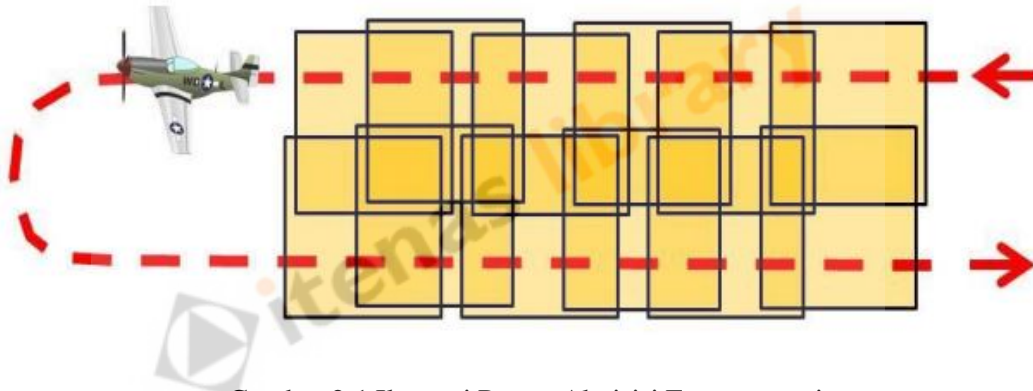


## BAB II

### DASAR TEORI

#### 2.1 Fotogrametri

Fotogrametri dapat didefinisikan sebagai suatu seni, pengetahuan dan teknologi untuk memperoleh informasi yang dapat dipercaya tentang suatu obyek fisik dan keadaan sekitarnya melalui proses perekaman, pengamatan/pengukuran dan interpretasi citra fotografisasi rekaman gambar gelombang elektromagnetik (Santoso, 2004). Salah satu karakteristik fotogrametri adalah pengukuran terhadap objek yang dilakukan tanpa perlu berhubungan ataupun bersentuhan secara langsung terhadapnya. Pengukuran terhadap objek tersebut dilakukan melalui data yang diperoleh pada sistem sensor yang digunakan.



Gambar 2.1 Ilustrasi Proses Akuisisi Fotogrametri  
(Sumber : Niendyawati dan Artanto.S, 2014)

Pemetaan fotogrametri dimulai dari penetapan *ground control point* (titik dasar kontrol). Fotogrametri dapat didefinisikan sebagai kegiatan dimana aspek-aspek geometrik dari foto udara seperti sudut, jarak, koordinat (Ligterink, 1987). Definisi fotogrametri di atas mencakup dua bidang kajian, yaitu :

1. Fotogrametri metrik. Fotogrametri metrik terdiri dari pengukuran cermat berdasarkan foto dan sumber informasi lain yang pada umumnya digunakan untuk menentukan lokasi relatif titik-titik. Dengan demikian dimungkinkan untuk memperoleh ukuran jarak, sudut, luas, volume, elevasi, ukuran dan bentuk objek.

2. Fotogrametri interpretatif. Fotogrametri interpretatif mempelajari pengenalan dan identifikasi obyek serta menilai arti pentingnya obyek tersebut melalui suatu analisis sistematis dan cermat.

Pemetaan fotogrametri atau *aerial surveying* adalah teknik pemetaan melalui foto udara. Hasil pemetaan secara fotogrametri berupa peta foto dan tidak dapat langsung dijadikan dasar. Fotogrametri metrik terutama diterapkan dalam persiapan pembuatan peta topografi dan cara pemakaian foto udara. Sedangkan dari segi kualitasnya foto udara dimanfaatkan untuk mengenali objek-objek dan mempertimbangkan maknanya dengan cara menafsirkan secara bertahap citra fotografik yang terekam. Penafsiran atau interpretasi ini dapat dikaitkan dengan peta topografi.

Aplikasi fotogrametri pada tahap awal adalah untuk kebutuhan pemetaan topografi, untuk aplikasi tersebut hingga kini masih bertahan. Selanjutnya peta-peta khusus lainnya dapat pula dikerjakan secara fotogrametrik bervariasi dari skala kecil hingga skala besar. Peta yang bervariasi dari skala kecil hingga skala besar banyak digunakan untuk perencanaan dan desain jalan raya, jembatan, jaringan pipa, jaringan transmisi, hidro elektrik, dan struktur pengontrol banjir, perbaikan untuk sungai maupun pelabuhan, pembaharuan proyek pemukiman dan lain sebagainya.

## 2.2 Foto Udara

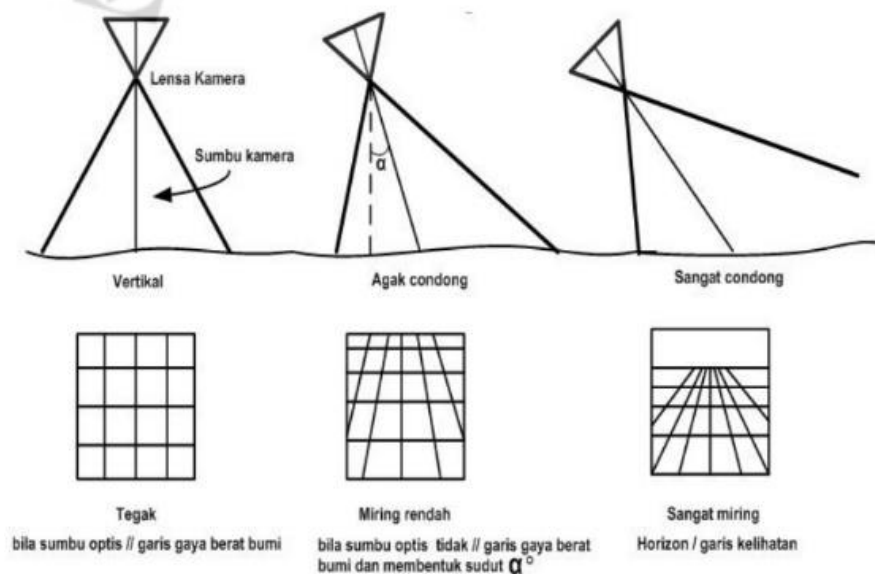
Foto udara adalah peta foto yang didapat dari survei udara dengan melakukan pemotretan lewat udara pada daerah tertentu dengan aturan fotogrametris tertentu. Ciri-ciri foto udara antara lain :

1. Skala pada foto udara sama untuk satu lembar foto.
2. Sistem proyeksi perspektif.
3. Semua aspek terlihat.
4. Tidak ada legenda atau simbol.

Foto udara dibagi menjadi dua jenis, yaitu foto udara metrik dan foto udara non metrik. Foto udara metrik merupakan foto udara yang datanya diperoleh dari kamera udara. Kamera udara adalah kamera metrik yang fokusnya sudah

tertentu. Kamera udara ini berbeda dengan kamera biasa yang non metrik dengan fokus yang dapat diubah-ubah sesuai dengan keinginan (Sudarsono, B., 2008). Foto udara metrik ini memiliki ketelitian yang sangat tinggi karena memang dirancang khusus untuk pemetaan. Foto udara format standar dihasilkan dari kamera udara format standar yang memiliki format sensor (film) 23 cm x 23 cm serta memiliki *fiducial mark* pada tepi foto serta informasi tepi yang berisi tinggi terbang, panjang fokus kamera terkalibrasi, tanggal dan waktu pemotretan, nivo serta nomer foto. Foto udara format kecil memiliki ukuran format film berkisar 24 mm x 36 mm untuk kamera dengan fokus 35 mm dan 55 mm atau ukuran film yang berkisar 60 mm x 60 mm dengan panjang fokus 70 mm.

Berdasarkan jenis tegaknya, foto udara dibedakan atas dua jenis, yaitu foto tegak dan foto miring. Foto udara tegak merupakan foto yang dihasilkan dari hasil pengambilan foto dimana pada saat pengambilan foto tersebut sumbu kamera berada dalam posisi tegak lurus dengan permukaan bumi. Sedangkan foto miring merupakan foto yang dihasilkan dari hasil pengambilan foto dimana pada saat pengambilan foto tersebut sumbu kamera berada dalam posisi miring. Jenis foto udara yang digunakan untuk keperluan pemetaan adalah foto udara tegak. Jenis foto udara dapat dilihat pada Gambar 2.2 berikut ini.



Gambar 2.2 Jenis Foto Udara  
(Sumber : Wolf.P.R., 1993)

### 2.3 Foto Udara Multispektral

Pada umumnya foto udara dihasilkan dalam warna pankromatik karena menggunakan saluran lebar. Foto udara multispektral merupakan foto daerah sama yang dibuat pada tempat dan ketinggian yang sama dengan menggunakan lebih dari satu spektrum elektromagnetik. Saluran yang umumnya digunakan empat kamera atau satu kamera berlensa empat dengan menggunakan saluran biru, hijau, merah dan inframerah dekat. Perekamannya dilakukan secara bersamaan sehingga pada setiap pemotretan dihasilkan empat foto yang saluran elektromagnetiknya berbeda. Keunggulan foto udara multispektral terletak pada kemampuannya untuk mempertajam beda rona antara dua objek atau lebih. Penajaman rona pada foto udara multispektral dapat dimanfaatkan untuk pengamatan visual tanpa perubahan, pengamatan visual dengan pemotretan kembali dan paduan warna aditif dengan alat pengamat (Liliesand and Kiefer, 1990).

Foto multispektral merupakan keluaran penginderaan jauh multispektral. Menurut Rehder (dalam Patterson dan Rehder, 1985) penginderaan jauh multispektral ialah penginderaan jauh dengan menggunakan lebih dari satu spektrum yang pengindraannya dilakukan pada saat yang sama dan dari tempat serta ketinggian yang sama. Sensornya berupa kamera multi lensa atau kamera tunggal berlensa jamak.

Pada foto udara multispektral, tiap saluran mempunyai keunggulan sendiri. Berikut ini dikemukakan keunggulan dan manfaat saluran biru, hijau, merah dan inframerah dekat menurut Rehder (1985) :

1. Saluran Biru ( $0,4 \mu\text{m} - 0,5 \mu\text{m}$ )  
Saluran biru merupakan saluran yang peka terhadap pantulan air sehingga sering digunakan dalam mengindra kelembapan atmosfer, kedalaman air, kekeruhan air.
2. Saluran Hijau ( $0,5 \mu\text{m} - 0,6 \mu\text{m}$ )  
Saluran hijau dapat digunakan untuk membedakan tanaman sehat dan tanaman sakit.
3. Saluran Merah ( $0,5 \mu\text{m} - 0,6 \mu\text{m}$ )

Saluran merah merupakan saluran yang baik untuk membedakan vegetasi dan bukan vegetasi.

4. Inframerah Dekat ( $0,7 \mu\text{m} - 1,1 \mu\text{m}$ )

Saluran inframerah bermanfaat untuk mendeteksi tanaman ataupun hutan yang mengalami gangguan. Dengan saluran inframerah juga mudah untuk membedakan tanah dengan vegetasi, tanah dengan air, menggambarkan badan air dan mengidentifikasi tanaman pertanian.

Keunggulan utama manfaat foto multispektral adalah terletak pada kemampuannya untuk mempertajam beda rona antara dua objek atau lebih. Penajaman rona pada foto multispektral dapat dimanfaatkan untuk: (a) pengamatan visual tanpa perubahan, (b) pengamatan visual dengan pengamatan kembali, dan (c) pengamatan visual dengan pengamat khusus (Lillesand dan Keifer, 1979).

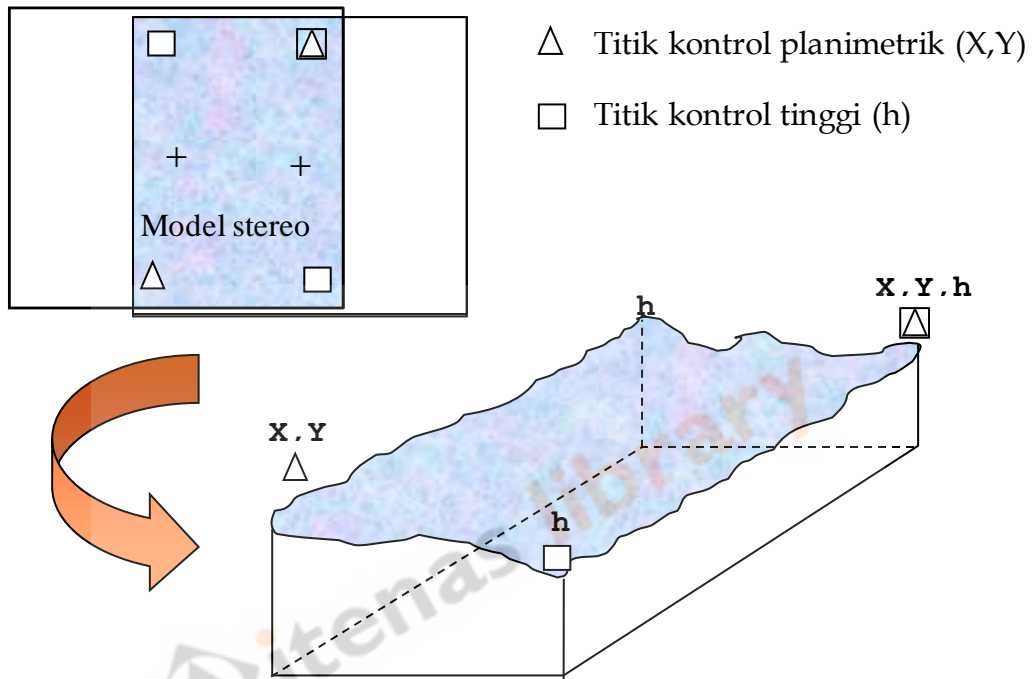
#### 2.4 Triangulasi Udara

Triangulasi udara adalah istilah yang paling sering digunakan untuk proses penentuan koordinat tanah X, Y, dan Z dari titik-titik berdasarkan pengukuran dari foto. Triangulasi fotogrametrik mungkin merupakan istilah yang lebih umum, karena prosedur ini dapat juga diterapkan pada foto terestris maupun foto udara. Dalam beberapa tahun terakhir, dengan perkembangan komputer dan peningkatan peralatan serta teknik-teknik fotogrametrik, akurasi dari titik kontrol tanah yang dapat ditentukan dengan prosedur ini menjadi sangat tinggi.

Triangulasi udara digunakan sangat luas untuk berbagai macam kegunaan. Salah satu dari aplikasi utamanya adalah dalam perluasan atau perapatan kontrol tanah melalui jalur atau blok foto untuk digunakan dalam pekerjaan fotogrametri berikutnya. Pengadaan untuk keperluan kontrol untuk kompilasi peta topografik dengan alat plot stereo adalah suatu contoh yang sangat baik untuk mengilustrasikan nilai dari triangulasi udara. Dalam aplikasi ini, dalam prakteknya jumlah minimum titik kontrol tanah yang diperlukan dalam setiap model stereo adalah tiga titik horizontal dan empat titik vertikal. Akan tetapi, untuk proyek pemetaan secara

besar-besaran maka jumlah titik kontrol yang diperlukan menjadi tambah banyak (Ramdhani, 2014)

Triangulasi Udara (TU) adalah suatu metode penentuan posisi titik berdasarkan pengukuran melalui foto udara. Tujuan dari TU adalah untuk memperbanyak titik-titik kontrol minor. Perhatikan model stereo berikut :



Gambar 2.3 Model Stereo Triangulasi Udara

Secara matematis, proses TU merupakan transformasi dari system koordinat satuan dasar fotogrametrik (berkas model jalur) ke sistem koordinat tanah (referensi).

Dimana satuan dasar fotogrametri umumnya :

1. Skala lebih kecil dari skala sistem referensi
2. Orientasinya (rotasi) tidak sama dengan sistem referensi
3. Posisi tidak sama dengan sistem referensi

Transformasi yang digunakan mencakup :

1. Penyekalaan
2. Rotasi (perputaran)
3. Translasi (pergeseran)

Model fungsional matematis yang umumnya digunakan adalah transformasi konform :

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = S \cdot R \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} Tx \\ Ty \\ Tz \end{bmatrix}$$

dimana :

X,Y,Z = system koordinat tanah/referensi

X,y,z = system koordinat satuan dasar

Tx,Ty,Tz = komponen translasi

S = faktor skala

R = matriks rotasi

Tahapan proses triangulasi udara dimulai identifikasi titik kontrol dengan cara melakukan pengukuran koordinat foto atau dengan koordinat model yang selanjutnya diproses dengan hitung perataan (Ramdhani,2014).

## 2.5 Interpretasi Foto Udara

Interpretasi Foto Udara adalah perbuatan mengkaji foto udara dan atau citra dengan maksud untuk mengidentifikasi objek dan menilai arti pentingnya objek tersebut (Estes dan Simonett dalam Sutanto, 1994:7). Tahapan pelaksanaan interpretasi foto udara dibagi menjadi tiga yaitu (Dimas, 2012):

### 1. Peninjauan Umum (*General Examination*)

Tahap ini secara umum menetapkan sifat-sifat atau karakteristik dari daerah yang diamati. Sifat-sifat daerah secara umum, meliputi : susunan relief, jenis tanaman, kebudayaan, dan keadaan bentang alam.

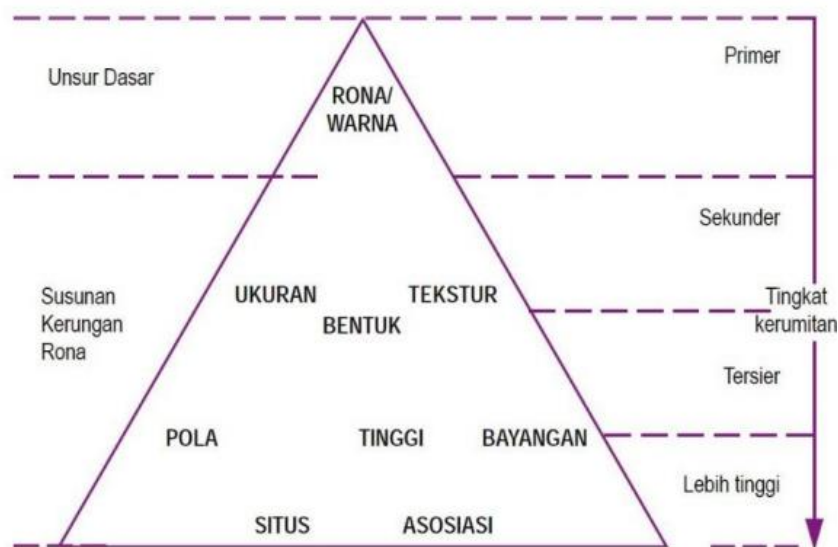
### 2. Identifikasi (*Identification*)

Pada tahap ini semua detail topografi atau situasi yang ada pada foto udara harus diidentifikasi berdasarkan kunci interpretasi foto udara. Pada tahap identifikasi ini dilakukan pemeriksaan secara detail, misalnya mempelajari susunan jalan, distribusi dan tipe bangunan, bentuk-bentuk khusus bangunan ibadah seperti masjid, gereja, daerah terbuka antara lain lapangan olahraga, taman dan kuburan.

3. Klasifikasi (*Clasification*)

Tahap klasifikasi ini merupakan tahapan yang tidak dapat dipisahkan dari tahap sebelumnya.

Melalui tahap klasifikasi ini semua objek yang sudah diidentifikasi pada tahap sebelumnya diklasifikasi lebih mendetail. Misalnya untuk jalan harus dibedakan jalan utama, jalan kelas dua, dan jalan penghubung. Untuk bangunan dapat diklasifikasi lebih mendetail menjadi bangunan rumah tinggal, bangunan perkantoran, bangunan pertokoan, bangunan pasar tradisional, bangunan ibadah maupun klasifikasi lain, seperti bangunan satu lantai, bangunan bertingkat dua, dan bangunan bertingkat banyak. Dari hasil interpretasi foto udara akan diperoleh informasi yang mendetail dan sudah diklasifikasi sedemikian rupa sehingga dapat dipergunakan untuk keperluan tertentu. Misalnya untuk melengkapi peta dengan membuat simbol sesuai objek yang akan digambar. Beberapa unsur interpretasi tidak selalu digunakan dalam identifikasi setiap objek, untuk pengenalan objek pada foto udara dilakukan melalui pendekatan bentang lahan yaitu berupa kenampakan bentang budaya, dimana fungsi dari objek dilacak berdasarkan ciri-ciri bentang budaya tersebut. Untuk melakukan interpretasi foto udara digunakan sejumlah kunci dasar. Suatu objek atau fenomena dapat dikenali dengan menggunakan salah satu atau kombinasi dari beberapa kunci dasar.



Gambar 2.4 Kunci Interpretasi Foto Udara  
(Sumber : Sutanto, 1998)



1) *Size* (ukuran)

Ukuran merupakan bagian informasi konstektual selain bentuk dan letak. Ukuran merupakan atribut objek yang berupa jarak, luas, tinggi, lereng dan volume (Sutanto, 1986). Ukuran merupakan cerminan penyajian suatu luasan. Ukuran dapat digunakan sebagai patokan dalam interpretasi foto udara karena setiap benda mempunyai ukuran yang berbeda. Setiap interpreter harus mengetahui dengan pasti skala foto udara yang digunakan sehingga dapat diketahui hubungan ukuran foto udara dengan ukuran sebenarnya di lapangan.

2) *Shape* (bentuk)

Bentuk menunjukkan kerangka atau konfigurasi umum suatu objek baik bentuk umum (*shape*) maupun bentuk rinci (*form*) untuk mempermudah interpretasi. Jalur kereta api misalnya, dapat dibedakan jelas dengan jalan raya karena bentuknya terdiri atas garis lurus panjang yang membentuk lengkung lemah dan berbeda dengan bentuk lengkung jalan raya.

3) *Shadow* (bayangan)

Bayangan dapat terjadi apabila ada objek dengan ketinggian tertentu mendapatkan cahaya matahari. Dengan memperhatikan bayangan, seorang interpreter dapat membedakan tinggi rendahnya atau profil suatu objek.

4) *Site* (lokasi/situs)

Lokasi topografi atau situasi dapat membantu interpreter dalam mengidentifikasi objek pada foto udara. Merupakan tempat kedudukan suatu objek terhadap objek lain di sekitarnya. Situs bukan merupakan ciri objek secara langsung, melainkan dalam kaitannya dengan lingkungan sekitarnya. Sebagai contoh, suatu bangunan di pinggir jalur kereta api sesuai dengan ukurannya dapat kita identifikasikan sebagai stasiun kereta api atau pos penjagaan pintu kereta api.

5) *Rona/Tone* (derajat kehitaman)

Rona mencerminkan warna atau tingkat kualitas kecerahan/kegelapan gambar objek pada foto udara. Derajat kehitaman terdiri dari tingkatan warna dari putih menuju ke hitam, yang dibagi dalam satuan derajat kehitaman.

Derajat kehitaman masing-masing objek dipengaruhi oleh intensitas cahaya yang datang dan yang dipantulkan oleh objek tersebut. Semakin banyak cahaya yang dipantulkan, semakin gelap derajat kehitamannya.

6) *Texture* (kekasaran citra foto)

*Texture* adalah frekuensi perubahan rona dalam citra foto. *Texture* dihasilkan oleh susunan satuan kenampakan yang mungkin terlalu kecil untuk dikenali secara individual dengan jelas pada foto. *Texture* merupakan hasil bentuk, ukuran, pola, bayangan dan rona individual. Apabila skala foto diperkecil maka *texture* suatu objek menjadi semakin halus dan bahkan tidak tampak.

7) *Pattern* (pola)

Di dalam interpretasi kita dapat memperhatikan pola-pola tertentu dari suatu objek. Suatu objek memiliki pola yang biasanya berbeda seperti keteraturan dan coraknya. Dari sini kita dapat melihat bahwa unsur-unsur alam biasanya memiliki pola yang lebih tidak teratur daripada unsur-unsur buatan manusia.

8) Asosiasi (korelasi)

Asosiasi dapat diartikan sebagai keterkaitan antara objek yang satu dengan objek lain. Adanya keterkaitan ini maka terlihatnya suatu objek pada citra sering merupakan petunjuk bagi adanya objek lain.

## 2.6 Kamera Medium Format Leica RCD30

Kamera udara Leica RCD30 memiliki sejumlah fitur "pertama di dunia" yang inovatif dan unik dan merupakan satu-satunya kamera format medium yang cocok untuk aplikasi fotogrametri dan penginderaan jauh. Kamera RCD30 terdapat dua jenis yaitu 60MP dan 80MP, kedua jenis ini menghadirkan citra RGBN multispektral yang terdaftar secara bersama atau *co-registered* (Leica, 2017). RCD30 selain mampu menghasilkan pekerjaan *orthophoto* juga piawai foto udara multispektral, dengan 4 gelombang yaitu *red*, *green*, *blue*, *near infra red*. Seperti yang dijumpai pada citra satelit SPOT (8 m) dan AVNIR ALOS (10 m). Resolusi spasial piksel tergantung tinggi terbang pesawat. Dengan tinggi terbang 1 km di atas tanah, bisa didapat resolusi piksel sekitar 12 cm (geosurvey, 2018).

Dengan kamera metric medium format RCD30 bisa didapatkan foto udara RGB, RGBN, RGB+NIR, NIR, CIR, dan NDVI. NIR atau *near infrared* adalah kenampakan foto udara yang hanya menampilkan hasil refleksi gelombang inframerah dekat. Sedangkan CIR (*Color Infrared*) adalah *pseudo color* dari gelombang NIR. Bila NIR berwarna hitam putih, maka CIR akan berwarna lain misalkan warna merah untuk obyek yang mempunyai nilai pantulan inframerah besar. Dengan hasil foto udara empat band, akan bisa dilakukan penggabungan warna dan kombinasi band untuk mendapatkan informasi tematik, seperti analisa sebaran vegetasi dan analisa kesehatan tanaman. Analisa tanaman yang paling sering digunakan adalah NDVI atau *Normalized Difference Vegetation Index*.

## 2.7 Restitusi Foto Udara

Restitusi (*restitution*) dapat diartikan sebagai rekonstruksi foto udara dari hasil rekaman pasangan foto dalam 2D menjadi model 3D yang benar seperti pada saat pemotretan dilakukan. Model visualisasi ini kemudian dapat digunakan sebagai sumber pengadaan data spasial yang terkait dengan pembuatan peta. Pembentukan model 3D dari pasangan foto dilakukan melalui tahapan sebagai berikut :

- a. Orientasi dalam (*inner orientation*),
- b. Orientasi relatif (*relative orientation*), dan
- c. Orientasi absolut (*absolute orientation*).

### 2.7.1 Orientasi Dalam

Orientasi dalam pada hakekatnya adalah merekonstruksi berkas sinar dari foto udara seperti pada saat foto tersebut diambil oleh kamera. Berkas sinar yang berpasangan tersebut disimulasikan dengan memproyeksikan pasangan foto positifnya menggunakan proyektor. Proyektor yang digunakan diset sesuai dengan karakteristik kamera yang dipakai dalam pemotretan (Santoso,2019). Pada Instrumen restitusi analog, orientasi dalam meliputi :

1. Penempatan diapositif pada penyangga foto dengan letak yang sama seperti saat pemotretan dengan menggunakan *fiducial mark* yang ada

2. Penyetelan panjang fokus proyektor sama dengan panjang fokus kamera udara yang dipergunakan.
3. Penyertaan parameter-parameter kompensasi distorsi pada sistem pengamatan koordinat foto.

Dalam konteks fotogrametri, dikenal beberapa sistem koordinat yang berhubungan dengan foto udara yaitu sistem koordinat foto, sistem koordinat model, sistem koordinat peta. Sistem koordinat foto adalah sistem koordinat dua dimensi sebuah foto dengan titik originnya adalah titik perpotongan garis tanda tepi (*fiducial mark*). Foto yang diperoleh dari pemotretan udara, baik yang menggunakan kamera digital maupun analog yang kemudian disiam, mempunyai koordinat piksel, sehingga perlu ditransformasikan ke koordinat foto. Transformasi dari sistem piksel ke sistem koordinat foto disebut dengan orientasi dalam (Shenk, 2000).

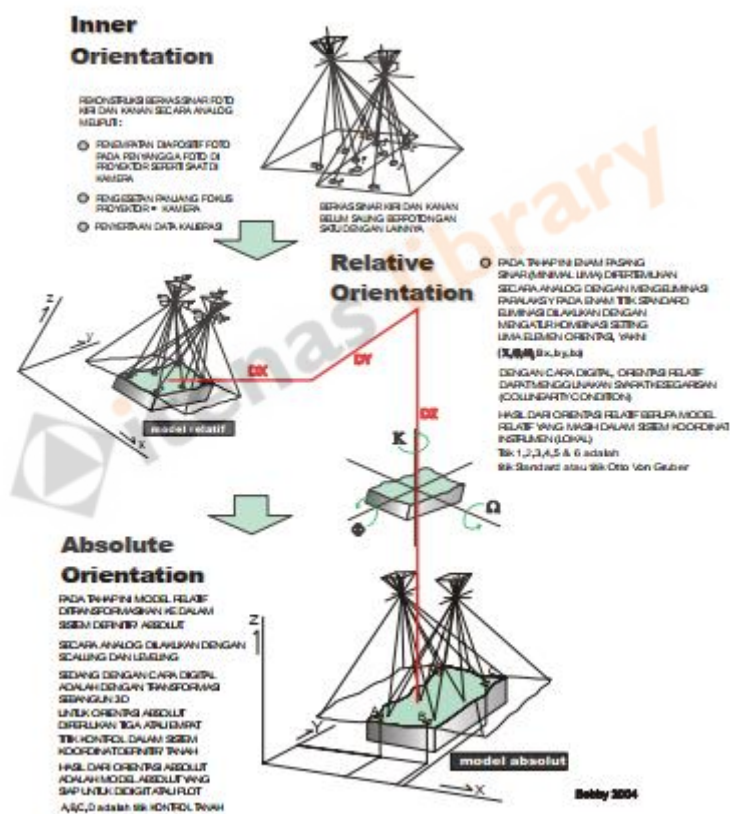
Parameter yang digunakan untuk melakukan orientasi dalam yang biasa disebut *Interior Orientation Parameter* (IOP) terbagi menjadi 6 parameter yaitu panjang fokus, distorsi radial, distorsi spasial, perbedaan skala, pergeseran *principal point*, dan distorsi tangensial, dimana keenam parameter tersebut didapatkan jika telah melakukan kalibrasi kamera yang dimasukkan pada foto untuk mengkoreksi foto yang akan diolah.

### 2.7.2 Orientasi Relatif

Orientasi relatif merupakan penentuan kemiringan dan posisi relatif dua buah foto pasangan stereo. Dimana sasaran orientasi relatif ini adalah mengorientasikan dua buah foto sehingga setiap pasangan sinar yang sekawan dari dua foto tersebut berpotongan pada ruang. Orientasi ini dapat dilakukan jika lima pasang sinar sekawan dari sepasang foto berpotongan, sehingga setiap pasang berkas sinar pada kedua foto akan berpotongan.

Sedangkan pasangan sinar ke-enam digunakan sebagai pengecekan/ukuran lebih. Bila minimal 5 pasang sinar dapat dipertemukan, maka seluruh pasangan sinar dari kedua berkas akan saling berpotongan membentuk model 3D fiktif. Pada instrumen restitusi analog yang dilakukan

adalah menghilangkan paralaks y di 6 titik standard (minimal 5 titik + 1 titik untuk *checking*). Hasil model 3D yang terbentuk masih mempunyai kedudukan relatif dengan sistem koordinat sembarang. Oleh sebab itu proses ini disebut sebagai orientasi relatif. Dengan kata lain orientasi relatif merupakan proses penggabungan foto-foto agar saling bertampalan sesuai aslinya saat melakukan pemotretan, karena foto-foto akan relatif dengan foto-foto yang lainnya. Parameter yang digunakan dalam orientasi ini adalah X, Y, Z dan  $\omega$ ,  $\phi$ ,  $\kappa$ . Hasil dari orientasi ini dalam bentuk model (Paul R Wolf, 1983).



Gambar 2.5 Visualisasi Proses Restitusi Foto Udara (Sumber : Bobby, 2004)

### 2.7.3 Orientasi Absolut

*Absolute orientation* yaitu mendefinisikan koordinat foto menjadi koordinat tanah dimana yang diinput yaitu *Exterior Orientation Parameter* (EOP) yang ditambahkan GCP. Dalam orientasi absolut, model 3D relatif

yang masih dalam sistem koordinat foto ditransformasikan ke dalam sistem koordinat tanah. Pada tahap ini diperlukan minimal 3 titik kontrol model yang ditentukan sebelumnya. Secara analog, terhadap model relatif dilakukan penyekalaan dan pendataran. Bila dilakukan secara numerik, maka yang digunakan adalah transformasi sebangun 3D (Paul R Wolf, 1983).

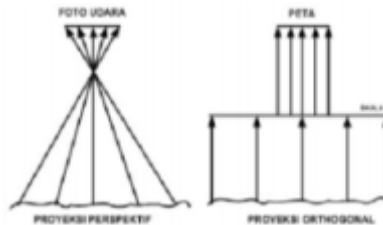
Dalam orientasi absolut, model 3D relatif yang masih dalam sistem koordinat instrumen (sebarang) di transformasikan ke dalam sistem definitif. Pada tahap ini diperlukan minimal 3 titik kontrol model yang ditentukan sebelumnya. Proses orientasi absolut sebenarnya merupakan penyamaan antara koordinat model dengan koordinat tanah. Sehingga dalam orientasi ini akan terdapat proses leveling (penegakan) dan scaling (penyekalaan). Bila dilakukan secara numerik, maka yang rumus yang digunakan adalah transformasi sebangun 3D. Untuk lebih jelasnya perhatikan gambar 2.2.

## **2.8 Orthofoto**

Orthofoto dapat didefinisikan sebagai foto yang menyajikan gambaran objek pada posisi orthografik yang benar. Orthofoto secara geometrik ekuivalen terhadap peta garis konvensional dan peta simbol planimetrik yang juga menyajikan posisi orthografik objek secara benar. Beda utama antara orthofoto dan peta adalah bahwa orthofoto terbentuk gambar kenampakan, sedangkan peta menggunakan garis dan simbol yang digambarkan sesuai dengan skala untuk mencerminkan kenampakan (Wolf, P. R., 1983).

Orthofoto dapat digunakan sebagai peta untuk melakukan pengukuran langsung atas jarak, sudut, posisi, dan daerah tanpa melakukan koreksi bagi pergeseran letak gambar (Julzarika, A., 2009). Di dalam proses peniadaan pergeseran letak oleh relief pada sembarang foto, variasi skala harus dihapus sehingga skala menjadi sama bagi seluruh foto (Wolf, P. R., 1983). Pada akhirnya tingkat kebenaran orthofoto adalah sama dengan peta planimetrik (Hadi, B.S., 2007).

Orthorektifikasi bertujuan untuk mengurangi efek distorsi perlu agar proyeksi foto menjadi proyeksi orthogonal. Ilustrasi proyeksi perspektif dan proyeksi orthogonal dapat dilihat pada Gambar 4 (Hadi, B.S., 2007).



Gambar 2.6 Proyeksi Perspektif dan Proyeksi Orthogonal  
(Sumber : Hadi, B.S., 2007)

Hasil dari orthorektifikasi adalah citra/foto tegak (orthofoto) yang mempunyai skala seragam diseluruh bagian citra dan disajikan menjadi sebuah peta foto serta foto yang telah memiliki koordinat. Tujuan proses orthofoto menurut (Syauqani, A, 2017) adalah:

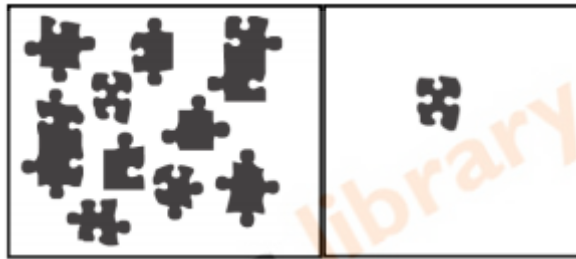
1. Menghilangkan kemiringan kamera.
2. Menyamakan skala.
3. Menghilangkan pergeseran relief.

## 2.9 *Template matching*

*Template matching* adalah sebuah teknik dalam pengolahan citra digital untuk menemukan bagian-bagian kecil dari gambar yang cocok dengan *template* gambar. *Template matching* merupakan salah satu ide yang digunakan untuk menjelaskan bagaimana otak kita mengenali kembali bentuk-bentuk atau pola-pola. *Template* adalah konteks rekognisi pola menunjuk pada konstruk internal yang jika cocok (*match*) dengan stimulus penginderaan mengantar pada rekognisi suatu objek. Pengenalan pola terjadi jika terjadi kesesuaian antara stimulus indera dengan bentuk mental internal. Gagasan ini mendukung bahwa sejumlah besar *template* telah tercipta melalui pengalaman hidup kita. Tiap-tiap *template* berhubungan dengan suatu makna tertentu. (Abikindo, 2010).

Algoritma *template matching* merupakan metode yang sederhana dan banyak digunakan untuk mengenali pola. Algoritma ini bekerja dengan cara mengevaluasi

pola citra *template* pada basis data. Kelemahan algoritma ini adalah terbatasnya model yang akan dijadikan *template* sebagai pembanding basis data seperti bentuk, ukuran, dan orientasi (suen, 1992). Pada dasarnya *template matching* adalah proses yang sederhana. Suatu citra masukan yang mengandung *template* tertentu dibandingkan dengan *template* basis data. *Template* ditempatkan pada pusat bagian citra yang akan dibandingkan dan dihitung seberapabanyak titik yang paling sesuai dengan *template*. Langkah ini diulangi terhadap keseluruhan citra masukan yang akan dibandingkan. Nilai kesesuaian titik yang paling besar antara citra masukan dan citra *template* menandakan bahwa *template* tersebut merupakan citra *template* yang paling sesuai dengan citra masukan.



Gambar 2.7 Ilustrasi *Template Matching*  
(Sumber : Bachri,2012)

Gambar 2.7 Bagian kiri merupakan citra yang mengandung objek yang sama dengan objek pada *template* yang ada di sebelah kanan. *Template* diposisikan pada citra yang akan dibandingkan dan dihitung derajat kesesuaian pola pada citra masukan dengan pola pada citra *template* (Bahri, 2012).

Teori *Template matching* memiliki keunggulan dan kelemahan, yaitu :

Keunggulan :

- a. Jelas bahwa untuk mengenal bentuk, huruf atau bentuk-bentuk visual lainnya diperlukan kontak dengan bentuk-bentuk internal.
- b. *Template matching* adalah prosedur pengenalan pola yang sederhana yang didasarkan pada ketepatan konfigurasi informasi penginderaan dengan “konfigurasi” pada otak. (Contohnya : *barcode*)

Kelemahan :



- a. Jika perbandingan eksternal objek dgn internal objek 1:1, maka objek yang berbeda sedikit saja dengan template tidak akan dikenali. Oleh karena itu, jutaan template yang spesifik perlu dibuat agar cocok dengan berbagai bentuk geometri yang kita lihat dan kenal.
- b. Jika memang penyimpanan memori di otak seperti ini, otak tentu seharusnya sangat kewalahan dan pencarian informasi akan memakan waktu, padahal pada kenyataannya tidak demikian.

*Template Matching* dapat dibagi antara dua pendekatan, yaitu: pendekatan berbasis fitur dan pendekatan berbasis *template*. Pendekatan berbasis fitur menggunakan fitur pencarian dan template gambar seperti tepi atau sudut, sebagai pembanding pengukuran matrik untuk menemukan lokasi *template matching* yang terbagus di sumber gambar.

- a. Pendekatan Berbasis Fitur

Sebuah pendekatan berbasis fitur dapat dianggap pendekatan dapat membuktikan lebih berguna, jika *template* gambar memiliki fitur yang kuat jika pencocokan dipencarian gambar bisa diubah dengan cara tertentu. Karena pendekatan ini tidak mempertimbangkan keseluruhan dari *template* gambar, komputasi dapat lebih efisien ketika bekerja dengan sumber gambar beresolusi lebih besar, sebagai pendekatan alternatif, berbasis *template*, mungkin memerlukan pencarian titik-titik yang berpotensi untuk menentukan lokasi pencocokan yang terbaik.

- b. Pendekatan Berbasis *Template*

Untuk *template* tanpa fitur yang kuat, atau ketika sebagian besar *template* gambar merupakan gambar yang cocok, sebuah pendekatan berbasis *template* mungkin efektif. Seperti disebutkan di atas, karena berbasis *template*, *template matching* berpotensi memerlukan *sampling* dari sejumlah besar poin, untuk mengurangi jumlah *sampling* poin dengan mengurangi resolusi pencarian dan template gambar oleh faktor yang sama dan melakukan operasi pada perampingan gambar yang dihasilkan (multiresolusi, atau piramida, pengolahan citra),

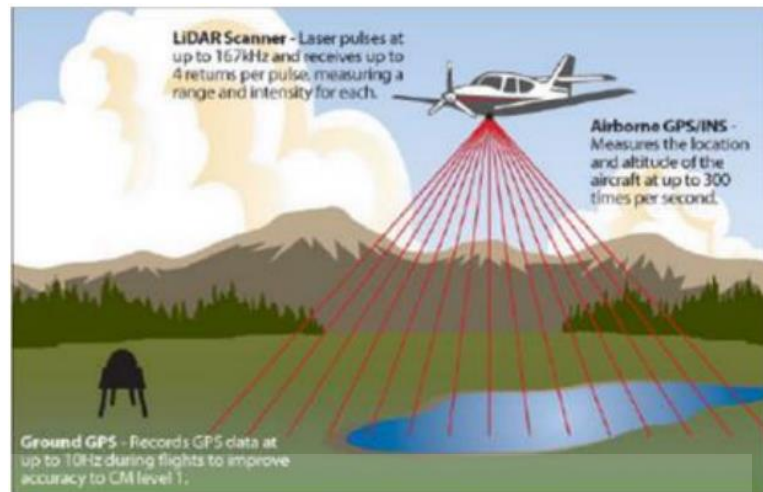
menyediakan pencarian titik data dalam pencarian gambar sehingga *template* tidak harus mempunyai pencarian titik data, atau kombinasi keduanya.

## 2.10 LiDAR

LiDAR (*Light Detection and Ranging*) adalah sebuah teknologi sensor jarak jauh menggunakan laser cahaya kontinyu yang dipancarkan secara menyebar dari sebuah *transmitter* (pemancar) untuk menemukan jarak suatu objek (Smith, 2008). Metode untuk menentukan jarak suatu obyek adalah dengan menggunakan pulsa laser. LiDAR menggunakan cahaya inframerah, ultraviolet, tampak, atau dekat dengan objek gambar dan dapat digunakan untuk berbagai sasaran, termasuk benda-benda non-logam, batu, hujan, senyawa kimia, aerosol, awan dan bahkan molekul tunggal. Sebuah sinar laser dapat digunakan untuk memperoleh fitur peta fisik dengan resolusi sangat tinggi. LIDAR telah digunakan secara luas untuk penelitian atmosfer dan meteorologi. Instrumen LIDAR dipasang ke pesawat dan satelit yang digunakan untuk survei dan pemetaan.

Teknologi LiDAR memiliki kegunaan dalam bidang geomatika, arkeologi, geografi, geologi, geomorfologi, seismologi, fisik atmosfer, dan lain-lain. Sebutan lain untuk LiDAR adalah ALSM (*Airborne Laser Swath Mapping*) dan altimetri laser. Akronim LiDAR (*Laser Detection and Ranging*) sering digunakan dalam konteks militer. Sebutan radar laser juga digunakan tapi tidak berhubungan karena menggunakan cahaya laser dan bukan gelombang 12 radio yang merupakan dasar dari radar konvensional. LiDAR menggunakan cahaya inframerah, ultraviolet, tampak, atau dekat dengan objek gambar dan dapat digunakan untuk berbagai sasaran, termasuk benda-benda non-logam, batu, hujan, senyawa kimia, aerosol, awan dan bahkan molekul tunggal. Sebuah sinar laser dapat digunakan untuk memperoleh fitur peta fisik dengan resolusi sangat tinggi. LIDAR telah digunakan secara luas untuk penelitian atmosfer dan meteorologi. Instrumen LIDAR dipasang ke pesawat dan satelit yang digunakan untuk survei dan pemetaan. Contoh terkini adalah eksperimen NASA *Advanced Research Lidar*. Di samping itu LIDAR telah diidentifikasi oleh NASA sebagai teknologi kunci untuk memungkinkan

pendaratan presisi paling aman untuk masa depan robot dan kendaraan pendaratan berawak ke bulan. Berikut contoh dari teknologi LiDAR pada gambar



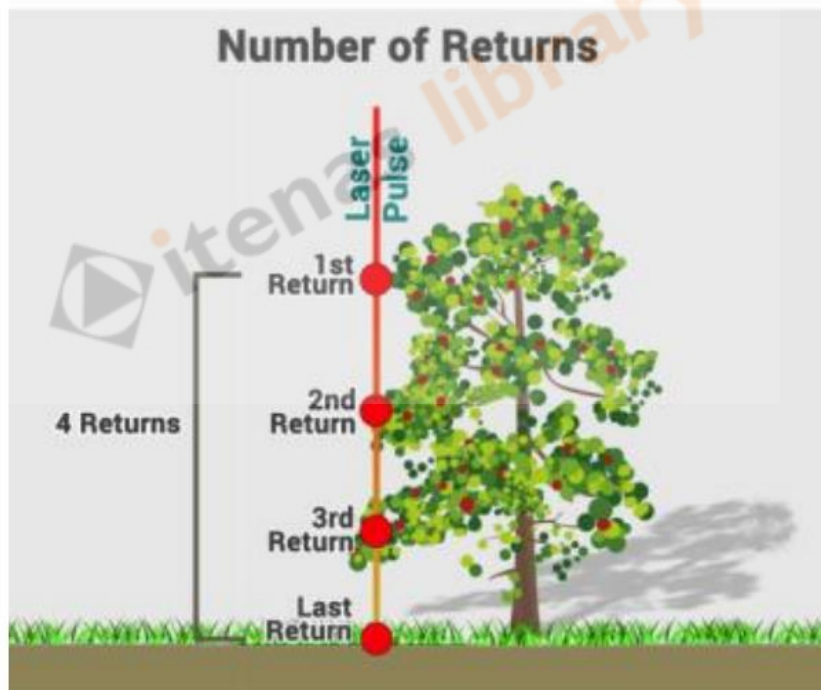
Gambar 2.8 Teknologi LiDAR  
(Sumber : Young, 2008)

Prinsip kerja LiDAR secara umum adalah sensor memancarkan sinar laser pada target kemudian sinar tersebut dipantulkan kembali ke sensor. Berkas sinar yang ditangkap kemudian dianalisis oleh peralatan *detector*. Perubahan komposisi cahaya yang diterima dari sebuah target ditetapkan sebagai sebuah karakter objek. Waktu perjalanan sinar yang dipancarkan dan diterima kembali diperlukan sebagai variabel penentu perhitungan jarak dari benda ke sensor. Untuk mendapatkan gambar, dilakukan penyiaman pada lokasi yang ditentukan. Penyiaman dilakukan dengan memasang laser scanner, GPS dan INS pada wahana yang dipilih berdasarkan skala produk yang diinginkan dan luas cakupan, maka ditentukan jalur terbang.

Jenis gelombang yang dipancarkan oleh sensor laser ialah gelombang hijau dan gelombang *near infrared* (NIR) atau infra merah. Gelombang *infrared* memiliki panjang gelombang  $\pm 1.500$  nm yang berfungsi untuk mengukur suatu daratan topografi di permukaan bumi, bukan untuk daerah perairan. Dikarenakan air akan menyerap gelombang NIR sehingga pantulan yang diterima sensor akan tidak ada sama sekali (Burtch, 2001). Sedangkan, gelombang hijau memiliki panjang gelombang antara 500-550 nm berperan sebagai gelombang penetrasi jika

suatu sinar laser mengenai daerah perairan. Biasanya gelombang hijau digunakan untuk *Hydrography* LiDAR yaitu untuk pengukuran batimetri atau kedalaman laut yang relatif dangkal (Alif, 2010).

Salah satu karakteristik sensor LiDAR yang menjadi kelebihan alat LiDAR dibandingkan yang lainnya ialah kemampuan gelombang tersebut untuk melakukan *multiple returns*, yakni sensor LiDAR dapat merekam beberapa kali gelombang pantul dari objek yang ada di permukaan bumi untuk setiap gelombang yang dipancarkan. *Multiple returns* digunakan untuk menentukan bentuk objek atau vegetasi yang menutupi permukaan tanah. Ilustrasi *multiple returns* ditunjukkan oleh gambar II.3, yang mana terlihat gelombang yang dipancarkan dan dipantulkan tidak hanya mengenai permukaan tanah tetapi juga mengenai objek-objek yang ada di atas permukaan tanah.



Gambar 2.9 *Multiple Return* pada LiDAR  
(Sumber : Gisgeography, 2016)

Ketika pulsa laser tersebut dipancarkan, permukaan objek yang pertama kali memantulkan pulsa tersebut akan menjadi gelombang pantul pertama (*1st return*), gelombang pantul ini biasa digunakan untuk membuat *Digital Surface Model*

(DSM). Kemudian objek yang kedua kalinya memantulkan pulsa tersebut menjadi *2nd return* dan seterusnya hingga gelombang pantulan terakhir. Kemampuan sensor saat ini dapat merekam hingga 5 kali pantulan (Shuckman, dkk., 2009)

Pada jalur terbang yang telah ditentukan tersebut wahana terbang melakukan penyiaman (*scanning*). Pada saat *laser scanner* melakukan penyiaman sepanjang jalur terbang pada setiap interval waktu tertentu direkam posisinya dengan menggunakan GPS dan orientasinya dengan menggunakan INS. Proses ini dilakukan sampai jalur yang disiam selesai (Ferdiansyah, 2016).

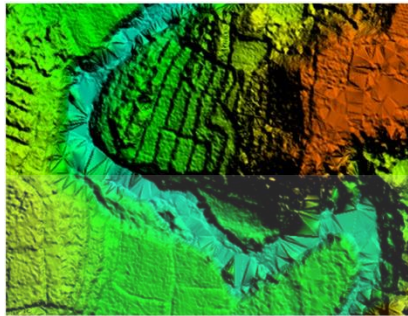
## 2.11 DEM, DTM, dan DSM

Model permukaan bumi terdiri dari data elevasi digital dalam tiga dimensi (X, Y, Z). Data elevasi digital ini disimpan dalam format *pixel grid* (raster). Setiap piksel mempunyai nilai elevasi yang mewakili ketinggian titik di permukaan bumi. Model permukaan bumi ini terdiri dari *Digital Elevation Model* (DEM), *Digital Terrain Model* (DTM), dan *Digital Surface Model* (DSM). Model permukaan bumi ini dapat diperoleh dengan pengukuran secara tidak langsung seperti fotogrametri, penginderaan jauh (*remote sensing*), dan *Light Detection and Ranging* (LiDAR). Gelombang dari sensor dipancarkan kepada objek di permukaan bumi, sehingga ada yang mengenai pohon, rumah, permukaan tanah, atau objek lainnya, kemudian dipantulkan kembali ditangkap oleh sensor. Hasil dari pantulan objek-objek ini kemudian akan menjadi representasi ketinggian yang beraga, tergantung dari pantulan objek yang diterima oleh sensor (Hartini, 2019).

### 2.11.1 *Digital Elevation Model* (DEM)

*Digital Elevation Model* (DEM) merupakan bentuk penyajian ketinggian bumi secara digital. DEM terbentuk dari titik-titik *sample* yang memiliki nilai koordinat 3D (X, Y, Z). Titik *sample* merupakan titik-titik yang didapat dari hasil *sampling* permukaan bumi. Hasil *sampling* permukaan bumi didapatkan dari pengukuran atau pengambilan data ketinggian titik-titik yang dianggap dapat mewakili relief permukaan bumi. Data *sampling* titik-titik tersebut kemudian diolah hingga didapat koordinat titik-titik *sample*.

Jika titik-titik *sample* sangat padat, maka permukaan topografi akan didefinisikan secara mendalam. Jika titik-titik *sample* kurang padat, maka karakter-karakter medan yang penting dapat hilang. Contohnya, di area pengukuran terdapat bukit yang memiliki perbedaan tinggi dengan permukaan tanah disekitarnya, namun karena titik *sample* tidak diambil di bukit tersebut maka DEM yang dihasilkan menjadi rata dan bentuk bukit tidak tersaji dalam DEM tersebut.



Gambar 2.10 DEM  
(Sumber : Mertotaroeno, Saptomo. H., 2016)

DEM adalah data digital yang menggambarkan geometri dari bentuk permukaan bumi atau bagiannya yang terdiri dari himpunan titik-titik koordinat hasil *sampling* dari permukaan dengan algoritma yang mendefinisikan permukaan tersebut menggunakan himpunan koordinat (Tempfli, 1991)

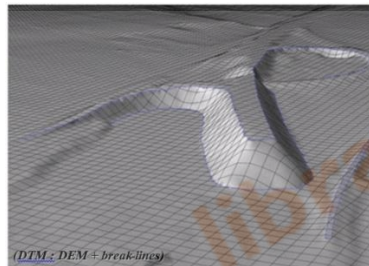
Permukaan tanah dalam DEM dimodelkan dengan membagi area menjadi bidang-bidang yang terhubung satu sama lain dimana bidang-bidang tersebut terbentuk oleh titik-titik pembentuk DEM. Titik-titik tersebut dapat berupa titik *sample* permukaan tanah atau hasil interpolasi dan ekstrapolasi titik-titik *sample*.

### 2.11.2 Digital Terrain Model (DTM)

*Digital Terrain Model* (DTM) identik dengan DEM. DTM tidak hanya mencakup DEM, tetapi mencakup medan yang dapat memberikan definisi yang lebih baik tentang karakteristik permukaan topografi. Dalam DTM fitur alami seperti sungai, jalan, garis punggung, dan lain-lain telah

didefinisikan. Pada DTM telah ditambahkan fitur *breaklines* dan pengamatan selain data asli untuk mengoreksi kondisi topografi yang terbentuk.

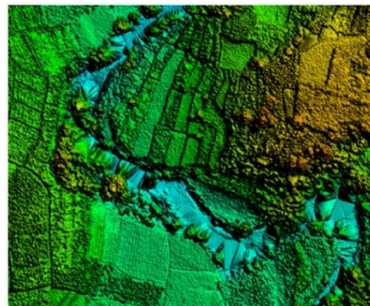
*Breaklines* digunakan untuk menentukan perubahan ketinggian yang mendadak pada permukaan tanah. *Breaklines* mendefinisikan dan mengontrol perilaku permukaan pada saat proses interpolasi. Seperti namanya, *breaklines* adalah fitur linier. *Breaklines* memiliki efek signifikan dalam hal menggambarkan perilaku permukaan ketika dimasukkan dalam model permukaan. *Breaklines* dapat menggambarkan dan menegakkan perubahan perilaku permukaan. Nilai-Z sepanjang *breakline* bisa konstan atau dapat bervariasi sepanjang *breakline*.



Gambar 2.11 Ilustrasi DEM Setelah Ditambahkan *Breaklines*  
(Sumber : Mertotaroeno, Saptomo. H., 2016)

### 2.11.3 Digital Surface Model (DSM)

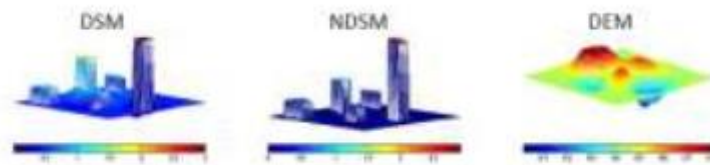
*Digital Surface Model* (DSM) adalah model permukaan bumi dengan menggambarkan seluruh objek permukaan bumi yang terlihat. Objek bangunan dan vegetasi yang menutupi tanah, serta objek tanah yang terbuka termasuk dalam data DSM. Kenampakan DSM akan menggambarkan bentuk permukaan bumi seperti keadaan nyata yang terlihat dari foto atau citra satelit.



Gambar 2.12 DSM  
(Sumber : Mertotaroeno, Saptomo. H., 2016)

#### 2.11.4 Normalized Digital Surface Model (nDSM)

*Normalized Digital Surface Model* (nDSM) adalah penyajian model elevasi objek pada permukaan datar. Model ini diperoleh dari perbedaan antara DSM dan DEM. nDSM dihitung dengan cara mengurangi DSM dengan DEM (Grigillo, dkk, 2011). Perhitungan ini akan didapatkan tinggi objek yang ada di atas permukaan tanah. Gambar 2. Menunjukkan perbedaan antara DSM, nDSM dan DEM.



Gambar 2.13 DSM, NDSM dan DEM  
(Sumber : bartels dan wei, 2009)

#### 2.12 Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)

NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) adalah perhitungan citra yang digunakan untuk mengetahui tingkat kehijauan, yang sangat baik sebagai awal dari pembagian daerah vegetasi. NDVI dapat menunjukkan parameter yang berhubungan dengan parameter vegetasi, antara lain, biomassa dedaunan hijau, daerah dedaunan hijau yang merupakan nilai yang dapat diperkirakan untuk pembagian vegetasi (Indrayanti, 2013). Seperti perhitungan pada citra rasio, pada citra normalisasi juga menggunakan data *channel 1* dan *channel 2*. *Channel 1* terdapat dalam bagian dari spektrum dimana klorofil menyebabkan adanya penyerapan terhadap radiasi cahaya yang datang yang dilakukan saat fotosintesis, sedangkan *channel 2* terdapat dalam daerah *spectral* dimana struktur daun *spongy mesophyll* menyebabkan adanya pantulan terhadap radiasi cahaya.

Perbedaan respon dari kedua *channel* ini dapat diketahui dengan transformasi rasio perbandingan satu *channel* dengan *channel* yang lain. Perbandingan antara kedua *channel* adalah pertimbangan yang digunakan untuk mengurangi variasi yang disebabkan oleh topografi dari permukaan bumi. Hal ini merupakan kompensasi dari variasi pancaran sebagai fungsi dari elevasi matahari untuk daerah yang



berbeda dalam sebuah citra satelit. Perbandingan ini tidak menghilangkan efek *additive* yang disebabkan oleh *atmospheric attenuation*, tetapi komponen dasar untuk NDVI dan vegetasi saling berhubungan. Latar belakang daratan berfungsi sebagai pemantul sinyal yang terpisah dari vegetasi, dan berinteraksi dengan vegetasi melalui hamburan yang sangat banyak dari energi radiasi. Formula NDVI adalah (Indrayanti, 2013):

$$NDVI = \frac{NIR - red}{NIR + red} \dots\dots\dots(1)$$

dimana NIR adalah *Near Infrared – band* dan *red* adalah *red – band*.

Rentang nilai NDVI adalah antara -1.0 hingga +1.0. Nilai yang lebih besar dari 0.1 biasanya menandakan peningkatan derajat kehijauan dan intensitas dari vegetasi. Permukaan vegetasi memiliki rentang nilai NDVI 0.1 untuk lahan *savanna* (padang rumput) hingga 0.8 untuk daerah hutan hujan tropis. Nilai NDVI dapat diperoleh yaitu dengan membandingkan pengurangan data *band 2* dan *band 1* dengan penjumlahan dari kedua *band* tersebut. Tabel 2.1 menunjukkan pembagian kelas nilai indeks vegetasi (NDVI).

Tabel 2.1 Pembagian Kelas Berdasarkan Nilai NDVI  
(Sumber: Rahaldi, 2013)

Kelas	Kisaran NDVI
Kesehatan Kurang	0.11 s.d 0.22
Kesehatan Normal	0.22 s.d 0.42
Kesehatan Baik	0.42 s.d 0.92

Tingkat kesuburan tanaman mengacu Tabel 2.1 karena menurut Adinugroho (2008), tanaman dinyatakan sehat apabila tanaman tersebut memiliki pertumbuhan baik yaitu daun dan batang segar.

### 2.13 Kelapa sawit

Kelapa sawit merupakan salah satu jenis tanaman perkebunan yang menduduki posisi terpenting di sektor pertanian, hal ini dikarenakan kelapa sawit mampu menghasilkan nilai ekonomi terbesar per hektarnya jika dibandingkan dengan tanaman penghasil minyak atau lemak lainnya (Widiyanto, 2015). Di Indonesia komoditas perkebunan kelapa sawit memiliki prospek pasar bagi olahan

kelapa sawit cukup menjanjikan karena permintaan dari tahun ke tahun mengalami peningkatan yang cukup besar, tidak hanya di dalam negeri, tetapi juga di luar negeri. Komoditas kelapasawit, baik berupa bahan mentah maupun hasil olahannya, menduduki peringkat ketiga penyumbang devisa terbesar bagi negara setelah karet dan kopi (Sastrosayono, 2003). Kelapa sawit memegang peranan yang sangat strategis, sebab budi daya ini mempunyai prospek yang sangat bagus bagi sumber devisa negara dan berdampak positif terhadap perluasan kesempatan berusaha di samping menciptakan lapangan kerja yang luas serta tersedianya peluang pasar (Risza, 2010).

Produksi kelapa sawit merupakan buah kelapa sawit hasil panen dari suatu perkebunan kelapa sawit. Kegiatan produksi ini sangat penting bagi perusahaan perkebunan kelapa sawit, karena merupakan sumber penghasilan utama dari perusahaan itu sendiri (Alifia, 2017). Tinggi rendahnya tingkat produktivitas kelapa sawit tersebut menentukan seberapa besar keuntungan yang akan diperoleh bagi perusahaan dari hasil penjualan produksi kelapa sawit. Menurut Risza (2008) semakin luas komposisi umur tanaman remaja dan rents, semakin rendah pula tingkat produktivitasnya.

Tanaman kelapa sawit merupakan tanaman perkebunan yang sekarang ini banyak diusahakan baik oleh petani pekebun maupun perusahaan. Hasil panen utama dari tanaman kelapa sawit adalah buah kelapa sawit yang disebut tandan buah segar (TBS). Tanaman kelapa sawit mulai berbunga dan membentuk buah pada umur 2-3 tahun. Tanaman kelapa sawit berbunga dan membentuk buah pada umur 2-3 tahun. Buah akan menjadi masak sekitar 5 - 6 bulan setelah penyerbukan. (Sukadi, Widyaiswara Madya, 2014).

Kelapa sawit adalah tanaman penghasil minyak nabati yang dapat menjadi andalan dimasa depan karena berbagai kegunaannya bagi kebutuhan manusia. Kelapa sawit memiliki arti penting bagi pembangunan nasional Indonesia. Selain menciptakan kesempatan kerja yang mengarah pada kesejahteraan masyarakat, juga sebagai sumber devisa negara. Penyebaran perkebunan kelapa sawit di Indonesia saat ini sudah berkembang di 22 daerah provinsi. Luas perkebunan kelapa sawit pada tahun 1968 seluas 105.808 ha dengan produksi 167.669 ton, pada tahun 2007

telah meningkat menjadi 6.6 juta ha dengan produksi sekitar 17.3 juta ton CPO (Sastrosayono, 2003).

Produksi sawit merupakan buah kelapa sawit hasil panen dari suatu perkebunan kelapa sawit. Produksi sawit ini sangat penting bagi perusahaan perkebunan kelapa sawit, karena merupakan sumber penghasilan utama dari perusahaan itu sendiri. Oleh sebab itu, jika tingkat produksi tinggi maka keuntungan dari hasil penjualan buah sawit juga meningkat. Tinggi rendahnya tingkat produktivitas kelapa sawit juga dipengaruhi oleh umur tanaman kelapa sawit yang ada di suatu perkebunan. Lubis (1992) menyatakan bahwa produktivitas maksimal tanaman kelapa sawit dapat dicapai ketika tanaman berumur 7 – 11 tahun.

Menurut Risza (2008:149) semakin luas komposisi umur tanaman remaja dan renta, semakin rendah pula tingkat produktivitasnya. Sedangkan semakin banyak tanaman dewasa dan teruna semakin tinggi pula tingkat produktivitasnya. Komposisi umur tanaman berubah setiap tahunnya sehingga juga berpengaruh terhadap pencapaian produksi per hektar per tahunnya. Menurut Bina Nusantara tanaman kelapa sawit biasanya dibagi atas 6 kelompok, yaitu:

Tabel 2.2 Komposisi Kelas Tanaman Kelapa Sawit

<b>KELAS UMUR</b>	<b>JENIS</b>	<b>PRODUKSI</b>
0-3 tahun	Muda	Belum Menghasilkan
3-4 tahun	Remaja	Sangat Rendah
5-12 tahun	Teruna	Mengarah Naik
12-20 tahun	Dewasa	Posisi Puncak
21-25 tahun	Tua	Mengarah Turun
>26 tahun	Renta	Sangat Rendah

Upaya-upaya untuk meningkatkan produktivitas akan berkaitan dengan banyak faktor dan salah satu diantaranya, yaitu karakteristik lahan. Karakteristik lahan adalah sifat lahan yang dapat diukur atau diestimasi, contohnya kemiringan lereng dan curah hujan. Karakteristik lahan yang mempengaruhi pertumbuhan dan produksi tanaman kelapa sawit di suatu daerah antara lain jenis tanah, lereng, elevasi, curah hujan, dan temperatur. Penanaman kelapa sawit yang dilakukan pada

karakteristik lahan yang benar dan baik akan menghasilkan produktivitas kelapa sawit yang optimal.

### 2.13.1 Syarat Tumbuh

#### A. Iklim

Kelapa sawit dapat tumbuh dengan baik di daerah tropika basah di sekitar 12°LU – 12°LS, pada ketinggian 0–500 m di atas permukaan laut (dpl). Jumlah curah hujan tahun yang baik adalah 2.000–2.500 mm/tahun, tidak memiliki defisit air, hujan agak merata sepanjang tahun. Suhu yang optimal 24° – 28°C, terendah 18°C dan tertinggi 32°C. Kelembaban 80 % dan penyinaran matahari 5–7 jam/hari. Ketinggian dari permukaan laut yang optimal adalah 0–400 m. Kecepatan angin 5–6 km/jam sangat baik untuk membantu proses penyerbukan (Lubis, 1992).

Kelapa sawit lebih toleran dengan curah hujan yang tinggi dibandingkan dengan jenis tanaman lainnya, meskipun demikian dalam kriteria klasifikasi kesesuaian lahan nilai tersebut menjadi faktor pembatas ringan. Jumlah bulan kering lebih dari 3 bulan merupakan faktor pembatas berat. Adanya bulan kering yang panjang dan curah hujan yang rendah akan menyebabkan terjadinya defisit air (Pusat Penelitian Kelapa Sawit, 2006).

Jika tanah kekurangan air (kekeringan) maka akar tanaman akan sulit menyerap mineral dalam tanah sebab dengan adanya air, unsur-unsur hara dapat larut dan tersedia bagi tanaman. Musim kemarau panjang dapat mengancam terjadinya penurunan produksi, karena water defisit 400 mm mulai berpengaruh terhadap produksi. Curah hujan yang berlebihan juga berakibat kurang baik karena dapat menyebabkan erosi tanah lapisan atas dan keadaan drainase terutama daerah yang topografinya jelek (Risza, 1994). Keadaan topografi pada areal perkebunan kelapa sawit berhubungan dengan kemudahan perawatan tanaman dan panen. Topografi yang cukup baik untuk tanaman kelapa sawit adalah areal dengan kemiringan 0°–15°. Hal tersebut akan memudahkan pengangkutan buah dari pohon ke tempat

pemungutan hasil atau dari perkebunan ke pabrik pengolahan (Fauzi dkk., 2002).

#### B. Tanah

Tanah Kelapa sawit dapat tumbuh pada berbagai jenis tanah seperti Podsolik, Latosol, Hidromorfik Kelabu (HK), Regosol, Andosol, Organosol, dan Alluvial. Tanaman kelapa sawit dapat tumbuh pada pH 4,0– 6,0, tetapi terbaik pada pH 5,0– 5,5 dengan kandungan unsur hara tanah tinggi (Lubis, 1992).

Bentuk wilayah yang sesuai untuk tanaman kelapa sawit adalah datar sampai berombak, yaitu wilayah dengan kemiringan lereng 0–8 persen. Pada wilayah bergelombang sampai berbukit (kemiringan 8-30 %), kelapa sawit masih dapat tumbuh dan berproduksi dengan baik melalui upaya pembuatan teras. Pada wilayah berbukit dengan kemiringan lebih dari 30 % tidak dianjurkan untuk kelapa sawit karena akan memerlukan biaya yang besar untuk pengelolaannya, sedangkan produksi kelapa sawit yang dihasilkan relatif rendah. Bentuk wilayah merupakan faktor penentu produktivitas yang mempengaruhi kemudahan panen, pengawetan tanah dan air, pembuatan jaringan jalan, dan keefektivitasan pemupukan (Pusat Penelitian Kelapa Sawit, 2006).

Sifat fisik tanah yang baik untuk pertumbuhan tanaman kelapa sawit ialah memiliki solum yang dalam lebih dari 80 cm, karena baik untuk perkembangan akar sehingga efisiensi penyerapan hara tanaman akan lebih baik. Tekstur tanah yang paling ideal untuk kelapa sawit adalah lempung atau lempung berpasir dengan komposisi 20-60% pasir, 10-40% lempung dan 20-50% liat. Struktur tanah yang paling ideal untuk kelapa sawit adalah perkembangannya kuat, konsistensi gembur sampai agak teguh dan permeabilitas sedang. Selain itu, ketebalan gambut yang baik adalah 0-0,6 m dan tidak dijumpai laterite (Soehardjo, 1999).

#### C. Curah Hujan dan Hari Hujan

Curah Hujan dan Hari Hujan iklim sangat berpengaruh terhadap variasi pertumbuhan kelapa sawit. Salah satu faktor iklim yang sangat berpengaruh terhadap produktivitas kelapa sawit adalah air. Ketersediaan air ini sangat

dipengaruhi oleh curah hujan, irigasi yang diberikan ke perkebunan serta kapasitas tanah dalam menahan air. (Lubis, 1992).

Hujan merupakan sumber air utama di perkebunan kelapa sawit. Curah hujan yang ideal bagi pertumbuhan kelapa sawit adalah 2.500–3.000 mm/tahun dengan distribusi merata sepanjang tahun, tidak terdapat bulan kering berkepanjangan dengan curah hujan di bawah 120 mm dan tidak terdapat bulan basah dengan hari hujan lebih dari 20 hari (Hadi, 2004). Pengelolaan air hujan harus dilakukan secara tepat dan baik agar dapat menjaga persediaan air di dalam kebun. Kondisi hujan di Indonesia berbeda untuk tiap bulannya. Ada bulan-bulan yang mengalami hujan yang melimpah dan ada pula bulan-bulan hujan relatif sedikit. Hujan juga berpengaruh terhadap pembungaan kelapa sawit (Siregar dkk., 2006).

Curah hujan merupakan faktor iklim yang selalu berubah-ubah dan sulit diramalkan. Setiap daerah memiliki pola curah hujan yang berbeda sehingga baik jumlah curah hujan sepanjang tahun berbeda-beda antara satu daerah dengan daerah lainnya. Ketersediaan air merupakan faktor utama yang membatasi tingkat produksi tanaman. Kekurangan air akan berpengaruh negatif terhadap produksi TBS sampai dengan dua tahun ke depannya. Penurunan produksi tahun pertama berkisar antara 6-10% dari produksi normal per 100 mm defisit air dan tahun kedua berkisar antara 2-5% dari produksi normal per 100 mm defisit air. Besarnya pengaruh defisit air terhadap produksi dipengaruhi banyak faktor, diantaranya umur tanaman, tingkat produksi saat terjadi kekeringan, fisiologis tanaman dan sebagainya. Pengaruh negatif umumnya dimulai 6 bulan setelah terjadi defisit air, misalnya aborsi janjang. Akibat adanya defisit air yang besar, ada kemungkinan akan terjadinya perubahan pola produksi (Prihutami, 2011).

Curah hujan adalah air hujan yang jatuh di permukaan tanah selama jangka waktu tertentu, diukur dalam satuan tinggi kolom di atas permukaan horizontal, apabila tidak terjadi penghilangan-penghilangan oleh proses penguapan, pengaliran dan peresapan ke dalam tanah. Curah hujan dinyatakan dalam tinggi air (mm) diukur dengan penakar hujan dengan luas moncong 100 cm<sup>2</sup>. Satu hari hujan adalah periode 24 jam terkumpulnya curah hujan setinggi 0,5 mm atau lebih dan curah hujan dengan tinggi kurang dari ketentuan tersebut, hari hujan dianggap nol

tetapi curah hujan tetap diperhitungkan (Siregar dkk, 2006). Curah hujan ekstrim yang terlalu tinggi ( $> 3000$  mm/thn,  $> 450$  mm/bln, ataupun  $> 150$  mm/10 hari) akan cukup memenuhi kebutuhan air tanaman kelapa sawit, bahkan berlebih sehingga dapat berimplikasi positif bagi tanaman.

Namun kelebihan air dapat mengakibatkan pencucian hara, penggenangan, dan pengganggu kegiatan pengelolaan kebun lainnya. Selain mengakibatkan pencucian hara yang ada, tidak terdapat jadwal kegiatan pemupukan maka harus ditunda karena curah hujan ekstrim yang terlalu tinggi. Curah hujan ekstrim tinggi juga dapat mengganggu pemeliharaan tanaman dan panen, serta penggenangan air juga mengakibatkan kerentanan kerusakan jalan dan mengganggu kegiatan panen, sehingga dapat menurunkan produksi kebun (Margono, 2011).

#### D. Umur Tanaman

Umur tanaman berperan dalam pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Tinggi rendahnya produktivitas TBS per hektar suatu kebun kelapa sawit tergantung dari komposisi umur tanaman yang ada di kebun tersebut (Risza, 1994).

Tingkat produktivitas tanaman kelapa sawit akan meningkat secara tajam dari umur 3-7 tahun (periode tanaman muda atau young), mencapai tingkat produksi maksimal pada umur sekitar 15 tahun (periode tanaman remaja atau prime) dan mulai menurun secara gradual pada periode tanaman tua sampai saat menjelang peremajaan (replanting) (Pahan, 2008).

Menurut Sunarko (2007) jumlah bunga betina pada tanaman muda lebih banyak sehingga buah yang dihasilkan lebih banyak, tetapi bobot yang dihasilkan Universitas Sumatera Utara hanya mencapai kurang 10-15 kg. Berikut ini disajikan pengaruh umur tanaman terhadap Berat Janjang Rata-Rata (BJR) pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Pengaruh Umur Tanaman Terhadap Berat Janjang Rata-Rata (BJR)

Umur Tanaman (Tahun)	Berat Janjang Rata-rata (kg)
3	3-4
4	4-5
5	6-7
6-7	8-9
8-9	10-11
10	>12

Kondisi seperti ini menyebabkan produktivitas tanaman rendah. Tanaman tua memiliki bobot tandan lebih berat dibandingkan tanaman muda. Berat janjang Rata-Rata (BJR) akan sama untuk setiap tahunnya saat tanaman berumur lebih dari 10 tahun (Manalu, 2008).

Umur tanaman berpengaruh pada pertumbuhan vegetatif dan generatif tanaman kelapa sawit. Peran umur tanaman jika ditinjau dari pertumbuhan vegetatif tanaman kelapa sawit yaitu berpengaruh dalam pembentukan pelepah yakni jumlah pelepah, panjang pelepah, dan jumlah anak daun. Tanaman yang berumur tua jumlah pelepah dan anak daun yang dihasilkan lebih banyak. Pelepah yang terbentuk juga lebih panjang dibandingkan dengan tanaman yang masih muda. Ini berkorelasi positif terhadap ketersediaan makanan bagi tanaman karena pelepah berfungsi sebagai tempat berlangsungnya proses fotosintesis. Peran umur tanaman jika ditinjau dari pertumbuhan generatif yakni berpengaruh terhadap organ reproduksi tanaman yaitu dalam proses pembentukan dan perkembangan buah. Kelapa sawit yang memiliki komposisi umur tanam muda akan memiliki jumlah janjang yang lebih banyak tetapi berat janjang yang dihasilkan lebih kecil dibandingkan dengan tanaman yang memiliki komposisi umur tanaman yang lebih tua. Kondisi ini berpengaruh pada BJR kebun yang berpengaruh terhadap pencapaian produksi TBS yang diharapkan (Prihutami, 2011).

Tanaman kelapa sawit dengan umur produktif atau umur ekonomis (< 25 tahun) mencapai produksi optimum dengan jumlah TBS yang dihasilkan banyak dan berat janjang yang dihasilkan juga cukup tinggi sehingga berpengaruh kepada pencapaian produksi TBS per hektarnya yang tinggi pula. Tanaman yang melebihi dari umur ekonomisnya mengharuskan untuk segera dilakukan peremajaan, yaitu dengan mengganti tanaman kelapa sawit yang sudah tua dengan tanaman yang baru agar kestabilan produksi TBS suatu kebun tetap terjaga (Prihutami, 2011).

Tanaman kelapa sawit akan menghasilkan tandan buah segar (TBS) yang dapat dipanen pada saat tanaman berumur 3 atau 4 tahun. Produksi TBS yang dihasilkan akan terus bertambah seiring bertambahnya umur dan akan mencapai produksi yang optimal dan maksimal pada saat tanaman berumur 9–14 tahun, dan setelah itu produksi TBS yang dihasilkan akan mulai menurun. Umumnya, tanaman



kelapa sawit akan optimal menghasilkan TBS hingga berumur 25–26 tahun. Sehingga dapat dikatakan bahwa faktor terbesar yang mempengaruhi fluktuasi TBS yang dihasilkan tanaman kelapa sawit adalah umur tanaman (Prihutami, 2011).

Tanaman yang semakin tua produktivitasnya akan menurun menjadi 12- 14 tandan/tahun. Pada tahun-tahun pertama berat tandan sekitar 3-6 kg, tetapi semakin tua berat tandan bertambah yaitu 25–35 kg/tandan. Dalam Fauzi dkk, (2002) melaporkan bahwa tanaman kelapa sawit rata-rata menghasilkan buah 20-22 tandan/tahun.

### **2.13.2 Faktor Penentu Produktivitas Kelapa Sawit**

Produktivitas tanaman kelapa sawit dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu faktor lingkungan, faktor genetik, dan teknik budidaya tanaman. Faktor lingkungan (enforce) yang mempengaruhi produktivitas kelapa sawit meliputi faktor abiotik (curah hujan, hari hujan, tanah, topografi) dan faktor biotik (gulma, hama, jumlah populasi tanaman/ha). Faktor genetik (innate) meliputi varietas bibit yang digunakan dan umur tanaman kelapa sawit. Faktor teknik budidaya (induce) meliputi pemupukan, konservasi tanah dan air, pengendalian gulma, hama, dan penyakit tanaman, serta kegiatan pemeliharaan lainnya. Faktor-faktor tersebut saling berhubungan dan mempengaruhi satu sama lain (Pahan 2010).

Faktor-faktor yang diduga berpengaruh terhadap produktivitas tanaman kelapa sawit di Ketapang adalah umur tanaman, tenaga kerja panen, curah hujan, dan hari hujan. Pemilihan faktor-faktor tersebut berdasarkan kelengkapan data yang tersedia. Potensi produktivitas puncak sebesar 30 ton/ha (Risza, 2010).

### **2.13.3 Klasifikasi Kesesuaian Lahan**

Evaluasi lahan adalah suatu proses penilaian sumber daya lahan untuk tujuan tertentu dengan menggunakan suatu pendekatan atau cara yang sudah teruji. Hasil evaluasi lahan akan memberikan informasi dan arahan penggunaan lahan sesuai dengan keperluan. Kesesuaian lahan adalah tingkat kecocokan sebidang lahan untuk penggunaan tertentu. Kesesuaian lahan tersebut dapat dinilai untuk

kondisi saat ini (kesesuaian lahan aktual) atau setelah diadakan perbaikan (kesesuaian lahan potensial).

Kesesuaian lahan aktual adalah kesesuaian lahan berdasarkan data sifat biofisik tanah atau sumber daya lahan sebelum lahan tersebut diberikan masukan-masukan yang diperlukan untuk mengatasi kendala. Data biofisik tersebut berupa karakteristik tanah dan iklim yang berhubungan dengan persyaratan tumbuh tanaman yang dievaluasi. Kesesuaian lahan potensial menggambarkan kesesuaian lahan yang akan dicapai apabila dilakukan usaha-usaha perbaikan. Lahan yang dievaluasi dapat berupa hutan konversi, lahan terlantar atau tidka produktif, atau lahan pertanian yang produktivitasnya kurang memuaskan tetapi masih memungkinkan untuk dapat ditingkatkan bila komoditasnya diganti dengan tanaman yang lebih sesuai.

Struktur klasifikasi kesesuaian lahan menurut kerangka FAO (1976) dapat dibedakan menurut tingkatannya, yaitu tingkat ordo, kelas, subkelas dan unit. Ordo adalah keadaan kesesuaian lahan secara global. Pada tingkat ordo kesesuaian lahan dibedakan antara lahan yang tergolong sesuai (*S=Suitable*) dan lahan yang tidak sesuai (*N= Not Suitable*). Kelas adalah keadaan tingkat kesesuaian dalam tingkat ordo. Berdasarkan tingkat detail data yang tersedia pada masing-masing skala pemetaan, kelas kesesuaian lahan dibedakan menjadi:

1. Untuk pemetaan tingkat semi detail (skala 1:25.000-1:50.000) pada tingkat kelas lahan yang tergolong ordo sesuai (*S*) dibedakan ke dalam 3 kelas yaitu :lahan yang sesuai (*S1*), cukup sesuai (*S2*) dan sesuai marginal (*S3*). Sedangkan lahan yang tergolong ordo tidak sesuai (*N*) tidak dibedakan ke dalam kelas-kelas.
2. Untuk pemetaan tingkat tinjau (skala 1:100.000-1:250.000) pada tingkat kelas dibedakan atas kelas sesuai (*S*), sesuai bersyarat (*CS*) dan tidak sesuai (*N*).

Tabel 2.4 Klasifikasi Kesesuaian Lahan  
(Sumber : Balai Penelitian anah dan WAC, 2011)

No	Kelas	Keterangan
1	Kelas S1	<b>Sangat Sesuai</b> Lahan tidak mempunyai faktor pembatas yang berarti atau nyata terhadap penggunaan secara berkelanjutan, atau faktor pembatas bersifat minor dan tidak akan berpengaruh terhadap produktivitas lahan secara nyata.
2	Kelas S2	<b>Cukup Sesuai</b> Lahan mempunyai faktor pembatas, dan factor pembatas ini akan berpengaruh terhadap produktivitasnya, memerlukan tambahan masukan (input). Pembatas tersebut biasanya dapat diatasi oleh petani sendiri.
3	Kelas S3	<b>Sesuai Marginal</b> Lahan mempunyai faktor pembatas yang berat, dan faktor pembatas ini akan sangat berpengaruh terhadap produktivitasnya, memerlukan tambahan masukan yang lebih banyak daripada lahan yang tergolong S2. Untuk mengatasi factor pembatas pada S3 memerlukan modal tinggi, sehingga perlu adanya bantuan atau campur tangan (intervensi) pemerintah atau pihak swasta.
4	Kelas N	<b>Tidak Sesuai</b> karena mempunyai faktor pembatas yang sangat berat dan/atau sulit diatasi.