

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

1.1 *Terrestrial Laser Scanner (TLS)*

Teknologi *Terrestrial Laser Scanner* (TLS) memanfaatkan sinar laser untuk melakukan pengukuran titik-titik pada suatu pola secara langsung dalam bentuk tiga dimensi dari permukaan objek di bumi. Data yang dihasilkan berupa *point cloud*, yaitu sekumpulan koordinat tiga dimensi dari posisi alat yang digunakan. *Point cloud* ini terdiri dari jutaan titik yang dapat dimanfaatkan untuk membangun model tiga dimensi. Namun, TLS memiliki keterbatasan, salah satunya adalah tidak mampu menangkap warna objek sesuai kondisi nyata. Warna yang diperoleh hanyalah representasi intensitas pantulan sinar laser dari permukaan objek (Akbar dkk., 2018).

TLS memiliki beberapa keunggulan bila dibandingkan dengan teknik survei tradisional lainnya seperti tachimetri, GNSS, dan fotogrametri, yaitu:

1. Menangkap geometri suatu objek dalam 3D secara langsung cepat dan detail.
2. Dapat memangkas biaya dan dapat menyelesaikan pekerjaan jauh lebih cepat.
3. Dapat digunakan pada daerah survei atau objek yang sulit dijangkau dan berbahaya dimana teknik survei tradisional sangat sulit untuk dilakukan.
4. Tidak memerlukan cahaya dalam mengakuisisi data.
5. Pemindaian secara lengkap dan komprehensif
6. Data dapat digunakan untuk saat ini dan masa yang akan datang. TLS juga memiliki kekurangan, yaitu tidak mampu untuk mengambil warna sesuai dengan warna tampak objek, melainkan warna yang didapatkan hanya warna intensitas dari gelombang pantulan. (Akbar dkk., 2018).

Prinsip Pengukuran TLS mempunyai suatu sistem pengukuran yang terdapat di dalamnya, yaitu sistem pengukuran jarak dan sistem pengukuran sudut. Sistem pengukuran ini digunakan untuk mendapatkan koordinat *point cloud*. Laser *rangefinder* merupakan suatu komponen TLS yang paling berperan dalam melakukan pengukuran jarak. Pulsa laser *rangefinder* terdiri dari:

1. *Transmitter* atau pemancar pulsa
2. Penerima pulsa (terdiri dari detektor, penguat sinyal, dan *Automatic Gain Control* (AGC))

3. Pengukur waktu elektronik, unit pengukur waktu (*Time- to-Digital Converter* (TDC))
4. Pemancar dan penerima optis.

Mekanisme pengukuran berbasis pulsa dari laser *rangefinder* yaitu pemancar laser memancarkan dalam pulsa pendek yang terbagi menjadi dua bagian, satu dipancarkan ke penerima sinyal untuk mengaktifkan unit pengukur waktu elektronis, satu lagi dipancarkan ke objek. Ketika laser yang dipancarkan menyentuh objek, laser tersebut akan terhamburkan dan sebagian ada yang kembali ke detektor. Di dalam detektor kekuatan pancaran pulsa akan dikonversikan menjadi arus listrik yang kemudian akan diterima dan diteruskan oleh penguat sinyal yang disebut diskriminator waktu. Saat arus listrik mencapai diskriminator waktu, hal tersebut menandakan waktu kembalinya pulsa dan akan menghentikan pengukuran waktu. Interval waktu antara pulsa dipancarkan hingga kembali digunakan untuk menghitung jarak antara alat TLS dengan objek. (Rahmat, 2022).

1.2 *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV)

Unmanned Aerial Vehicle (UAV) adalah pesawat tanpa awak yang dioperasikan menggunakan sistem kendali jarak jauh melalui gelombang radio. UAV termasuk dalam perangkat elektrome-kanik yang mampu melaksanakan misi terprogram dengan karakteristik menyerupai pesawat terbang, baik dikendalikan langsung oleh pilot jarak jauh maupun secara otomatis berdasarkan pemrosesan data dari sensor. Pengendalian UAV dapat dilakukan secara manual menggunakan radio kontrol atau secara otomatis melalui sistem terintegrasi.

Dalam bidang fotogrametri, UAV dimanfaatkan untuk berbagai aplikasi jarak dekat, menggabungkan pengukuran darat dan udara. UAV juga menghadirkan solusi alternatif yang lebih ekonomis dan real-time dibandingkan fotogrametri udara konvensional. Menurut definisi Asosiasi Fotogrametri internasional, fotogrametri adalah seni, ilmu, serta teknologi untuk memperoleh informasi yang akurat mengenai objek fisik dan lingkungannya melalui perekaman, pengukuran, serta interpretasi citra fotografi maupun radiasi elektromagnetik yang terekam.

UAV biasanya dikendalikan dari luar pesawat menggunakan *Remote Control* (RC) dengan frekuensi sekitar 2,4 GHz. Pada UAV terpasang kamera dengan chip komputer canggih, mirip arduino namun lebih kompleks, yang memungkinkan pengendalian menggunakan *smartphone* yang terhubung dengan *remote control*. Hasil perekaman kamera dapat dipantau secara *real-time* di layar *smartphone*, sehingga pilot dapat mengarahkan UAV sesuai kebutuhan (Rahmat, 2022).

1.3 Survei GNSS

Global Navigation Satellite System (GNSS) merupakan sistem navigasi dan penentuan posisi berbasis satelit. Sistem ini dirancang untuk menyediakan informasi mengenai posisi, kecepatan dalam tiga dimensi, serta waktu secara akurat. GNSS memiliki cakupan global, dapat beroperasi terus-menerus, dan tidak dipengaruhi oleh kondisi cuaca. Sistem navigasi ini mencakup berbagai satelit seperti GPS, GLONASS (*Globalnaya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema*), Galileo, serta sistem satelit regional lainnya (Sasmito, 2015).

Salah satu teknik dalam GNSS adalah penentuan posisi diferensial, yaitu metode yang digunakan untuk menentukan posisi suatu titik dengan mengacu pada titik lain yang koordinatnya sudah diketahui (*monitor station*). Metode ini juga disebut sebagai penentuan posisi relatif, di mana data hasil pengamatan dari dua *receiver* GNSS pada waktu yang sama dibandingkan atau dikurangi untuk memperoleh hasil yang lebih akurat. (Risqi *et al.*, 2020).

1.4 Digital Elevation Model (DEM)

Digital Elevation Model (DEM) merupakan data digital yang merepresentasikan bentuk geometri permukaan bumi atau sebagian darinya. Data ini disusun dari sekumpulan titik koordinat hasil sampling yang kemudian diolah menggunakan algoritma untuk mendefinisikan bentuk permukaan tersebut. DEM berfungsi sebagai sistem, metode, maupun perangkat yang digunakan dalam pengumpulan, pemrosesan, serta penyajian informasi mengenai kondisi medan. Nilai digital dalam DEM merepresentasikan distribusi spasial karakteristik medan, di mana sumbu X dan Y menggambarkan posisi horizontal, sementara sumbu Z menunjukkan elevasi atau ketinggian. DEM umumnya dimanfaatkan untuk membuat model relief permukaan bumi dalam bentuk tiga dimensi (3D) yang menyerupai kondisi nyata, dengan bantuan teknologi grafis komputer maupun *virtual reality*.

Sumber data DEM dapat berasal dari berbagai metode, antara lain fotogrametri udara (FU stereo), citra satelit stereo, pengukuran lapangan menggunakan alat GNSS, theodolite, EDM, total station, hingga echosounder. Selain itu, data juga dapat diperoleh dari peta topografi (melalui interpolasi), radar, maupun teknologi LiDAR. Hasil DEM bisa berupa titik (elevasi), garis (kontur), atau hasil pemindaian (LiDAR (Duantari & Cahyono, 2017)).

1.5 Disposal

Proses penggalian dan pemindahan material tanah penutup dilakukan menggunakan alat gali-muat, kemudian material tersebut diangkut menuju area disposal dengan bantuan alat angkut. Disposal sendiri merupakan lokasi khusus yang dirancang untuk menampung tanah penutup hasil kegiatan tambang. Dalam pembuatannya, diperlukan perencanaan dengan memperhatikan aspek keamanan dan kondisi lapangan. Penelitian terkait disposal biasanya difokuskan pada penentuan parameter aman dumping, seperti jarak dan tinggi jenjang, kestabilan lereng, pengujian kekuatan tanah, serta faktor pengendali yang harus diperhatikan saat proses pembuangan material (Hardianti *et al.*, 2024).

Menurut Singgih dkk., (2024 dikenal istilah *swell factor*, yaitu perubahan volume material akibat adanya pengembangan atau pemadatan. Swell factor terbagi dalam tiga kondisi utama:

1. *Bank condition* (keadaan asli), yaitu kondisi material yang masih alami dan belum terganggu, diukur dalam *Bank Cubic Meter* (BCM).
2. *Loose condition* (keadaan gembur), yaitu material tanah setelah mengalami gangguan atau pengerjaan, biasanya terdapat di depan dozer, di truk, atau dalam bucket, dan dinyatakan dalam *Loose Cubic Meter* (LCM).
3. *Compact condition* (keadaan padat), yakni kondisi material setelah ditimbun kembali dan mengalami proses pemadatan, volumenya berkurang meskipun massanya tetap, dikenal dengan satuan *Compact Cubic Meter* (CCM).

Disposal biasanya dibuat pada lubang-lubang bekas penambangan ataupun bekas penambangan kuari. Ketiga lubang tersebut telah penuh, maka permukaan dari disposal ini akan tertutup dengan lapisan *overburden* untuk dijadikan daerah penghijauan. Rancangan disposal sangat penting untuk perhitungan keekonomian. Lokasi dan bentuk dari disposal akan berpengaruh terhadap jumlah gilir truk, biaya operasi dan jumlah truk dalam satu armada yang diperlukan. Pada umumnya daerah yang diperlukan untuk disposal luasnya berkisar antara 2-3 kali dari daerah penambangan (pit).

1.6 Cut and Fill

Cut and fill adalah kegiatan pemindahan tanah dengan cara melakukan penggalian sejumlah volume tanah, kemudian menimbunnya kembali di lokasi lain. Dalam proyek konstruksi, aktivitas galian dan timbunan hampir selalu diperlukan karena adanya perbedaan antara permukaan tanah asli dengan permukaan tanah rencana yang dipengaruhi

kondisi topografi. Kedua proses ini umumnya dilakukan dalam area yang sama sesuai target pekerjaan. Agar efisien, pekerjaan *cut and fill* harus direncanakan dengan baik sehingga volume tanah yang dipindahkan tidak melebihi atau kurang dari kebutuhan, sehingga dapat menekan biaya transportasi. Perencanaan tersebut biasanya dilakukan setelah pengukuran lapangan, lalu digambarkan dalam peta situasi yang dilengkapi dengan garis analisis cross section untuk mempermudah perhitungan (Hardianti dkk., 2024)

1.7 *Cross Section*

Metode *cross section* didasarkan pada prinsip pembuatan sayatan-sayatan (penampang) yang memotong batas-batas area disposal. Sayatan-sayatan ini biasanya dibuat tegak lurus terhadap arah penyebaran material. Posisi sayatan ditentukan berdasarkan kondisi topografi dan persebaran material di lapangan. Jarak antar sayatan harus dipilih secara cermat, mempertimbangkan tingkat detail yang diinginkan dan karakteristik material. Jarak yang lebih rapat diperlukan untuk area dengan topografi yang kompleks atau persebaran material yang tidak merata. Setelah sayatan dibuat, data topografi dari setiap sayatan direkam. Data ini dapat diperoleh melalui survei lapangan, menggunakan alat ukur TLS atau UAV, kemudian digunakan untuk membuat model tiga dimensi (3D) dari area disposal.

Metode ini termasuk dalam teknik konvensional untuk menghitung sumber daya. Pada tiap penampang dapat diketahui luas material yang digali, misalnya batuan andesit. Penggunaan metode *cross section* umumnya diterapkan pada batuan dengan tingkat homogenitas tinggi dan bentuk geometri sederhana. Dalam kondisi seperti ini, perhitungan sederhana pun mampu menghasilkan tingkat ketelitian yang memadai (Segung, 2020).