

**PEMETAAN KEMAJUAN PENAMBANGAN NIKEL LATERIT DI PT. CITRA
LAMPIA MANDIRI KABUPATEN LUWU TIMUR PROVINSI SULAWESI
SELATAN**



**DIKY DARMAWAN
H061 19 1021**



**PROGRAM STUDI GEOFISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2024**

**PEMETAAN KEMAJUAN PENAMBANGAN NIKEL LATERIT DI PT. CITRA
LAMPIA MANDIRI KABUPATEN LUWU TIMUR PROVINSI SULAWESI
SELATAN**

**DIKY DARMAWAN
H061 19 1021**



**PROGRAM STUDI GEOFISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2024**

**PEMETAAN KEMAJUAN PENAMBANGAN NIKEL LATERIT DI PT. CITRA
LAMPPIA MANDIRI KABUPATEN LUWU TIMUR PROVINSI SULAWESI
SELATAN**

**DIKY DARMAWAN
H061 19 1021**

Skripsi

sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar sarjana

Program Studi Geofisika

pada

**PROGRAM STUDI GEOFISIKA
DEPARTEMEN GEOFISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2024**

SKRIPSI
PEMETAAN KEMAJUAN PENAMBANGAN NIKEL LATERIT DI PT. CITRA
LAMPIA MANDIRI KABUPATEN LUWU TIMUR PROVINSI SULAWESI
SELATAN

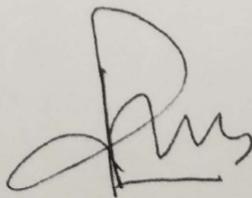
DIKY DARMAWAN
H061 19 1021

Skripsi,

telah dipertahankan di depan Panitia Ujian Sarjana Program Studi Geofisika pada 30
September 2024 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan
pada

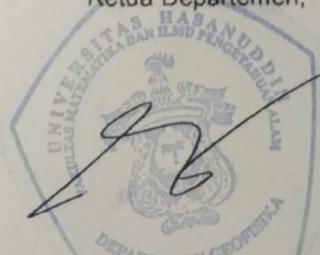
Program Studi Geofisika
Departemen Geofisika
Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Hasanuddin
Makassar
2024

Mengesahkan:
Pembimbing Utama,



Prof. Dr. Ir. Muh. Altin Massinai, M.T. Surv. IPM
NIP. 196406161989031006

Mengetahui:
Ketua Departemen,



Dr. Muh. Alimuddin Hamzah Assegaf, M.Eng.
NIP. 19709291993031003

**PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI
DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA**

Dengan ini saya menyatakan bahwa, skripsi berjudul "Pemetaan Kemajuan Penambangan Nikel Laterit di PT. Citra Lampia Mandiri Kabupaten Luwu Timur Provinsi Sulawesi Selatan" adalah benar karya saya dengan arahan dari pembimbing Prof. Dr. Ir. Muh. Altin Massinai, MT, Surv. IPM sebagai Pembimbing Utama. Karya ilmiah ini belum diajukan dan tidak sedang diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka skripsi ini. Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan skripsi ini adalah karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut berdasarkan aturan yang berlaku.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta (hak ekonomis) dari karya tulis saya berupa skripsi ini kepada Universitas Hasanuddin.

Makassar, 30 September 2024



Diky Darmawan
H06191021

UCAPAN TERIMA KASIH

Tiada kata yang paling indah selain puji dan rasa syukur kepada Allah SWT, yang telah menentukan segala sesuatu berada di tangan-Nya. Alhamdulillah atas hidayah dan inayah-Nya, penulis dapat menyelesaikan penyusunan Skripsi ini yang berjudul: **“Pemetaan Kemajuan Penambangan Nikel Laterit di PT. Citra Lampia Mandiri Kabupaten Luwu Timur Provinsi Sulawesi Selatan”** yang merupakan syarat dalam rangka penyelesaian studi untuk menempuh gelar Sarjana Sains di Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin Kota Makassar.

Skripsi ini dapat terampungkan atas bimbingan, diskusi dan arahan dari dosen pembimbing, bapak **Prof. Dr. Ir. Muh. Altin Massinai, MT, Surv. IPM** serta dosen penguji Bapak **Sabrianto Aswad, S.Si, MT** dan Bapak **Dr. Muh. Taufiq Rafie, S.Si, MT**. penulis mengucapkan terima kasih atas ilmu, arahan, koreksi dan sarannya yang telah membuat penulis menjadi lebih banyak pengetahuan. Penghargaan yang tinggi juga penulis sampaikan kepada Kak **Afni**, Pak **Leonardo**, Pak **Anca**, Pak **Armal**, Pak **Slamet**, **Fahri**, Pak **Hamzah**, Pak **Agung**, Pak **Hamsah**, Pak **Umar**, Pak **Asis**, **Arya**, Kak **Mandala** Serta seluruh pegawai PT. Citra Lampia Mandiri yang telah membantu penulis dalam pengambilan data penelitian yang telah banyak memberikan bantuan serta meluangkan waktu untuk membimbing.

Selanjutnya penulis haturkan terima kasih yang setulus-tulusnya kepada Ayahanda **Suardi** dan Ibunda **Jumrah** tercinta yang senantiasa mendoakan dan memberikan semangat yang luar biasa serta memberikan dukungan moral maupun materil dalam mendampingi penulis sehingga mendapatkan kemudahan dalam menyelesaikan tugas akademik tepat pada waktunya. Kepada kakak saya **Fausi Ramadan** terimakasih telah memberi bantuan finansial untuk memenuhi kebutuhan penulis selama proses pengerjaan skripsi ini.

Adanya keberadaan orang sekitar dan teman-teman seperjuangan yang selalu mendukung penulis dalam menyelesaikan skripsi ini. Penulis mengucapkan terima kasih kepada seluruh teman-teman **Geofisika 2019** yang telah memberikan kebersamaan dan semangat kepada penulis dari awal hingga penulis dapat menyelesaikan studi. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada pemilik NIM **15020200020** yang telah membersamai penulis pada hari-hari yang tidak mudah selama proses pengerjaan skripsi ini. Terima kasih telah berkontribusi banyak dalam penulisan skripsi ini, meluangkan baik tenaga, pikiran, materi maupun moril kepada penulis.

Demikian penulis yang tak berhenti bersyukur dan mengucapkan banyak terima kasih kepada semua pihak yang terlibat. Permohonan maaf yang sebesar-besarnya penulis sampaikan atas segala kekeliruan dalam penulis skripsi ini.

Penulis,

Diky Darmawan
H061191021

ABSTRAK

DIKY DARMAWAN. **Pemetaan Kemajuan Penambangan Nikel Laterit di PT. Citra Lampia Mandiri Kabupaten Luwu Timur Provinsi Sulawesi Selatan.** (dibimbing oleh Prof. Dr. Ir. Muh. Altin Massinai, MT, Surv. IPM).

Pemetaan kemajuan tambang penting dilakukan untuk mengevaluasi kegiatan penambangan. Penelitian ini bertujuan untuk memetakan kemajuan penambangan nikel laterit di PT Citra Lampia Mandiri, Kabupaten Luwu Timur, Sulawesi Selatan, selama periode Juni-Juli 2023. Metode yang digunakan meliputi survei lapangan dengan pengukuran menggunakan *Total Station* serta analisis geostatistik untuk memvalidasi perhitungan volume menggunakan uji *Independent Samples T-test* dan prakiraan volume berdasarkan uji stasioneritas *Correlogram*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa presentase kemajuan penambangan pada bulan Juni adalah 82,93%, sedangkan pada bulan Juli mencapai 87,40%. Faktor-faktor seperti kondisi cuaca, material yang keras, dan kerusakan peralatan memengaruhi pencapaian target produksi. Metode prakiraan volume produksi mingguan menggunakan *Single Exponential Smoothing* memberikan variansi data yang lebih kecil di banding 2 metode sebelumnya, dengan standar deviasi residual dan *Mean Percentage Error* yang lebih rendah. Berdasarkan analisis tersebut, maka metode SES dapat dipertimbangkan untuk penentuan prakiraan volume produksi.

Kata Kunci: Kemajuan penambangan, Nikel laterit, PT. Citra Lampia Mandiri, Correlogram, *Forecast*

ABSTRACT

DIKY DARMAWAN. ***Mapping of Laterite Nickel Mining Progress at PT. Citra Lampia Mandiri, East Luwu Regency, South Sulawesi Province.*** (Supervised by Prof. Dr. Ir. Muh. Altin Massinai, MT, Surv. IPM).

Mapping mining progress is crucial for evaluating mining activities. This study aims to map the progress of laterite nickel mining at PT Citra Lampia Mandiri, East Luwu Regency, South Sulawesi, during the period of June-July 2023. The methods used include field surveys with measurements using Total Station and geostatistical analysis to validate volume calculations using the Independent Samples T-test and volume forecasting based on the stationarity test using the Correlogram. The results showed that the mining progress in June was 82.93%, while in July it increased to 87.40%. Factors such as weather conditions, hard materials, and equipment breakdowns affected the achievement of production targets. The weekly production volume forecasting method using Single Exponential Smoothing provided lower data variance compared to the previous two methods, with lower residual standard deviation and Mean Percentage Error. Based on this analysis, the SES method can be considered for future production volume forecasting.

Keywords: *Mining progress, Laterite nickel, PT. Citra Lampia Mandiri, Correlogram, Forecast*

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PERNYATAAN PENGAJUAN	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	iv
UCAPAN TERIMA KASIH	v
ABSTRAK	vi
<i>ABSTRACT</i>	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Dan Manfaat	2
1.2.1 Tujuan	2
1.2.2 Manfaat	2
1.3 Landasan Teori	2
1.3.1 Geomorfologi dan Fisiografi Regional	2
1.3.2 Pemetaan	3
1.3.3 Metode <i>Tachymetry</i>	3
1.3.4 <i>Cut and Fill</i>	4
1.3.5 Geometri Jenjang	10
1.3.6 <i>Truck Count</i>	11
1.3.7 Analisis Geostatistika	11
1.3.8 Metode Prakiraan (<i>Forecast</i>)	13
BAB II METODE PENELITIAN	17
2.1 Lokasi Penelitian	17
2.2 Perangkat penelitian	17
2.3 Tahapan Penelitian	17
2.3.1 Studi Literatur	18
2.3.2 Survei Lapangan	18
2.3.3 Tahap Pengolahan Data	18

2.3.4 Analisis Geostatistika.....	19
2.4 Bagan Alir Penelitian.....	20
BAB III HASIL DAN PEMBAHASAN.....	21
3.1. Hasil.....	21
3.1.1 Kemajuan tambang bulan Juni-Juli.....	21
3.2 Pembahasan.....	22
3.2.1 Kemajuan Tambang.....	22
3.2.2 Perbandingan volume survei dengan <i>Truck Count</i>	24
3.2.3 Metode Prakiraan (<i>Forecasting</i>).....	26
BAB IV.....	32
4.1 Kesimpulan.....	32
4.2 Saran.....	32
DAFTAR PUSTAKA.....	33

DAFTAR TABEL

Nomor urut	Halaman
1. Akurasi Prediksi	16
2. Tabel Kemajuan tambang bulan Juni	21
3. Tabel Kemajuan tambang bulan Juli.....	21
4. Tabel uji Normalitas	24
5. Uji Independent Samples t-test.....	25
6. Tabel prakiraan volume meggunakan metode Moving Average, Weighted Moving Average dan Single Exponential Smoothing.....	28

DAFTAR GAMBAR

Nomor urut	Halaman
1. Metode Tachymetry (Massinai, 2019).....	3
2. Komponen Jaringan Segitiga: (a) Rencana Jaringan; (b) Representasi Tiga Dimensi (Easa, 1989).....	4
3. Model TIN dengan interpolasi linier: data survey titik A, B dan C merupakan tiga titik sudut segitiga pada model TIN dan koordinatnya adalah (x_1, y_1, z_1) , (x_2, y_2, z_2) dan (x_3, y_3, z_3) , Titik P terletak dimana saja di dalam segitiga dan ketinggiannya dapat dihitung dengan fungsi linier yang diberikan pada Persamaan (21) (Fan, 2014).....	7
4. Peta Lokasi penelitian.....	17
5. Crest dan Toe (Dokumentasi pribadi).....	18
6. Bagan alir penelitian (a) Perhitungan presentase kemajuan tambang mingguan (b) Prakiraan volume tertambang	20
7. Grafik Kemajuan Tambang Bulan Juni. Diagram berwarna biru menunjukkan volume aktual yang tercapai setiap minggu dan diagram berwarna oranye menunjukkan target produksi yang ditetapkan untuk setiap minggu.....	22
8. Grafik kemajuan tambang bulan Juli. Diagram berwarna biru menunjukkan volume aktual yang tercapai setiap minggu dan diagram berwarna oranye menunjukkan target produksi yang ditetapkan untuk setiap minggu.....	23
9. Material Iron Cap.....	24
10. Grafik Uji stasioneritas Correlogram. Grafik ini menunjukkan plot autokorelasi (ACF) untuk data deret waktu. Sumbu vertikal mewakili nilai autokorelasi, sedangkan sumbu horizontal mewakili lag. Batang-batang hitam menunjukkan autokorelasi untuk setiap lag, dengan area berwarna biru mewakili interval kepercayaan.....	27
11. Grafik tersebut menampilkan prakiraan volume. Titik berwarna biru adalah prakiraan menggunakan metode Moving Average. Titik berwarna hijau adalah prakiraan volume menggunakan metode Weighted Moving Average. Titik berwarna merah adalah prakiraan menggunakan metode Single Exponential Smoothing. Garis hitam menunjukkan volume aktual dari awal Juni hingga awal Agustus 2023. Garis vertikal berwarna biru, hijau dan merah merupakan Error Bar dari standar deviasi residual.....	29
12. Distribusi nilai data residual. (a) Residual Weighted Moving Average. (b) Residual Moving Average. (c) Residual Single Exponential Smoothing. Sumbu X (Horizontal) mewakili interval nilai residual, sumbu Y (Vertikal) mewakili frekuensi dalam setiap rentan nilai	30

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Survei dalam industri pertambangan merupakan kegiatan penting yang mendukung berbagai tahap, termasuk eksplorasi, operasional, dan penutupan tambang. Survei atau pemetaan bertujuan untuk memetakan secara terus-menerus rona atau bentuk permukaan bumi. Hal ini memungkinkan penghitungan volume material yang dipindahkan serta total volume bahan galian yang telah diekstraksi dari cadangan yang belum tergali. Data yang dihasilkan dari survei ini juga digunakan untuk menyusun peta geologi dan topografi yang presisi, berperan penting dalam manajemen sumber daya alam dan perencanaan lingkungan dalam konteks operasi pertambangan (Kurnia, 2015).

Pada kegiatan penambangan, seluruh aktivitasnya terjadi di atas permukaan bumi, seperti kegiatan pembersihan Top Soil, pengupasan *Overburden* (OB), dan penggalian Ore. Kegiatan penambangan tersebut akan menghasilkan perubahan bentuk topografi pada pit (Suhairi dkk, 2018). Pembersihan Top Soil dan pengupasan OB merupakan tahapan penting sebelum dilakukannya penggalian ore yang bertujuan untuk membuka lahan dan memindahkan lapisan OB hingga mencapai Top Ore. Lapisan Top Soil dan *Overburden* yang telah di tambang dapat di gunakan untuk menutup lubang bukaan tambang dan juga dapat digunakan sebagai bahan untuk Blending untuk mendapatkan kadar yang di inginkan (Kurnia dkk, 2015).

Dalam pekerjaan pertambangan perlu adanya peta yang dapat memberikan informasi tentang keadaan areal tambang yang mencakup informasi tentang rona muka bumi areal tambang tersebut. Biasanya peta ini menjadi peta acuan atau peta dasar dalam proses pertambangan yang ada diperusahaan tambang. Peta acuan ini perlu diperbaharui untuk melakukan pembaruan informasi tentang keadaan tambang yang biasanya disebut dengan peta kemajuan tambang (Susanti, 2022). Kemajuan tambang yaitu perkembangan kegiatan penambangan yang telah dicapai pada periode tertentu. Perkembangan ini berupa perubahan nilai elevasi yang terjadi pada permukaan selama dilakukannya proses penambangan (Hasvah, 2021).

Studi sebelumnya yang relevan dengan penelitian ini telah dilakukan oleh beberapa peneliti. Conoras (2022) menginvestigasi pemetaan kemajuan penambangan di pit Toba III, Provinsi Maluku Utara, dengan menggunakan metode poligon dan pengukuran titik detail untuk mendapatkan posisi planimetris seperti easting, northing, dan elevasi. Penelitian tersebut menghasilkan kesimpulan bahwa volume rata-rata yang tertambang setiap minggunya (April-Mei 2019) adalah sebesar 22.806 m³.

Penelitian lainnya dilakukan oleh Siddiq (2020) yang menggunakan metode cross section untuk mengestimasi kemajuan tambang, dengan membuat garis sayatan dan mengukur jarak antara sayatan awal dan akhir. Studi tersebut menunjukkan bahwa volume cadangan yang berhasil ditambang di lokasi penelitian mencapai 67.873,05 m³, dengan presentase kemajuan tambang dari September hingga April 2020 mencapai

41,88%. Sementara itu, Suhairi (2018) melakukan evaluasi kemajuan tambang bulanan dengan metode survei pada PT XYZ. Penelitian ini mengevaluasi kemajuan tambang berdasarkan luas area, kedalaman, dan volume. Hasilnya menunjukkan bahwa pada periode Mei-Juli 2016, presentase kemajuan tambang berdasarkan luas area berkisar antara 82,23% hingga 133%, kemajuan berdasarkan kedalaman mencapai 84,96% hingga 100%, dan kemajuan berdasarkan volume berkisar antara 65,56% hingga 88,72%.

Berbeda dari ketiga penelitian sebelumnya, studi ini tidak hanya memetakan kondisi topografi, tetapi juga menghitung volume material yang tertambang dengan metode *Cut and Fill* berdasarkan *Digital Terrain Model* serta mengestimasi persentase kemajuan tambang setiap minggu. Selain itu, validasi perhitungan volume dilakukan melalui uji komparasi *Independent Sampels t-test* terhadap data *truck count*. Penelitian ini juga menerapkan uji Correlogram dan memperkirakan volume material yang akan tertambang di masa depan.

1.2 Tujuan Dan Manfaat

1.2.1 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui presentase kemajuan tambang berdasarkan volume material *Overburden* yang telah tertambang pada PT. Citra Lampia Mandiri 1 Juni - 30 Juli 2023.
2. Menganalisa perhitungan volume survei menggunakan uji *Independent Samples t-test*, serta memperkirakan jumlah volume menggunakan metode prakiraan dan uji Correlogram.

1.2.2 Manfaat

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat antara lain:

1. Presentase kemajuan tambang memberikan informasi mengenai ketercapaian target penambangan tiap minggu.
2. Grafik prakiraan volume metode prakiraan volume pada minggu pertama bulan agustus.

1.3 Landasan Teori

1.3.1 Geomorfologi dan Fisiografi Regional

Kabupaten Luwu Timur yang sebagian besar wilayahnya berada pada kawasan Pegunungan Verbeck merupakan daerah yang bertopografi pegunungan. Namun di beberapa tempat merupakan daerah pedataran hingga rawa-rawa. Wilayah-wilayah yang bergunung adalah bagian utara dan barat sedangkan wilayah pedataran adalah bagian selatan dan barat. Kondisi datar sampai landai terdapat pada semua wilayah kecamatan dengan yang terluas di Kecamatan Angkona, Burau, Wotu, Malili dan Mangkutana. Sedangkan kondisi bergelombang dan bergunung yang terluas di Kecamatan Nuha, Mangkutana dan Burau. Kabupaten Luwu Timur dapat dibagi menjadi 4 wilayah lereng dan satu danau.

Fisiografi regional Pulau Sulawesi yang kompleks akibat dari interaksi tiga lempeng, yaitu Lempeng Australia, Lempeng Pasifik, dan Lempeng Eurasia. Bentuk pulau

yang seperti huruf K dapat menunjukkan adanya kompleksitas geologi di Pulau Sulawesi. Pulau Sulawesi merupakan salah satu pulau besar di Indonesia yang memiliki keunikan berupa ukuran lebar pulau yang kecil, bentuk pulau menyerupai huruf K, topografi yang terdiri dari pegunungan di bagian tengah dan utara pulau serta adanya tiga teluk di bagian tengah dan Selatan (Yuwanto & Heruroso, 2019).

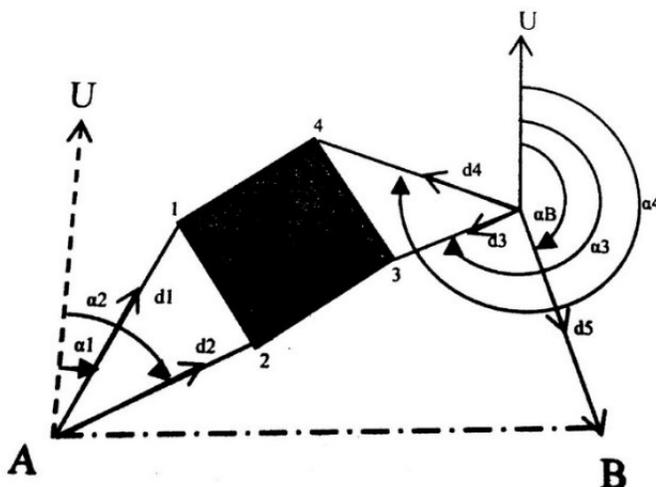
1.3.2 Pemetaan

Pemetaan merupakan gambaran dari sebagian maupun seluruh permukaan bumi pada bidang 2 dimensi dengan menggunakan skala dan sistem proyeksi tertentu (Soendjojo dan Riqqi, 2012). Seiring perkembangan teknologi kegiatan pemetaan tidak hanya berupa kontur cetak 2 Dimensi, namun dapat berupa kontur 3 dimensi dan peta digital yang dapat mengatur skala dengan baik.

Pemetaan topografi adalah proses memperoleh data yang digunakan dalam penggambaran peta topografi. Peta skala besar yang menggambarkan unsur-unsur penampakan alam maupun buatan yang ada di permukaan bumi serta dilengkapi dengan nilai ketinggian menggunakan garis kontur (Basuki, 2011). Menurut William 1995, pemetaan merupakan bagian pekerjaan yang sangat penting pada bidang pembangunan, khususnya di zaman modern ini. Pemetaan dan pengukuran yang akurat dan baik akan menghasilkan data-data sebagian acuan dalam bidang Pembangunan.

1.3.3 Metode *Tachymetry*

Metode *Tachymetry* adalah pengukuran menggunakan alat-alat optis, elektronis, dan digital. Pengukuran detail cara *Tachymetry* dimulai dengan penyiapan alat ukur di atas titik ikat dan penempatan rambu di titik bidik. Kebanyakan pengukuran *Tachymetry* adalah dengan garis bidik miring karena adanya keragaman topografi, tetapi perpotongan benang stadia dibaca pada rambu tegak lurus dan jarak miring "direduksi" menjadi jarak horizontal dan jarak vertikal. Metode *Tachymetry* didasarkan pada prinsip bahwa pada segitiga-segitiga sebangun, sisi yang sepihak adalah sebanding (gambar 2.1) (Rasyidi dan Ansosry, 2020).



Gambar 1. Metode *Tachymetry* (Massinai, 2019).

Keterangan Gambar;

A, B = Titik Kerangka Dasar

1,2 = Titik Detail

H = Titik Penolong

α_1 = Azimuth (Magnit)

d_1 = Jarak

U = Arah Utara Magnit

$$X = X_a + d \sin \alpha \quad (1)$$

$$Y = Y_a + d \cos \alpha \quad (2)$$

$$Z = (sd \sin z) - (t_{prisma} - t_{alat}) \quad (3)$$

Dimana;

X, Y, Z = Koordinat Objek

X_a, Y_a = Koordinat titik sebelumnya

α = Azimuth (Sudut jurusan) ($^{\circ}$)

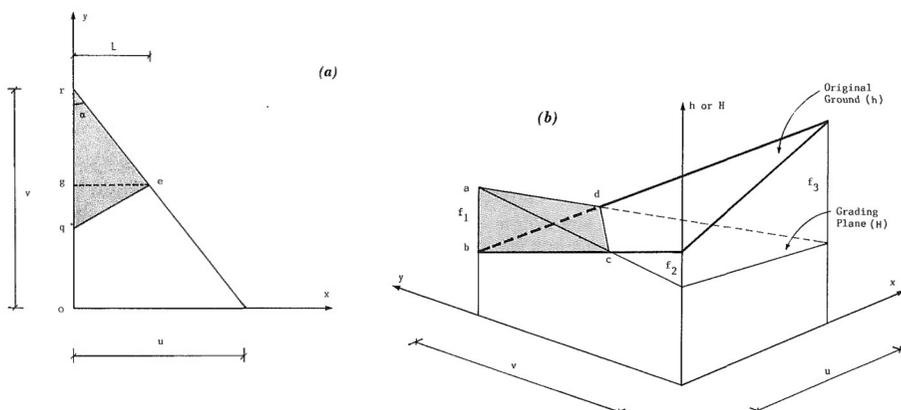
d = Jarak Mendatar Antar Titik (m)

sd = Jarak Miring (m)

Z = Sudut zenith pada alat ukur ($^{\circ}$)

1.3.4 Cut and Fill

Perhitungan volume dengan metode *Cut and Fill* dilakukan dengan menghitung luasan penampang atas dan penampang bawah serta jarak antara kedua penampang tersebut. Volume dihitung dari *Digital Terrain Model* (DTM) yang dibentuk dari *Triangulated Irregular Network* (TIN). Titik koordinat yang saling berdekatan dan membentuk DTM baru dan model yang terbentuk disesuaikan topografi di lapangan dan dilakukan perhitungan volume. Pertimbangan utama pada saat membuat segitiga baru adalah kesesuaian model yang terbentuk terhadap topografi di lapangan, titik koordinat yang sama dapat menghasilkan triangulated yang berbeda (Elwisa dkk.,2022).



Gambar 2. Komponen Jaringan Segitiga: (a) Rencana Jaringan; (b) Representasi Tiga Dimensi (Easa, 1989)

Dari Gambar (a), persamaan garis lurus qe dan re dapat ditulis, masing-masing, sebagai:

$$y_1(x) = Kx + M \quad (4)$$

$$y_2(x) = v \left(1 - \frac{x}{u}\right) \quad (5)$$

Dimana K dan M = kemiringan di titik potong qe. K dan M dapat diperoleh sebagai

$$K = \frac{v}{u} \left(\frac{f_3 - f_2}{f_1 + f_2} \right) \quad (6)$$

$$M = oq = \frac{vf_2}{f_1 + f_2} \quad (7)$$

Persamaan bidang tanah dan bidang tanah asli dapat ditulis sebagai

$$H(x, y) = a + bx + cy \quad (8)$$

$$h(x, y) = a' + b'x + c' \quad (9)$$

di mana a = intersep bidang pembentukan lahan pada titik asal; dan b, c adalah kemiringan bidang pembentukan lahan pada arah x dan y, masing-masing. Koefisien a', b', dan c' didefinisikan secara serupa untuk permukaan tanah asli. Dengan demikian, persamaan perbedaan antara elevasi H(x,y) dan h(x,y) diberikan oleh

$$f(x, y) = \Delta a + \Delta bx + \Delta cy \quad (10)$$

Dimana Δa , Δbx dan Δc dapat diperoleh berdasarkan gambar (b) sebagai

$$\Delta a = a - a' = -f_2 \quad (11)$$

$$\Delta b = b - b' = \frac{f_2 - f_3}{u} \quad (12)$$

$$\Delta c = c - c' = \frac{f_2 - f_1}{v} \quad (13)$$

Berdasarkan prinsip integral ganda volume timbunan pada gambar dapat ditulis sebagai

$$F = \int_0^L \int_{y_1(x)}^{y_2(x)} f(x, y) dx dy \quad (14)$$

di mana L adalah jarak eg pada Gambar (a), yang diberikan oleh

$$L = \frac{uf_1}{f_1 + f_2} \quad (15)$$

dan $y_1(x)$ dan $y_2(x)$ diberikan oleh Persamaan 4 dan 5. Dengan mensubstitusikan f(x,y) dari Persamaan 10 ke dalam Persamaan 14 dan mengintegrasikan terlebih dahulu terhadap dy dari $y_1(x)$ ke $y_2(x)$ dan kemudian terhadap dx dari 0 ke L, maka

$$F = L \left[\Delta a(v - M) + \frac{\Delta c}{2}(v^2 - M^2) \right] + \frac{L^2}{2} \left[-\Delta a \left(\frac{v}{u} + K \right) + \Delta b(v - M) - \Delta c \left(\frac{v^2}{u} + MK \right) \right] + \frac{L^3}{3} \left[-\Delta b \left(\frac{v}{u} + K \right) + \frac{\Delta c}{2} \left(\frac{v^2}{u^2} - K^2 \right) \right] \quad (16)$$

Dengan mensubstitusikan Δa , Δb , Δc , K, M, dan L dari Persamaan 11-13, 6, 7, dan 15 ke dalam Persamaan 16, akhirnya diperoleh

$$F = \frac{uv}{6} \frac{f_1^3}{(f_1 + f_2)(f_1 + f_3)} \quad (17)$$

di mana nilai absolut dari f_1 , f_2 , dan f_3 digunakan (Easa, 1989).

Untuk menghitung volume galian, C , perlu diperhatikan bahwa perbedaan antara volume galian dan timbunan sama dengan perbedaan antara volume di bawah permukaan tanah asli dan bidang pembentuk lahan, masing-masing. Perbedaan volume dapat dihitung sebagai berikut:

$$C - F = \int_0^u \int_0^{y_2(x)} h(x, y) dx dy - \int_0^u \int_0^{y_2(x)} H(x, y) dx dy \quad (18)$$

di mana $h(x, y)$ dan $H(x, y)$ diberikan oleh Persamaan 8 dan 9. Fungsi $h(x, y)$ memiliki tiga koefisien $a = h_2$, $b = (h_3 - h_2)/u$, dan $c = (h_1 - h_2)/v$. Fungsi $H(x, y)$ juga memiliki tiga koefisien (a' , b' , dan c'), yang didefinisikan secara serupa sehubungan dengan H_1 , H_2 , dan H_3 . Setelah mengintegrasikan Persamaan 18 dan mensubstitusikan koefisien-koefisien ini, maka

$$C - F = \frac{uv}{2} \left(\frac{h_1 + h_2 + h_3}{3} \right) - \frac{uv}{2} \left(\frac{H_1 + H_2 + H_3}{3} \right) \quad (19)$$

yang, berdasarkan Persamaan 1, dapat disederhanakan menjadi

$$C = F + \frac{uv}{6} (f_1 + f_2 + f_3) \quad (20)$$

di mana nilai absolut dari f_1 , f_2 , dan f_3 digunakan.

Dua hal perlu diperhatikan. Pertama, Persamaan 17 dan 19 akan sama jika timbunan terletak di sudut 90° . Kedua, jika ada dua timbunan dan satu galian di sudut-sudut, volume galian dapat dihitung dengan Persamaan 17, dengan F diubah menjadi C dan f_1 menjadi kedalaman galian. Volume timbunan dihitung secara langsung menggunakan Persamaan 20 setelah mensubstitusikan nilai C yang telah dihitung ke dalam persamaan ini (Easa, 1989)

1.3.4.1 Digital Terrain Model (DTM)

DTM adalah sekumpulan titik data sampel yang terurut yang mewakili distribusi spasial berbagai jenis informasi di medan. Surveyor mempelajari DTM dari sudut pandang representasi medan dan khususnya tertarik pada topografi medan dan objek di medan tersebut. DTM yang ideal dalam pikiran mereka adalah peta topografi generasi baru, tentu saja dalam bentuk digital. Menurut (Li, 2005) DTM dapat berisi empat kelompok informasi (topografi dan nontopografi) berikut:

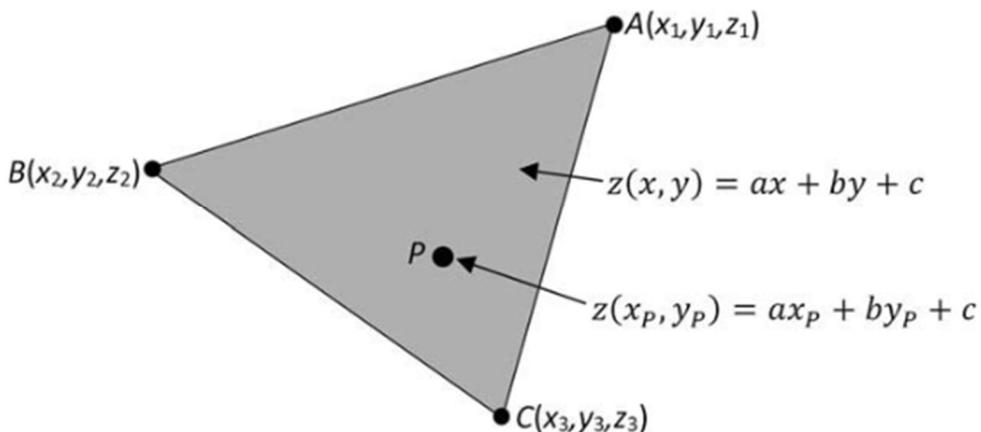
1. Bentuk lahan, seperti ketinggian, kemiringan, bentuk lereng, dan ciri-ciri geomorfologi lain yang lebih rumit yang digunakan untuk menggambarkan relief suatu daerah.
2. Ciri-ciri medan, seperti ciri-ciri hidrografi (misalnya sungai, danau, garis pantai), jaringan transportasi (misalnya jalan raya, rel kereta api, jalan setapak), pemukiman, batas-batas, dll.
3. Sumber daya alam dan lingkungan, seperti tanah, tumbuh-tumbuhan, geologi, iklim, dll.
4. Data sosial ekonomi, seperti sebaran penduduk di suatu wilayah, industri dan pertanian serta pendapatan modal, dll.

Proses konstruksi permukaan DTM disebut pemodelan medan digital. Ini juga merupakan proses pemodelan matematika. Dalam proses tersebut, titik-titik diambil sampelnya dari medan untuk dimodelkan dengan akurasi observasi, kepadatan, dan distribusi tertentu, permukaan medan kemudian diwakili oleh kumpulan titik sampel. Jika atribut pada lokasi pada permukaan digital selain titik sampel perlu diperoleh, interpolasi kemudian diterapkan dengan membentuk permukaan DTM dari titik data sampel (Li, 2005).

1.3.4.2 *Triangulated Irregular Network (TIN)*

Proses pembentukan jaringan segitiga biasa disebut Triangulasi. Triangulasi titik massa (titik awan data x, y, z) atau grid umumnya berfungsi sebagai dasar untuk menghasilkan TIN. Untuk model TIN, titik massa dihubungkan dengan garis 3D yang tidak tumpang tindih, sehingga menghasilkan bidang segitiga yang berdekatan. Segitiga terbentuk dari salah satu dari berbagai macam teknik triangulasi. Triangulasi Delaunay paling umum digunakan dalam ilmu kebumih karena memenuhi tiga persyaratan dasar pembentukan TIN. Pertama TIN yang dihasilkan dari kumpulan titik mana pun harus sama jika algoritma yang digunakan sama, terlepas dari titik awal algoritma tersebut. Kedua setiap segitiga harus hampir sama sisi dan ketiga titik tetangga terdekat harus digunakan untuk menghasilkan setiap segitiga. Selain itu, lingkaran yang membatasi setiap segitiga tidak akan mencakup titik-titik di sekitarnya selain tiga tetangga terdekatnya, sehingga tidak ada titik sudut lain. Dalam setiap segitiga, permukaannya dapat dinyatakan dengan sebuah bidang (Persamaan (21)) yang ditentukan dari tiga titik sudut segitiga (Gambar 2). Ketinggian suatu titik tertentu dalam segitiga tertentu ditentukan oleh fungsi linier (yaitu interpolasi linier)(Fan, 2014):

$$z(x, y) = ax + by + c \quad (21)$$



Gambar 3. Model TIN dengan interpolasi linier: data survey titik A, B dan C merupakan tiga titik sudut segitiga pada model TIN dan koordinatnya adalah (x_1, y_1, z_1) , (x_2, y_2, z_2) dan (x_3, y_3, z_3) , Titik P terletak dimana saja di dalam segitiga dan ketinggiannya dapat dihitung dengan fungsi linier yang diberikan pada Persamaan (21) (Fan, 2014).

Aljabar linier memberikan solusi a, b dan c dalam format determinan:

$$a = \frac{\begin{vmatrix} z_1 & y_1 & 1 \\ z_2 & y_2 & 1 \\ z_3 & y_3 & 1 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} x_1 & y_1 & 1 \\ x_2 & y_2 & 1 \\ x_3 & y_3 & 1 \end{vmatrix}}, b = \frac{\begin{vmatrix} x_1 & z_1 & 1 \\ x_2 & z_2 & 1 \\ x_3 & z_3 & 1 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} x_1 & y_1 & 1 \\ x_2 & y_2 & 1 \\ x_3 & y_3 & 1 \end{vmatrix}}, c = \frac{\begin{vmatrix} x_1 & y_1 & z_1 \\ x_2 & y_2 & z_2 \\ x_3 & y_3 & z_3 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} x_1 & y_1 & 1 \\ x_2 & y_2 & 1 \\ x_3 & y_3 & 1 \end{vmatrix}} \quad (22)$$

1. Penyebaran kesalahan vertikal

Diasumsikan bahwa ketidakpastian horizontal dari titik-titik data sumber adalah nol (yaitu bebas dari kesalahan). Oleh karena itu, hanya kesalahan vertikal yang disebarakan. Solusi analitis diturunkan untuk menghitung varians kesalahan pada setiap titik tujuan dalam model TIN. Solusi yang diberikan pada Persamaan (22) dapat ditulis dalam format linier dan disusun ulang seperti pada Persamaan (23). Operasi ini bertujuan untuk membedakan variabel ketinggian z dengan variabel lokasi x dan y (Fan, 2014).

$$a = \frac{(y_2 - y_3)z_1 + (y_3 - y_1)z_2 + (y_1 - y_2)z_3}{(x_1y_2) + (x_3y_1) + (x_2y_3) - (x_3y_2) - (x_1y_3) - (x_2y_1)} = a_1z_1 + a_2z_2 + a_3z_3 \quad (23)$$

$$b = \frac{(x_3 - y_3)z_1 + (x_1 - x_3)z_2 + (x_2 - x_1)z_3}{(x_1y_2) + (x_3y_1) + (x_2y_3) - (x_3y_2) - (x_1y_3) - (x_2y_1)} = b_1z_1 + b_2z_2 + b_3z_3$$

$$c = \frac{(x_2y_3 - x_3y_2)z_1 + (x_3y_1 - x_1y_3)z_2 + (x_1y_2 - x_2y_1)z_3}{(x_1y_2) + (x_3y_1) + (x_2y_3) - (x_3y_2) - (x_1y_3) - (x_2y_1)} = c_1z_1 + c_2z_2 + c_3z_3$$

Dimana $a_1 = \frac{y_2 - y_3}{L}$, $a_2 = \frac{y_3 - y_1}{L}$, $a_3 = \frac{y_1 - y_2}{L}$ dan $L = x_1y_2 + x_3y_1 + x_2y_3 - x_3y_2 - x_1y_3 - x_2y_1$ hal yang sama berlaku untuk $b_1, b_2, b_3, c_1, c_2, c_3$. Dengan mensubstitusi a, b dan c pada persamaan (21) maka ketinggian z dititik P (x,y) pada model TIN dapat dihitung (persamaan (24))

$$z_p = ax_p + by_p + c \quad (24)$$

$$= (a_1z_1 + a_2z_2 + a_3z_3)x_p + (b_1z_1 + b_2z_2 + b_3z_3)y_p + (c_1z_1 + c_2z_2 + c_3z_3)$$

$$= (a_1x_p + b_1y_p + c_1)z_1 + (a_2x_p + b_2y_p + c_2)z_2 + (a_3x_p + b_3y_p + c_3)z_3$$

Penulisan Ulang Persamaan (24) dalam bentuk matriks

$$z_p = \begin{bmatrix} x_p \\ y_p \\ 1 \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} a_1 & a_2 & a_3 \\ b_1 & b_2 & b_3 \\ c_1 & c_2 & c_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} z_1 \\ z_2 \\ z_3 \end{bmatrix} \quad (25)$$

Di sisi kanan Persamaan (25), vektor pertama mewakili lokasi titik P, yang ketinggiannya harus diperkirakan (z). Matriks kedua ditentukan oleh letak ketiga titik sudut suatu segitiga. Ingatlah bahwa kesalahan posisi mereka tidak dipertimbangkan pada tahap ini. Oleh karena itu, suku kedua adalah matriks konstanta untuk suatu segitiga tertentu. Vektor terakhir mewakili ketinggian tiga titik sudut segitiga. Persamaan (8) menunjukkan bahwa ketelitian elevasi titik P tidak hanya bergantung pada ketelitian vertikal titik-titik data survei tetapi juga posisinya (x , y).

Persamaan (25) dapat dinyatakan sebagai:

$$z_p = m_1z_1 + m_2z_2 + m_3z_3 \quad (26)$$

di mana,

$$\begin{bmatrix} m_1 \\ m_2 \\ m_3 \end{bmatrix}^T = \begin{bmatrix} x_p \\ y_p \\ 1 \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} a_1 & a_2 & a_3 \\ b_1 & b_2 & b_3 \\ c_1 & c_2 & c_3 \end{bmatrix} \quad (27)$$

Untuk segitiga tertentu dan lokasi interpolasi yang diketahui (x , y) di dalam segitiga, m_1 , m_2 , dan m_3 dapat dihitung. Diketahui ada kesalahan yang terkait dengan z_1 , z_2 dan z_3 . Pertanyaan yang tersisa adalah bagaimana menyebarkan kesalahan vertikal titik data ke dalam perkiraan ketinggian di lokasi P.

Jika kesalahan acak pada ketinggian titik simpul (z , z dan z) tidak bergantung satu sama lain, Persamaan dibawah dapat digunakan untuk menyebarkan varian kesalahan ke titik P. Varians error σ_{zp}^2 suatu titik tertentu dapat dihitung sebagai:

$$\sigma_{zp}^2 = m_1^2 \sigma_{z1}^2 + m_2^2 \sigma_{z2}^2 + m_3^2 \sigma_{z3}^2 \quad (28)$$

Jika kesalahan acaknya identik (σ) untuk semua titik simpul, Persamaan (28) dapat disederhanakan lagi menjadi Persamaan (29) (Fan, 2014).

$$\sigma_{zp}^2 = (m_1^2 + m_2^2 + m_3^2) \sigma_{znode}^2 \quad (29)$$

2. Penyebaran kesalahan horizontal

Untuk mencari perambatan kesalahan horizontal, kesalahan pengukuran diasumsikan kecil dibandingkan dengan jarak titik. Hanya komponen kesalahan horizontal pada sumbu X yang dipertimbangkan (sama untuk sumbu Y). Persamaan (22) disusun ulang sehingga x_i ($i = 1,2,3$) terpisah dari komponen lainnya y_i dan z_i ($i = 1,2,3$). Kemudian diperoleh persamaan (30) yang bertujuan untuk menegaskan bahwa hanya x_i ($i = 1,2,3$) yang merupakan variabel acak yang mempunyai ketidakpastian dan komponen lainnya konstan jika ketiga titik simpulnya diketahui (Fan, 2014).

$$\begin{aligned} a &= \frac{(z_3 - z_2)y_1 + (z_1 - z_3)y_2 + (z_2 - z_1)y_3}{(y_2 - y_3)x_1 + (y_3 - y_1)x_2 + (y_1 - y_2)x_3} \\ b &= \frac{(z_2 - z_3)x_1 + (z_3 - z_1)x_2 + (z_1 - z_2)x_3}{(y_2 - y_3)x_1 + (y_3 - y_1)x_2 + (y_1 - y_2)x_3} \\ c &= \frac{(y_2 z_3 - y_3 z_2)x_1 + (y_3 z_1 - y_1 z_3)x_2 + (y_1 z_2 - y_2 z_1)x_3}{(y_2 - y_3)x_1 + (y_3 - y_1)x_2 + (y_1 - y_2)x_3} \end{aligned} \quad (30)$$

Ekspresi a, b dan c pada Persamaan (30) disubstitusikan ke Persamaan (21). Karena hal ini akan membuat Persamaan (21) menjadi kompleks, ekspresi berikut digunakan untuk menyederhanakan persamaan setelah substitusi.

$$r_0 = x_p [(z_3 - z_2)y_1 + (z_1 - z_3)y_2 + (z_2 - z_1)y_3] \quad (31)$$

$$r_1 = y_p z_2 - y_p z_3 + y_2 z_3 - y_3 z_2$$

$$r_2 = y_p z_3 - y_p z_1 + y_3 z_1 - y_1 z_3$$

$$r_3 = y_p z_1 - y_p z_2 + y_1 z_2 - y_2 z_1$$

$$r_4 = y_2 - y_3$$

$$r_5 = y_3 - y_1$$

$$r_6 = y_1 - y_2$$

$$z_p = \frac{r_1 x_1 + r_2 x_2 + r_3 x_3 + r_0}{r_4 x_1 + r_5 x_2 + r_6 x_3} \quad (32)$$

Karena hanya kesalahan horizontal pada arah X yang dipertimbangkan, diasumsikan bahwa tidak ada ketidakpastian yang terkait dengan y dan z ($i = 1,2,3$). Titik (x , y)

merupakan lokasi interpolasi dan tidak mempunyai ketidakpastian. Oleh karena itu, untuk suatu segitiga tertentu, r ($i = 4,5,6$) adalah konstanta di seluruh segitiga, sedangkan r ($i = 0,1,2,3$) adalah konstanta yang bergantung pada lokasi (yaitu bergantung pada lokasi segitiga titik P).

Sekarang perambatan kesalahan pengukuran dalam arah X telah diubah menjadi masalah matematika. Berdasarkan Persamaan (32), permasalahan perambatan error awal dapat dinyatakan secara matematis. Diketahui r ($i = 1:7$) merupakan konstanta dan x ($i = 1,2,3$) merupakan variabel acak yang mempunyai ketidakpastian. Jika varians dari x ($i = 1,2,3$) dan kovariansnya diketahui, berapakah varians dari z ? (Fan, 2014).

Tidak mudah menghitung selisih parsial x , x dan x_{in} Persamaan (32). Untuk menghindari hal tersebut maka Persamaan (32) disederhanakan lagi menjadi Persamaan (33).

$$z_p = \frac{n_1}{n_2} : F(n_1, n_2) \quad (33)$$

Dimana

$$n_1 = r_1x_1 + r_2x_2 + r_3x_3 + r_0 : f_1(x_1, x_2, x_3) \quad (33)$$

$$n_2 = r_4x_1 + r_5x_2 + r_6x_3 : f_2(x_1, x_2, x_3)$$

Varians error $\sigma_{z_p}^2$ suatu titik tertentu dapat dihitung sebagai:

$$\sigma_{z_p}^2 = \frac{n_1^2}{n_2^2} \left(\frac{(r_1^2 + r_2^2 + r_3^2)\sigma_x^2}{n_1^2} + \frac{(r_4^2 + r_5^2 + r_6^2)\sigma_x^2}{n_2^2} + \frac{2(r_1r_4 + r_2r_5 + r_3r_6)\sigma_x^2}{n_1n_2} \right) \quad (34)$$

$$\sigma_{z_p}^2 = \frac{n_1^2}{n_2^2} \left(\left(\frac{r_1}{n_1} - \frac{r_4}{n_2} \right)^2 + \left(\frac{r_2}{n_1} - \frac{r_5}{n_2} \right)^2 + \left(\frac{r_3}{n_1} - \frac{r_6}{n_2} \right)^2 \right) \sigma_x^2$$

1.3.5 Geometri Jenjang

1. Crest

Pada pengukuran yang dilakukan di tambang nikel terdapat beberapa pengambilan data, salah satunya adalah pengambilan *Crest*, *Crest* adalah tebing bagian atas pada bagian-bagian slop-slop galian yang dilakukan pada pertambangan terbuka (open pit mining). Pengambilan data *Crest* dilakukan dengan cara meletakkan stik prisma dengan ukuran yang telah disesuaikan dengan yang sudah di tentukan di alat *Total Station* di atas pinggir tebing tanah yang telah digali, kegunaan data ini untuk melihat berapa dalam galian yang telah di kerjakan, data *Crest* selalu di pasang dengan data *Toe*, di karenakan untuk mengetahui tinggi tebing dan dalamnya yang telah digali di butuhkan kedua data ini, oleh karena itu pengambilan data *Crest* selalu bersamaan dengan data *Toe* sesuai dengan kebutuhannya (Vieri dkk., 2023).

2. Toe

Toe adalah batas bagian bawah/kaki/dasar suatu jenjang penampang. *Toe* Merupakan tebing bagian bawah pada bagian-bagian slop-slop galian yang dilakukan pada pertambangan terbuka (open pit mining). Pengambilan data *Toe* hampir sama dengan data *Crest*, yang membedakan adalah data *Toe* di ambil dengan cara meletakkan stik prisma di bagian bawah pada tebing yang telah di gali (Vieri dkk., 2023).

1.3.6 Truck Count

Pengertian *truck count* adalah perkiraan total volume yang tertambang baik ore maupun *Overburden* (dalam kasus ini berbicara masalah *Overburden*) berdasarkan perkalian antara jumlah ritasi alat angkut dengan standar volume (BCM) *vessel* yang telah disepakati. Standar *vessel* itu biasanya didapat dari volume *bucket* alat muat yang digunakan dikalikan dengan berapa *bucket Overburden* yang perlu di *loading* sampai bak alat angkut penuh (Manik dkk., 2022). Secara matematis di rumuskan:

$$TC = Rit \times V.Vessel \quad (35)$$

$$V.Vessel = V.Bucket \times X \quad (36)$$

Keterangan:

TC = *Truck Count* (Bcm)

Rit = Ritase

V. *Vessel* = Standar volume alat angkut

V. *Bucket* = Standar volume alat muat

X = Jumlah isian untuk satu bak alat angkut

1.3.7 Analisis Geostatistika

Berdasarkan jenjang keilmuannya, metode statistika dapat dibagi menjadi dua bagian yaitu Statistika Deskriptif dan Statistika Inferensia. Statistika deskriptif atau yang sering disebut sebagai statistika deduktif adalah metode statistika yang membahas bagaimana cara menyajikan (merangkum/meringkas) sekumpulan data dalam bentuk yang mudah dibaca (tabel, grafik, ukuran pemusatan dan ukuran penyebaran) sehingga didapatkan informasi secara cepat. Sedangkan statistika inferensia atau dikenal juga sebagai statistika induktif adalah metode statistika yang membahas bagaimana cara menganalisis data dan mengambil kesimpulan dengan metode tertentu tentang suatu fenomena. Berbeda dengan statistika deskriptif, pada statistika inferensia ini melibatkan pengujian hipotesis sehingga dapat dihasilkan suatu kesimpulan yang ditarik berdasarkan sampel.

Berdasarkan prosedur analisis datanya, metode statistika inferensia dapat dibedakan menjadi dua bagian yaitu Statistika parametrik dan Statistika non parametrik. Statistika parametrik adalah bagian dari metode statistika inferensia yang membahas (memperhatikan) tentang parameter-parameter populasi seperti mean (μ), standar deviasi (σ) dan sebagainya. Pada statistika parametrik ini secara umum skala datanya menggunakan interval atau rasio (bentuk data kuantitatif/numerik), sedangkan distribusi data populasinya harus memenuhi asumsi normal. Contoh metode statistika parametrik seperti, analisis komparasi dengan t-test, ANOVA, analisis korelasi product moment, korelasi ganda, analisis regresi linier sederhana dan analisis regresi linier ganda. Sedangkan Statistika non parametrik adalah bagian dari metode statistika inferensia yang tidak membahas (memperhatikan) tentang parameter-parameter populasi seperti mean (μ), standar deviasi (σ) dan sebagainya. Pada statistika parametrik ini secara umum skala datanya menggunakan nominal atau ordinal (bentuk data kualitatif/ kategorikal), tetapi distribusi data populasinya tidak memenuhi asumsi normal atau tidak bisa diketahui (Wulansari, 2016).

Sebelum menggunakan metode statistika parametrik seperti, analisis komparasi dengan *t-test*, ANOVA, analisis korelasi *product moment*, korelasi ganda, analisis regresi linier sederhana dan analisis regresi linier ganda, perlu dipastikan bahwa asumsi-asumsi pada data terpenuhi. Berikut adalah asumsi-asumsinya:

1. Random, data dipilih secara acak.
2. Homogen, data yang dikomparasikan atau dibandingkan bersifat homogen (sejenis), sehingga perlu adanya uji Homogenitas.
3. Normal, data yang dihubungkan berdistribusi normal, sehingga perlu adanya uji Normalitas.

1.3.7.1 Uji Normalitas

Model regresi yang baik adalah model regresi yang memiliki distribusi normal atau mendekati normal, sehingga layak dilakukan pengujian secara statistik. Pengujian normalitas data menggunakan *dalam tests of normality Shapiro – Wilk* karena data yang digunakan dalam penelitian ini adalah < 50 responden. Metode *shapiro wilk* adalah metode uji normalitas yang efektif dan valid digunakan untuk sampel berjumlah kecil (Wulansari, 2016). Dasar pengambilan keputusan bisa dilakukan berdasarkan probabilitas (*Asymtotic Significant*), yaitu:

- a. Jika Probabilitas > 0.05 maka distribusi dari populasi adalah normal.
- b. Jika Probabilitas < 0.05 maka populasi tidak berdistribusi secara normal.

$$T_3 = \frac{1}{D} \left[\sum_{i=1}^k a_1 (X_{n-i+1} - X_i) \right]^2 \quad (37)$$

Keterangan:

D = koefisien test *Shapiro wilk*

X_i = angka ke I pada data

X = rata-rata data

T_3 = konversi statistik *Shapiro Wilk* pendekatan distribusi normal

1.3.7.2 Uji Homogenitas

Uji homogenitas merupakan uji perbedaan varians antara dua kelompok data atau lebih. Dengan demikian, uji homogenitas ini mengasumsikan bahwa, data di tiap variabel mempunyai varians yang homogen dengan data pada variabel lain. Pengujian statistika parametrik dengan *t-test* dan ANOVA termasuk jenis analisis statistika yang memerlukan prasyarat uji homogenitas. Ada beberapa uji statistika yang dapat digunakan untuk menguji homogenitas varians. Metode yang populer digunakan adalah Uji Varians (Wulansari, 2016).

$$F_{hitung} = \frac{S_{max}^2}{S_{min}^2} \quad (38)$$

Dimana:

S_{max}^2 = varians terbesar

S_{min}^2 = varians terkecil

$F_{tabel} = F_{\alpha(N_{max}-1;N_{min}-)}$

Kriteria pengujian hipotesis :

Jika $F_{hitung} \geq F_{tabel}$ maka H_0 ditolak

1.3.7.3 Independent samples t-test

Independent samples t-test adalah pengujian menggunakan distribusi T terhadap signifikansi perbedaan nilai rata-rata tertentu dari dua kelompok sampel yang tidak berpasangan. Data yang diperlukan adalah data rasio rasio atau interval (Wulansari, 2016).

Kriteria pengujian hipotesis :

Jika $|T_{hitung}| \geq T_{tabel}$ maka H_0 ditolak

Hipotesis:

H_0 : Tidak ada perbedaan rata-rata yang signifikan antara variabel x_1 dan x_2

H_1 : Ada perbedaan rata-rata yang signifikan antara variabel x_1 dan x_2

$$t_{hitung} = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\left[\frac{\left(\sum_{i=1}^{n_{x1}} x_1^2 - \frac{(\sum_{i=1}^{n_{x1}} x_1)^2}{n_{x1}} \right) + \left(\sum_{i=1}^{n_{x2}} x_2^2 - \frac{(\sum_{i=1}^{n_{x2}} x_2)^2}{n_{x2}} \right)}{n_{x1} + n_{x2} - 2} \right] \left[\frac{1}{n_{x1}} + \frac{1}{n_{x2}} \right]}} \quad (39)$$

\bar{x}_1 = mean data x_1

\bar{x}_2 = mean data x_2

$\sum_{i=1}^{n_{x1}} x_1$ = total data x_1

$\sum_{i=1}^{n_{x2}} x_2$ = total data x_2

\bar{x}_1 = jumlah data x_1

\bar{x}_2 = jumlah data x_2

1.3.8 Metode Prakiraan (*Forecast*)

Metode *Forecast* merupakan alat bantu yang penting dalam perencanaan yang efektif dan efisien. Prakiraan merupakan bagian integral dari kegiatan pengambilan keputusan manajemen. Organisasi/ departemen selalu menentukan sasaran dan tujuan, berusaha menduga faktor-faktor lingkungan dan kemudian memilih tindakan yang diharapkan akan menghasilkan pencapaian sasaran tujuan tersebut.

1.3.8.1 Analisis Deret Waktu

Analisis deret waktu termasuk prosedur statistika yang digunakan untuk meramalkan keadaan yang akan terjadi di masa mendatang dalam pengambilan keputusan. Analisis *time series* yaitu analisis terhadap pengamatan, pencatatan dan penyusunan peristiwa yang di ambil berdasarkan jangka waktu tertentu. Tipe data *time series* di bagi menjadi beberapa jenis, (Nurrohmah, 2022) yaitu:

1. Pola data stasioner, yaitu pola yang terjadi apabila nilai berfluktuasi disekitar nilai rata-rata yang konstan.
2. Pola data trend, yaitu pola yang menunjukkan kenaikan atau penurunan jangka panjang dalam data, biasanya terlihat dari grafik.
3. Pola data musiman, yaitu pola yang menunjukkan perubahan yang berulang-ulang secara periodik dalam deret waktu. Pola ini terjadi bila suatu deret dipengaruhi oleh

faktor musiman seperti kuartal tahun tertentu, bulanan atau hari-hari pada minggu tertentu.

4. Pola data siklus, yaitu pola yang menunjukkan gerakan naik turun yang dipengaruhi oleh fluktuasi ekonomi jangka panjang seperti siklus bisnis.

1.3.8.2 Uji Stasioneritas

Data runtun waktu dikatakan stasioner jika rata-rata, varian, dan kovarian pada setiap lag adalah tetap sama pada setiap waktu. Jika data runtun waktu tidak memenuhi kriteria tersebut maka data dikatakan tidak stasioner. Data runtun waktu dikatakan tidak stasioner jika rata-ratanya maupun variannya tidak konstan, berubah-ubah sepanjang waktu. Metode yang sering digunakan untuk menguji kestasioneran data yaitu uji Correlogram dan Uji akar unit Dickey-Fuller (ADF).

Fungsi autokorelasi (*autocorrelation function*), yang disingkat ACF, dibentuk dengan himpunan autokorelasi antara lag k atau korelasi antara Z_t dan Z_{t+k} . Hubungan antara autokorelasi dengan lagnya inilah dinamakan Fungsi Autokorelasi (*Autocorrelation Function*, ACF). Gambar dari ACF dinamakan correlogram dan dapat digunakan untuk menelaah signifikansi autokorelasi dan kestasioneran data. Apabila nilai koefisien ACF pada setiap lag sama atau mendekati nol maka data stasioner, jika sebaliknya, nilai koefisien ACF relatif tinggi maka data tidak stasioner. Jika gambar ACF membangun sebuah histogram yang menurun (pola eksponensial), maka autokorelasi signifikans atau data berautokorelasi maka data tidak stasioner, dan dapat distasionerkan melalui proses differencing (Aktivani, 2021).

Pada prinsipnya uji akar unit dimaksudkan untuk mengamati apakah koefisien tertentu dari model yang ditaksir mempunyai nilai satu atau tidak. Ide dasar uji stasioneritas data melalui uji akar unit dapat dijelaskan melalui model AR (1) di bawah ini:

$$Y_t = \alpha Y_{t-1} + e_t \quad -1 \leq \alpha \leq 1 \quad (40)$$

Dimana e_t adalah residual yang bersifat random atau stokastik dengan rata-rata nol, varian konstan, dan tidak saling berhubungan (non autocorrelation) sebagaimana asumsi metode OLS. Residual yang mempunyai sifat tersebut disebut residual yang white noise. Jika nilai $\alpha = 1$ maka variabel random (stokastik) Y mempunyai akar unit (*unit root*). Jika data runtun waktu mempunyai akar unit maka dikatakan data tersebut bergerak secara random (*random walk*) dan data yang mempunyai sifat random walk dikatakan data tidak stasioner. Jika persamaan dikurangi kedua sisinya dengan Y_{t-1} maka akan diperoleh persamaan:

$$\begin{aligned} Y_t - Y_{t-1} &= \alpha Y_{t-1} - Y_{t-1} + e_t \\ &= (\alpha - 1)Y_{t-1} + e_t \\ \Delta Y_t &= \phi Y_{t-1} + e_t \end{aligned} \quad (41)$$

Dimana $\phi = (\alpha - 1)$ dan $\Delta Y_t = Y_t - Y_{t-1}$ Untuk menguji ada tidaknya masalah akar unit dilakukan estimasi persamaan (41) dengan hipotesis nol $0 \phi =$. Jika $0 \phi =$ maka $\alpha = 1$ sehingga data Y mengandung akar unit yang berarti data runtun waktu Y adalah tidak stasioner.

1.3.8.3 Metode Penghalusan Eksponensial (*Single Exponential Smoothing*)

Metode *Single Exponential Smoothing* adalah metode yang menunjukkan pembobotan menurun secara eksponensial terhadap nilai observasi yang lebih tua. Yaitu nilai yang lebih baru diberikan bobot yang relatif lebih besar dibanding nilai observasi yang lebih lama. Metode ini memberikan sebuah pembobotan eksponensial rata-rata bergerak dari semua nilai observasi sebelumnya (Hartono, 2012). Pada metode ini tidak dipengaruhi oleh trend maupun musim.

$$\hat{Y}_{t+1} = \alpha Y_t + (1 - \alpha)\hat{Y}_t \quad (42)$$

Keterangan:

\hat{Y}_{t+1} = nilai peramalan untuk periode berikutnya

Y_t = permintaan untuk periode t

\hat{Y}_t = nilai peramalan untuk periode t

α = faktor bobot penghalusan ($0 < \alpha < 1$)

1.3.7.4 Metode Rata-Rata Bergerak (*Moving Average*)

Rata-rata bergerak (*Moving Average*) adalah suatu metode peramalan yang dilakukan dengan mengambil sekelompok nilai pengamatan, mencari nilai rata-rata tersebut sebagai ramalan untuk periode yang akan datang. Menurut (Rachman, 2018) metode *Moving Average* mempunyai karakteristik khusus yaitu;

- Untuk menentukan ramalan pada periode yang akan datang memerlukan data historis selama jangka waktu tertentu. Misalnya, dengan 3 bulan *Moving average*, maka ramalan bulan ke 5 baru dibuat setelah bulan ke 4 selesai/berakhir. Jika bulan *Moving Average* bulan ke 7 baru bisa dibuat setelah bulan ke 6 berakhir.
- Semakin panjang jangka waktu *Moving Average*, efek pelicinan semakin terlihat dalam ramalan atau menghasilkan *Moving Average* yang semakin halus.

Persamaan matematis *Moving Average* adalah sebagai berikut:

$$F_{t+1} = \frac{Y_t + Y_{t-1} + Y_{t-2} + \dots + Y_{t-n+1}}{n} \quad (43)$$

Keterangan:

F_{t+1} = Ramalan Untuk Periode t + 1

Y_t = Nilai Riil periode ke t

n = Jumlah batas dalam *Moving Average*

1.3.7.5 Weighted Moving Average

Metode Rata-Rata Tertimbang (*Weighted Moving Average*) merupakan metode dengan rata-rata bergerak, tetapi nilai terbaru dalam deret berkala diberikan beban lebih besar untuk menghitung peramalan. Metode *Weighted Moving Average* diberikan bobot yang berbeda untuk setiap data historis masa lalu yang tersedia, dengan asumsi bahwa data historis yang paling terakhir atau terbaru akan memiliki bobot lebih besar dibandingkan dengan data historis yang lama karena data yang paling terakhir atau terbaru merupakan data yang paling relevan untuk peramalan (Rizki, 2021).

$$F_t = \frac{\sum(D_t \times b)}{\sum b} \quad (44)$$

Keterangan:

F_t = Nilai peramalan pada periode t

D_t = Nilai aktual pada periode t

b = Bobot

1.3.7.6 Mean Absolute Percentage Error (MAPE)

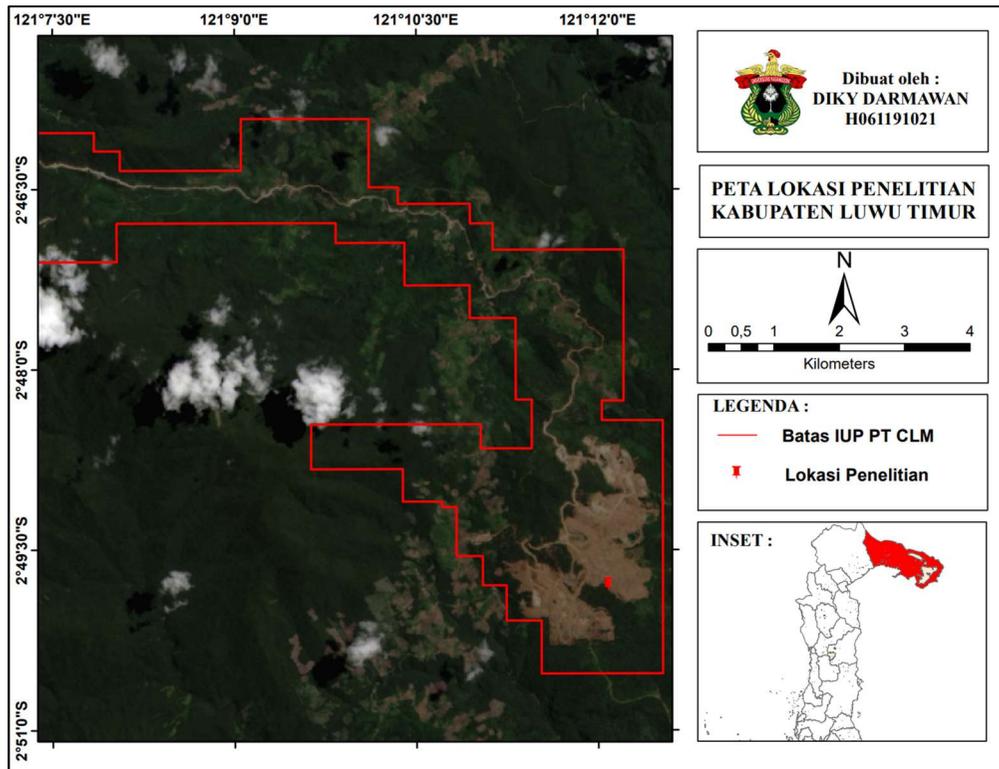
Mean Absolute Percentage Error (MAPE) yang merupakan ukuran kesalahan relatif dan menyatakan persentase kesalahan hasil peramalan terhadap permintaan aktual selama periode tertentu yang akan memberikan informasi persentase kesalahan terlalu tinggi atau terlalu rendah. Dengan ukuran nilai MAPE seperti pada Tabel 1 (Nurfadillah, dkk., 2022).

Tabel 1. Akurasi Prediksi

Nilai MAPE	Akurasi Prediksi
MAPE ≤ 10%	Tinggi
10% < MAPE ≤ 20%	Baik
20% < MAPE ≤ 50%	Resonable
MAPE > 50%	Rendah

BAB II METODE PENELITIAN

2.1 Lokasi Penelitian



Gambar 4. Peta Lokasi penelitian

2.2 Perangkat penelitian

Adapun perangkat yang digunakan pada Penelitian Tugas Akhir ini yaitu:

- Total Station Topcon GM-50* untuk pengambilan koordinat
- Software GEOVIA SURPAC* untuk pembentukan *Digital Terrain Model* dan perhitungan volume
- Software Microsoft Excel* untuk analisis geostatistik

2.3 Tahapan Penelitian

Setiap kegiatan penelitian harus melalui serangkaian tahapan atau prosedur. Tahapan penelitian biasanya dimulai dari tahap persiapan dan diakhiri dengan tahap penarikan kesimpulan. Dari tahapan tersebut kemudian akan memperoleh sebuah hasil penelitian yang diharapkan akan memenuhi tujuan dari penelitian tersebut. Berikut merupakan tahapan-tahapan dalam penelitian ini.

2.3.1 Studi Literatur

Tahap persiapan merupakan tahap atau langkah awal pada sebuah penelitian. Seorang peneliti sangat membutuhkan persiapan-persiapan sebelum melakukan sebuah penelitian. Dalam penelitian ini, tahap persiapan dilakukan dengan menyusun rumusan masalah dan tujuan yang berkaitan dengan pemetaan kemajuan penambangan serta melakukan studi pustaka atau studi literatur, yaitu mengumpulkan informasi atau referensi-referensi mengenai topografi daerah penelitian, metode pemetaan dan *Digital Terrain Model* melalui sumber-sumber tertentu.

2.3.2 Survei Lapangan

Pengambilan data di lapangan dilakukan pada setiap hari sabtu dan minggu menggunakan metode pengukuran titik detail. Dalam pengukuran titik detail menggunakan metode *Tachymetry* dimulai dengan penyiapan alat ukur (*Total Station*) dan prisma poligon diatas titik ikat (Rasyidi dan Ansosry, 2020). Penempatan rambu (prisma) ditempatkan di titik-titik yang mengalami perubahan topografi dari minggu sebelumnya. Untuk memudahkan pengolahan data, pada pengukuran perlu menandai *Crest*, *Toe*, *Crest and Toe* dan juga detail dengan kode yang telah ditentukan (Vieri dkk.,2023).



Gambar 5. *Crest* dan *Toe* (Dokumentasi pribadi)

2.3.3 Tahap Pengolahan Data

Software GEOVIA Surpac 6.6.2 merupakan perangkat lunak yang digunakan untuk mengolah data hasil pengukuran Survei dari lapangan menggunakan alat *Total Station* yang didapatkan koordinat X sebagai *easting* Y sebagai *Northing* dan Z sebagai elevasi. Data koordinat yang telah diperoleh diubah menjadi format (.str) yang kemudian akan diubah menjadi format (.dtm). Pada dasarnya pembentukan DTM (*Digital Terrain Model*) pada Surpac menggunakan metode *Triangulasi Irregular Network* (TIN) / jaring-jaring segitiga yang membentuk model 3D yang solid.

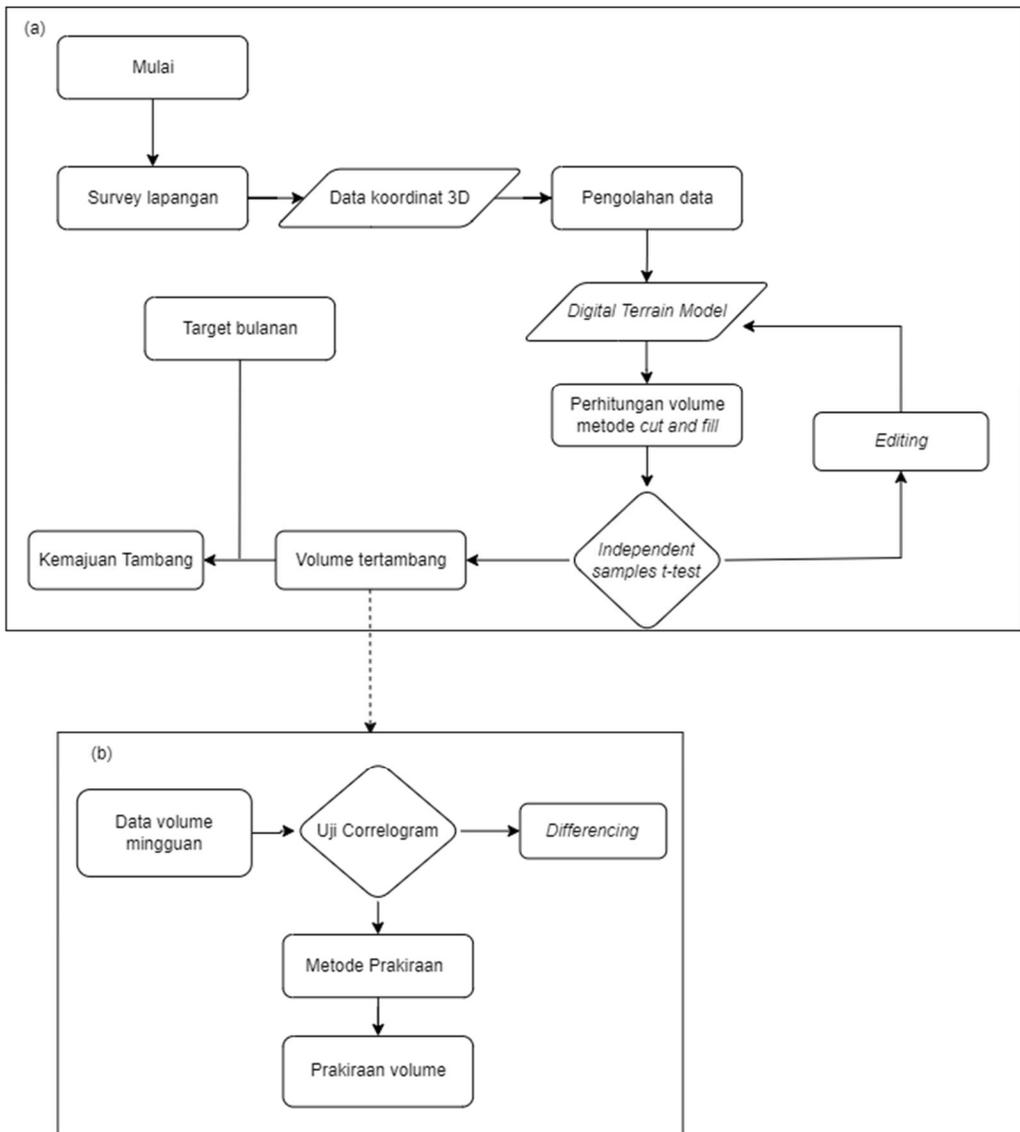
Metode perhitungan volume adalah *Cut and Fill between DTMs*, yang dimungkinkan dengan menggunakan data dari 2 (dua) DTM (*Digital Terrain Model*) dalam format (.dtm) dan 1 (satu) string *boundary* sebagai batas dalam format (.str). Metode ini yang dihitung adalah besar volume galian dan timbunan. Volume dihitung dari DTM

(*Digital Terrain Model*) yang dibentuk dari jaring- jaring segitiga *Triangulasi Irregular Network* (TIN). Jaring-jaring segitiga inilah yang akan membentuk suatu geometri prisma dari dua *surface*.

2.3.4 Analisis Geostatistika

Untuk mengetahui apakah hasil pengukuran dan pengolahan data sudah benar maka perlu dilakukan validasi. Untuk memvalidasi hasil perhitungann volume menggunakan metode survei dapat dilakukan dengan membandingkan dengan volume *truck count* menggunakan metode *Independent Samples t-test*. Apabila terdapat perbedaan yang signifikan antara volume survei dengan volume *truck count* maka kemungkinan terjadi kesalahan dalam pengukuran atau pengolahan data. Uji statistik *Independent Samples t-test* dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan (39) untuk memperoleh nilai T_{hitung} . Kemudian melakukan penarikan kesimpulan berdasarkan dasar pengambilan keputusan dalam uji *Independent Samples t-test*. Melakukan prakiraan volume pada bulan agustus menggunakan metode prakiraan (*forecast*). Sebelum melakukan prakiraan terlebih dahulu dilakukan penentuan pola data menggunakan uji *Correlogram* untuk mengetahui apakah pola data stasioner atau tidak.

2.4 Bagan Alir Penelitian



Gambar 6. Bagan alir penelitian (a) Perhitungan presentase kemajuan tambang mingguan (b) Prakiraan volume tertambang