Time Kinematic

*RTK GNSS* adalah singkatan dari *Real-Time Kinematic Global Navigation*

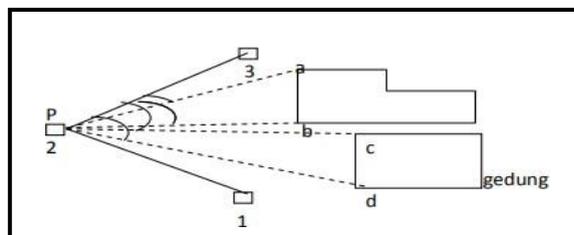


**Gambar 2. 7** Pengukuran detail metode polar (Muhammad, 2015)

*Sattelite System. Real Time* artinya pada saat itu juga dan kinematis artinya bergerak. Sehingga bisa diartikan penentuan posisi metode *RTK* adalah penentuan posisi yang dapat memperoleh koordinat saat itu juga, walaupun dalam kondisi alat bergerak-gerak.

2. Metode radial

Pengukuran detail dengan metode radial tidak menggunakan bantuan grid-grid, titik-titik detail langsung diukur dari titik poligon tempat berdiri alat ke titik detail yang akan dipetakan.



**Gambar 2. 8** Pengukuran detail metode radial

**2.11 Root Mean Error (RMSE)**

Menurut FGDC (2013), *RMSE*, atau *Root Mean Square Error*, adalah metode alternatif yang digunakan untuk mengevaluasi tingkat akurasi dari teknik peramalan. *RMSE* digunakan untuk mengukur sejauh mana hasil prakiraan suatu model mendekati nilai observasi yang sebenarnya. *RMSE* diperoleh dengan menghitung nilai rata-rata dari jumlah kuadrat dari selisih antara hasil prakiraan dan nilai observasi yang sesungguhnya. Ini juga digunakan sebagai ukuran besarnya kesalahan yang dihasilkan oleh suatu model peramalan. Ketika nilai *RMSE* rendah, hal ini menunjukkan bahwa variasi nilai yang dihasilkan oleh model peramalan mendekati variasi nilai observasi yang sebenarnya. Dalam konteks ini, *RMSE* dapat dibagi menjadi dua aspek: *RMSE* horizontal dan *RMSE* vertikal. *RMSE* horizontal ditemukan dengan menghitung nilai *RMSE<sub>x</sub>* dan *RMSE<sub>y</sub>*, sedangkan *RMSE* vertikal dihitung dari nilai *RMSE<sub>z</sub>*. Nilai *RMSE* dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut (Putra, 2016) :

Nilai *RMSE* untuk komponen horizontal dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$RMSE_x = \sqrt{\frac{\sum(x_{data,i} - x_{cek,i})^2}{n}} \dots\dots\dots \text{Pers, (2.9.1)}$$

$$RMSE_y = \sqrt{\frac{\sum (y_{data,i} - y_{cek,i})^2}{n}} \dots \dots \dots \text{Pers, (2.9.2)}$$

$$RMSE_r = \sqrt{\frac{\sum (x_{data,i} - x_{cek,i})^2 + (y_{data,i} - y_{cek,i})^2}{n}} \dots \dots \dots \text{Pers, (2.9.3)}$$

$$RMSE_r = \sqrt{(RMSE_x)^2 + (RMSE_y)^2} \dots \dots \dots \text{Pers, (2.9.4)}$$

Nilai RMSE untuk komponen vertikal dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$RMSE_z = \sqrt{\frac{\sum (z_{data,i} - z_{cek,i})^2}{n}} \dots \dots \dots \text{Pers, (2.9.5)}$$

Keterangan :

RMSE<sub>x</sub> : Nilai *root mean square error* x

RMSE<sub>y</sub> : Nilai *root mean square error* y

RMSE<sub>z</sub> : Nilai *root mean square error* z

RMSE<sub>r</sub> : Nilai *root mean square error* untuk komponen horizontal (r)

RMSE<sub>z</sub> : Nilai *root mean square error* untuk komponen vertikal (z)

Z<sub>cek</sub> : Nilai Elevasi pada Pengukuran Lapangan

Z<sub>data</sub> : Nilai Elevasi pada DEM

n : jumlah titik sampel