

BAB II

DASAR TEORI

2.1 Tambang Batu Kapur

Salah satu bahan galian C yang paling umum di Indonesia adalah batu kapur. Di Indonesia, pegunungan kapur menyebar dari barat ke timur. Potensi yang besar disertai jumlah batu kapur yang digunakan untuk memenuhi kebutuhan manusia. Secara umum, segala sesuatu di rumah dan kantor membutuhkan batuan kapur dalam fase tertentu, baik secara langsung maupun tidak langsung, baik sebagai bahan utama maupun sebagai bahan tambahan dalam proses pembangunan (Nurjannah et al., 2013).



Gambar 2.1. Pertambangan Batu Kapur PT. Imasco

Ada beberapa pengertian pertambangan. Salah satu pengertian dari pertambangan menurut Pasal 1 Undang-Undang No. 4 Tahun 2009 Tentang Mineral dan Batu Bara adalah “sebagian atau seluruh tahapan kegiatan dalam rangka penelitian, pengelolaan dan pengusahaan mineral atau batu bara yang meliputi penyelidikan umum, eksplorasi, studi kelayakan, kontruksi, penambangan, pengolahan dan pemurnian, pengangkutan dan penjualan, serta kegiatan pasca tambang”.

Tujuan dari usaha pertambangan adalah untuk mengolah bahan galian yang ada di dalam bumi agar dapat digunakan dan dimanfaatkan oleh semua orang untuk meningkatkan kesejahteraan dan kemakmuran dalam kehidupan mereka.

2.2 Survei Dalam Pertambangan

Pengukuran topografi tambang atau survei progress adalah survei yang dilakukan untuk menghitung jumlah volume batu kapur yang telah digali dan dipindahkan dari lokasi tambang ke area disposal. Pekerjaan survei progress dijalankan oleh dua tim survei, yaitu tim dari pihak kontraktor dan tim dari pihak pemilik, karena survei ini berkaitan dengan faktor keuangan. Kedua tim akan menggabungkan hasil perhitungan survei progress dan merata-ratakannya

Kegiatan survei dalam industri tambang merupakan kegiatan penunjang yang sangat penting, baik pada tahap persiapan (eksplorasi), selama kegiatan operasional (eksploitasi) maupun sampai dengan penutupan tambang (pasca tambang). Sebagai contoh survei dilakukan untuk membuat peta dasar (peta topografi untuk penggalian) yang akan mencakup sebaran mineral atau bentuk-bentuk permukaan bumi sebelum kegiatan penambangan dilakukan. Banyak informasi yang dibutuhkan, terutama informasi mengenai geometri lokasi bahan yang akan di tambang, evaluasi kemajuan kegiatan penambangan, menentukan volume total yang telah di gali atau overburden yang telah di pindahkan, hingga mengetahui sisa cadangan bahan galian (Kurnia et al., 2012).

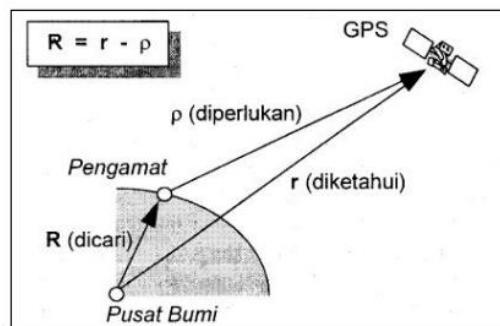
2.3 Penentuan Posisi dengan GNSS (GPS Geodetik)

GPS (*Global Positioning System*) adalah sistem navigasi dan penentuan posisi yang dimiliki dan dioperasikan oleh pemerintah Amerika Serikat. Sistem ini dirancang untuk menyediakan informasi lokasi dan waktu 3D secara real-time kepada banyak orang di seluruh dunia tanpa terpengaruh oleh waktu dan cuaca. Saat ini, GPS banyak digunakan di seluruh dunia, termasuk di Indonesia untuk aplikasi yang membutuhkan informasi posisi. Dalam industri pertambangan, GPS digunakan untuk menentukan posisi selama eksplorasi mineral dan energi, seperti menentukan batas daerah konsesi pertambangan atau lokasi titik-titik bor dan seismik. Selama proses eksploitasi, GPS digunakan untuk memantau lokasi sumber daya (seperti batubara) dari waktu ke waktu, serta untuk memantau posisi relatif anjungan pengeboran minyak lepas pantai terhadap potensi penurunan yang disebabkan oleh pengambilan minyak yang berlebihan dari lapisan bawah dasar laut. Jika digunakan bersama

dengan GIS, GPS juga akan sangat efektif dan efisien untuk memantau dan mengendalikan dampak lingkungan yang disebabkan oleh eksplorasi dan eksploitasi sumber daya alam.

Untuk aplikasi yang membutuhkan ketelitian tinggi (level cm), metode penentuan posisi diferensial (statik atau kinematik) dengan data fase adalah metode yang umum digunakan dalam survei aktivitas pertambangan (Abidin, 2000).

Proses menentukan koordinat beberapa titik dengan menggunakan satelit GPS disebut survei penentuan posisi. Metode yang digunakan dalam penentuan posisi adalah metode diferensial (differential positioning) dan data yang digunakan adalah data pengamatan fase (carrier phase) dari sinyal GPS (BSN, 2002).



Gambar 2.2. Prinsip Dasar Penentuan Posisi Dengan GPS
(Sumber : Abidin, 2000)

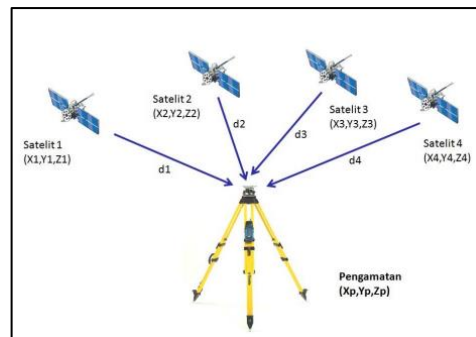
Gambar 2.2. Menunjukkan prinsip dasar penentuan posisi GPS secara vektor. Pada dasarnya, metode ini didasarkan pada gagasan reseksi dengan jarak, yaitu mengukur jarak secara bersamaan ke beberapa satelit GPS yang koordinatnya sudah diketahui. Karena vektor posisi geosentrik satelit (r) sudah diketahui, parameter berikutnya adalah vektor posisi toposentris satelit terhadap pengamat (p).

Penentuan posisi menggunakan GPS di kelompokkan atas beberapa metode, yaitu metode *absolute*, *differential*, *static*, kinematik, RTK dan *cors*.

a. Metode *Absolute*

Metode pengamatan ini berdasarkan sistem referensi datum WGS UTM-84, yang mengacu pada pusat massa bumi, penentuan posisi dapat dilakukan secara terpisah untuk setiap titik, tanpa

bergantung pada titik lain. Metode ini juga dikenal sebagai penentuan posisi titik. Prinsip dasarnya adalah mengukur jarak terhadap beberapa satelit secara bersamaan, baik ketika titik yang diukur posisinya diam maupun bergerak. Pengukuran ini biasanya dilakukan dengan data rentang suara yang diamati. Pengamatan pada data fase dapat digunakan jika intialisasi fase ambiguitas atau destimasi bersamaan dengan nilai posisinya telah ditentukan sebelumnya. *Precision Point Positioning* (PPP) adalah teknik pengamatan yang menggunakan data fase dalam pengamatan statik (Wahyono et al., 2019).



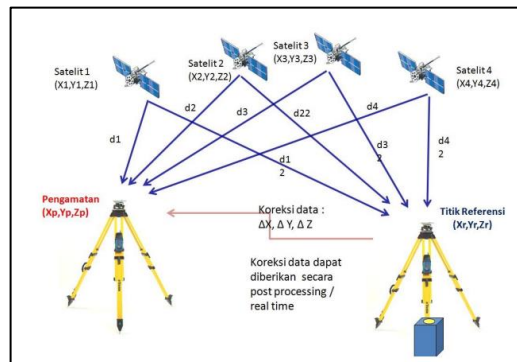
Gambar 2.3. Penentuan Posisi *Absolute*
(Sumber : Wahyono, 2019)

b. Metode *Differential*

Metode pengamatan ini disebut juga dengan istilah penentuan posisi relatif, yaitu memerlukan minimal dua perangkat GNSS geodetik, satu perangkat diletakkan pada suatu titik yang telah diketahui koordinatnya (titik acuan), sedangkan perangkat yang lain diletakkan pada posisi yang diinginkan, yaitu relatif terhadap titik acuan tersebut. Prinsip utamanya adalah melakukan proses diferensial untuk menghilangkan atau mengurangi berbagai kesalahan dan bias pada beberapa kesalahan, sehingga menghasilkan posisi yang tepat. Efektivitas proses diferensial ini sangat bergantung pada jarak antara titik acuan dengan titik yang akan diposisikan (panjang garis dasar), semakin dekat jaraknya maka semakin efektif prosesnya. Titik yang posisinya diukur dapat berada pada keadaan diam atau bergerak, dan data yang digunakan meliputi

pseudorange , phase atau phase - smoothed *pseudorange*. Metode pengukuran ini diaplikasikan dalam kegiatan survei dan pemetaan , survei geodetik , dan navigasi presisi (Wahyono et al., 2019).

Sistem DGPS atau *Sistem Differential Global Positioning System* merupakan sistem penentuan posisi global diferensial yang menggunakan data *pseudorange* dan mengirimkan koreksi diferensial dalam *real time*. Sistem ini memiliki ketelitiannya antara satu hingga tiga meter (Wahyono et al., 2019).



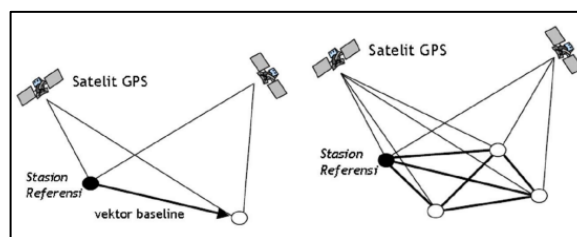
Gambar 2.4. Penentuan Posisi *Differential*
(Sumber : Wahyono, 2019)

c. Metode *Static*

Metode pengukuran ini memungkinkan titik untuk tetap diam. Untuk melakukan pengamatan secara *absolute* atau diferensial, pseudorange atau fase dapat digunakan, yang kemudian diolah setelah pengamatan (*post-process*). Metode ini digunakan untuk menentukan titik kontrol dalam survei pemetaan dan geodetik, dengan ketelitian dan gangguan yang cukup tinggi yang mencapai kisaran milimeter hingga centimeter. (Wahyono et al., 2019).

Metode pengukuran statik singkat ini dilakukan dengan sesi pengamatan yang lebih singkat, yang berlangsung antara lima dan dua puluh menit. Meskipun prosedur pengumpulan data di lapangan hampir sama dengan pengukuran statik konvensional, jangka waktu pengamatan tergantung pada panjangnya *baseline*, jumlah satelit yang ter rekam, dan geometri pada satelit. Pengamatan ini menggunakan metode diferensial dengan data fase. Syarat utamanya sendiri yaitu menemukan ambiguitas fase secara cepat, yang

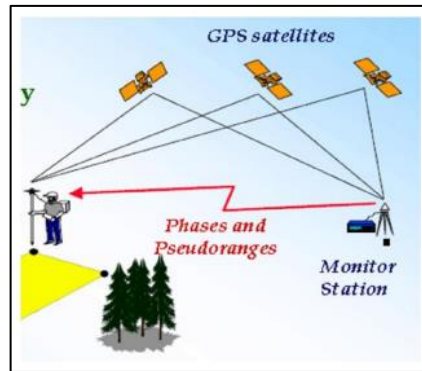
membutuhkan software pemroses data GNSS yang canggih. Pengukuran lapangan membutuhkan geometri satelit yang baik, lingkungan yang tidak banyak multipath, dan tingkat kesalahan data yang relatif rendah. Diharapkan perangkat yang digunakan juga mendukung data dua frekuensi. Ketelitian relatif untuk posisi titik yang diukur dalam skala sentimeter. Survei pemetaan dengan tingkat ketelitian yang tidak terlalu tinggi, perapatan titik, dan survei lainnya menggunakan metode pengukuran statik singkat ini (Wahyono et al., 2019).



Gambar 2.5. Metode Pengukuran Statik
(Sumber : Abidin, 1994)

d. Metode Kinematik

Metode pengukuran kinematik ini akan mengidentifikasi posisi titik dalam keadaan bergerak. GNSS dapat digunakan untuk mengukur kecepatan, percepatan, dan ketinggian selain menentukan posisi. Dengan data *pseudorange* atau fase, pengamatan ini dapat dilakukan secara *absolute* maupun diferensial. Baik selama pengamatan maupun setelah pemrosesan data, hasil penentuan posisi dapat diperoleh secara *real-time*. Dibutuhkan komunikasi data antara stasiun referensi dan penerima yang bergerak untuk pengamatan diferensial secara *real-time*. Untuk menemukan posisi kinematik dengan ketelitian tinggi, data fase harus digunakan dengan cepat untuk mengidentifikasi ambiguitas fase. Navigasi, pemantauan (*surveillance*), fotogrametri udara, survei hidrografi, dan bidang lain biasanya metode yang digunakan adalah dari kinematik ini.



Gambar 2.6. Pengukuran Kinematik *post-proses* dan *real-time*
(Sumber : Wahyono, 2019)

e. Metode Pengukuran RTK (*Real Time Kinematic*)

Survei dengan metode RTK melibatkan *base station* dan *rover station*, dimana antena *receiver* pada *base station* tidak berubah diposisi yang sama selama pengukuran berlangsung, sedangkan receiver yang berfungsi sebagai *rover* dipindahkan sesuai kebutuhan untuk penentuan posisi yang direncanakan. Selama pengukuran, receiver penerima pada *base station* dan *rover station* harus terus menerima sinyal GPS. Sampai saat ini, survei GPS dengan metode RTK sangat sering digunakan untuk pekerjaan pemetaan. Koreksi diferensial dikirim dari *base station* ke *rover station* melalui protokol RTCM. Contoh perangkat keras pengamatan RTK ditunjukkan pada gambar 2.7.



Gambar 2.7. perangkat (kiri) *base* dan (kanan) *rover station*
RTK-GPS

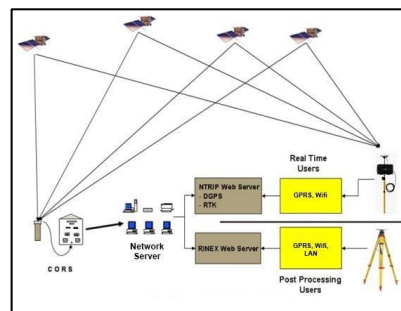
Dalam pengukuran GPS menggunakan metode RTK, masalah utama adalah kualitas, kemampuan pada penerimaan hasil koreksi diferensial, dan jarak antara *base station* dan *rover station*.

Sistem RTK (*Real-Time Kinematic*) adalah metode penentuan posisi secara *real-time* yang bersifat diferensial dengan menggunakan data fase. Sistem ini dapat digunakan untuk menentukan posisi objek yang diam maupun bergerak. Agar dapat memenuhi kebutuhan ini secara *real-time*, monitor stasiun harus mengirimkan data. Biasanya, ketelitiannya berkisar antara 1 hingga 5 cm. *Staking out*, survei kadaster, survei pertambangan, dan navigasi dengan ketelitian tinggi adalah beberapa aplikasi utama teknik ini (Wahyono et al., 2019).

f. Metode Pengukuran *Cors*

CORS pada umumnya digunakan untuk berbagai kebutuhan praktis dalam bidang rekayasa. Teknologi CORS berkembang sebagai respon terhadap keterbatasan metode RTK, khususnya terkait penurunan kualitas koreksi diferensial seiring bertambahnya jarak dan waktu yang dibutuhkan untuk akuisisi data, terutama saat melakukan pengaturan *receiver* di *base station*.

Maunder, 2007 menyarankan agar CORS dapat diaktifkan melalui satu atau lebih stasiun referensi GNSS yang beroperasi 24 jam sehari. Sistem CORS terdiri dari teknologi penentuan posisi, teknologi manajemen, teknologi komputer modern, dan teknologi Internet. Sistem secara otomatis menyelesaikan diversifikasi data observasi satelit GNSS (fase pembawa dan pseudorange), koreksi diferensial, informasi status, dan berbagai informasi terkait GNSS (Roberts, 2005). Teknologi CORS secara diagramatis dapat dilihat seperti pada gambar berikut.



Gambar 2.8. Konsep Satu Sistem CORS
(Sumber : Manurung et al., 2019)

Sebagai *base station* teknologi CORS terdiri dari (Maunder,2007):

- *Fixed station*
- *Temporary station.*

Fixed station atau stasiun yang ditetapkan pada dasarnya diaplikasikan pada suatu bangunan yang secara permanen dapat digunakan atau memenuhi syarat utama sebagai stasiun aktif untuk CORS. Sedangkan *Temporary station* atau stasiun sementara umumnya ditempatkan pada bangunan yang dapat dipindah atau tidak digunakan lagi sebagai stasiun *base* karena berbagai pertimbangan administratif dan teknis (Wahyono et al., 2019).

2.4 Fotogrametri Dengan *Drone*

Fotogrametri adalah seni, sains, dan teknologi yang digunakan untuk mengumpulkan informasi metrik tentang objek fisik dan kondisi permukaan bumi melalui proses perekaman, pengukuran, dan interpretasi gambar fotografi. Foto udara yang diambil dari pesawat atau kendaraan lain sering menjadi subjek gambar fotografi ini (Wicaksono, 2009).

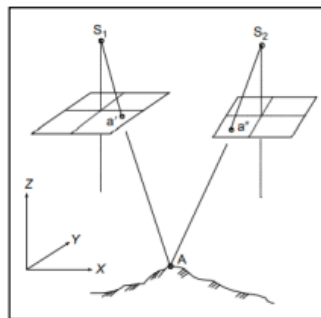
Hasil dari proses fotogrametri, yang dapat berupa peta garis atau peta foto. Berbagai kegiatan perencanaan dan desain biasanya menggunakan peta-peta ini, termasuk pembangunan jalan raya, jalan kereta api, jembatan, jalur pipa, tanggul, jaringan listrik, jaringan telepon, bendungan, pelabuhan, dan pembangunan kota. Foto udara menghasilkan peta foto, tetapi peta ini tidak dapat digunakan sebagai dasar atau lampiran dalam penerbitan peta resmi (Wicaksono, 2009).



Gambar 2.9. Drone DJI Phantom 4

Prinsip dasar fotogrametri adalah memanfaatkan sepasang stereo gambar (atau hanya pasangan stereo) untuk merekonstruksi bentuk asli objek 3-D, yaitu untuk membentuk model stereo, dan kemudian mengukur koordinat 3-D objek di model stereonya. Pasangan stereo mengacu pada dua gambar dari pemandangan yang sama yang difoto di dua tempat yang sedikit berbeda sehingga mereka memiliki tingkat tumpang tindih tertentu, hanya di area yang tumpang tindih yang bisa direkonstruksi model 3-D.

Dalam fotografi udara, umumnya terdapat 60% tumpang tindih dalam arah terbang dan 30% antara jalur penerbangan. Setiap foto ditandai dengan enam elemen orientasi, tiga elemen sudut (satu untuk masing-masing sumbu X, Y, dan Z). Setiap dua gambar dengan tumpang tindih dapat digunakan untuk menghasilkan stereo model, foto udara digunakan sebagai ilustrasi, karena lebih banyak digunakan untuk akuisisi data DTM. Berikut adalah prinsip dasar fotogrametri analog dan ditunjukkan pada gambar 2.3



Gambar 2.10. Prinsip dasar fotogrametri
(sumber : Kenemans & Ramsey, 2013)

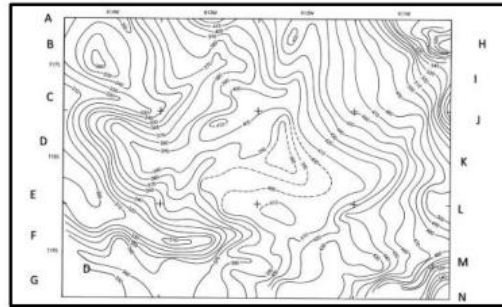
Gambar 2.10 menunjukkan ilustrasi model stereo dengan memproyeksikan titik gambar dari pasangan stereo, bayangkan foto kiri dan kanan sepasang stereo diletakkan di dua proyektor yang identik dengan kamera yang digunakan untuk fotografi, dan posisinya serta orientasi kedua proyektor ini dikembalikan ke situasi yang sama seperti saat kamera mengambil dua foto. Kemudian, sinar cahaya diproyeksikan dari keduanya foto melalui dua proyektor akan berpotongan di udara untuk membentuk model 3-D (yaitu model stereo) dari objek pada foto (Kenemans & Ramsey, 2013).

2.5 Topografi

Pemetaan topografi adalah pemetaan permukaan bumi fisik yang menghasilkan garis kontur, dimana garis kontur menunjukkan elemen relief. Peta memiliki skala antara 1:500 dan 1:250.000, dan interval garis kontur berkisar antara 0,25 dan 125 meter. Pengukuran untuk kerangka kontrol peta dan detail adalah salah satu dari banyak tahapan dalam proses pemetaan topografi. Selain itu, pengukuran kerangka kontrol peta terbagi antara kerangka kontrol horizontal dan kerangka kontrol vertical; yang pertama menunjukkan koordinat (x, y), dan yang kedua menunjukkan kordinat z, atau elevasi tanah (Purwohardjo, 1989).

Pada dasarnya, pengukuran topografi adalah pengukuran yang dilakukan terhadap penampilan topografi, baik karena bentukan alam maupun bentukan manusia, dan kemudian digambarkan ke dalam gambar dua dimensi. Pengukuran ini dapat mencakup pengukuran sudut horizontal dan vertikal, jarak, beda tinggi, dan azimuth terhadap objek yang diamati (Departemen Pekerjaan Umum Badan Pembinaan Kontruksi dan Sumber Daya Manusia, 2005).

Topografi adalah perbedaan tinggi atau bentuk suatu wilayah, termasuk perbedaan bentuk lereng dan kecuraman. Pengukuran topografi juga dilakukan di bidang penggalian dan penimbunan tanah. Penggalian dan penimbunan tanah merupakan salah satu bidang pekerjaan yang erat kaitannya dengan perhitungan volume karena berhubungan dengan volume tanah yang dibutuhkan untuk digali atau ditimbun sesuai dengan rencana proyek. (purwati, 2020). Peta topografi menggunakan garis kontur, yaitu garis yang membatasi bidang di mana titik-titik dengan ketinggian sama berada di bidang referensi acuan tertentu, untuk memberikan informasi umum tentang keadaan permukaan tanah serta ketinggiannya (Rostianingsih et al., 2004)



Gambar 2.11. Peta Topografi

2.6 Titik Kontrol (GCP/ICP)

Titik kontrol tanah terdiri dari dua jenis, yaitu *ground control point* (GCP) dan *independent check point* (ICP). GCP merupakan titik di tanah yang memiliki koordinat yang diketahui dan digunakan sebagai acuan dalam proses *bundle block adjustment*. Sedangkan ICP merupakan titik di tanah yang juga memiliki koordinat yang diketahui dan digunakan untuk menguji produk yang dihasilkan dari proses pemetaan.

Dalam penggunaan teknologi fotogrametri pengukuran dapat dilakukan dengan metode pengukuran statis maupun kinematik, tergantung pada kondisi lapangan dan kebutuhan ketelitian yang diinginkan. Selain menggunakan GNSS, pengukuran juga dapat dilakukan dengan metode pengukuran konvensional seperti trigonometri atau penunjukan langsung menggunakan alat ukur geodetik. Penting untuk menjaga konsistensi dan akurasi pengukuran titik kontrol tanah agar hasil akhir dari proses fotogrametri dapat diandalkan dan akurat (BIG, 2020).

2.7 Ketentuan Titik Persebaran GCP dan ICP

Identifikasi Titik Kontrol dan Titik Uji Akurasi pada dasarnya merupakan langkah pertama dalam proses menentukan bagaimana titik kontrol dan titik uji didistribusikan secara merata dengan komposisi yang ideal sesuai dengan area pekerjaan (Petunjuk Teknis, Pembuatan Peta Kerja Dengan Menggunakan Pesawat Nirawak/Drone, 2017).

a. Titik Kontrol Tanah

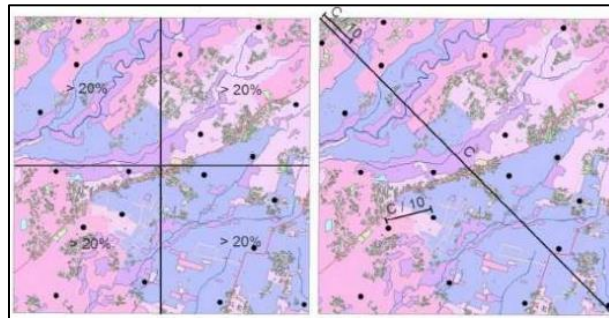
Sebagai bagian dari proses koreksi gambar orthorektifikasi, lokasi ini berfungsi sebagai titik kontrol tanah. Persyaratan untuk menyebarkannya adalah sebagai berikut:

- Setiap sisi area citra.
- Pada pusat area.
- Pada batas citra.
- Terdistribusi secara merata diseluruh area citra.
- Menyesuaikan kondisi tanah.

b. Titik Uji Akurasi

Titik Kontrol yang difokuskan untuk digunakan dalam menilai hasil orthorektifikasi. Syarat untuk persebaran ICP adalah sebagai berikut :

- Obyek titik uji harus tersebar merata di seluruh area yang akan diuji.
- Jumlah titik uji minimal dengan nilai 20% dari total titik uji pada setiap kuadran.
- Jarak dari diagonal area yang diuji minimal 10% yang diilustrasikan pada gambar 2.12.



Gambar 2.12. Distribusi dan Jarak Ideal Antar Titik

(Sumber : Petunjuk Teknis, Pembuatan Peta Kerja Dengan Menggunakan Pesawat Nirawak/Drone, 2017)

Untuk mendapatkan tingkat kepercayaan 90% ditunjukkan pada tabel 2.1.

Tabel 2.1. Jumlah daripada titik uji akurasi berdasarkan luas area pengukuran.

Luas area (km)	Jumlah titik uji untuk ketelitian horizontal	Jumlah uji untuk ketelitian vertikal		
		Area non-vegetasi	Area Vegetasi	total titik
< 250	12			
250 – 500	20	20	5	25
501 – 750	25	20	10	30
751 – 1000	30	25	15	40
1001 – 1250	35	30	20	50
1251 – 1500	40	35	25	60
15001 – 1750	45	40	30	70
1751 – 2000	50	45	35	80
2001 – 2250	55	50	40	90
2251 – 2500	60	55	45	100

2.8 Digital Terrain Model (DTM)

DEM terdiri dari DSM (*Digital Surface Model*) dan DTM (*Digital Terrain Model*). DEM terdiri dari kumpulan titik-titik elevasi *ground point* dari *point cloud* representasi statistik permukaan tanah secara kontinu dengan banyak titik yang memiliki koordinat X, Y, dan Z. Sementara DTM merepresentasikan ketinggian permukaan tanah yang hanya menggambarkan permukaan topografi, DSM merepresentasikan ketinggian semua objek di atas permukaan bumi, termasuk vegetasi dan struktur (Martiana et al., 2017).

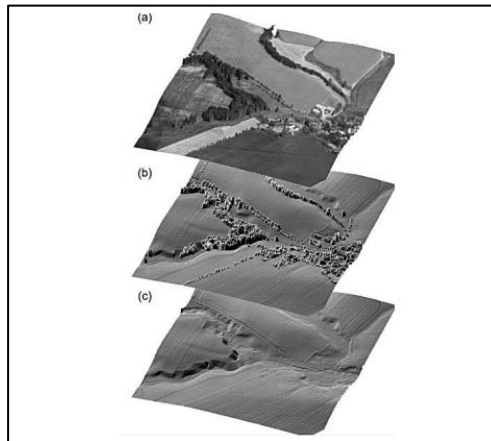
Pemodelan bentuk relief medan menggunakan DTM merupakan salah satu fungsi analisis dan visualisasi Sistem Informasi Geografis (GIS). DTM adalah suatu bentuk pemodelan yang berhubungan dengan tipe data raster (berkebalikan dari tipe data vektor), biasanya disimpan sebagai serangkaian kotak dengan grid yang berjarak sama (Mark 1975).

Keakuratan suatu DEM, atau selisih antara nilai tinggi titik (Z) yang diberikan DEM dengan nilai sebenarnya yang dianggap tepat, merupakan salah satu cara untuk menilai kualitasnya. Di sisi lain, *precision*, yang merupakan jumlah data yang dapat diberikan oleh DEM, bergantung pada *accuracy* dari input dan *sample points*, serta metode interpolasi yang digunakan untuk mendapatkan data tersebut.

Karena permukaan bumi terdiri dari jumlah titik yang tidak terhitung, metode pengambilan sampel harus digunakan untuk mengekstrak titik-titik

sampel yang mewakili permukaan, titik-titik ini kemudian dapat digunakan untuk membangun model permukaan yang mendekati permukaan sebenarnya, jenis model permukaan untuk sampel harus :

1. Secara akurat mewakili permukaan.
2. Cocok untuk pengumpulan data yang efektif.
3. Minimalkan persyaratan penyimpanan data.
4. Cocok untuk analisis permukaan.
5. Memaksimalkan efisiensi penanganan data (El-Sheimy et al., 2005).



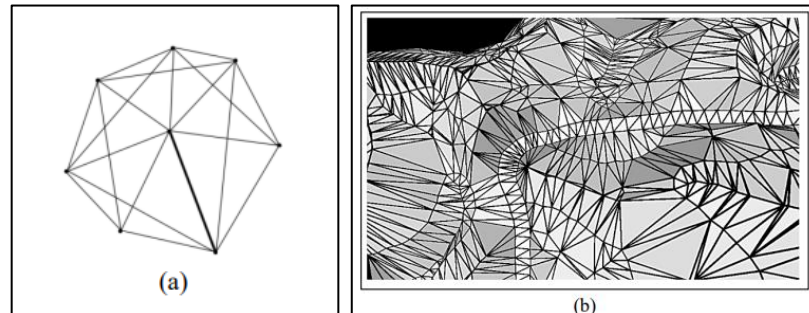
Gambar 2.13. Model Elevasi Digital
(a) Foto udara, (b) DSM, (c) DTM
(sumber : Kenemans et al., 2013)

2.9 *Triangular Irregular Network (TIN)*

Model data topologi berbasis vektor *Triangulated Irregular Network (TIN)* menunjukkan hubungan antara segitiga tidak beraturan yang saling berhubungan. (Wardana, 2018). Masing-masing segitiga memiliki nilai koordinat x , y , dan elevasi (z).

Untuk membentuk TIN, ada dua pilihan penggunaan titik data. Yang pertama adalah mempertimbangkan semua data untuk membentuk jaringan secara keseluruhan. Ini adalah pendekatan batch (atau statis) untuk triangulasi Delaunay pada sekumpulan titik data. Alternatifnya adalah dengan memperbolehkan penambahan atau penghapusan titik pada saat proses triangulasi. Ini adalah proses yang dinamis dan oleh karena itu disebut triangulasi dinamis, karena modifikasi terhadap struktur dapat dilakukan tanpa harus merekonstruksi seluruh jaringan setiap saat. Perlu dicatat bahwa

“dinamis” tidak berarti bahwa titik-titik tersebut dianggap bergerak — ini merupakan sifat lain, yang biasanya dikenal sebagai kinetik (Guibas et al. 1991).



Gambar 2.14. *Triangular Irregular Network* (a) Visualisasi TIN, (b) Pemodelan TIN
(sumber : Li et al., 2004)

2.10 Uji Akurasi DTM

Permukaan DTM adalah representasi 3-D dari permukaan medan, beberapa kesalahan akan hadir di masing-masing dari tiga dimensi spasial (X,Y,Z) yaitu koordinat titik-titik pada permukaan DTM. Koordinat (X,Y) digabungkan untuk memberikan kesalahan planimetri (horizontal) dan koordinat (Z) yaitu kesalahan elevasi/ ketinggian (vertikal). Penilaian akurasi DTM dapat dilakukan dalam dua mode yang berbeda, yaitu :

1. akurasi planimetri dan akurasi ketinggian dapat dinilai secara terpisah
2. keduanya dapat dinilai secara bersamaan.

Ada beberapa faktor yang mempengaruhi akurasi DTM seperti kekasaran permukaan medan, interpolasi dan ketiga atribut sumber data (distribusi, akurasi dan densitas). Kekasaran permukaan medan menentukan kesulitan representasi dan rekonstruksi DTM.

2.10.1 Uji Akurasi Ketelitian Peta

Keakuratan Peta Bumi Indonesia (RBI) diuji dengan Peraturan Kepala Badan Informasi Geospasial (BIG) Nomor 15 Tahun 2014. Sesuai Peraturan Kepala BIG No. 15 Tahun 2014, Ketelitian geometri peta didasarkan pada persyaratan berikut :

Tabel 2.2 Ketelitian Geometri Peta RBI

No.	Skala	Interval kontur (m)	Ketelitian Peta RBI					
			Kelas 1		Kelas 2		Kelas 3	
			Horizontal (CE90) (m)	Vertikal (LE90) (m)	Horizontal (CE90) (m)	Vertikal (LE90) (m)	Horizontal (CE90) (m)	Vertikal (LE90) (m)
1	1:1.000.000	400	200	200	300	300,00	500	500,00
2	1:500.000	200	100	100	150	150,00	250	250,00
3	1:250.000	100	50	50	75	75,00	125	125,00
4	1:100.000	40	20	20	30	30,00	50	50,00
5	1:50.000	20	10	10	15	15,00	25	25,00
6	1:25.000	10	5	5	7,5	7,50	12,5	12,50
7	1:10.000	4	2	2	3	3,00	5	5,00
8	1:5.000	2	1	1	1,5	1,50	2,5	2,50
9	1:2.500	1	0,50	0,50	0,75	0,75	1,25	1,25
10	1:1.000	0,40	0,20	0,20	0,30	0,30	0,50	0,50

Nilai ketelitian pada setiap kelas diperoleh melalui ketentuan seperti pada tabel 2.3.

Tabel 2.3 Ketentuan Ketelitian Geometri Peta RBI Berdasarkan Kelas

Ketelitian	Kelas 1	Kelas 2	Kelas 3
Horizontal	0.2 mm x bilangan skala	0.3 mm x bilangan skala	0.5 mm x bilangan skala
Vertikal	0.5 x interval kontur	1.5 x ketelitian kelas 1	2.5 x ketelitian kelas 1

Kesalahan posisi peta dasar tidak boleh melebihi nilai ketelitian dengan tingkat kepercayaan 90%. Nilai ketelitian posisi peta dasar CE90 dan LE90 untuk ketelitian horizontal dan vertikal ditunjukkan pada Tabel 2.3. Nilai-nilai ketelitian ini dapat diperoleh dengan persamaan yang didasarkan pada standar ketelitian nasional Amerika Serikat (US NMAS), yang diterbitkan pada Peraturan Kepala BIG No.15 tahun 2014 :

$$CE90 = 1.5175 \times RMSEr \dots \dots \dots (2.1)$$

$$LE90 = 1.6499 \times RMSEz \dots \dots \dots (2.2)$$

Dengan :

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

RMSEz : Pada posisi z (vertikal) *Root Mean Square Error*

Uji ketelitian posisi dilakukan sampai diperoleh tingkat kepercayaan peta kesalahan *circular* 90%. Ini dilakukan dengan menggunakan titik uji yang memenuhi persyaratan. Berikut adalah contoh titik uji:

1. Dapat diidentifikasi jelas di lapangan dan pada peta untuk diuji.
2. Merupakan tembok bangunan ataupun obyek yang tidak berubah bentuk dalam jangka waktu tertentu.
3. Memiliki sebaran merata pada area yang diuji.

Uji ketelitian posisi mengacu pada perbedaan koordinat (X,Y) antara titik uji yang ditampilkan pada gambar atau peta dengan letak titik uji sebenarnya di lapangan. Untuk mengukur akurasi digunakan *root mean square error* (RMSE) atau *Circular Error*. dalam pemetaan dua dimensi yang perlu diperhitungkan adalah koordinat (X,Y) dari titik uji dan posisi sebenarnya. RMSE dihitung menggunakan persamaan tertentu.

$$RMSE_{horizontal} = \sqrt{D^2 / n} \dots\dots\dots (2.3)$$

$$D^2 = \sqrt{RMSE_x^2 + RMSE_y^2}$$

$$n^2 = \sqrt{\frac{D[(X_{data} - X_{cek})^2 + (Y_{data} - Y_{cek})^2]}{n}}$$

Dengan :

n = Jumlah total pengecekan pada peta .

D = Selisih antara koordinat yang diukur dilapangan dengan koordinat di peta .

x = Nilai koordinat pada sumbu X .

y = Nilai koordinat pada sumbu Y .

Kemudian persamaan digunakan untuk menghitung nilai CE90.

Nilai ini akan disesuaikan dengan kelas peta pada skala yang dipilih.

2.10.2 Uji Akurasi *Digital Terrain Model* (DTM)

Ada dua parameter utama untuk menilai akurasi penggambaran peta adalah akurasi ketelitian horizontal dan vertikal, menurut Peraturan Kepala Badan Informasi Geospasial Nomor 15 Tahun 2014. Tingkat ketelitian geometrik horizontal diukur dengan radius lingkaran yang menunjukkan 90%

kesalahan atau perbedaan posisi horizontal objek pada peta dibandingkan dengan posisi sebenarnya tidak melebihi radius tersebut. Perhitungan kesalahan lingkaran 90% (CE90) dikenal sebagai akurasi horizontal. Sementara itu, akurasi vertikal mengukur tingkat ketelitian vertikal (ketinggian) geometrik dan ditampilkan sebagai jarak di mana 90% adalah tingkat kesalahan atau selisih nilai ketinggian objek pada peta dibandingkan dengan nilai ketinggian sebenarnya tidak melebihi jarak tersebut, yang disebut sebagai perhitungan kesalahan linear 90% (LE90). (Dokumen Peraturan Badan Informasi Geospasial Nomor 6 Tahun 2018, n.d.).

CE90 dan LE90 dihitung menggunakan rumus yang mengikuti standar US NMAS (United States National Map Accuracy Standards) sebagai berikut:

$$CE90 = 1.5175 \times RMSEr \dots\dots\dots(2.4)$$

$$LE90 = 1.6499 \times RMSEz \dots\dots\dots(2.5)$$

Dengan :

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

RMSEz : *Root Mean Square Error* untuk posisi z (vertikal)

rumus RMSE (Root Mean Square Error) untuk akurasi vertikal dapat dilakukan persamaan sebagai berikut :

$$RMSEz = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (z_i - z_j)^2}{N}} \dots\dots\dots(2.6)$$

Dimana :

RMSEz = *Root Mean Square Error pada posisi z* (vertikal)

Zj = koordinat Z (tinggi) dari DTM hasil proses filtering

Zi = koordinat Z (tinggi) dari DTM yang memiliki akurasi yang lebih tinggi

N = Jumlah titik

2.10.3 Uji Statistik

Dalam setiap pengukuran terdapat kesalahan yang harus diperhitungkan. Oleh karena itu, perlu dilakukan pengujian statistik terhadap seluruh data pengamatan untuk mengetahui apakah hasil pengamatan di lapangan

mengandung kesalahan yang signifikan atau tidak. Dalam penelitian ini, pengujian statistik dilakukan dengan menggunakan uji normalitas dan uji distribusi F. Berikut penjelasan mengenai jenis uji statistik :

A. Uji Distribusi F

Uji statistik dengan metode distribusi F (Fisher) dilakukan untuk menguji nilai varian dari dua populasi yang sama. Uji ini menggunakan tabel distribusi Fisher dua sisi (two tailed), yang bertujuan untuk mengevaluasi signifikansi perbedaan sampel pertama dan kedua. Berikut ini persamaan untuk kriteria pengujian distribusi F (Ghilani, 2006) :

$$F = \frac{s_1^2}{s_2^2} \dots\dots\dots(2.7)$$

Pada rumus 2.6 nilai distribusi F merupakan hasil dari pembagian nilai varian variabel pertama dengan variabel kedua, Dalam pengujian ini dibuat hipotesa sebagai berikut :

$$H_0: \frac{s_1^2}{s_2^2} = 1 \quad \text{atau} \quad H_a: \frac{s_1^2}{s_2^2} \neq 1$$

$$F > F_{\alpha/2, v_1, v} \dots\dots\dots(2.8)$$

Keterangan :

- F = nilai distribusi F
- s_1^2 = varian sampel data pertama
- s_2^2 = varian sampel data pertama
- v_1, v_2 = nilai degree of freedom

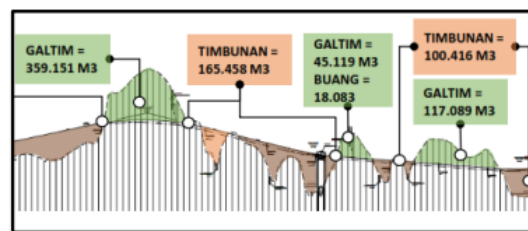
Berdasarkan ketentuan persamaan uji hipotesa untuk distribusi F dengan tingkat kepercayaan 95% (0.05), artinya nilai H_0 diterima jika $F \text{ hitung} > F \text{ tabel}$, maka sampel data uji tidak memiliki perbedaan secara signifikan dan sebaliknya nilai H_0 ditolak jika $F \text{ hitung} < F \text{ tabel}$, maka sampel data uji memiliki perbedaan signifikan.

2.11 Perhitungan Volume *Cut and Fill*

Pengukuran volume secara langsung jarang dilakukan dalam bidang survei tanah, karena sulit untuk menerapkan satuan yang tepat pada material yang ada, oleh karena itu diterapkan pengukuran tak langsung untuk

memperoleh pengukuran volume. Volume diperoleh dari Digital Terrain model (DTM) yang dibentuk oleh jaringan segitiga (TIN), yang membentuk geometri prisma dari dua permukaan. Metode perhitungan volume galian dan timbunan menggunakan prinsip *cut and fill* dilakukan berdasarkan pengukuran luas dari dua penampang serta jarak antara penampang atas dan penampang bawah. Setelah memperoleh data penampang atas dan penampang bawah, luas dari kedua penampang dapat dihitung (Purwati, 2020).

Ada dua jenis permukaan yang digunakan, yaitu permukaan desain (*design surface*) dan permukaan dasar (*base surface*). Permukaan desain adalah permukaan yang volumenya akan dihitung, sementara permukaan dasar berfungsi sebagai alas. Berikut ialah ilustrasi perhitungan volume pada DTM :



Gambar 2.15. Metode perhitungan cut and fill
(Sumber : Setiawan, 2022)

Terdapat beberapa faktor yang dapat mempengaruhi hasil perhitungan volume pada data DTM yaitu :

1. Resolusi spasial data DTM, semakin tinggi resolusi data maka semakin tinggi pula ketelitian perhitungan volume.
2. Kualitas data input, seperti kesalahan pengukuran, perbedaan datum, dan lainnya.
3. Metode interpolasi yang digunakan, metode yang tepat dan sesuai dengan kondisi data akan memberikan hasil perhitungan volume yang lebih akurat.
4. Keakuratan posisi titik pengukuran, titik pengukuran yang salah akan mempengaruhi hasil perhitungan volume.

Dalam proses perhitungan volume, *software* atau algoritma yang digunakan harus sesuai dengan standar yang ditentukan.

Perbandingan volume pada metode yang diterapkan dihitung dengan cara mengurangi hasil metode yang digunakan dari hasil perhitungan asli atau yang dianggap benar, kemudian membagi selisih tersebut dengan volume yang dianggap benar, dan menyatakan dalam bentuk persentase (Lama, 2019). Toleransi adalah batas yang diizinkan atau diperbolehkan, dan dalam penelitian ini toleransi yang diterima adalah $\pm 2.78\%$ sesuai pada spesifikasi yang ditetapkan oleh ASTM (*American Standard Testing and Material*). Analisis hasil dilakukan dengan membandingkan presentase perbedaan terhadap toleransi perhitungan.