

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

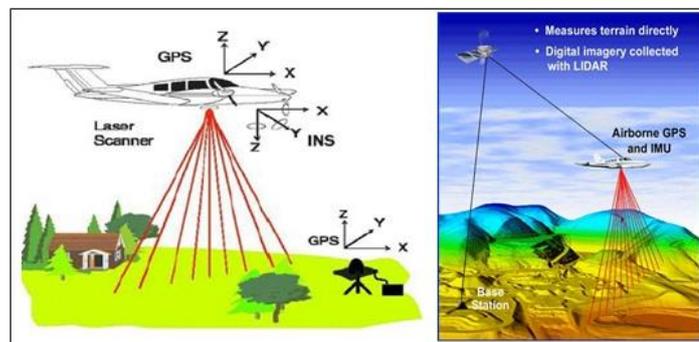
2.1 *Light Detection And Ranging (LiDAR)*

LiDAR merupakan sistem penginderaan jauh aktif menggunakan sinar laser yang dapat menghasilkan informasi mengenai karakteristik topografi permukaan tanah dalam posisi horizontal dan vertikal. Sinar laser tersebut memiliki gelombang tidak tampak (Infra merah) sehingga dapat menembus celah dedaunan untuk mencapai permukaan tanah dan dipantulkan kembali untuk ditangkap oleh sensor laser yang dilengkapi pengukur waktu untuk mencatat beda waktu ketika gelombang tersebut dipancarkan hingga ketika gelombang tersebut diterima kembali setelah dipantulkan. (Soetaat, 2009)

Berdasarkan wahana akuisisinya data LiDAR dibagi menjadi tiga jenis, yakni:

- a) *Groundbased* LiDAR yang sensornya ditempatkan di permukaan tanah.
- b) *Spaceborne* LiDAR yang sensornya ditempatkan di satelit luar angkasa.
- c) *Airbone* LiDAR yang sensornya ditempatkan di wahana terbang di atmosfer bumi.

Terdapat empat komponen LiDAR, yaitu sensor LiDAR, GPS (*Global Positioning System*), IMU (*Inertial Measuring Unit*), dan kamera digital (Burtch, 2001)

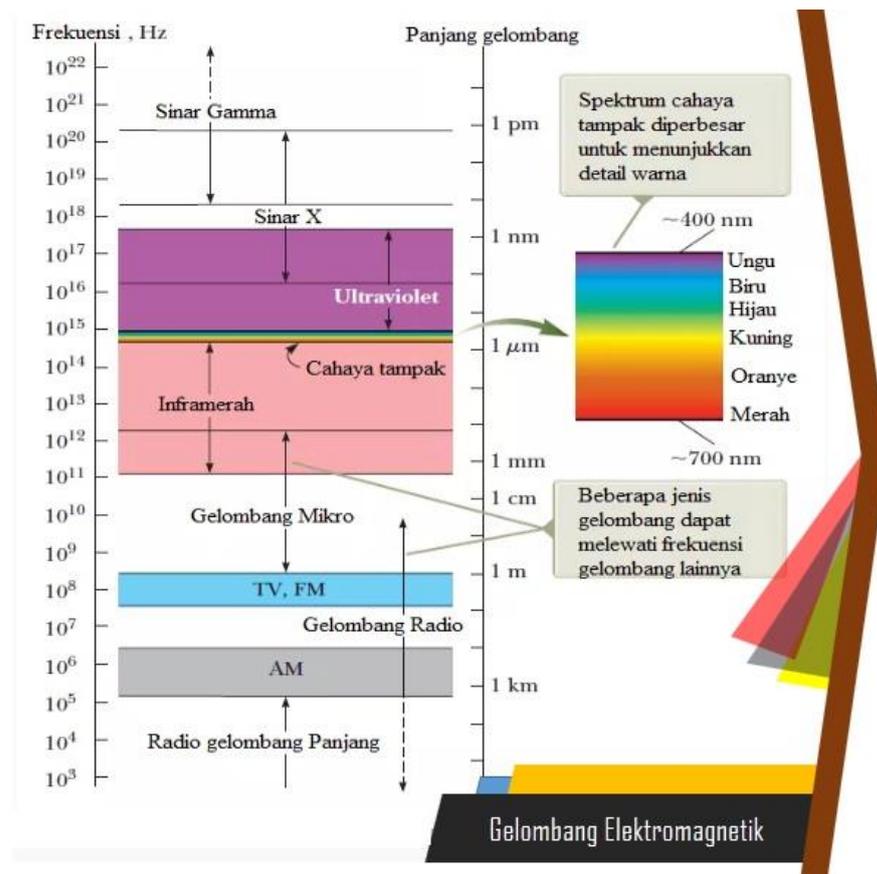


Gambar 2. 1 Komponen LiDAR

(Sumber: GISTech, 2011)

2.1.1 Sensor LiDAR

Sensor LiDAR merupakan komponen paling penting dalam sistem LiDAR, karena berfungsi sebagai pemancar sinar laser ke objek dan merekam kembali gelombang pantulannya setelah mengenai objek target. Sinar laser (*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*) merupakan suatu mekanisme pemancaran radiasi elektromagnetik dalam bentuk cahaya tunggal dan koheren pada spektrum dan frekuensi tertentu, gambar *spectrum* gelombang elektromagnetik dapat dilihat pada gambar 2.2. Sehingga pancarannya memiliki sudut pancaran yang kecil dan memiliki intensitas yang tinggi untuk dapat mencapai jarak yang jauh dan terarah dengan tepat pada suatu perangkat (Kelley, 2010).

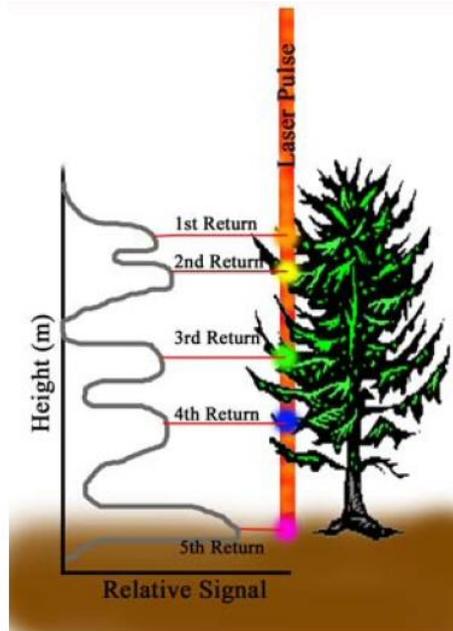


Gambar 2. 2 Spektrum Gelombang Elektromagnetik

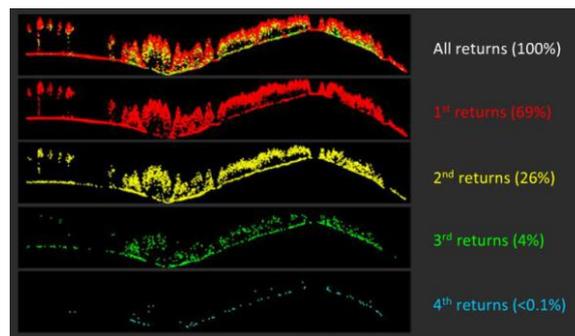
(Sumber: Lohani, 2010)

Jenis dari gelombang yang dipancarkan oleh sensor laser ialah gelombang hijau dan gelombang *near infrared* (NIR) atau infra merah. Gelombang *infrared* memiliki panjang gelombang ± 1500 nm yang berfungsi untuk mengukur suatu daratan topografi di permukaan bumi bukan untuk perairan. Karena air akan menyerap gelombang NIR sehingga pantulan yang diterima sensor akan sangat sedikit bahkan 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).

Sensor laser memiliki beberapa karakteristik yang dapat dibedakan dari kekuatan sinar laser yang dipancarkan, cakupan dari pancaran sinar gelombang laser dan jumlah sinar laser yang dihasilkan per detik. Selain itu, salah satu karakteristik sensor LiDAR yang kian 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 dari objek atau vegetasi yang menutupi permukaan tanah. Ilustrasi *multiple returns* ditunjukkan oleh gambar 2.3 dan 2.4. Terlihat pada gambar, gelombang yang dipancarkan dan dipantulkan tidak hanya mengenai permukaan tanah tetapi juga mengenai objek-objek yang ada di atas permukaan tanah.



Gambar 2. 3 Multiple Return Expalnation
(Sumber: Kuwano, 2011)



Gambar 2. 4 Multiple Return pada LiDAR
(Sumber: GSP 216, 2015)

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 akan menjadi *2nd return* dan seterusnya hingga gelombang pantul terakhir. Kemampuan sensor saat ini dapat merekam hingga 5 v pantulan. (Shuckman, et al., 2009)

Pada akuisisi data, sensor LiDAR dilengkapi juga dengan alat pengukur waktu untuk menghitung selang waktu antara setiap kali sinar dipancarkan dan diterima kembali oleh sensor. Maka dari itu, sensor LiDAR dapat mengukur jarak antara sensor pada wahana pesawat terbang dengan titik objek yang ada di permukaan bumi yang ingin diketahui koordinatnya. (Soetaat, 2009). Penelitian ini menggunakan sensor LiDAR Leica ALS 70 seperti terlihat pada gambar 2.5.



Gambar 2. 5 Sensor LiDAR ALS70

(Sumber: Kuwano, 2011)

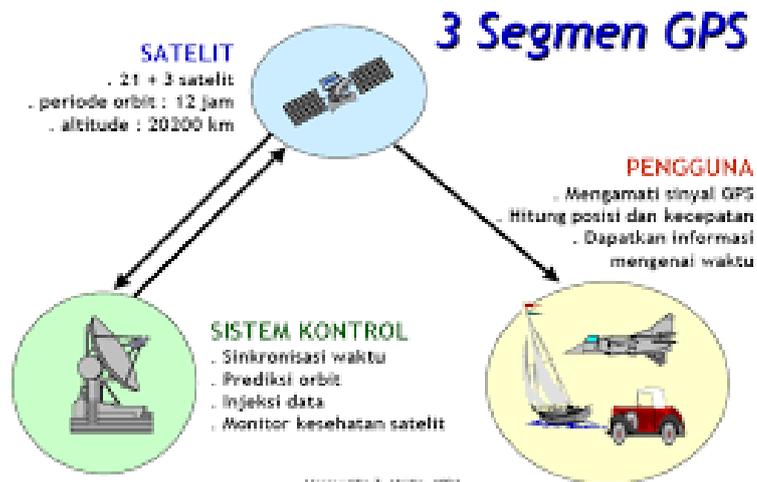
2.1.2 *Global Positioning System (GPS)*

GPS merupakan sistem satelit navigasi dan penentuan posisi yang didesain untuk memberikan posisi dan kecepatan tiga dimensi serta informasi mengenai waktu, secara kontinyu di seluruh dunia tanpa bergantung waktu dan cuaca, kepada banyak orang secara simultan (Abidin, 2006). Pada sistem LiDAR, GPS merupakan salah satu komponen penting yang berfungsi untuk menentukan wahana pesawat terbang atau koordinat sensor laser secara 3 dimensi (X Y Z atau L B h) terhadap suatu sistem referensi tertentu.

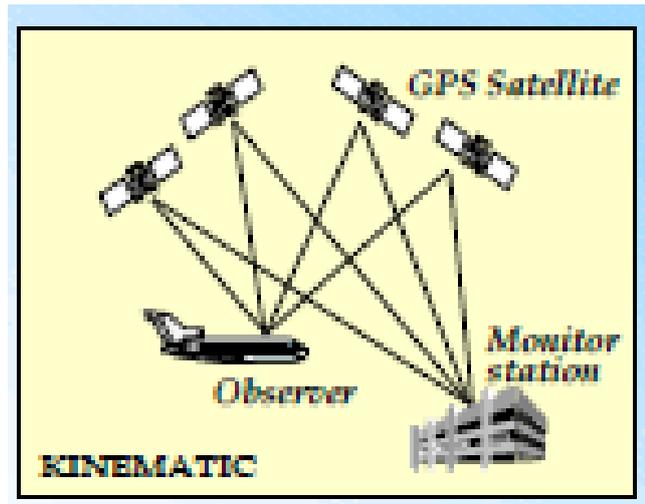
Penentuan posisi GPS yang digunakan dalam sistem LiDAR ialah metode diferensial kinematik. Secara ilustratif, metode penentuan posisi diferensial kinematik ditunjukkan pada gambar 2.7. Karena posisi wahana terbang akan selalu bergerak dan berubah-ubah dengan cepat ketika pengambilan data, maka perlu dilakukan penentuan posisi GPS dengan metode diferensial kinematik agar didapatkan hasil posisi dengan

ketelitian yang tinggi. Pada metode diferensial, konfigurasi dari dua buah *receiver* akan dapat mengurangi data yang diamati oleh dua *receiver* GPS pada waktu yang bersamaan, maka beberapa jenis kesalahan dan bias dari data dapat dieliminasi atau direduksi. Hal ini dapat meningkatkan ketelitian posisi dihasilkan.

Pada metode diferensial kinematik diperlukan 2 buah *receiver* GPS, yang pada teknisnya, sebuah *receiver* akan diletakkan pada sebuah titik yang telah diketahui koordinatnya di permukaan tanah sebagai basis (stasiun referensi), sedangkan satu buah *receiver* lainnya akan ditempatkan di dalam wahana pesawat terbang sebagai *roving receiver*. Konfigurasi dari kedua *receiver* tersebut dapat menghasilkan koreksi diferensial pada *roving receiver*, sehingga posisi sensor laser wahana pesawat dapat diketahui secara real time dan akurat (Abidin, 2006). Data GPS yang telah dihasilkan tersebut kemudian diolah secara *post processing* dan digabungkan dengan data IMU sehingga akan diperoleh koordinat yang telah terdefinisi secara geografis.



Gambar 2. 6 Segmen-segmen GPS
(Sumber : Abidin, 2006)



Gambar 2. 7 Ilustrasi konfigurasi GPS
(Sumber: Abidin, 2006)

2.1.3 *Inertial Measurement Unit (IMU)*

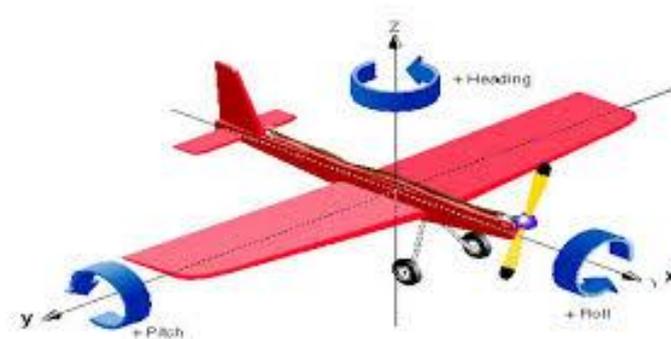
IMU merupakan salah satu komponen utama LiDAR yang berfungsi sebagai instrumen yang dapat mendeteksi pergeseran rotasi wahana pesawat terbang terhadap sumbu-sumbu sistem sumbu terbang. Sistem navigasi tersebut dapat mengukur sudut perubahan berupa *attitude* wahana pesawat terbang (*pitch*, *roll* dan *heading*) terhadap sumbu terbang, ilustrasi dari *roll*, *pitch*, dan *heading* lebih jelas dapat dilihat pada gambar 2.8. Hal ini dikarenakan ketika proses pengambilan data menggunakan wahana pesawat terbang, akan sulit bagi wahana tersebut untuk tetap berada di posisi idealnya pada jalur terbang. Selain itu IMU juga mampu mendeteksi perubahan percepatan pada wahana pesawat udara.

Pitch ialah pergerakan rotasi sumbu y wahana terhadap sumbu Y sistem referensi terbang, Sumbu y wahana terbang dapat didefinisikan sebagai garis pada bidang horizontal yang tegak lurus terhadap sumbu x wahana terbang. Sedangkan sumbu Y adalah sistem referensi terbang.

Roll adalah pergerakan rotasi sumbu x wahana terbang terhadap sumbu X pada sistem referensi terbang. Sumbu x wahana terbang dapat

didefinisikan sebagai garis lurus pada bidang horizontal yang melalui bagian depan (hidung) wahana hingga bagian belakang (ekor) wahana, yang membagi dua badan pesawat sama besar. Sedangkan sumbu X dari sistem referensi terbang dapat didefinisikan sebagai garis yang berimpit dengan arah terbang horizontal wahana. Pergeseran sumbu x wahana ini akan menyebabkan sumbu y dan sumbu z wahana menjadi tidak berimpit dengan sumbu Y, dan Z sistem referensi terbang dengan sudut sama besar.

Heading adalah sudut antara sumbu z wahana terbang terhadap arah utara. Sumbu z wahana terbang dapat didefinisikan sebagai garis yang tegak lurus terhadap sumbu x dan sumbu y wahana terbang. (Burtch, 2001).



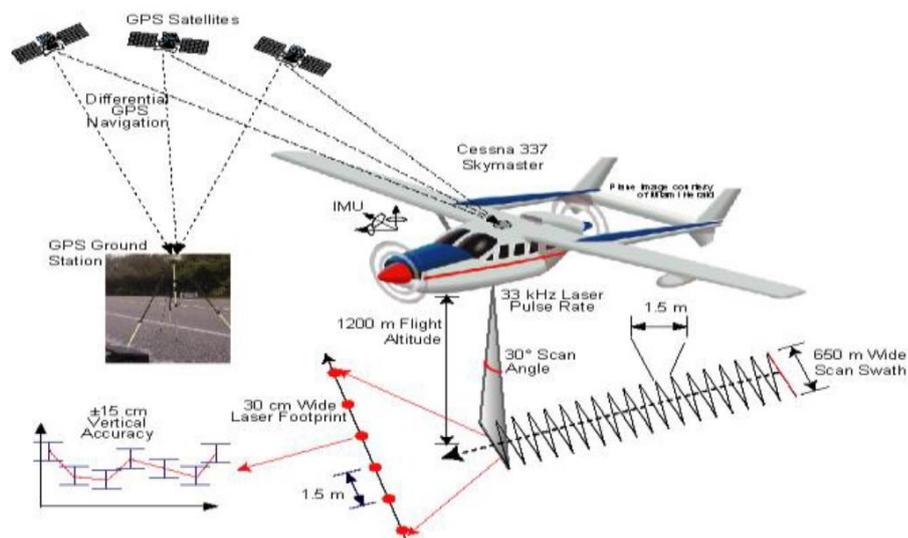
Gambar 2. 8 Ilustrasi Roll, Pitch, Heading
(Sumber: Nawangsidi, 2009)

2.1.4 Kamera Digital

Dalam beberapa sistem, kamera digital digunakan untuk menghasilkan citra dari area pengukuran LiDAR. Citra tersebut dapat di-*overlay* dengan data X, Y, Z hasil pengukuran LiDAR. Citra tersebut akan digunakan ketika proses pengklasifikasian titik data LiDAR. Hanya sedikit sistem yang menggunakan video kamera yang dapat merekam waktu, ketinggian, longitude dan altitude. Informasi ini akan berguna ketika operator melakukan *post processing* data LiDAR (Moskal, 2008).

Foto digital pada LiDAR juga berguna sebagai kontrol kualitas data LiDAR dan sebagai media untuk penggambaran unsur-unsur planimetrik secara monoskopik maupun secara stereoskopik 3D seperti jalan, tutupan lahan, sungai, dan sebagainya. Kemudian foto udara juga dapat digunakan untuk keperluan tertentu karena foto udara dapat menghasilkan peta foto yang lebih informatif dibandingkan dengan peta garis (Moskal, 2008).

2.2 Prinsip Kerja LiDAR



Gambar 2. 9 Prinsip Kerja Airborne LiDAR

(Sumber : The University of Utah, 2011)

Teknologi pemetaan Airborne LiDAR memadukan antara gelombang laser, kamera foto udara, GPS untuk penentuan posisi, dan IMU untuk mengetahui attitude pesawat dapat dilihat pada gambar 2.9. Alat LiDAR dan kamera foto udara ditempatkan di pesawat yang sebelumnya telah dilubangi bagian bawah badan pesawat.

Pada jalur terbang sensor laser melakukan penyiaran (*scanning*), sensor tersebut akan memancarkan sinar laser kepada target kemudian akan dipantulkan kembali ke sensor. Laser yang ditembakkan sebanyak 500.000 tembakan setiap detik. Ketika sensor tersebut memancarkan pulsa laser, jarak antara sensor transmitter di dalam pesawat dan suatu objek di permukaan tanah (berupa titik, gedung, atau pohon) dapat segera

ditentukan dengan akurat. Jarak antara transmitter dan target tersebut ditentukan berdasarkan *time of travel* (tot), yaitu waktu tempuh sinar laser hingga kembali ke sensor (Fauzi, 2009).

Saat penyiapan, Digital camera akan melakukan pemotretan dengan pertampalan (*overlap*) ke depan searah jalur terbang sebesar 60% dan ke samping sebesar 30%. Tidak boleh terjadi *gap* antar foto maupun antar jalur terbang. Kemudian GPS akan merekam posisi terbang pada interval waktu tertentu. Sedangkan orientasinya menggunakan IMU. Jarak tersebut dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$D = \frac{V \times T}{2} \dots\dots\dots 2.1$$

Dimana:

- D = jarak antara laser dan objek dipermukaan tanah
- T = jumlah waktu yang dibutuhkan sinar laser dari awal dipancarkan sampai kembali ke sensor
- V = kecepatan cahaya

Pantulan laser terdiri dari pantulan semua obyek di atas permukaan tanah seperti kanopi dan struktur tumbuhan, bangunan, *power lines*, rumput, tanah, dll. Nilai pantulan gelombang selanjutnya diterjemahkan menjadi titik-titik bernilai koordinat 3D. Titik-titik berkoordinat 3D yang disebut dengan istilah *pointcloud*. LiDAR dapat menghasilkan kerapatan titik (*pointcloud*) 1-9 titik/m², hal ini bergantung dari berbagai faktor, di antaranya adalah metode akuisisi (tinggi terbang, jenis konfigurasi sensor dan jenis permukaan), sudut pandang sensor ke permukaan bumi (*field of view*). LiDAR dapat menyajikan keakurasian yang sangat bervariasi, akurasi vertikal dalam range 15-24 cm dan horizontal 30-64 cm. Untuk mendapat keakurasian tersebut sensor LiDAR diintegrasikan dengan *Global Positioning System* (GPS) dan *Inertial Measuring Unit* (IMU) menggunakan berbagai metode tertentu untuk mendapatkan hasil data LiDAR dengan ketelitian semaksimal mungkin (Comarthy, 2012).

2.3 Sumber Kesalahan Data LiDAR

Koreksi data GPS diolah secara *post processing* untuk meningkatkan akurasi data posisi sensor LiDAR. Sedangkan IMU mampu mengukur orientasi sensor dalam sumbu X,Y, Z (*pitch, roll, heading*) setiap 1/200 detik.

Terdapat beberapa sumber kesalahan sistematik pada pengukuran LiDAR yang harus dihilangkan sebelumnya, yakni disebabkan oleh (BMGS, 2006):

1. Kesalahan pengukuran GPS/INS
2. Kesalahan pengukuran *mirror angle laser*
3. Kesalahan pengukuran *laser range*
4. Ketidaksejajaran sumbu GPS, INS dan laser
5. Kesalahan parameter kalibrasi (*boresight error*)

Sumber – sumber kesalahan mempengaruhi ketelitian dalam poses pengambilan data. Ketelitian data LiDAR dapat dibedakan menjadi ketelitian horizontal dan vertikal. Ketelitian vertikal dikuantifikasi dengan melakukan uji ketelitian menggunakan *ground test point*. Dalam hal ini, *ground test point* berupa titik-titik yang terdistribusi secara acak di tempat yang datar dan terbuka yang akan di survei koordinatnya secara independent menggunakan GPS (RTK), dimana lokasi titik – titik *ground test point* ini masuk di dalam cakupan wilayah survei LiDAR.

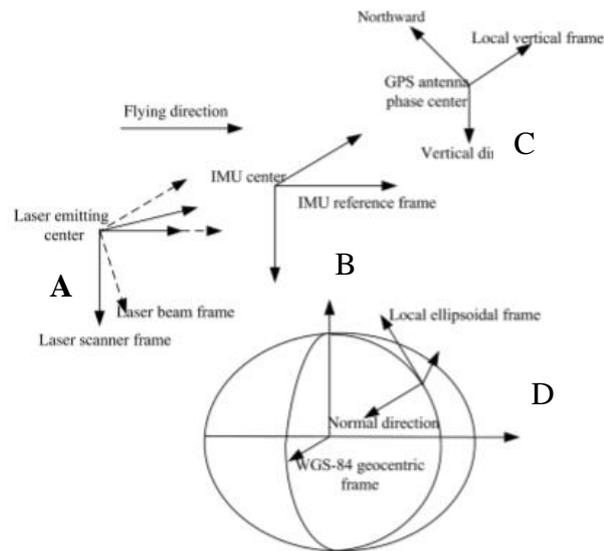
Kemudian setelah survei selesai, maka koordinat *ground test point* berdasarkan LiDAR akan dibandingkan secara statistik dengan koordinat berdasarkan pengukuran independent tadi. Itu merupakan cara untuk mengkuantifikasikan ketelitian vertikal. Sedangkan ketelitian horizontal dikuantifikasi dengan flight khusus di atas areal dengan berbagai bangunan yang mempunyai sudut-sudut dan geometri yang jelas seperti gudang, hanggar atau pabrik. Sehingga, lokasi titik ujung geometri dari objek tersebut secara horizontal dapat diidentifikasi dan terlihat dengan jelas dalam *pointcloud*. Posisi horizontal (x, y) dari sudut-sudut bangunan tersebut akan dibandingkan

dengan hasil pengukuran terestris menggunakan software khusus seperti *LiDAR Mapping Suite (LMS)* atau *Attune*.

Ketelitian LiDAR tergantung dari banyak faktor, di antaranya adalah faktor penentuan posisi, yaitu dari GPS *base station* di darat, GPS kinematik di pesawat, serta IMU di alat LIDAR. Semakin besar *point density* bukan berarti ketelitian semakin bagus, semua tergantung dari berbagai faktor. Untuk berusaha mendapatkan ketelitian yang baik, maka observasi GPS juga harus baik, yakni:

1. Tidak ada *gap* pada sinyal GPS ketika proses diferensial kinematik berlangsung
2. Satelit yang diamati pada proses penentuan posisi dengan GPS sebanyak mungkin
3. *Bank angle* (kemiringan pesawat) dibatasi
4. Obstruksi di *base station* di *ground* dikurangi seminimal mungkin.
5. *Kinematic ambiguity resolution* - KAR sebelum survey harus dilakukan dengan baik
6. Vibrasi pada pesawat harus ditekan seminimal mungkin untuk menghindari gangguan pada IMU

Selain itu faktor eksternal pada saat akuisisi juga harus diperhatikan: awan, kabut, asap, angin, hujan, dll yang bisa mempengaruhi propagasi dari sinar laser (Nugroho, 2013).



Gambar 2. 10 *Frame transform in laser point geolocation*
(Sumber: Li, et al., 2018)

Gambar di atas menjelaskan tentang:

Laser Beam Frame: Itu berasal dari pusat pemancar laser. Sumbu X menunjuk ke arah terbang dan tegak lurus terhadap bidang pemindaian laser. Sumbu Z menunjuk ke arah sinar laser memancarkan.

Laser Scanner Frame: Ini sama dengan frame sinar laser ketika sudut pemindaian nol.

Imu Reference Frame: Itu berasal dari pusat referensi IMU. Sumbu kira-kira sejajar dengan sumbu bingkai pemindai laser karena kesalahan pemasangan.

Local Vertical Frame: Ini berasal dari pusat fase antena GPS. Sumbu X menunjuk ke utara, dan sumbu Z menunjuk vertikal ke bawah

Local Ellipsoidal Frame: ini mirip dengan Local Vertical Frame. Tetapi sumbu Z menunjuk ke arah normal.

WGS 84 Geosentric Frame: Itu berasal dari pusat massa Bumi. Sumbu Z-nya adalah arah kutub terestrial konvensional (CTP), sebagaimana didefinisikan oleh BIH1984.0. Sumbu X menunjuk ke persimpangan bidang nol meridian yang ditentukan oleh BIH1984.0 dan bidang khatulistiwa CTP.

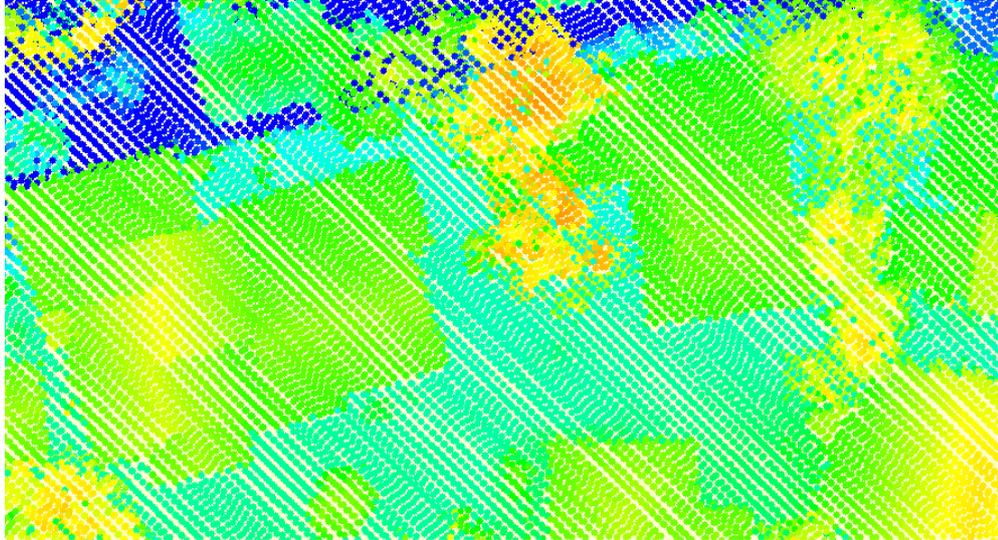
2.4 Data LiDAR

Output pengukuran LiDAR menghasilkan data berupa *pointcloud* (kumpulan titik) berupa *raw* data format digital dalam Las file atau (.Las). Selain itu dilengkapi juga oleh *single frame* foto udara dalam format digital. Penentuan posisi LiDAR terekam dalam *raw* data GPS dan hasil pengolahan metode diferensial kinematik dalam format digital.

Pointcloud merupakan sekelompok titik hasil pengukuran sensor laser yang telah diolah hingga memiliki posisi tiga dimensi dalam sistem koordinat kartesius atau X,Y dan Z, contoh gambar data dari *pointcloud* dapat dilihat dari gambar 2.11. Titik tersebut merupakan semua titik yang dipantulkan oleh objek target di permukaan bumi dan kembali ke sensor. Proses pengolahan data LiDAR dilakukan secara *post processing* yakni dari ketiga data yang dihasilkan oleh GPS, IMU dan Sensor Laser akan diolah sehingga menghasilkan *pointcloud* dalam X, Y dan Z.

Kerapatan *pointcloud* ditunjukkan oleh jarak antar titik dalam sekelompok titik. Apabila jarak antar *pointcloud* tersebut semakin dekat maka semakin tinggi pula kerapatannya. Kerapatan *pointcloud* yang tinggi akan menghasilkan model elevasi permukaan yang teliti pula. Namun, hal tersebut kembali bergantung pada proses pengolahan data LiDAR, metode dan konfigurasi akuisisi data LiDAR serta kembali kepada tujuan penggunaan data hasil survei LiDAR itu sendiri. Pada dasarnya kerapatan data tersebut dipengaruhi oleh beberapa hal, yaitu ketinggian terbang, kecepatan terbang, sudut pemindaian (*scan angle*), frekuensi gelombang yang dipancarkan, pola scanning, kekuatan pulsa laser, geometri tanah dan reflektifitas dari objek yang dipantulkan (Lohani, 1996).

Data hasil pengukuran LiDAR berupa *pointcloud* atau bertipe data titik tersebut harus dikonversikan ke dalam bentuk raster agar dapat dilakukan ekstraksi informasi berdasarkan area studinya. Dalam proses ini, informasi 3-Dimensi dari area studi dikonversi menjadi 2-Dimensi dengan nilai kecerahan pada setiap piksel raster sebagai informasi nilai ketinggian.



Gambar 2. 11 *Pointcloud* Data LiDAR

2.5 Kesalahan *Boresight*

Boresight merupakan sudut rotasi antara sistem koordinat laser scanner dengan sistem koordinat platform atau sistem koordinat IMU. Kesalahan *boresight* adalah kesalahan rotasi dari sistem IMU terhadap sistem laser scanner disebabkan kesalahan pada parameter kalibrasinya. Kesalahan *boresight* dapat mengakibatkan terjadinya kesalahan elevasi pada objek tanah diakibatkan oleh kesalahan rotasi *roll*, sedangkan kesalahan horizontal yang dapat diketahui melalui objek bangunan merupakan kesalahan dari rotasi *roll*, *pitch*, dan *heading*. Kesalahan *boresight* dilakukan dengan cara *Boresight Calibration*. *Boresight Calibration* merupakan bagian dari kalibrasi LiDAR, menggunakan parameter kalibrasi *boresight* yang salah akan mengakibatkan kesalahan georeferencing. (Ariesta, 2016)

Menurut (Glennie, 2007) kesalahan *boresight* dapat dihilangkan dengan melakukan pengukuran ALS pada area yang diukur dua kali secara berturut-turut sehingga menghasilkan *pointcloud* yang saling tumpang tindih (*overlapping*). Beberapa objek pada *pointcloud* yang saling *overlapping* dapat dijadikan acuan untuk melakukan kalibrasi karena objek tersebut mengidentifikasi nilai kesalahan *boresight*. Objek yang dapat dijadikan sebagai acuan kalibrasi tersebut yaitu objek dinding, pojok bangunan, dan jalan raya.

$$X = R_w R_G R_N \left[R_M R_L \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \rho \end{bmatrix} + \vec{P} \right] + \vec{X}_{GPS} \dots\dots\dots(2.2)$$

Persamaan diatas menjeaskan, di mana X dan \vec{X}_{GPS} adalah vektor yang mewakili posisi laser *footprint* dan fase *center* penerima GPS dalam kerangka geosentris WGS-84;

ρ = Rentang antara titik tembak laser dan jejak laser;

\vec{P} = offset konstan antara pemindai laser dan pusat fase penerima GPS dalam kerangka referensi IMU,

R_L = matriks rotasi dari laser beam frame ke laser scanner frame berdasarkan sudut pemindaian;

R_M = matriks rotasi dari *laser scanner frame* ke kerangka referensi IMU;

R_N = merepresentasikan matriks *attitude* yang diukur oleh IMU, mengubah kerangka referensi IMU ke *local vertical frame*;

R_G = matriks rotasi dari *local vertical frame* ke local ellipsoidal frame, dan

R_w = matriks rotasi dari local ellipsoidal frame ke geosentris WGS-84 dan berhubungan dengan garis bujur dan lintang dari pusat fase penerima GPS.

(Li, Guo, Wang, Dong, & Zuo, 2018)

2.6 Standar Deviasi Dan *Root Mean Square (rms)*

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i^2} \dots\dots\dots(2.3)$$

Setiap pengukuran pasti tidak lepas dari kesalahan. Begitu juga dalam proses pengolahan data ukuran juga tidak lepas dari kesalahan. Besarnya nilai kesalahan tersebut ditunjukkan dengan nilai *Root Mean Square Error* (RMSE). RMSE atau yang dikenal dengan RMS residual menurut (ESRI, 2006) adalah nilai perbedaan antara nilai sesungguhnya dengan nilai hasil ukuran. Standar deviasi adalah nilai statistik yang digunakan untuk menentukan bagaimana sebaran data dalam sampel, dan seberapa dekat titik data individu ke mean – atau rata-rata – nilai sampel. Dalam ilmu statistic, standar deviasi ditunjukkan dari banyak variasi yang ada dari rata – rata.

Dalam ilmu geodesi, standar deviasi dapat dipakai untuk mengetahui seberapa besar tingkat kesalahan atau *error*. Ukuran presisi yang sering digunakan adalah standar deviasi. Presisi tinggi nilai standar deviasinya kecil dan sebaliknya.

Standar Deviasi adalah akar kuadrat dari variansi:

Ciri – ciri utama dari variansi adalah:

1. Mempunyai satuan yang sama seperti data aslinya
2. Merupakan akar kuarat dari jarak kuadrat rat – rata terhadap nilai rata – rata.
3. Nilainya pasti positif
4. Merupakan ukuiran disepersi yang harus dilaporkan

Persamaan Standar Deviasi sample adalah;

$$s = \sqrt{\frac{\sum(x-\bar{x}^2)}{n-1}} \dots\dots\dots(2.4)$$

Persamaan standar deviasi dari data dikelompokkan adalah:

$$s = \sqrt{\frac{\sum f(M-\bar{X})^2}{n-1}} \dots\dots\dots(2.5)$$