

## BAB III DASAR TEORI

### 3.1. Material Kerikil

Kerikil merupakan material lepas hasil dari pelapukan batuan induk berupa material *granular* yang memiliki ukuran 2 – 76,2 milimeter (AASHTO) dapat dilihat pada tabel 2.1. Material kerikil umumnya bersumber dari alam dan fabrikasi, sumber di alam seperti material pada gunung, sungai, ataupun laut sedangkan fabrikasi didapatkan dari penggilingan batuan (Listyawan dan Kusumaningtyas, 2018). Menurut Braja M. Das (1995), kerikil termasuk ke-dalam golongan tanah, selain pasir dan lempung. Pengklasifikasian ukuran golongan jenis tanah telah dilakukan beberapa organisasi yang dapat dilihat pada tabel 2.1.

Tabel 3.1. Batasan-Batasan Ukuran Golongan Tanah

Nama Golongan	Ukuran butiran (mm)			
	Kerikil	Pasir	Lanau	Lempung
Massachusetts Institute of Technology (MIT)	>2	2-0,06	0,06 - 0,002	< 0,002
U.S. Departemen of Agriculture (USDA)	>2	2-0,05	0,05 - 0,002	< 0,002
America Association of State Highway and Transportation Official (AASHTO)	76,2 - 2	2-0,075	0,075-0,002	< 0,002
Unified Soil Classification System (U.S. Army Corps of Engineer, U.S. Bureau of Reclamation)	76,2-4,75	4,75-0,075	Halus (yaitu lanau dan lempung) < 0,0075	

(Sumber : Braja M, Das., 1995)

### 3.2. Stockpile

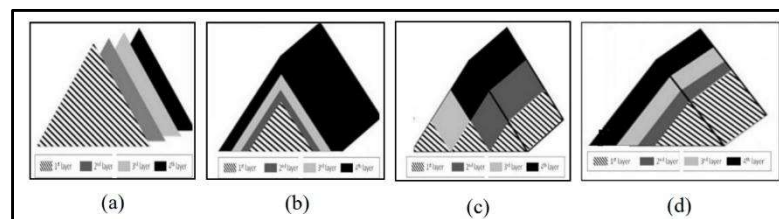
*Stockpile* merupakan tempat timbunan material tambang yang tersimpan sementara sebelum dilakukan pengolahan ataupun dilakukan penjualan. Penimbunan merupakan kegiatan yang harus diperhatikan secara teknis. Dalam Kepmen ESDM No 1827 Tahun 2018, rancangan *stockpile* harus dilengkapi dengan kajian daya dukung dasar timbunan, kapasitas, penyaliran, jenis, serta ketebalan material *bedding*.



(Sumber : <https://en.wikipedia.org/wiki/Stockpile>)

Gambar 3.1. Ilustrasi Timbunan Material di *Stockpile*

Secara umum menurut Utamakno L (2017), sistem penimbunan memiliki dua metode yaitu metode penimbunan terbuka (*open stockpile*) dan metode penimbunan tertutup (*coverage storage*). Penimbunan yang umum dilakukan dalam penimbunan adalah metode penimbunan terbuka (*open stockpile*). *Open stockpile* adalah penimbunan material di atas permukaan tanah secara terbuka dengan ukuran sesuai tujuan dan proses yang digunakan. Secara umum pola penimbunan *stockpile* adalah sebagai berikut :



(Sumber : Utamakno, L, 2017)

Gambar 3.2. Pola penimbunan *stockpile* a) *Cone Ply*, b) *Chevron*, c) *Chevcon*, d) *Windrow*

Secara prinsip manajemen material *stockpile*, material umumnya dibawa menggunakan *conveyor belt* dengan pengaturan ketinggian tertentu, lalu kemudian dijatuhkan bebas sehingga membentuk tumpukan kerucut (Wójcik, A., et al, 2019).

### 3.3. Pesawat Tanpa Awak (UAV)

Pesawat tanpa awak atau *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) atau umum disebut *Drone* adalah sebuah mesin terbang yang berfungsi dengan kendali jarak jauh oleh pilot. Perangkat ini biasanya dilengkapi dengan sistem penentuan posisi

global atau *Global Positioning System* (GPS), peralatan komunikasi, sensor cerdas, serta kamera untuk menangkap gambar (Said dkk, 2020).

Berdasarkan jenisnya, UAV terbagi menjadi dua, yaitu *multicopter* dan *fixed wing*. *Multicopter* merupakan UAV yang memanfaatkan putaran baling-baling untuk terbang terbagi menjadi dua yaitu jenis *single-rotor* dan *multi-rotor*. Tipe *single-rotor* berbentuk seperti helikopter menggunakan baling-baling tunggal, sedangkan *multi-rotor* menggunakan 3 sampai 8 baling-baling seperti pada gambar 2.4. *Fixed wing* memiliki bentuk seperti pesawat pada umumnya dilengkapi dengan sistem sayap, perancangannya cukup rumit karena memerlukan desain aerodinamika pada sayap dan badan tipe *fixed wing* (Suroso, 2016) yang dapat dilihat pada gambar 2.5.



(Sumber : Said dkk, 2020, dan Pinterest, 2021)

Gambar 3.3. Contoh *Multicopter*, *Multi-rotor* (kiri), dan *Fixed Wing* (kanan)

### 3.3.1. Klasifikasi UAV

Berdasarkan beratnya menurut CASA (Australia) pesawat UAV diklasifikasikan menjadi 3, yaitu : *micro* dengan berat kurang dari 0,1 kg, *small* dengan berat antara 0,1 kg sampai dengan 150 kg, dan *large* dengan berat di atas 150 kg (Said dkk, 2020). Contoh *small* UAV yang sering digunakan di Indonesia adalah produk umum dari DJI, terdapat lini *Mavic*, *Phantom*, *Inspire*, hingga jenis *build up* (rakitan) lainnya. Umumnya *small* UAV ini di pasar Indonesia disebut *Drone*.

Berdasarkan kemampuan sensor dibagi menjadi dua jenis yaitu sensor aktif dan pasif. Sensor aktif merupakan sensor yang memancarkan gelombang

elektromagnetik ke target dan mengumpulkan gelombang yang dipantulkan seperti sistem *Light Detection and Ranging* (LiDAR) dan *Synthetic Aperture Radar* (SAR).



(Sumber : DJI, 2021)

Gambar 3.4. Contoh Produk DJI. *Mavic* (Kiri) dan *Metrice* (Kanan)

Sedangkan sensor pasif adalah sensor energi elektromagnetik yang hanya dapat mengumpulkan energi cahaya yang dipantulkan dari target dengan menggunakan kamera (Said dkk, 2020).

### 3.3.2. *Small UAV dan Fotogrametri*

*Small UAV* atau *Drone* dalam kegiatan pemetaan biasanya diintegrasikan dengan kamera untuk dapat mengambil gambar foto udara dengan sistem kendali jarak jauh, *semi-otonom* atau *otonom*, tanpa seorang pilot yang duduk dalam wahana (Setiawan dkk, 2016). Kelebihan utama dari *small UAV* dibandingkan dengan pesawat berawak adalah bahwa *small UAV* dapat digunakan pada situasi dengan risiko tinggi tanpa perlu membahayakan nyawa manusia, pada area yang tidak dapat diakses dan terbang pada ketinggian rendah di bawah awan sehingga foto yang dihasilkan terbebas dari awan (Subakti, 2017).

UAV Fotogrametri adalah metode fotogrametri menggunakan wahana/*media/platform* yang beroperasi dengan cara dikendalikan dari jarak jauh, semi-otomatis atau otomatis, tanpa pilot duduk dalam wahana. Pada wahana juga bisa diberikan sistem kamera termal atau inframerah, sistem LIDAR udara (Eisenbeiss, 2009).

UAV Standar saat ini sudah bisa dianggap sebagai alat ukur baru, memungkinkan untuk digunakan dalam proses pengambilan data geospasial, dengan spesifikasi yang mencukupi dan kamera yang memiliki resolusi yang bagus sudah bisa untuk melakukan pemotretan udara. Selain itu juga ditambahkan

perangkat lunak yang memadai UAV sudah menjadi alternatif yang menggoda bagi perusahaan geospasial.

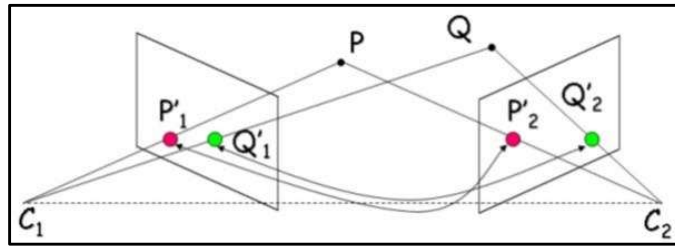
Tabel 3.2. Perbedaan UAV Fotogrametri Dengan Aerial dan *Close Range* Fotogrametri

	<i>Aerial</i>	<i>Close Range</i>	<i>UAV Photogrammetry</i>
Perencanaan	Semi Automatis	Manual	Automatis
Akuisisi Data	Manual	Automatis	Automatis
Cakupan Area	km <sup>2</sup>	mm <sup>2</sup> - m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup> - km <sup>2</sup>
Resolusi	cm - m	mm - dm	mm - cm
Jarak Objek	100m - 10km	cm - 300m	m - km
Orientasi Kamera	Normal, Terbaru bisa miring	Normal/Miring	Normal/Miring
Akurasi	cm - dm	mm - m	cm - 10m
Banyaknya <i>Scanning</i>	10 - 1000	1 - 500	1 - 1000
Aplikasi dan Ciri-ciri	Area luas (Pemetaan hutan, glasiologi, dan 3d city modelling)	Area kecil dan objek (Arkeologi, 3D bangunan)	Area kecil dan luas (Arkeologi, pemantauan bencana, 3D bangunan)
	-	Arsitektural dan Industrial Fotogrametri	Dapat diaplikasikan pada tempat yang sulit diakses
	Tampak atas	Penampakan terestris	Tampak atas
	-	-	<i>Monitoring/Kebutuhan real-time</i>

(Sumber : Eisenbeiss, H. 2009 )

### 3.4. *Structure From Motion* (SfM)

SfM dalam penelitian ini digunakan untuk merekonstruksi data foto udara menjadi struktur 3 dimensi sehingga terbentuk volume untuk dihitung. SfM adalah teknik dengan prinsip pendekatan yang sama dengan fotogrametri stereoskopik, yaitu konsep dimana struktur 3 dimensi dapat dibuat dari serangkaian gambar *offset* yang tumpang-tindih (Westoby, 2012). Namun SfM fotogrametri berbeda dengan fotogrametri konvensional, SfM mengenali geometri internal dari kamera, posisi kamera, dan orientasinya secara otomatis dan tanpa memerlukan set “*ground control*” atau titik terlihat yang diketahui posisi 3 dimensinya (Snavely, 2008).

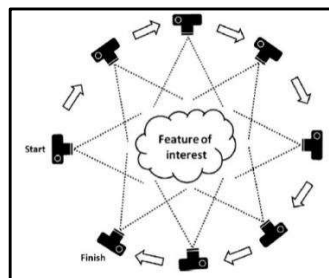


(Sumber : Snavely, 2008)

Gambar 3.5. Prinsip *Stereophotogrammetry*

Titik identik yang diketahui (P dan Q) diidentifikasi pada tiap foto, garis pandang dibuat lurus dari posisi kamera ke titik objek. Titik potong garis ini (triangulasi) yang menentukan koordinat atau posisi tiga-dimensi titik objek tersebut.

Untuk menciptakan sebuah rekonstruksi tiga-dimensi hanya diperlukan sejumlah foto dengan derajat *overlap* yang tinggi dan diambil dari sudut-sudut yang berbeda. Kamera yang digunakan tidak perlu kamera khusus, kamera *consumer grade* sudah mampu untuk keperluan metode SfM. Foto atau gambar kerap digunakan dari sensor yang bergerak (contoh: UAV), tetapi juga dapat diambil oleh orang atau beberapa orang dengan posisi dan sudut yang berbeda .



(Sumber : Snavely, 2008)

Gambar 3.6. Konsep *Overlapping* Pengambilan Foto Metode SfM

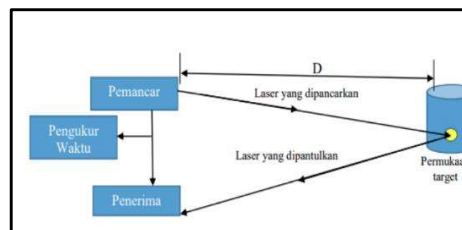
*Software* khusus (contoh: Pix4D, *Agisoft Metashape/Photoscan*) dapat mengenali dan mencocokkan kenampakan-kenampakan khusus dalam foto dan menyatukan foto-foto tersebut. Kenampakan khusus ini dapat berupa sudut atau segmen garis.

Kenampakan ini dilacak dari foto ke foto dan digunakan untuk membuat perkiraan posisi foto, orientasi, dan koordinat dari kenampakan tersebut. Hal ini kemudian digunakan untuk memproduksi *point cloud* yang berupa koordinat x, y, z untuk tiap kenampakan/*fitur/pixel* (gsp.humboltd.edu, 2021).

### 3.5. *Terrestrial Laser Scanner* (TLS)

*Terrestrial Laser Scanner* (TLS) adalah sebuah instrumen ukur yang memanfaatkan cahaya laser untuk mengukur pada permukaan objek dari sebuah tempat di permukaan bumi secara langsung dalam tiga dimensi. Hasil pengukuran dengan menggunakan TLS adalah berupa *point clouds* (Quintero, 2008 dalam Akbar A.F, 2018).

#### 3.5.1. Prinsip pengukuran TLS



(Sumber : Quintero, 2008 dalam Akbar A.F, 2018)

Gambar 3.7. Mekanisme Pengukuran TLS

Prinsip pengoperasian TLS adalah *pulse based/times of flight*. *Pulse based* didasarkan pada waktu yang dibutuhkan gelombang laser untuk melewati dari transmisi gelombang laser ke kembalinya oleh penerima pulsa laser (Quintero, 2008 dalam Akbar A.F, 2018). Jarak obyek dari *scanner* dapat ditentukan berdasarkan kecepatan gelombang sinar laser dan waktu tempuhnya. Gambar 2.12 menunjukkan prinsip kerja *pulse based*.

#### 3.5.2. Teknik Registrasi Data TLS

Pada saat pengambilan data objek 3D dengan laser *scanner* tidak mungkin dapat dilakukan hanya dengan satu kali berdiri alat. Metode untuk menggabungkan

data dari beberapa kali alat berdiri untuk pengambilan data disebut sebagai registrasi dengan menggabungkan beberapa data hasil penyiaman atau scan kedalam sistem koordinat yang sama. Registrasi dapat dibedakan menjadi tiga metode. Ketiga metode tersebut adalah Metode *Target to Target*, Metode *Cloud to Cloud*, dan Metode Kombinasi (Reddington, 2005 dalam Akbar A.F, 2018).

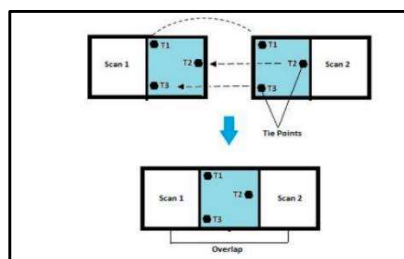
**a. Metode *Target to Target***

Pada metode ini, data hasil akuisisi digabungkan dengan menggunakan target sebagai acuannya. Ada beberapa jenis target, salah satunya yaitu *sphere*. *Sphere* merupakan bentuk bola sempurna dan memiliki diameter tertentu, *sphere* merupakan salah satu jenis target terbaik yang dapat dideteksi oleh TLS. Contoh *sphere* ditunjukkan pada berikut.



(Sumber : Faro 2009 dalam Akbar A.F, 2018)

Gambar 3.8. *Sphere* yang Didirikan di Atas Statif



(Sumber : Reshetyuk 2009 dalam Akbar A.F, 2018)

Gambar 3.9. Registrasi Data Dari Dua Pemindaian Dengan Metode *Target to Target*

Metode ini membutuhkan minimal tiga *target* terdistribusi pada tiga titik yang tidak terletak pada satu garis untuk mendeterminasi enam parameter

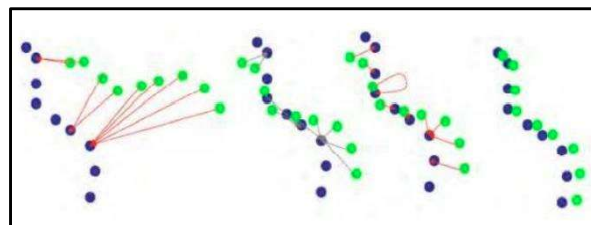


transformasi, enam parameter transformasi tersebut adalah *roll*, *pitch*, *yaw*, translasi X, translasi Y, dan translasi Z. Tiga *target* ini diletakkan pada bagian *overlap* dari kedua *scan*. Regristrasi metode *Target to Target* di ilustrasikan pada Gambar 2.14.

Pada Gambar 2.14. T1, T2, dan T3 adalah *target* yang diletakkan di posisi yang sama pada pemindaian di *scan 1* dan *scan 2*. Saat proses registrasi, perangkat lunak mampu mengenali kedudukan dari *target* yang berada di posisi yang sama tersebut sehingga *scan 1* dan *scan 2* dapat bergabung secara otomatis dengan pendekatan dari ketiga *target* tersebut.

#### **b. Metode *Cloud to Cloud***

Pada metode ini, data hasil akuisisi digabungkan dengan menentukan *point cloud* yang sama pada dua atau lebih *scan world* yang berbeda dengan *overlap* disarankan minimal 30%. Semakin banyak *area* yang *overlap* maka akan menghasilkan registrasi yang lebih baik (Prasetyo 2016, dalam Akbar A.F, 2018). Registrasi dilakukan dengan perangkat lunak.



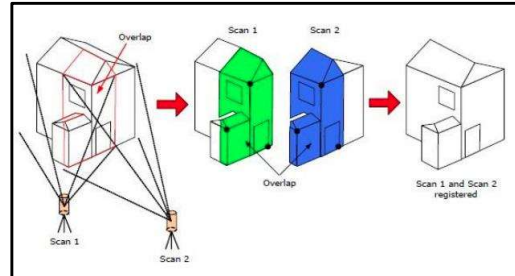
(Sumber : Pfeifer 2007, dalam Akbar A.F, 2018)

Gambar 3.10. Ilustrasi Proses Registrasi Metode *Cloud to Cloud*

Keuntungan dari metode ini adalah waktu pengumpulan data di lapangan lebih cepat daripada metode *target to target* karena Anda tidak harus mempertimbangkan distribusi *target*. Namun, bisa memakan waktu karena kelemahan proses studio. Registrasi metode *cloud to cloud* dapat dilihat pada Gambar 2.15 dan Gambar 2.16

Pada Gambar 3.15. *point cloud* berwarna biru digunakan sebagai referensi untuk *point cloud* berwarna hijau. Iterasi dilakukan sebanyak tiga

kali dan menghasilkan registrasi seperti pada gambar yang paling kanan. Semakin banyak jumlah iterasinya, hasil registrasi akan semakin baik.



(Sumber : Akbar A.F, 2018)

Gambar 3.11. Ilustrasi Registrasi *Cloud to Cloud*

Pada Gambar 3.16. data *point cloud* diregistrasi dengan *overlap* dari hasil *scan* dan *scan 2*. Tanpa *overlap* yang mencukupi, *point cloud* tidak dapat diregistrasi dengan baik.

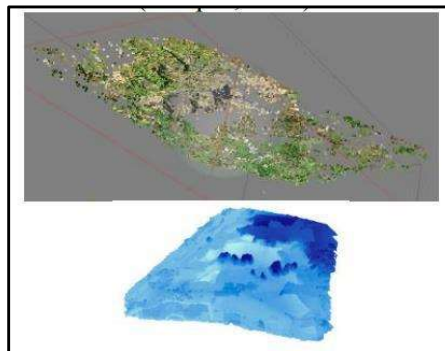
### c. Metode Kombinasi

Metode kombinasi merupakan gabungan dari metode *target to target* dan metode *cloud to cloud* dalam meregistrasi seluruh data hasil akuisisi dalam satu pekerjaan.

Metode ini digunakan pada saat *target* yang digunakan untuk pengikatan tidak mampu terdeteksi oleh instrumen sehingga mengharuskan registrasi secara *cloud to cloud* dilakukan pada sebagian *scan world*. Metode ini juga digunakan apabila instrumen sengaja didirikan tidak pada jalur *target* (*sphere*) yang telah direncanakan karena kondisi tertentu.

### 3.6. *Point Cloud* dan DEM (*Digital Elevation Model*)

*Point Cloud* merupakan titik-titik yang memiliki informasi koordinat X, Y, Z sehingga *Point Cloud* biasanya digunakan sebagai penyusun konstruksi suatu model tiga dimensi (Setiawan dkk, 2016). *Point Cloud* pada umumnya dihasilkan oleh 3D *laser scanner*. Selain pada 3D *laser scanner* *Point Cloud* juga dapat dihasilkan dari pengolahan data foto udara UAV. Perangkat ini mampu mengukur sejumlah titik-titik pada permukaan objek, dan menjadikannya berupa file data. *Point Cloud* juga bisa dihasilkan dari hasil pemotretan udara. Data *Point Cloud* dapat dikonversi menjadi *surface* 3D melalui beberapa pendekatan *Delaunay triangulation*, *alpha shapes*, dan *ball pivoting* (Subakti, 2017).



(Sumber : Setiawan dkk, 2016)

Gambar 3.12. Contoh Visualisasi *Point Cloud* dan DEM

*Digital Elevation Model* atau yang sering disebut dengan DEM memiliki beberapa pengertian yang pada dasarnya memiliki arti yang sama. 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). Model DEM ini bisa dibentuk berdasarkan titik-titik koordinat yang kemudian dihubungkan dengan segitiga tidak beraturan yang mempunyai *texture*, sehingga dapat merepresentasikan permukaan objek yang dimodelkan.

DEM terbagi menjadi dua yaitu DSM dan DTM. *Digital Terrain Model* (DTM) merupakan gambaran permukaan *digital* dari permukaan tanah tanpa ada

bangunan di atasnya. Sedangkan dengan *Digital Surface Model* (DSM) merupakan permukaan digital yang merepresentasikan permukaan bumi beserta bangunan dan pohon di atas permukaan tanah.

### 3.7. Sistem Referensi dan Georeferensi

Sistem referensi koordinat adalah sistem (teori, konsep, deskripsi fisik dan geometrik, standar, dan parameter) yang digunakan untuk menentukan koordinat suatu titik dalam ruang (Abidin, 2000 dalam Ramadhani, et al, 2020).

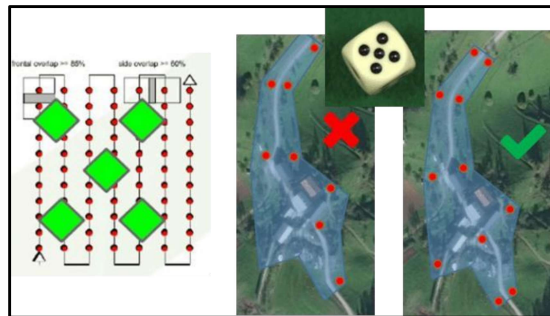
Georeferensi adalah proses yang dilakukan untuk mendefinisikan suatu data ke sistem referensi koordinat tertentu, langkah agar data *point clouds* terintegrasi dengan data geospasial. Georeferensi dilaksanakan dengan proses registrasi seluruh *point clouds*, dari objek ke dalam suatu sistem koordinat eksternal (Retshtyuk, 2009 dalam Ramadhani, et al, 2020), terbagi atas :

1. Secara Langsung, menggunakan dua titik referensi yang diketahui koordinatnya. Titik pertama merupakan tempat berdiri alat dan titik lainnya merupakan tempat berdiri *target* yang digunakan sebagai *backsight*.
2. Secara tidak langsung, menggunakan *target-target* sebagai titik kontrol. *Target-target* tersebut sudah diketahui koordinatnya dalam sistem koordinat eksternal yang kemudian digunakan untuk mentransformasikan *point clouds*. Georeferensi ini membutuhkan minimal tiga titik *target* yang digunakan untuk menentukan enam parameter orientasi luar.

#### 3.7.1. Ground Control Point (GCP)

*Ground Control Point* (GCP) adalah titik pada tanah yang telah diketahui koordinatnya digunakan sebagai titik kontrol untuk membantu pekerjaan georeferensi. Penentuan jumlah GCP pada penelitian ini didasarkan prinsip transformasi *konform* menggunakan tujuh parameter (Agisoft, 2020 dalam Ramadhani, et al, 2020). Tujuh parameter yang tidak diketahui ( $S$ ,  $\theta_1$ ,  $\theta_2$ ,  $\theta_3$ ,  $T_x$ ,  $T_y$ ,  $T_z$ ), yang memerlukan tujuh persamaan. Tujuh persamaan tersebut

membutuhkan minimal dua stasiun kontrol yang diketahui koordinat XYnya dan xy koordinat, serta tiga stasiun kontrol yang diketahui koordinat Znya dan koordinatnya, atau minimal tiga stasiun kontrol yang diketahui. Secara simpelnya penentuan GCP dapat dilihat pada ilustrasi gambar 3.18.



(Sumber : Purnomo, 2017)

Gambar 3.13. GCP dan Cakupan Area Penerbangan

### 3.7.2. *Independent Check Points (ICP)*

Menurut KEPMEN Ketenagakerjaan RI Nomor 95 Tahun 2017 *Independent Check Points* atau disingkat ICP adalah titik yang digunakan untuk kontrol kualitas dari akurasi posisi obyek yang diukur dengan cara membandingkan koordinat model dengan koordinat sebenarnya. Penentuan ICP didasarkan pada Spesifikasi Teknis dari Peta Dasar untuk Penyusunan Detail Tata Ruang (BIG, 2020 dalam Ramadhani, et al, 2020). 1 Tersebar diseluruh scene citra atau foto 2 Jumlah minimal ICP adalah  $\frac{1}{4}$  jumlah GCP 3 Diletakkan diantara titik-titik GCP namun tidak terlalu dekat.

### 3.8. **Standar Akurasi Model**

Pengujian ketelitian posisi mengacu pada perbedaan koordinat (X,Y,Z) antara titik uji pada gambar atau peta dengan lokasi sesungguhnya dari titik uji pada permukaan tanah. Pengukuran akurasi menggunakan *root mean square error* (RMSE) atau *circular error*. Analisis akurasi posisi menggunakan *root mean square error* (RMSE), yang menggambarkan nilai perbedaan antara titik uji dengan titik sebenarnya. Berikut adalah rumus untuk menghitung besar RMSE :

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum(R-R1)^2}{n}} \quad (1)$$

Keterangan:

RMSE : *Root Mean Square Error*

R : Nilai yang dianggap benar

R1 : Nilai hasil ukuran

n : Banyak ukuran yang digunakan

Standar akurasi berdasarkan nilai ketelitian berdasarkan ketelitian gemoetri peta RBI oleh Badan Informasi Geospasial (2014). Nilai ketelitian posisi peta dasar adalah nilai CE90 untuk ketelitian horizontal danLE90 untuk ketelitian vertikal, yang berarti bahwa kesalahan posisi peta dasar tidak melebihi nilai ketelitian tersebut dengan tingkat kepercayaan 90%.

Nilai CE90 dan LE90 dapat diperoleh dengan rumus mengacu kepada standar sebagai-berikut US NMAS (United States National Map Accuracy Standards) sebagai berikut:

$$CE90 = 1,5175 \times RMSEr \quad (2)$$

$$LE90 = 1,6499 \times RMSEz \quad (3)$$

dengan

RMSEr : Root Mean Square Error pada posisi x dan y (horizontal)

RMSEz : Root Mean Square Error pada posisi z (vertikal)

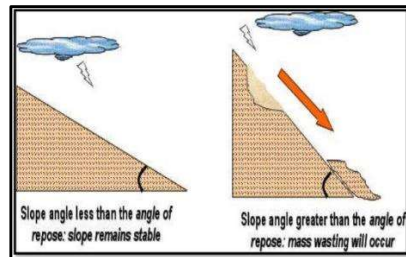
Tabel 3.3. Ketelitian Geometri Peta RBI

No	Skala	Interval Kontur (m)	Ketelitian Peta RBI					
			Kelas 1		Kelas 2		Kelas 3	
			Horizontal (CE90)	Vertikal (LE90)	Horizontal (CE90)	Vertikal (LE90)	Horizontal (CE90)	Vertikal (LE90)
1	1:1.000.000	400	200	200	300	300	500	500
2	1:50.000	200	100	100	150	150	250	250
3	1:250.000	100	50	50	75	75	125	125
4	1:100.000	40	20	20	30	30	50	50
5	1:50.000	20	10	10	15	15	25	25
6	1:25.000	10	5	5	7,5	7,6	12,5	12,6
7	1:10.000	4	2	2	3	4	5	6
8	1:5.000	2	1	1	1,5	1,6	2,5	2,6
9	1:2.000	1	0,5	0,5	0,75	0,75	1,25	1,26
10	1:1.000	0,4	0,2	0,2	0,3	0,3	0,5	0,6

(Sumber : Badan Informasi Geospasial ,2014)

### 3.9. *Angle of Repose*

*Angle of repose* atau sudut tenang merupakan nilai sudut paling curam yang dapat dicapai material tanpa ada keruntuhan, dimana sudut ini diukur dari bidang horizontal (Metha dan Barker, 1994).

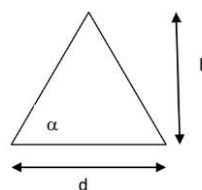


(Sumber : Al-Hashemi, & Al-Amoudi, 2018)

Gambar 3. 14. *Angle of Repose* Optimal

*Angle of repose* berada pada 0-90° dapat dipengaruhi oleh tinggi timbunan, laju penguapan, serta kekasaran alat (Miura, dkk, 1997). Selain itu juga dapat dipengaruhi oleh bentuk, kadar air, ukuran dan orientasi material (Sahay dan Singh, 1994).

Sudut tenang dapat dimodelkan dalam bentuk kerucut dengan mengamati tinggi kerucut  $h$  (cm) di atas alas dan jari-jari timbunan (cm). Besar sudut tenang dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:



(Sumber : Al-Hashemi, & Al-Amoudi, 2018)

Gambar 3.15. Besaran *Angle of Repose*

$$\tan \alpha = \frac{h}{d} \quad (4)$$

dengan:

$\alpha$  : *angle of repose* (°)

$h$  : tinggi kerucut timbunan material (m)

$d$  : diameter timbunan material (m)

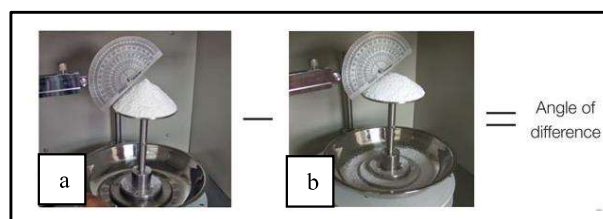
Dalam pemanfaatannya penggunaan nilai *Angle of Repose* dapat diterapkan dalam berbagai pekerjaan diantaranya untuk penyimpanan material lepas, *slope stability*, *concrete slump testing*, *mass wasting*, *oceanic trench*, *rotary kiln*, geologi, pertanian, pertambangan serta geoteknik (Al-Hashemi, & Al-Amoudi, 2018).

Dalam penentuan *overall slope angle* pada timbunan juga dapat dilakukan dengan pendekatan nilai *angle of repose* dari material tersebut (Sidiq, Hidayatullah, 2021).

Tabel 3.4. Nilai Angle of Repose Batuan

No	Material (Kondisi)	Ukuran Butir (mm)	Angle of Repose (°)	Metode	Penelitian (Tahun)
1	Gravel (Natural)	-	37	-	Hustrulid (1995)
2	Gravel (Natural)	51,2-125	32.0-33.5	Cylinder Lifting Test	Liu, Z. (2011).
3	Gravel (Crushed Stone)	-	45	-	Hamzah M. Beakawi Al-Hashemi (2018)
4	Gravel (Crushed Stone)	42-48	32.4-32.6	Cylinder Lifting Test	Jing Chen , Rui Gao (2019)
5	Gravel (Crushed Stone)	8-16	32.296-32.338	TLS and UAV	Artur Wójcik (2019)

### 3.10. Angle of Fall



(Sumber : *Bettersizeinstruments*, 2021)

Gambar 3.16. a) Kondisi pada *Angle of Repose*, b) Timbunan setelah diberikan gaya eksternal berupa getaran akan mengalami keruntuhan menghasilkan sudut *Angle of Fall*

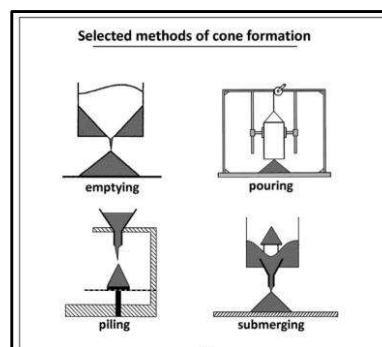


*Angle of Fall* atau sudut tenang saat runtuh merupakan kondisi *angle of repose* setelah diberikan getaran sehingga menyebabkan terjadinya keruntuhan sehingga dapat menyebabkan volume suatu timbunan material berubah menjadi lebih kecil pada kondisi luas permukaan uji yang sama. Nilai selisih antara *Angle of Repose* dan *Angle of Fall* disebut sebagai *Angle of Difference*

### 3.11. Pengukuran Nilai *Angle of Repose*

#### 3.11.1. Skala Laboratorium

Pengujian nilai *angle of repose* pada skala laboratorium untuk membentuk kerucut timbunan dapat dilakukan dengan beberapa metode, diantaranya adalah *emptying*, *pouring*, *piling*, serta *submerging* (Wójcik, A., et al, 2019).



(Sumber : Wójcik, A., et al, 2019)

Gambar 3.17. Metode Pembentukan Kerucut Timbunan Dalam Skala Laboratorium

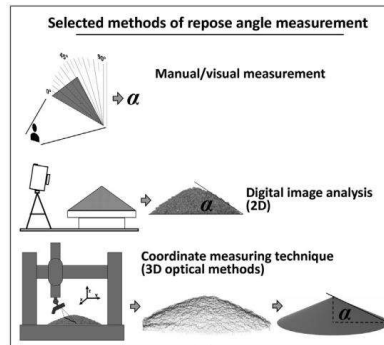
Salah satu pengujian nilai *angle of repose* pada skala laboratorium menggunakan tabung yang dilengkapi katup untuk menjatuhkan material sehingga membentuk kerucut timbunan. Kemudian menuang pasir kedalam alat uji dan buka katup tabung sehingga campuran pasir membentuk tumpukan (Listyawan A.B, et al. 2020).



(Sumber : Listyawan A.B, et al. 2020)

Gambar 3.18. Alat Ukur *Angle Of Repose*

Pengukuran angle of repose dapat dilakukan dengan beberapa metode, diantaranya pengamatan *visual*, *digital image analysis*, serta *3d optical* dapat dilihat pada gambar di bawah ini.

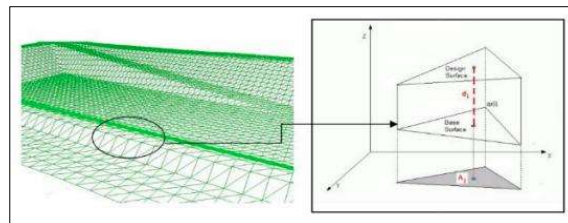


(Sumber : Wójcik, A., et al, 2019)

Gambar 3.19. Metode Pengukuran Sudut

### 3.11.2. Aktual Lapangan

Teknologi penginderaan jauh seperti UAV serta Sistem Informasi Geografi (SIG) dapat digunakan untuk menganalisis aktual nilai *angle of repose* yang nantinya dapat dibandingkan dengan data pengukuran lainnya (Hamzah M. Beakawi Al-Hashemi, 2018). Hasil pengukuran berupa data *digital elevation model* akan di ekstraksi menjadi titik  $x,y,z$  kemudian akan di bentuk model 3d dengan metode *Triangulated Irregular Network (TIN)*.

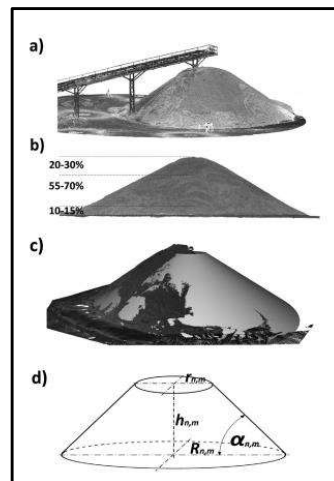


(Sumber : Pratomo, D. G., dkk ,2019)

Gambar 3.20. Ilustrasi pembentukan TIN

Metode ini terbentuk dari titik koordinat yang terhubung menjadi bangun segitiga dimana perhitungannya didasarkan pada 2 geometri segitiga alas

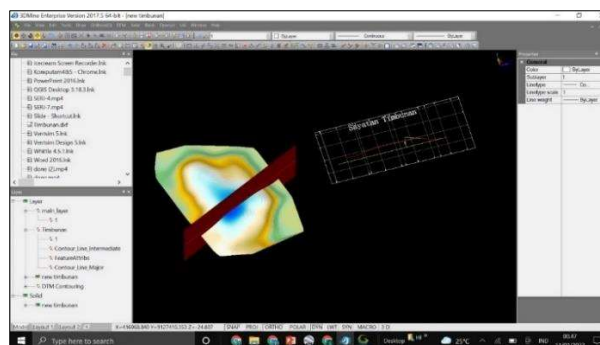
dan atap membentuk prisma. Desain permukaan (permukaan sebenarnya) adalah permukaan yang volumenya dihitung sedangkan permukaan dasar (permukaan yang ada) adalah permukaan yang digunakan sebagai alas sehingga membentuk model 3 dimensi.



(Sumber : Wójcik, A., et al, 2019)

Gambar 3. 21. Metode Analisis Sudut, a) Data *Point Cloud*, b) *Filtering Noise*, c) Model DEM Timbunan, d) Penentuan Nilai Sudut

Perhitungan sudut dilakukan dengan menganalisis kemiringan lereng dengan menggunakan *software* (Gambar 2.25). *Software* yang dimaksud dalam analisis model 3 dimensi timbunan adalah *3D Mine* dengan metode sayatan untuk mendapatkan bentuk potongan timbunan serta variasi pembentukan sudut. Selain itu juga data DEM akan dianalisis langsung menggunakan *software ArcMap* (Gambar 3.27).



(Sumber : Dokumen pribadi, 2021)

Gambar 3.22. *Interface Software 3D Mine*

### 3.12. Statistika

Statistika menurut Supardi dalam Sudjana (2013) adalah pengetahuan yang berhubungan dengan cara-cara mengumpulkan data, pengolahan atau penganalisisannya dan penarikan kesimpulan berdasarkan kumpulan data dan penganalisisan yang telah dilakukan. Sementara statistika deskriptif adalah pengumpulan dan penyajian suatu data-data sehingga memberikan informasi yang berguna.

#### a. Rata-rata Hitung (*Mean*)

*Mean* merupakan ukuran pusat data yang dianggap mewakili kumpulan data, yang dapat dicari dengan rumus:

$$\bar{x} = \frac{\sum Xi}{n} \quad (5)$$

Keterangan :

- $\bar{x}$  = rata-rata
- $X_i$  = nilai data ke – i (i=1,2,3,...,n)
- n = banyaknya data

#### b. *Median* (Nilai Tengah)

*Median* adalah nilai tengah dari gugusan data yang telah diurutkan dari data terkecil sampai data terbesar.

$$Me = L_o + c x \frac{\frac{n}{2} - \sum ft}{f_{med}} \quad (6)$$

Keterangan :

- $L_o$  = batas bawah nyata kelas dari kelas median
- c = lebar interval kelas median
- n = banyaknya data
- $\sum ft$  = frekuensi seluruh kelas yang lebih rendah dari kelas median
- $f_{med}$  = frekuensi kelas median

#### c. *Modus* (*Mo*)

*Modus* adalah nilai dari beberapa data yang mempunyai frekuensi tertinggi dengan rumus perhitungan sebagai berikut:

$$Mod = L_o + \frac{b_1}{b_1 + b_2} x c \quad (7)$$

Keterangan :

- Lo = batas bawah kelas *modus*
- c = lebar interval kelas
- b1 = selisih antara frekuensi kelas modus dengan frekuensi tepat satu kelas sebelum kelas *modus*
- b2 = selisih antara frekuensi kelas modus dengan frekuensi tepat satu kelas sesudah kelas *modus*

**d. Rentangan (*Range*)**

Rentangan adalah data tertinggi dikurangi data terkecil setelah data diurutkan besar nilainya.

*Range* = data tertinggi - data terkecil

**e. Standar Deviasi (*Simpangan baku*)**

Standar deviasi menunjukkan besar perbedaan nilai sampel terhadap rata-rata dari sampel.

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (8)$$

Keterangan:

- $\sigma_x$  = Standar Deviasi
- $\bar{x}$  = Rata-rata
- $x_i$  = nilai data ke-i
- n = jumlah data

**f. Variansi (*Variance*)**

Variansi adalah alat ukur variabilitas kumpulan data yang merupakan simpangan rata-rata kuadrat.

$$variance = (\sigma_x)^2 \quad (9)$$

Keterangan :

- $\sigma_x$  = Standar Deviasi

**g. Koefisien Variasi (*Coefficient of Variation*)**

Merupakan ukuran persebaran data, atau dikenal dengan simpangan baku relatif

$$\text{CoV} = \frac{\sigma_x}{\bar{x}} \quad (10)$$

Keterangan :

CoV = *coefficient of variation*

#### **h. Skewness**

*Skewness* merupakan ukuran koefisien kemencengen atau kemiringan. Kurva halus data dengan *skewness* positif akan memanjang ke sebelah kanan, sebaliknya *skewness* negatif akan memanjang ke sebelah kiri dan jika nilai *skewness* 0 maka kurva berbentuk simetrik.

$$sk = \frac{\bar{x} - \text{Mod}}{\sigma_x} \text{ atau } sk = \frac{3(\bar{x} - \text{Med})}{\sigma_x} \quad (11)$$

Keterangan :

sk = derajat kemiringan Pearson

$\bar{x}$  = rata-rata

Mod = *modus*

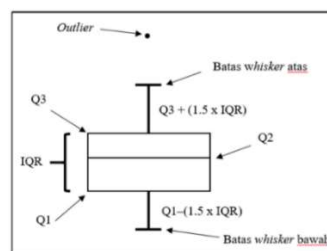
$\sigma_x$  = standar deviasi

#### **i. Histogram**

Histogram merupakan penyajian data dengan bentuk diagram batang. Penggunaan histogram menggambarkan frekuensi data bersifat kontinyu

#### **j. Boxplot**

*Boxplot* atau biasa dikenal dengan diagram *box-and-whisker* merupakan salah satu statistik deskriptif untuk menggambarkan ukuran nilai observasi terkecil, kuartil pertama (Q1), median (Q2), kuartil ketiga (Q3), dan observasi terbesar. Selain itu *boxplot* dapat menggambarkan penyebaran serta data pencilan (*outlier*). *Outlier* merupakan suatu data yang memiliki nilai ekstrim dan jauh dari pusat nilai data lainnya sehingga mempengaruhi besar varians.



(Sumber : Junaidi, 2014)

Gambar 3.23. *Boxplot*

### **3.13. Uji *Paired Sample Test***

Menurut Sarwono dan Budiono (2012) uji *Paired Sample t Test* merupakan prosedur untuk menentukan perbedaan antara nilai-nilai dua variabel atau lebih untuk masing-masing kasus dan kemudian mengujinya apakah terdapat perbedaan yang signifikan dan korelasi atau tidak terdapat signifikan ataupun korelasi antara antar variabel.

Pengujian korelasi dilakukan dengan menggunakan program SPSS dengan dengan cara intepretasinya adalah bahwa jika nilainya di atas 0,05 maka data dinyatakan tidak mempunyai hubungan antar variabel, dan jika nilainya di bawah 0,05 maka diinterpretasikan mempunyai hubungan antar variabel.

Pengujian signifikansi dilakukan dengan menggunakan program SPSS dengan cara intepretasinya adalah bahwa jika nilainya di atas 0,05 maka data dinyatakan tidak mempunyai perbedaan yang signifikan antar variabel, dan jika nilainya di bawah 0,05 maka diinterpretasikan mempunyai perbedaan yang signifikan antar variabel.

### **3.14. SPSS**

SPSS adalah program untuk olah data statistik yang disingkat dari *statistical product and service*. SPSS merupakan program yang paling populer dan paling banyak pemakaiannya diseluruh dunia, selain itu banyak juga digunakan oleh para peneliti untuk berbagai keperluan seperti riset pasar, atau untuk penelitian skripsi, tesis, disertasi dan sebagainya. Dahulu SPSS adalah singkatan dari *Statistical Package for The Social Sciences*, karena digunakan untuk penelitian pada ilmu – ilmu social, tapi seiring perkembangannya, penggunaan SPSS semakin luas dan sudah mencakup berbagai bidang ilmu seperti bisnis, pertanian, industry, ekonomi, psikologi dan lain lain.