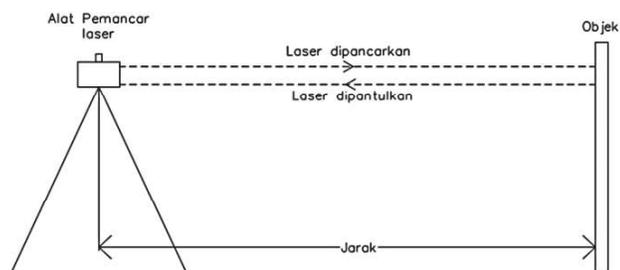


## BAB II

### LANDASAN TEORI

#### II.1. LiDAR

LiDAR (*Light Detection and Ranging*) merupakan penginderaan jauh aktif yang dikembangkan pada awal 1960-an setelah ditemukan teknologi laser dan digunakan untuk mengukur jarak (Thenkabail, 2015). LiDAR adalah sebuah teknologi sensor jarak jauh menggunakan laser cahaya kontinyu yang dipancarkan secara menyebar dari sebuah *transmitter* (pemancar) untuk menemukan jarak suatu objek (Alistair dkk., 2008). LiDAR terbagi atas dua jenis, yaitu LiDAR topografi dan LiDAR batimetri. LiDAR topografi menggunakan laser inframerah untuk pemetaan tanah, sedangkan LiDAR batimetri menggunakan cahaya hijau yang dapat menembus air untuk mengukur dasar laut dan ketinggian dasar sungai (Hadi, 2019). LiDAR menggunakan cahaya inframerah, ultraviolet, sinar 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. Prinsip dasar LiDAR disajikan pada Gambar II.1.



Gambar II. 1. Prinsip Dasar LiDAR (dimodifikasi dari Jie Shan, 2009)

Prinsip kerja sistem LIDAR yaitu sensor memancarkan sinar laser ke target di permukaan bumi, dan sinar laser dipantulkan kembali ke sensor. Perangkat LiDAR terdiri dari kombinasi antara pemancar laser (*rangefinder laser*) dan mekanisme pemindaian yang dapat mengukur jarak ke target dan orientasinya dari sinar laser (Jaboyedoff dkk., 2012). Perangkat pemindai bekerja dengan rotasi internal satu atau dua cermin dan/atau rotasi seluruh perangkat. Pengukuran LiDAR didasarkan pada jarak sepanjang *Line of Sight* (LoS) antara pemancar dan reflektor. Reflektor dapat berupa objek alami atau buatan seperti prisma. Pengukuran ini

disebut juga sebagai *Time of Flight* (ToF). Pemancar laser akan mengukur interval waktu saat laser dipancarkan (A) dan dipantulkan kembali oleh objek(B).

Hasil dari LiDAR berupa titik-titik yang memiliki nilai koordinat dan tinggi. Titik-titik ini disebut dengan *point cloud*. *point cloud* adalah sekumpulan data berupa titik-titik pada beberapa sistem koordinat. Data tersebut diproses pasca survei pengumpulan data melalui sistem LiDAR. Sistem koordinat 3D kartesian, titik titik ini ditentukan oleh koordinat X, Y, dan Z, dan sering dimaksudkan untuk mewakili permukaan eksternal dari suatu objek. Kelebihan dari sistem ini adalah dapat digunakan untuk mengukur ketinggian muka bumi berikut Gambaran mengenai unsur-unsur vegetasi dan kanopinya secara detil, akurat, instan, menyeluruh, dan menghasilkan data yang rapat tanpa tenaga yang banyak. Sehingga teknologi LiDAR dapat digunakan dalam berbagai bidang, seperti arkeologi, meteorologi, geografi, geologi, kehutanan, geomorfologi, seismologi, lingkungan dan bidang lainnya (Arun, 2016).

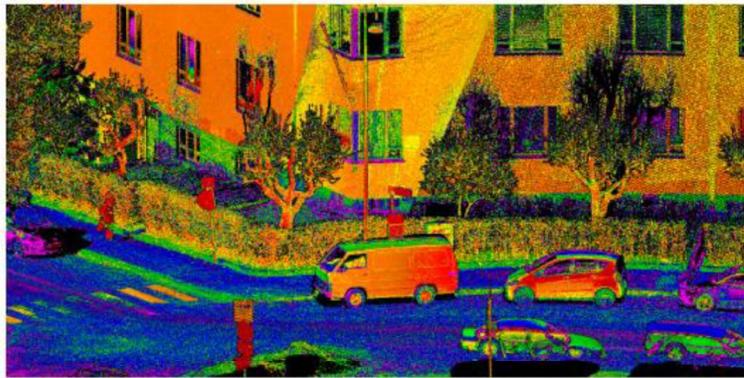
LiDAR memanfaatkan GPS (*Global Positioning System*), IMU (*Inertial Measurement System*) dan laser *scanner* dengan memanfaatkan wahana udara dalam pelaksanaan perekamannya. Pesawat terbang dan helikopter adalah salah satu platform yang paling sering digunakan untuk memperoleh data LiDAR di area yang luas. Pemindaian laser dikembangkan dalam dua cara tergantung pada posisi sensor, berbasis udara untuk ALS dan berbasis darat untuk TLS. Kombinasi kedua teknik ini, ALS dan TLS sering digunakan untuk memecahkan beberapa permasalahan akuisisi misalnya ketika area bayangan permukaan yang dipindai sejajar dengan garis pandang dari salah satu sensor (Jaboyedoff *dkk.*, 2012).

## **II.2. Point cloud**

*Point cloud* merupakan kumpulan titik-titik yang mempunyai koordinat 3D yaitu koordinat X,Y dan Z pada sebuah sistem koordinat. Kumpulan dari titik-titik ini akan membentuk sebuah model 3D dalam bentuk *point cloud*. *Point cloud* pada pemodelan 3D bisa didapatkan dengan media *scanner* atau TLS. Model 3D adalah bentuk digital dari suatu objek yang nyata memiliki komponen panjang, lebar dan tinggi. Model 3D akan memiliki pendefinisian dari koordinat X, Y maupun Z pada bidang kartesian. Kemampuan dari TLS dalam melakukan perekaman hingga

mendapatkan nilai *point cloud* bisa mencapai ribuan bahkan jutaan *point cloud* tergantung dari luasan objek, alat yang digunakan serta tingkat kerapatan yang ingin didapatkan. Teknik yang dapat dilakukan untuk melakukan registrasi dari *point cloud* pada daerah yang bertampalan disebut dengan metode pencocokan atau *surface matching* (Abdulhussein, 2017).

Pengambilan data menggunakan TLS terbagi menjadi tiga tingkat kerapatan, yaitu *high*, *medium* dan *small*. Perbedaan antara 3 jenis tingkat kerapatan tersebut tentu saja akan menghasilkan resolusi yang berbeda serta Gambaran yang berbeda pula. Semakin tinggi tingkat kerapatan, maka jumlah *point cloud* yang dihasilkan juga akan semakin tinggi, serta penyimpanan yang dibutuhkan juga akan semakin besar. Data *point cloud* merupakan hasil dari sekumpulan titik yang merepresentasikan bentuk dan geometri dari suatu objek tertentu yang dilakukan proses scanning oleh *scanner*. Perangkat *scanner* melakukan proses scanning, namun dari hasil scanning tersebut diperlukan proses lebih lanjut agar dapat melakukan analisis dari representasi geometri dari suatu objek. Contoh dari data *point cloud* disajikan pada Gambar II.2.

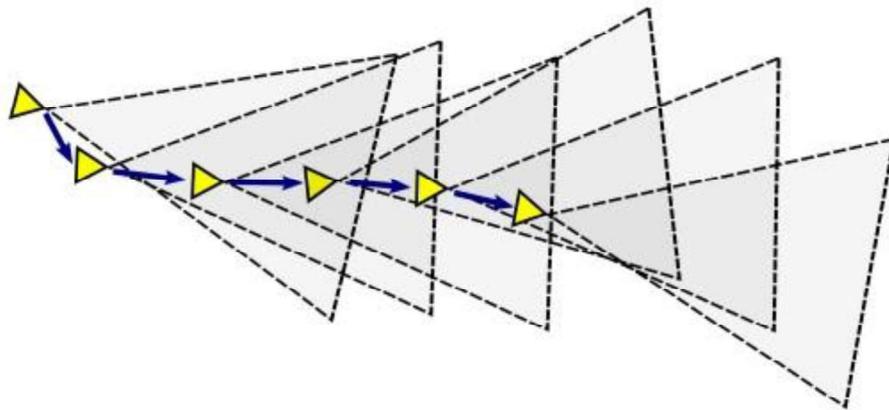


Gambar II. 2. Point cloud (Virtanen dkk., 2017)

*Point cloud* dapat menyimpan data tambahan seperti informasi kembali, jumlah, waktu, dan ketinggian pesawat. *Point cloud* data disimpan dalam berbagai format, dari ASCII ke biner (*bin*, *LAS*, format kepemilikan). Penggunaan data LiDAR yang semakin banyak maka *point cloud* menghasilkan *file LAS (Log ASCII Standard)* yang telah di standarisasi dan berukuran lebih kecil yang dapat digunakan dalam beberapa aplikasi (Dwi Harintaka, 2019).

### II.3. Metode SLAM

*Simultaneous localization and mapping* (SLAM) merupakan sebuah metode yang digunakan untuk melakukan pemetaan ruang 3D dengan memanfaatkan sensor yang terus bergerak. Metode SLAM mengenali lingkungan sekitar objek dengan melakukan prediksi dari posisi sensor. Pembentukan model 3D sangat tergantung dengan jangkauan dari sensor yang digunakan. Kemampuan jangkauan sensor akan berbeda beda sesuai dengan kemampuan sensor masing-masing alat. Metode SLAM memiliki banyak jenis tergantung dengan penggunaan dimensi dari alat yang digunakan. Untuk ruang 2D metode SLAM mempunyai beberapa metode seperti *HectorSLAM*, *TinySLAM*, *KartoSLAM* dan metode lainnya. Untuk ruang 3D metode SLAM mempunyai beberapa jenis seperti ORB-SLAM, LSD-SLAM, dan lainnya (Fikri dan Anifah, 2021). Metode SLAM banyak dikombinasikan dengan teknologi LiDAR dalam pembentukan ruang 3D berbasis *point cloud*. Ilustrasi dari metode SLAM disajikan pada Gambar II.3.



Gambar II. 3. Metode SLAM (Birk dan Pfingsthorn, 2016)

Posisi dari objek pengambilan data akan selalu diupdate sesuai dengan lingkungan sekitar pengamatan. Proses pemindaian LiDAR menggunakan metode SLAM ini alat *scanner* melakukan pemindaian menggunakan basis jangkauan dari alat *scanner* ke objek yang mana alat akan terus bergerak. LiDAR yang dipancarkan oleh perangkat mempunyai jangkauan sesuai dengan kemampuan dari jangkauan alat. Pengambilan data menggunakan konsep jangkauan akan terus bertampalan dalam proses pengambilan data sehingga data *point cloud* dapat tercakup pada seluruh objek walaupun alat tetap bergerak (Birk dan Pfingsthorn, 2016). Metode SLAM banyak digunakan atau dikombinasikan dengan LiDAR.

Perangkat LiDAR mempunyai tingkat akurasi yang baik, tingkat *noise* data yang rendah dan sensitif terhadap perubahan cahaya pada suatu lingkungan pemetaan sehingga merupakan metode yang tepat dalam algoritma SLAM (Ren dkk, 2019). Metode SLAM berbasis 2D lebih efisien dari segi perhitungan komputasi daripada 3D, namun 2D memiliki keterbatasan dari segi cakupan. Keterbatasan ini dalam basis 2D tidak dapat memberikan posisi dari sensor dengan baik fitur yang dihasilkan terbatas sehingga algoritma SLAM sulit untuk mendeteksi perbedaan benda yang cukup mirip (Sobczak dkk. 2021).

#### II.4. Pemodelan Tiga Dimensi

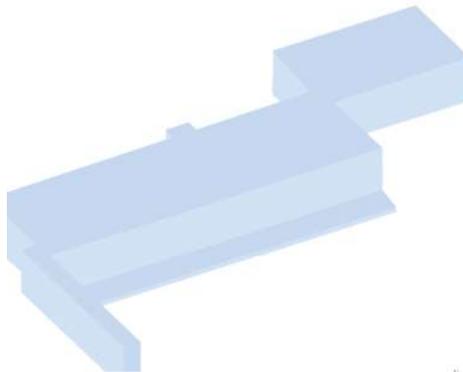
Model tiga dimensi dapat diartikan atau didefinisikan sebagai suatu objek berupa dalam sistem koordinat kartesian pada sumbu X, sumbu Y dan juga sumbu Z. Model 3D dapat juga diartikan sebagian bentuk representasi dari sebuah objek nyata di permukaan bumi yang direpresentasikan ke dalam sistem lain. Proses pemodelan 3D bisa dikaitkan dengan posisi objek tersebut dipermukaan bumi atau sering disebut sebagai *georeferencing*. Proses ini bertujuan agar model 3D yang dibentuk berada pada posisi yang sama dan diikat dengan suatu sistem koordinat (Made dkk. 2017). Model 3D khususnya untuk area gedung banyak digunakan untuk keperluan inventarisasi kadaster pada sebuah bangunan ataupun sebuah gedung. Pemanfaatan model 3D akan memudahkan dalam proses perhitungan dan pendataan inventarisasi (Darmawan dan Budisusanto, 2015).

Bentuk dari model 3D dapat dihasilkan dari proses pengambilan data *point cloud*. Hasil dari pengambilan data *point cloud* memerlukan beberapa tahapan untuk dapat membentuk sebuah model 3D secara baik. Proses pengolahan data *point cloud* menjadi sebuah model 3D dimulai dari proses registrasi. Proses registrasi berguna untuk menggabungkan *point cloud* dari setiap *station* pengambilan data. Selanjutnya dilakukan proses *filtering* yang mana proses ini bertujuan untuk menghilangkan atau menghapus *noise* atau *point cloud* yang tidak digunakan (Zhofir dan Budisusanto, 2021). Proses terakhir yaitu pembentukan model 3D solid. Proses ini dapat dilakukan menggunakan *software* seperti *Autodesk Revit* dan *Sketchup*.

Pemodelan tiga dimensi merupakan tahapan membuat suatu objek dalam bentuk panjang, lebar, tinggi dan mirip dengan bentuk aslinya. Menurut (Vergianto, 2015) proses perancangan dan pembuatan pemodelan 3D akan memerlukan beberapa tahapan penting dan krusial, yaitu objek yang akan dijadikan pemodelan, metode yang sesuai, pencahayaan (*light*) dan animasi objek hingga proses visualisasi. Penggunaan teknologi untuk 3D sudah semakin diperlukan secara luas. Tidak hanya berfokus pada pengerjaan konstruksi, namun telah merambat pada bidang kesehatan, perlombaan (*games*), *forensic*, hingga pencatatan kejadian kecelakaan lalu lintas. Merujuk pada (Nasrul Arfianto dan Bandi Sasmito, 2012).

### II.5. Level Of Detail (LOD)

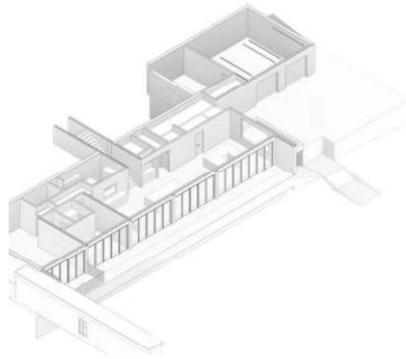
*Level of Detail* (LOD) merupakan sebuah referensi yang digunakan untuk menentukan atau merepresentasikan tingkat ketelitian atau tingkat kejelasan dari sebuah objek pemodelan 3D yang mempunyai tingkatan atau level yang berbeda beda (Hijazi dan Omar, 2017). Tingkatan dari LOD dapat dikategorikan menjadi LOD 100, LOD 200, LOD 300, LOD 350, dan LOD 400. Penerapan dalam proses pemodelan tingkatan LOD 100 merupakan proses pemodelan untuk elemen dari objek ruangan hanya berdasarkan konsep ruangan tanpa menjelaskan secara detail dari elemen objek ruangan. LOD 100 hanya menjelaskan konsep tanpa elemen dari objek (United-BIM, 2021). Model LOD 100 disajikan pada Gambar II.4.



Gambar II. 4. LOD 100 (United-BIM, 2021)

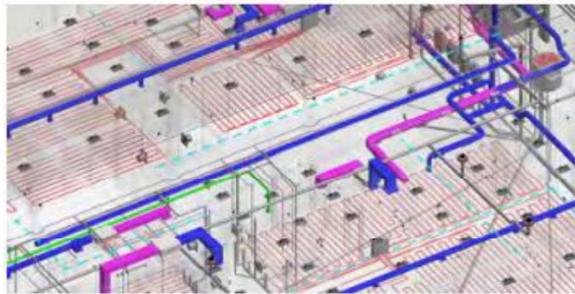
Tingkatan untuk LOD 200 menggambarkan perkiraan dari geometri objek pada bangunan. Elemen pada objek masih berupa asumsi ataupun perkiraan dari setiap ukuran elemen yang dilakukan proses pemodelan. LOD 200 dilakukan

pemodelan terhadap elemen pembatas ruangan seperti dinding, tangga dan juga kolom. Level ini elemen model direpresentasikan secara grafis dalam ranah perkiraan spesifikasi, jumlah, ukuran, bentuk, lokasi dan orientasi. Informasi elemen seperti model pintu jendela, tangga dan objek lain memiliki spesifik detail tetapi tidak sempurna. Model LOD 200 disajikan pada Gambar II.5.



Gambar II. 5. LOD 200 (United-BIM, 2021)

Tingkatan untuk LOD 300 menyajikan bentuk dari geometri elemen pada objek pemodelan dengan geometri yang tepat. LOD 300 merupakan level yang akan menjelaskan kuantitas yang akurat, ukuran, lokasi, orientasi dan informasi pemasangan pada objek objek ruangan pemodelan. Perkiraan ukuran dari bentuk, tebal pondasi, lantai juga termasuk dengan perkiraan. Model LOD 300 disajikan pada Gambar II.6.



Gambar II. 6. LOD 300 (United BIM)

Tingkatan untuk LOD 350 mempunyai informasi yang sama dengan tingkat LOD 300 tetapi pada LOD 350 terdapat hubungan terhadap satu ruangan dengan ruangan yang saling terhubung. LOD 350 menjelaskan bagaimana hubungan antar ruangan dalam pemodelan objek-objek yang dilakukan proses pemodelan. LOD 350 menjelaskan secara detail dari ukuran, letak dan posisi dari objek-objek yang

dilakukan pemodelan. Pemodelan objek-objek yang kompleks seperti objek pipa, sambungan antar pipa dijelaskan dan dimodelkan dengan sangat kompleks. Model LOD 350 disajikan pada Gambar II.7.



Gambar II. 7. LOD 350 (United-BIM, 2021)

Tingkatan untuk LOD 400 menyajikan bentuk model yang lebih kompleks dari tingkatan sebelumnya. LOD 400 tidak hanya menyajikan bentuk dari model objek tetapi juga menjelaskan material yang digunakan dalam pembuatan objek-objek tersebut. Penjelasan dari penggunaan material yang digunakan sangat diperlukan untuk proses analisis kebutuhan objek ruangan. Pemodelan objek yang diperlukan dalam tingkatan LOD 400 yaitu pemodelan pada struktural, *plumbing*, dan *Mechanical*. Model LOD 400 disajikan pada Gambar II.8.



Gambar II. 8. LOD 400 (United-BIM, 2021)

Penerapan LOD terhadap sebuah proses pemodelan tergantung kepada kebutuhan model yang akan dicapai. Kebutuhan tingkat ketelitian yang lebih detail didapatkan dengan menerapkan tingkat LOD yang lebih tinggi dalam sebuah pemodelan bangunan. Tingkat LOD yang lebih tinggi akan menghasilkan bentuk dan representasi dari sebuah model ruangan yang lebih teliti tetapi membutuhkan ruang penyimpanan yang lebih banyak.

## II.6. Sensor LiDAR iPhone

Apple inc sebagai perusahaan yang bergerak dibidang teknologi ponsel pintar telah resmi merilis iPad Pro dan iPhone 12 Pro pada tahun 2020 yang dilengkapi dengan sensor LiDAR (*Light Detection and Ranging*). Inovasi dari Apple ini merupakan inovasi yang cukup besar pada segmen pasar ponsel pintar. Sensor LiDAR tertanam pada tablet dan ponsel pintar rilisan Apple tersebut. Tujuan utama dari penanaman sensor LiDAR pada tablet dan ponsel ini dikhususkan untuk keperluan dari *Augmented Reality* (AR) (Spreafico dkk., 2021). Sensor LiDAR ditempatkan pada bagian belakang ponsel pintar dan berdekatan dengan kamera pada ponsel yang dapat dilihat pada Gambar II.9.



Gambar II. 9. Sensor LiDAR Pada iPhone 12 Pro ([apple.com/id/iphone/](https://apple.com/id/iphone/))

Penggunaan dari sensor LiDAR pada iPad Pro dan iPhone 12 Pro untuk tujuan survei akan menarik perhatian dari para peneliti dalam melakukan proses survei menggunakan teknologi LiDAR. Penggunaan LiDAR pada ponsel pintar ini tentunya memberikan kemudahan dalam segi pengambilan data di luar maupun di dalam ruangan, optimasi biaya dalam pengambilan data, kecepatan pengambilan data dan kemudahan dalam proses pemindaian objek jika dibandingkan dengan platform LiDAR kelas atas. Fitur teknis dan kemampuan dari kemudahan dari pengambilan data merupakan sebuah solusi yang menarik jika dibandingkan dengan teknologi LiDAR lainnya seperti penggunaan TLS (Chiabrande dkk, 2021).

Penggunaan sensor LiDAR dapat diuji coba menggunakan beberapa *software* atau aplikasi yang bisa diunduh pada pihak ketiga. Penelitian sebelumnya dilakukan oleh (Gollob dkk., 2021) terdapat 8 aplikasi yang berbeda yang digunakan untuk pemindaian LiDAR menggunakan perangkat iPhone, yaitu *3D Scanner App*, *Polycam*, *SiteScape*, *LiDAR Scanner 3D*, *Heges*, *LiDAR Camera*, *3Dim Caputer*

*dan Forge. Software* ini dapat dilakukan pengaturan dalam melakukan pengambilan data menggunakan LiDAR iPhone, misalnya pada *software 3D Scanner App 1.8.1* dapat dilakukan pengaturan dengan menggunakan mode *High Res Mode* dengan maksimal jarak lima meter, resolusi 10 mm, ketelitian pengambilan data *high*, dan *masking* diatur *off*. Untuk *software Polycam 1.2.7* tidak memberikan pilihan pengaturan apapun atau dengan menggunakan mode standar dan diperlukan pemrosesan data yang dilakukan dalam aplikasi dan pemrosesan pasca pengambilan data dapat dilakukan kapan saja. *Software* lain seperti *SiteScape 1.0.2* dapat dilakukan pengaturan *scan mode* dengan pilihan *max area*, *point density* diatur *low*, *point size* diatur *low* dan dapat dilakukan *preprocessing* otomatis pada aplikasi setelah pengambilan data.

Penelitian lain yang telah dilakukan dengan menggunakan LiDAR pada perangkat iPhone dan iPad telah dilakukan dengan menggunakan iOS 14.4.1. Spesifikasi kisaran jarak yang ditentukan sekitar 5 m pada saat pengambilan data. Pihak iPhone tidak memberikan informasi lebih lanjut tentang keakuratan masing-masing teknologi dan spesifikasi dari perangkat keras LiDAR pada iPhone dan iPad. (Gollob dkk., 2021).

## **II.7. Pengujian Data Point cloud**

Pengujian terhadap data *point cloud* yang dihasilkan oleh ponsel iPhone dilakukan dengan melakukan analisis terhadap hasil model *point cloud* dan bentuk model yang dihasilkan oleh sensor LiDAR iPhone. Pengujian *point cloud* dilakukan dengan melakukan pengujian secara statistik terhadap nilai *eigenvalue* yaitu nilai dari parameter *feature extraction geometric* yang diturunkan dari nilai *vector eigen* (Wang dkk, 2022). Selanjutnya pengujian terhadap model 3D *point cloud* dilakukan dengan melakukan pengujian statistik terhadap ukuran dari dimensi model *point cloud* yang dihasilkan oleh sensor LiDAR iPhone.

### **II.7.1. Feature Extraction**

*Feature extraction* merupakan sebuah metode untuk mengetahui ciri geometris dari sebuah *point cloud* data yang dihasilkan dari sebuah pengambilan data *point cloud*. Nilai dari ekstraksi fitur *point cloud* didasarkan pada perhitungan

korelasi antara nilai dari *eigenvalues*  $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$  dengan nilai dari parameter *vector eigen*  $e_1, e_2, \text{ dan } e_3$  (Gumhold, 2001). Kombinasi dari nilai *eigenvalues*  $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \lambda_3 \geq 0$  dan nilai dari vektor eigen  $e_1, e_2, \text{ dan } e_3$  dapat digunakan secara langsung untuk dapat menggambarkan rekonstruksi atau struktur 3D dari sebuah data *point cloud* (Hackel dkk, 2016). Ekstraksi pada data *point cloud* ini dapat dikembangkan untuk keperluan data ekstraksi untuk analisis fitur geometris khusus dengan menggunakan kombinasi dari nilai *eigenvalues*.

Turunan dari nilai *eigenvalues* dan vektor eigen dapat diekstraksi kembali untuk mendapatkan geometrik lokal pada kumpulan *point cloud*. Ekstraksi fitur 3D terdapat delapan fitur lokal yang dapat diekstraksi berdasarkan nilai dari *eigenvalues* dan vektor eigen diantaranya *sum eigenvalues* ( $\Sigma\lambda$ ), *Omnivariance* ( $O\lambda$ ), *Eigenentropy* ( $E\lambda$ ), *Anisotropy* ( $A\lambda$ ), *Planarity* ( $P\lambda$ ), *Linearity* ( $L\lambda$ ), *Surface Variation* ( $C\lambda$ ), dan *Sphericity* ( $S\lambda$ ) (Weinmann dkk, 2017). Fitur ini mempunyai kegunaan masing-masing untuk dapat menjelaskan nilai fitur yang diekstraksi. Fitur *Linearity* dapat digunakan untuk mendeskripsikan atau mendeteksi struktur garis dalam 1D pada sebuah kumpulan *point cloud*. Fitur *Planarity* digunakan untuk dapat membedakan struktur planar dalam 2D atau membedakan keteraturan dari sebuah persebaran *point cloud*. Fitur *Sphericity* yaitu fitur yang dapat digunakan untuk menunjukkan struktur volumetrik 3D dari sebuah *Point cloud* (Lin dkk, 2014). Fitur *Surface Variation* dapat digunakan untuk dapat mengidentifikasi perubahan dari kelengkungan ataupun bentuk dari persebaran *point cloud*. Fitur lainnya seperti *sum eigenvalues*, *Omnivariance*, *Eigenentropy*, *Anisotropy*, merupakan langkah lanjutan dalam proses *feature extraction* data *point cloud*.

Parameter *feature extraction Linearity* merupakan parameter turunan dari nilai *eigenvalue* lokal  $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ . Parameter *linearity* pada *feature extraction* dapat digunakan sebagai nilai acuan untuk proses pembentukan garis dalam bentuk 3D dari kumpulan data *point cloud*. Persebaran *point cloud* dari sekumpulan data *point cloud* dapat menentukan nilai dari parameter *linearity* dari kumpulan data *point cloud* (Van der Spek, 2015). Nilai dari *linearity* yang semakin besar menunjukkan bahwa suatu pembentukan model 3D akan menghasilkan model 3D garis yang lebih baik. Parameter ini dapat diturunkan berdasarkan penurunan persamaan II.1.

$$L\lambda = \frac{\lambda_1 - \lambda_2}{\lambda_1} \dots \dots \dots \text{II.1}$$

Parameter *feature extraction* memiliki penurunan lain untuk parameter *Sphericity*. Parameter ini menggunakan penurunan fungsi dari nilai *eigenvalue* lokal  $\lambda_3$  dibagi dengan *eigenvalue* lokal  $\lambda_1$ . Parameter ini memberikan informasi keutuhan dari sebuah kumpulan data *point cloud* (Van der Spek, 2015). Keutuhan dalam sebuah kumpulan data *point cloud* dapat diartikan sebagai tingkat hamburan dari *point cloud*. Semakin tinggi nilai *sphericity* maka tingkat hamburan dari *point cloud* yang dihasilkan semakin tinggi dan sebaliknya semakin rendah nilai dari *sphericity* maka hamburan semakin sedikit dan keutuhan dari *point cloud* semakin baik. Parameter ini dapat diturunkan berdasarkan penurunan persamaan II.2.

$$S\lambda = \frac{\lambda_3}{\lambda_1} \dots\dots\dots II.2$$

Parameter lain dari *feature extraction* dapat diturunkan parameter *Anisotropy*. Parameter *Anisotropy* digunakan untuk memberikan informasi terkait orientasi dari kumpulan data *point cloud*. Parameter *Anisotropy* dapat juga digunakan untuk membedakan *point cloud* berorientasi atau non-berorientasi. Kumpulan data *point cloud* yang memiliki orientasi ditandai dengan nilai *parameter Anisotropy* yang lebih tinggi (Van der Spek, 2015). Parameter *Anisotropy* diturunkan dari nilai *eigenvalue* lokal  $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$  dengan membandingkan antara selisih dari nilai  $\lambda_1, \lambda_3$  dengan nilai dari *eigenvalue*  $\lambda_2$ . Parameter ini dapat diturunkan berdasarkan penurunan persamaan II.3

$$A\lambda = \frac{\lambda_1 - \lambda_3}{\lambda_2} \dots\dots\dots II.3$$

Parameter lain dari *feature extraction* dapat diturunkan parameter *sum eigenvalue*. Parameter *sum eigenvalue* merupakan nilai penjumlahan dari nilai *eigenvalue* lokal  $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ . Parameter *sum eigenvalue* merupakan variasi total dari nilai *eigenvalue* lokal yang merupakan jumlah kuadrat jarak dari kumpulan data *point cloud* pada suatu area dari pusat area nya. Parameter ini dapat diturunkan berdasarkan penurunan persamaan II.4

$$\Sigma\lambda = \lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 \dots\dots\dots II.4$$

Parameter *feature extraction* memiliki penurunan lain untuk parameter *Planarity* ( $P\lambda$ ). Parameter *planarity* digunakan untuk dapat mendefinisikan struktur planar dalam bentuk 2D. Struktur planar dimaksudkan untuk dapat memberikan informasi terkait tingkat kehalusan permukaan dari sebuah kumpulan *point cloud*

(Van der Spek, 2015). Nilai dari parameter *planarity* yang semakin kecil akan mengindikasikan permukaan dari kumpulan data *point cloud* yang semakin halus. Parameter *planarity* diturunkan dari fungsi selisih nilai *eigenvalue*  $\lambda_2 - \lambda_3$  dengan nilai *eigenvalue*  $\lambda_1$ . Parameter ini dapat diturunkan berdasarkan penurunan persamaan II.5.

$$P\lambda = \frac{\lambda_2 - \lambda_3}{\lambda_1} \dots\dots\dots II.5$$

Parameter lain dari *feature extraction* dapat diturunkan parameter fitur *Omnivariance* ( $O\lambda$ ). Parameter *omnivarince* merupakan parameter dari *feature extraction* yang berfungsi untuk mendeskripsikan bentuk dari persebaran distribusi titik titik atau persebaran dari *point cloud* dalam ruang 3D (Van der Spek, 2015). Persebaran dari *point cloud* dapat didefinisikan berdasarkan nilai dari parameter *omnivariance*. Nilai parameter *omnivariance* diturunkan dari persamaan fungsi akar kuadrat tiga dari perkalian nilai *eigenvalue*  $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ . Parameter ini dapat diturunkan berdasarkan penurunan persamaan II.6.

$$O\lambda = \sqrt[3]{\lambda_1 \lambda_2 \lambda_3} \dots\dots\dots II.6$$

Parameter lain dari *feature extraction* dapat diturunkan parameter fitur *Eigenentropy* ( $E\lambda$ ). Parameter *eigenentropy* merupakan parameter turunan dari *feature extraction* yang mana parameter ini dapat digunakan untuk mengukur tingkat dari keteraturan ataupun ketidakteraturan dari sebuah kumpulan data *point cloud* 3D (Van der Spek, 2015). Parameter ini dilakukan dengan melakukan normalisasi terhadap nilai *eigenvalue*  $\lambda_i$  ( $\lambda_1, \lambda_2, \text{ dan } \lambda_3$ ) dan menjumlahkan nilai dari normalisasi nya (Weinmann dkk., 2014). Parameter ini dapat diturunkan berdasarkan penurunan persamaan II.7.

$$E\lambda = - \sum_{i=1}^3 \lambda_i \ln(\lambda_i) \dots\dots\dots II.7$$

Parameter lain dari *feature extraction* dapat diturunkan parameter fitur *Surface Variation* ( $C\lambda$ ). Parameter *surface variation* merupakan parameter turunan dari *feature extraction* yang mana parameter ini berfungsi untuk mengetahui tingkat kedataran dari sebuah kumpulan *point cloud* (Van der Spek, 2015). Kumpulan data *point cloud* dengan nilai *surface variation* yang semakin kecil menunjukkan permukaan *point cloud* pada bidang tersebut juga semakin datar. Parameter *surface variation* diturunkan terhadap fungsi nilai *eigenvalue*  $\lambda_3$  yang dibagi dengan jumlah

nilai *eigenvalue*  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$ , dan  $\lambda_3$ . Parameter ini dapat diturunkan berdasarkan penurunan persamaan II.8.

$$C\lambda = \frac{\lambda_3}{\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3} \dots \dots \dots \text{II.8}$$

Parameter lain dari *feature extraction* dapat diturunkan parameter fitur *Principal Component Analysis* (PCA) merupakan sebuah metode yang digunakan untuk dapat menghitung secara efisien nilai dari *eigenfeatures* dan nilai dari *eigenvalue*. PCA mempunyai tujuan untuk menyederhanakan sebuah kumpulan data *point cloud* untuk dapat dilakukan proses analysis dengan lebih mudah (Brodu dan Lague, 2012). Parameter PCA dapat dibagi menjadi PCA 1 ( $P1\lambda$ ) dan juga PCA 2 ( $P2\lambda$ ).

Parameter PCA 1 dapat diturunkan berdasarkan penurunan persamaan II.9

$$P1\lambda = \frac{\lambda_1}{(\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3)} \dots \dots \dots \text{II.9}$$

Parameter PCA 1 digunakan dalam menghitung nilai *eigenvalue* yang diproyeksikan terhadap bidang 1D. Parameter PCA2 dapat diturunkan berdasarkan penurunan persamaan II.10.

$$P2\lambda = \frac{\lambda_2}{(\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3)} \dots \dots \dots \text{II.10}$$

PCA 2 ( $P2\lambda$ ) merupakan metode untuk mendapatkan nilai eigen pada kumpulan *point cloud* yang diproyeksikan dalam bidang 2D (Brodu dan Lague, 2012).

Parameter terakhir dari *feature extraction* yang dapat diturunkan dari nilai *eigenvalue* berupa parameter *verticality*. Parameter *verticality* ini cocok digunakan untuk melakukan klasifikasi *point cloud* berdasarkan posisi persebaran *point cloud* secara vertikal. Parameter *verticality* menggambarkan arah dari vektor normal dari sebuah kumpulan point cloud. Vektor normal yang mempunyai arah sejajar dengan bidang horizontal memiliki nilai *verticality* mendekati nilai 1 (Thomas dkk, 2018). Parameter *verticality* dapat diturunkan berdasarkan penurunan persamaan II.11.

$$V\lambda = \left| \frac{\pi}{2} - \text{Angle}(e_i, e_z) \right| \dots \dots \dots \text{II.11}$$

Fitur *verticality* merupakan fitur yang dianggap sangat penting dalam proses *fitur extraction* sehingga ditambahkan nilai dari  $e_z$  yaitu nilai dari momen tambahan yang dihitung dari sekitar vektor vertikal (Thomas dkk, 2018).

### II.7.2. Uji Statistik t-student

Pengujian statistik dilakukan untuk melakukan pengujian tingkat kepastian kebenaran dari pengambilan data yang dilakukan pada sebuah pengukuran. Terdapat banyak faktor yang harus diperhatikan dalam penentuan atau dalam melakukan pengujian sebuah hipotesis. Faktor-faktor yang menjadi perhatian dalam pengujian hipotesis antara lain jumlah sampel yang digunakan, bagaimana nilai standar deviasi diketahui atau tidak, metode yang digunakan, dan faktor-faktor lainnya.

Proses pengujian sebuah hipotesis dari sebuah sampel pengujian, perlu diperhatikan hal-hal sebagai berikut.

1. Menetapkan sebuah hipotesa nol ( $H_0$ ), hipotesa  $H_0$  yaitu sebuah hipotesis yang dibandingkan terhadap nilai dari perhitungan suatu sampel. Hipotesa  $H_0$  ditolak jika hanya nilai dari perhitungan sampel tidak mungkin memiliki sebuah kebenaran dari hipotesis yang telah ditentukan. Selain itu perlu ditetapkan sebuah hipotesa alternatif ( $H_a$ ). Hipotesa  $H_a$  dapat diterima jika hipotesa  $H_0$  ditolak
2. Tahapan kedua yaitu menetapkan nilai atau tingkat signifikansi yang akan digunakan. Tingkat signifikansi yaitu sebuah nilai atau standar yang digunakan untuk menolak hipotesa  $H_0$ .
3. Tahapan ketiga yaitu menentukan atau memilih metode uji statistik
4. Tahapan keempat yaitu menentukan nilai dari statistik tabel atau sering disebut sebagai nilai  $t_{\text{tabel}}$ . Nilai dari  $t_{\text{tabel}}$  dipengaruhi oleh beberapa parameter seperti tingkat kepercayaan yang digunakan, derajat kebebasan, dan jumlah dari sampel yang didapatkan.
5. Tahapan kelima yaitu melakukan perhitungan atau menentukan nilai dari statistik hitung atau biasa disebut dengan nilai  $t_{\text{hitung}}$
6. Tahapan terakhir yaitu tahap pengambilan keputusan. Pengambilan keputusan dapat didasarkan terhadap nilai dari  $t_{\text{tabel}}$  dan nilai dari  $t_{\text{hitung}}$  yang telah didapatkan sebelumnya.

Salah satu metode uji *t-student* yaitu metode uji t-test satu sampel (*One sampel t-test*). Metode ini melakukan pengujian nilai tengah rata-rata dari sebuah populasi  $\mu$  sama dengan nilai tertentu  $\mu_0$ , lawan dari hipotesisnya yaitu bahwa nilai

tengah dari rata-rata populasi  $\mu$  tidak sama dengan nilai  $\mu_0$ . Pengujian satu sampel pada prinsipnya yaitu melakukan pengujian suatu nilai tertentu atau suatu nilai pembandingan berbeda secara statistik atau tidak dengan nilai rata-rata dari sebuah sampel (Nuryadi , 2017). persamaan yang digunakan yaitu : (Nuryadi , 2017).

$$t_{hitung} = \frac{\bar{x} - \mu_0}{\frac{s}{\sqrt{n}}} \dots\dots\dots II.1$$

Keterangan :

- $t$  : nilai t hitung
- $\bar{x}$  : rata-rata sampel
- $\mu_0$  : nilai parameter
- $s$  : standar deviasi
- $n$  : Jumlah sampel.

Pengujian statistik terdapat metode lain yaitu metode *paired sample t-test* atau uji-t berpasangan merupakan sebuah metode pengujian hipotesis. Data yang digunakan merupakan data yang berpasangan atau tidak bebas. Walaupun dalam satu objek yang sama tetapi memperoleh dua macam data sampel yaitu sampel dari perlakuan pertama dan perlakuan kedua. Persamaan yang digunakan dalam pengujian statistik menggunakan metode ini yaitu: (Nuryadi , 2017).

$$t_{hitung} = \frac{\bar{D}}{\frac{SD}{\sqrt{n}}} \dots\dots\dots II.2$$

Keterangan :

- $t_{hitung}$  : nilai t hitung
- $\bar{D}$  : rata-rata selisih pengukuran 1 dan 2
- $SD$  : Standar deviasi selisih pengukuran 1 dan 2
- $n$  : Jumlah sampel