

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pertambangan batubara merupakan hal sangat fundamental bagi ketersediaan energi pada saat ini. Baik sebagai pembangkit tenaga listrik, industri pembuatan semen, peleburan bijih besi dan baja, dan lain-lain. Permintaan batubara dari pasar domestik maupun mancanegara meningkat. Sektor pertambangan juga menyerap banyak tenaga kerja maupun tenaga ahli. Sehingga menarik untuk mempelajari secara mendalam kegiatan-kegiatan penambangan (Alfandi, 2001).

Kegiatan penambangan dibedakan menjadi beberapa tahapan, yaitu tahapan persiapan (prospeksi), tahapan eksplorasi, tahapan studi kelayakan (*visibility study*), tahapan eksploitasi, tahapan pengolahan, serta tahapan penutupan tambang (*mine closure*). Setiap tahapan tersebut memiliki manfaat tersendiri yang dijalankan dengan waktu yang tepat agar mengurangi resiko-resiko buruk yang terjadi ketika kegiatan penambangan dilakukan (Rusman, 2016).

PT Arkananta Apta Pratista merupakan salah satu perusahaan tambang batubara yang beroperasi di Kecamatan Malinau Selatan, Kabupaten Malinau, Kalimantan Utara. Sistem penambangan yang digunakan adalah sistem tambang terbuka (*surface mining*) menggunakan metode *open pit mining* dan untuk menunjang kegiatan penambangan pada PT Arkananta Apta Pratista digunakan metode survei untuk mengetahui jarak dan elevasi maupun ketinggian dari area penggaliannya.

Kegiatan survei sangat berguna untuk pembuatan peta topografi daerah tambang yang akan digunakan, untuk mengetahui sebaran dari bahan galian serta bentuk permukaan bumi sebelum kegiatan penambangan dilakukan. Informasi dan data yang diperoleh dari kegiatan survei nantinya akan diolah menjadi data utama yang merupakan dasar pembuatan rancangan tambang (*mine design*) dan penentuan daerah yang akan ditambang. Dari desain rancangan tambang, akan diketahui jumlah volume lapisan tanah penutup (*overburden*) yang harus dipindahkan dan volume batubara atau bahan galian yang akan ditambang. Pada kegiatan eksploitasi, survei dilakukan dengan tujuan untuk mengevaluasi kemajuan tambang atau untuk

mengetahui volume *overburden* atau bahan galian yang belum tergali (Muliadi dkk, 2018).

Pada tambang terbuka, kegiatan awal dari proses penambangan adalah pembersihan lahan, pengupasan *overburden* atau tanah penutup yang berada di atasnya dan pengambilan endapan batubara. *Overburden* merupakan material yang tidak berharga yang harus digali dari *pit* agar batubara dapat ditambang. Dalam dunia pertambangan, perhitungan volume *overburden* sangat diperlukan. Perhitungan ini digunakan untuk mengetahui seberapa baik pencapaian perusahaan dalam melaksanakan proses penambangan sejalan dengan tujuan yang dicapai.

Dua metode yang umum digunakan untuk menghitung volume *overburden* pada penambangan batubara adalah metode *cut and fill* dan metode *truck count*. Metode *cut and fill* melibatkan pengukuran secara langsung menggunakan alat seperti *total station*. Sedangkan metode *truck count* mengandalkan perhitungan jumlah truk dengan muatan masing-masing yang digunakan untuk mengangkut material *overburden*.

Pengupasan *overburden* perlu dilakukan pengawasan pada setiap perusahaan agar target dapat sesuai dengan perencanaan. Terdapat beberapa cara untuk melakukan pengawasan terhadap kegiatan pengupasan *overburden*. Salah satu cara yang kerap dilakukan oleh perusahaan adalah dengan membandingkan volume tanah penutup yang telah dikupas (*truck count*) dengan perhitungan volume menggunakan data survei (data progress). Perbandingan volume *overburden* ini digunakan sebagai acuan dalam evaluasi terhadap kinerja dari berbagai pihak terkait yaitu pihak PT Kayan Putra Utama Coal selaku *Owner* terhadap PT Arkananta Apta Pratista selaku kontraktor yang menambang, serta hasil antara volume *overburden* yang telah dikupas (*truck count*) dengan volume menggunakan data survei (data progress) selalu berbeda. Oleh karena itu, dengan adanya penelitian ini diharapkan dapat membantu untuk mengevaluasi perhitungan volume *overburden* dengan metode survei dan perhitungan *truck count*.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Berapa volume material *overburden* berdasarkan data survei dan data *truck count*?
2. Berapa hasil deviasi material *overburden* berdasarkan data survei dan data *truck count*?
3. Faktor apa saja yang menyebabkan adanya perbedaan dari perhitungan volume dan data survei dengan data *truck count*?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui volume material *overburden* berdasarkan data survei dan *truck count*.
2. Mengetahui hasil deviasi material *overburden* berdasarkan data survei dan data *truck count*.
3. Menganalisis faktor yang menyebabkan adanya perbedaan dari perhitungan volume data survei dengan data *truck count*.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari melakukan penelitian ini yaitu dapat memberikan informasi mengenai cara perhitungan *overburden* dengan metode dua cara yaitu menggunakan data survei dan menggunakan data *truck count*. Hasil dari perhitungan tersebut dapat dijadikan acuan dalam kegiatan penambangan, baik sebagai acuan sistem penambangan maupun kegiatan penambangan lainnya. Penelitian ini juga diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan teknologi dan metode pengukuran yang lebih baik untuk industri pertambangan batubara. Serta penelitian ini juga diharapkan dapat menjadi referensi bagi pembaca maupun peneliti dalam bidang studi yang sama.

1.5 Ruang Lingkup

Penelitian ini hanya berfokus pada perbandingan perhitungan volume material *overburden* batubara yang dihasilkan dari data survei yang telah diukur oleh tim survei dan *truck count* yang berasal dari *checker*. Adapun data yang digunakan diambil pada minggu pertama hingga minggu keempat bulan Februari 2024 pada

pit Tanjung Nanga PT. Arkananta Apta Pratista, Kecamatan Malinau Selatan, Kabupaten Malinau, Provinsi Kalimantan Utara. Selanjutnya hasil penelitian digunakan untuk menganalisis faktor-faktor penyebab perbedaan volume material *overburden* batubara antara data survei dan data *truck count*, seperti ketidakakuratan pengukuran, perbedaan metode pengukuran, dan faktor lingkungan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Survei

Pemetaan adalah pengelompokkan suatu kumpulan wilayah yang berkaitan dengan beberapa letak geografis wilayah yang meliputi dataran tinggi, pegunungan, sumberdaya dan potensi penduduk yang berpengaruh terhadap sosial kultural yang memiliki ciri khas khusus dalam penggunaan skala yang tepat (Syaripuddin, 2001). Pemetaan yaitu sebuah tahapan yang harus dilakukan dalam pembuatan peta. Langkah awal yang dilakukan dalam pengambilan data, dilanjutkan dengan pengolahan data, dan penyajian dalam bentuk peta (Abidin, 2007).

Bentuk penyajian disebut peta jika skalanya kecil, sedangkan bentuk penyajian disebut *plan* jika skalanya besar. Jika bentuk penyajiannya termasuk kedalam *plan* umumnya hanya jarak mendatar dan arah yang diperlihatkan, sedangkan pada peta topografi digambarkan jarak vertikal/ketinggian, atau dengan kata lain bahwa pematokan merupakan kebalikan dari pemetaan (Hamzah dan Hasmar, 2014).

Dalam perencanaan pemetaan tambang seperti perencanaan kemajuan tambang, eksplorasi, penutupan tambang, jalan dan sebagainya. Peta merupakan hal yang sangat penting untuk perencanaan tersebut. Untuk memindahkan titik-titik yang ada pada peta suatu perencanaan tambang ke lapangan (permukaan bumi) dalam pelaksanaannya pekerjaan tambang ini dibuat dengan pematokan *staking out*, atau dengan perkataan lain bahwa pematokan merupakan kebalikan dari pemetaan (Iskandar, 2008).

Survei tambang merupakan kegiatan pendukung yang sangat penting dalam pertambangan, baik pada tahap persiapan (eksplorasi), selama kegiatan operasional, maupun penutupan tambang (pasca operasi). Pada kegiatan persiapan seperti pemetaan topografi, perencanaan desain tambang dan pembangunan fasilitas tambang. Pengukuran tambang selama kegiatan tambang berlangsung (operasional) misalnya pada pengukuran volume penggalian, volume disposal, dan volume *stockpile*. Sedangkan pada penutupan tambang, data survei tambang digunakan untuk pembuatan dasar rencana reklamasi.

Pekerjaan survei atau pemetaan sendiri adalah suatu teknik dan ilmu untuk menentukan posisi titik dalam suatu ruang 3D, menentukan jarak dan sudut diantara titik-titik tersebut dengan teliti. Orang yang melakukan survei dan pemetaan disebut *surveyor*. Dalam rangka memenuhi sasaran dan maksud dari pekerjaan survei, seorang *surveyor* harus tahu prinsip geometri (ilmu ukur) dan matematika.

Sekarang ilmu ukur tambang telah banyak dikembangkan dan sudah menggunakan alat-alat yang modern dan canggih. Melihat pesatnya ilmu pengetahuan salah satunya adalah ilmu ukur tambang yang sekarang banyak dipelajari di perguruan tinggi dengan memadukan alat yang canggih serta berbagai macam *software* yang menunjang dalam memecahkan masalah yang menyangkut aktivitas pertambangan. Definisi *surveying* ini mengacu pada pengumpulan data yang berhubungan dengan perekaman bentuk permukaan bumi dan umumnya direpresentasikan sebagai peta, dalam bentuk bidang datar atau model digital. Sedangkan pengukuran memberikan arti pada peralatan dan metode yang berhubungan dengan pelaksanaan *surveying* (Purwoharjo, 1986).

2.2 *Total Station*

Total station merupakan salah satu piranti atau perangkat yang digunakan untuk melakukan perhitungan atau pemetaan tanah. Memiliki komponen yang tersusun dari teropong dan bidang level membuat *total station* sangat mudah sekali digunakan dalam memperhitungkan jarak, titik tempat tertentu dengan sangat mudah. *Total station* sendiri merupakan bentuk pengembangan dari *theodolite*. Oleh sebab itu *total station* sendiri sering disebut sebagai digital *theodolite*. Sehingga bukan hal yang lain apabila memiliki bentuk fisik yang hampir sama (Maulidin, 2016).

Total station merupakan teknologi alat yang menggabungkan secara elektronik antara teknologi *theodolite* dengan teknologi EDM (*Electronic Distance Measurement*). EDM merupakan alat ukur jarak elektronik yang menggunakan gelombang elektromagnetik sinar infra merah sebagai gelombang pembawa sinyal pengukuran dan dibantu dengan sebuah reflektor berupa prisma sebagai target (alat pemantul sinar infra merah agar kembali ke EDM). *Total station* menggunakan sistem prisma dan laser untuk mengembangkan pembacaan digital dari seluruh

pengukuran selama pekerjaan. Semua informasi yang dikumpulkan dengan *total station* disimpan dalam sebuah komputer eksternal di mana data dapat dimanipulasi dan ditambahkan ke program CAD (*Computer Aided Design*) (Basuki, 2006).

Total station sendiri terdiri dari tiga tipe, yaitu manual *total station*, *semiautomatic total station* dan *automatic total station*. Semakin canggih alat tersebut di buat, maka semakin mempermudah dalam melakukan pengukuran. Meskipun memiliki tipe yang berbeda pada dasarnya *total station* dirancang sebagai alat yang dapat mempermudah dalam melakukan perhitungan sudut suatu tempat.

Pada dasarnya pengukuran sudut dengan menggunakan *total station* hampir sama dengan pengukuran sudut pada *theodolite*. Jika dipelajari lebih dalam lagi, di dalam *total station* terdapat dua buah sumbu yang dimana kedua sumbu tersebut terdapat suatu skala yang dapat digunakan untuk menyatakan besarnya sudut. Data sudut yang harus diketahui untuk memperoleh koordinat 3D adalah sudut vertikal dan sudut horizontal, dimana sudut horizontal digunakan untuk mendapatkan posisi horizontal (X,Y) serta sudut vertikal digunakan untuk memperoleh posisi vertikal (Z) (Basuki, 2006). Alat *total station* dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Alat ukur *total station* dalam beberapa generasi (Basuki, 2006)

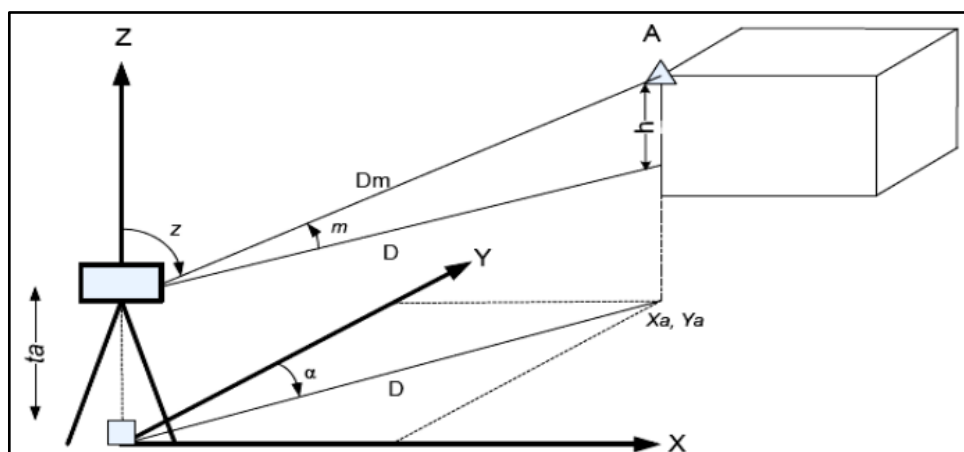
Pengukuran jarak pada *total station* pada dasarnya merupakan pengukuran jarak menggunakan *Electronic Distance Meter* (EDM). Untuk memperoleh jarak, *total station* memancarkan suatu gelombang dari pusat lensa *total station* ke suatu objek yang akan diketahui posisinya kemudian menerima pantulannya. Untuk mengetahui jarak dari alat ke target dihitung berdasarkan cepat rambat gelombang yang dikalikan dengan waktu tempuhnya. Data yang diperoleh dalam pengukuran menggunakan *total station* pada dasarnya berupa sudut dan jarak. Pengambilan data dilakukan dengan metode *tachymetri*.

2.3 Metode *Tachymetri*

Metode *tachymetri* adalah pengukuran menggunakan alat-alat optis, elektronis, dan digital. Metode *tachymetri* didasarkan pada prinsip bahwa pada segitiga-segitiga sebangun, sisi yang sepihak adalah sebanding. Metode *tachymetri* paling bermanfaat dalam penentuan lokasi sejumlah besar detail topografi baik horizontal maupun vertikal. Pengukuran titik-titik detail dengan metode *tachymetri* pada dasarnya dilakukan dengan menggunakan peralatan dengan teknologi lensa optis dan elektronis digital. *Tachymetri* sering digunakan sebagai metode referensi untuk membandingkan akurasi dan kinerja teknik pengukuran lainnya (Rubstov *et al.*, 2019).

Dalam pengukuran titik-titik detail pada prinsipnya adalah menentukan koordinat dan tinggi titik –titik detail dari titik-titik ikat. Pengukuran titik-titik detail pada dasarnya dapat dilakukan dengan 2 metode, yaitu *offset* dan *tachymetri*. Metode *offset* menggunakan peralatan sederhana, seperti pita ukur, jalon, meja ukur, mistar, busur derajat, dan lain sebagainya.

Metode *tachymetri* menggunakan peralatan dengan teknologi lensa optis dan elektronis digital. Pengukuran metode *tachymetri* mempunyai keunggulan dalam hal ketepatan dan kecepatan dibandingkan metode *offset*. Pengukuran titik-titik detail metode *tachymetri* ini relatif cepat dan mudah karena yang diperoleh dari lapangan adalah pembacaan rambu, sudut horizontal (azimut magnetis), sudut vertikal (*zenith* atau inklinasi) dan tinggi alat. Hasil yang diperoleh dari pengukuran *tachymetri* adalah posisi planimetris X, Y, dan ketinggian Z. Metode *tachymetri* dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2 Metode *tachymetri* (Purwaamijaya, 2008)

Keterangan gambar:

A	: Sudut jurusan ($^{\circ}$)
m	: Sudut miring ($^{\circ}$)
Dm	: Jarak miring (m)
D	: Jarak datar (m)
Ta	: Tinggi alat (m)
Δ	: Titik kontrol bangunan
$\square$	: Titik kerangka dasar

Perhitungan koordinat metode *tachymetri* dapat dilihat pada persamaan (1), persamaan (2), dan persamaan (3).

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

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

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

dimana,

X, Y, Z	: Koordinat objek (m)
Xa, Ya	: Koordinat titik sebelumnya (m)
α	: <i>Azimuth</i> /sudut jurusan ($^{\circ}$)
d	: Jarak mendatar antar titik (m)
sd	: Jarak miring (m)
z	: Sudut <i>zenith</i> pada alat ukur ($^{\circ}$)

Metode *tachymetri* berperan penting dalam pertambangan dengan memberikan pengamatan dan pengukuran geodesi untuk berbagai aplikasi seperti pemodelan subsidensi, memantau deformasi tanah, dan menilai perilaku struktur dari batuan. Dalam konteks penambangan, *tachymetri* sering dibandingkan dengan teknik pengukuran lain seperti pemindaian laser terestrial. *Tachymetri* juga sering digunakan dalam referensi untuk membandingkan akurasi dan kinerja dari fotogrametri kendaraan udara.

Singkatnya metode *tachymetri* adalah metode survei yang umum digunakan sebagai metode referensi untuk membandingkan akurasi dan kinerja teknik pengukuran lainnya. Metode ini telah digunakan dalam berbagai aplikasi seperti pengukuran. Contoh lain penggunaan aplikasi lainnya yang dapat dijadikan contoh yaitu pemantauan struktur tinggi.

2.4 Tanah Penutup (*Overburden*)

Tanah penutup (*overburden*) merupakan material yang terdapat di permukaan dan sifatnya dapat dikatakan lepas. Tanah penutup dalam penambangan batubara itu mengacu pada lapisan batuan dan tanah yang terletak di atas lapisan batubara. Material ini harus digali agar memudahkan proses kegiatan penambangan batubara. *Overburden* terdiri dari tiga jenis material yaitu material *top soil*, *common soil* dan *rock* (Tenriajeng, 2003). Definisi dari ketiga jenis material tersebut adalah sebagai berikut:

1. *Top Soil*

Top soil merupakan materi bagian atas yang sifatnya lunak dan mudah digali. Contoh material *top soil* adalah material eks-penimbunan dan memiliki kedalaman kurang lebih 2 m. Karena sifat dari materi *top soil* yang lunak dan mudah digali maka penggaliannya cukup dengan menggunakan *excavator backhoe*. Adapun material *top soil* yang digali berupa tanah yang mengandung humus.

2. *Common Soil*

Common soil merupakan material yang sifatnya agak keras dan agak sulit digali, sehingga penggaliannya tidak dapat menggunakan *excavator*, melainkan terlebih dahulu harus di-*ripping* menggunakan *bulldozer*. Material yang termasuk *common soil* adalah *Shale*, *Sillsstone*, *Clay*, dan lain-lain.

3. *Rock*

Rock merupakan material yang sangat keras dan sulit digali dengan menggunakan alat berat sehingga untuk melepaskan material *rock* yaitu dengan peledakan. Material yang termasuk *rock* adalah Granit, Andesit, *Sandstone* dan lain-lain. Pengupasan tanah penutup (*overburden*) merupakan pekerjaan awal dalam suatu operasi penambangan.

Adapun dalam pekerjaan *stripping overburden* ini sangat penting agar di dapat *stripping ratio* yang baik dan *recovery* batubara yang tinggi. Pada tahap ini juga akan dibuat *bench-bench* sebagai tempat kerja alat berat. Berdasarkan kondisi volumenya, tanah dapat diubah-ubah. Dikenal tiga macam volume tanah penutup (*overburden*) yaitu volume asli (*bank*), volume lepas (*loose*) dan volume padat (*compacted*) (Tenriajeng, 2003).

Adapun penjelasan dari masing-masing volume diatas adalah:

1. Volume asli (*insitu/bank*) adalah volume tanah yang belum diganggu dengan alat-alat berat. Biasanya volume ini dijadikan dasar bagi perhitungan tanah. Satuan yang digunakan adalah *bank cubic meter* (bcm).
2. Volume lepas (*loose*) adalah volume tanah setelah dibongkar atau dikeruk dari tempat asalnya. Misalnya tanah yang sudah didorong dengan menggunakan *bulldozer*, diangkut *dump truck* atau ditempat penimbunan yang belum dipadatkan. Satuan adalah *loose cubic meter* (lcm).
3. Volume padat (*compacted*) adalah volume tanah yang sudah ditimbun dan sudah dipadatkan, misal sebagai badan jalan, landasan *stockpile* batubara dan sebagainya. Satuan yang digunakan adalah *compacted cubic meter* (ccm).

Lapisan tanah penutup (*overburden*) adalah semua lapisan tanah/batuan yang berada diatas dan langsung menutupi lapisan bahan galian berharga sehingga perlu disingkirkan terlebih dahulu sebelum dapat menggali bahan galian berharga tersebut. Pada industri pertambangan, biasanya *overburden* digali dan dipindahkan pada suatu tempat yang dinamakan *disposal area* untuk diambil bahan galiannya. Ketebalan *overburden* dapat mempengaruhi perpindahan berat yang berdampak pada stabilitas tambang. Menurut Tenriajeng (2003), lapisan tanah penutup (*overburden*) yang dapat ditemui umumnya dikelompokkan menjadi beberapa sifat yaitu:

1. Material yang sangat mudah digali (sangat lunak)
 - a. Material yang mengandung sedikit air, misalnya pasir, tanah biasa, kerikil, campuran pasir dengan tanah biasa.
 - b. Material yang banyak mengandung air, misalnya pasir lempungan, lempung pasir, lumpur dan pasir yang banyak mengandung air.
2. Material yang lebih keras (lunak)

Material ini biasanya berasal dari tanah biasa yang bercampur kerikil, pasir yang bercampur kerikil.
3. Material yang setengah keras (sedang)

Misalnya batubara, *shale* (*clay* yang sudah mulai kompak), batuan kerikil yang mengalami sementasi dan pengompakan, batuan beku yang sudah mulai lapuk, dan batuan-batuan yang sudah mengalami banyak rekahan-rekahan.

4. Material yang keras

Misalnya *Sandstone*, *Limestone*, *Slate*, batuan beku yang mulai lapuk, mineral-mineral penyusun batuan yang telah mengalami sementasi dan pengompakan.

5. Material sangat keras

Misalnya batu-batuan beku dan batu-batuan metamorf, contohnya Granit, Andesit, *Slate*, Kuarsit dan sebagainya.

6. Batuan yang masif

Yaitu batu-batuan yang sangat keras dari kelompok seperti batuan beku berbutir halus.

2.4.1 Metode pengupasan tanah penutup (*overburden*)

Kegiatan pengupasan tanah penutup (*overburden*) merupakan salah satu tahap operasional penambangan yang biasa dikenal dengan *stripping overburden*. *Stripping overburden* merupakan proses pemindahan lapisan tanah penutup yang nantinya berguna untuk mengambil bahan galian yang berada di bawahnya. Kegiatan pengupasan *overburden* dilakukan pada tahap awal penambangan.

Menurut Tenriajeng (2003), adapun metode dari pengupasan lapisan tanah penutup (*overburden*) dibagi menjadi beberapa bagian, yaitu:

1. *Benching System*

Cara ini merupakan kegiatan yang melakukan sistem jenjang (*benching*) pada waktu pengupasan lapisan tanah penutup (*overburden*). Metode ini sangat cocok untuk lapisan tanah penutup yang tebal dan bahan galian yang juga cukup tebal.

2. *Backfilling Digging Method*

Cara ini dilakukan dengan lapisan tanah penutup dibuang ke tempat pembuangan bekas penambangan atau yang sudah tidak ada lagi diperkirakan batubara di daerah tersebut. Metode ini cocok untuk lapisan tanah penutup yang tidak diselingi oleh beberapa bahan galian serta tempatnya mendatar.

3. *Multi Bucket Excavator*

Cara ini dilakukan dengan lapisan tanah penutup dibuang ke tempat yang sudah digali. Metode ini cocok untuk material yang memiliki sifat lunak dan tidak lengket. Biasanya metode ini menggunakan *Bucket Wheel Excavator*.

4. *Drag Scraper System*

Cara ini biasanya diawali dengan pengambilan lapisan tanah penutup dan diikuti dengan pengambilan bahan galian setelah material penutup dibuang, akan tetapi bisa juga material penutup diambil terlebih dahulu setelah itu baru pengambilan bahan galian tambang. Metode ini sangat cocok untuk material penutup yang memiliki sifat lunak.

2.5 Faktor Pengembangan (*Swell Factor*)

Pengembangan (*swell*) Pengembangan pada tanah atau batuan terjadi ketika material tersebut dilakukan penggalian atau diledakkan dari tempat aslinya. Kegiatan tersebut menghasilkan ruang atau pori yang menyebabkan meningkatnya volume dari keadaan asli (*bank*) di lapangan, menjadi material dalam kondisi lepas (*loose*). *Swell factor* merupakan persentase volume material dalam keadaan asli dengan volume material tersebut dalam keadaan lepas (Fujiawati, 2015).

Swell factor adalah suatu material yang terdapat di alam dalam keadaan padat dan terkonsolidasi dengan baik sehingga sedikit bagian yang kosong atau ruang-ruang yang terisi oleh udara akan tetapi jika material tersebut digali dari tempat aslinya, maka akan terjadi faktor pengembangan atau pemuai volume (*swell*) sehingga akan terjadi suatu penambahan volume (Prodjosumarto, 1993).

Pengembangan (*swell*) adalah persentase pemberaian volume material dari volume asli yang dapat mengakibatkan bertambahnya jumlah material yang harus dipindahkan kedudukan aslinya (Tenriajeng, 2003). Faktor pengembangan juga dapat diketahui dari perbandingan densitas material lepas dan densitas material insitunya. Densitas adalah berat per unit volume dari suatu material. Material mempunyai densitas yang berbeda karena dipengaruhi sifat-sifat fisiknya. Untuk menentukan nilai faktor pengembangan (*swell factor*) material dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Nilai Faktor Pengembangan (*Swell factor*)

No	Macam Material	Bobot Isi (<i>Density</i>)	<i>Swell Factor</i>
1	Bauksit	2.700-4.325	0,075
2	Tanah liat kering	2.300	0,85
3	Tanah liat basah	2.800- 3.000	0,82-0,80

No	Macam Material	Bobot (<i>Density</i>)	<i>Swell Factor</i>
4	Antrasit (<i>anthracite</i>)	2.200	0,74
5	Batubara bituminous	1.900	0,74
6	Bijih Tembaga	3.800	0,74
7	Tanah biasa kering	2.800	0,85
8	Tanah biasa basah	3.370	0,85
9	Tanah biasa bercampur pasir dan kerikil	3.100	0,90
10	Kerikil kering	3.250	0,89
11	Kerikil basah	3.600	0,88
12	Granit pecah-pecah	4.500	0,5-0,6
13	Hematit pecah-pecah	6.500-8.700	0,45
14	Bijih besi pecah pecah	3.600-5.500	0,45
15	Batu kapur pecah-pecah	2.500-4.200	0,60-0,7
16	Lumpur	2.160-2.970	0,83
17	Lumpur sudah ditekan	2.970-3.510	0,83
18	Pasir kering	2.200-3.250	0,89
19	Pasir basah	3.300-3.600	0,14
20	Serpilh (<i>shale</i>)	3.000	0,75
21	Batu sabak (<i>slate</i>)	4.590-4.860	0,77

Sumber: Partanto prodjosumanto (1995)

Adapun cara untuk menghitung *swell factor* dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan (4)

$$SF = \frac{\text{bank volume}}{\text{loose volume}} \quad (4)$$

dimana,

SF = *Swell factor*

Bank volume = Volume material sebelum digali

Loose volume = Volume material yang ditangani

2.6 Alat-Alat Pemindah Tanah Mekanis

Alat pemindah tanah adalah peralatan yang digunakan untuk memindahkan muatan yang berat dari satu tempat ke tempat lain dalam jarak yang tidak jauh, misalnya

pada bagian atau departemen pabrik, pada tempat-tempat penumpukan bahan, lokasi konstruksi, tempat penyimpanan dan pembongkaran muatan dalam jumlah besar, serta jarak tertentu dengan arah pemindahan bahan vertikal, horizontal, dan atau kombinasi antara keduanya. Berbeda dengan alat transportasi yang memindahkan muatan (bisa berupa barang atau manusia) dengan jarak yang cukup jauh, alat pemindah bahan umumnya hanya digunakan untuk memindahkan muatan berupa bahan, *tools*, ataupun *sparepart* hanya pada jarak tertentu (Hasviah dan Maiyudi, 2021).

Pada dasarnya prinsip dasar pemindahan tanah mekanis adalah memindahkan material (tanah) dari suatu tempat ke tempat lainnya. Akan tetapi proses pekerjaan dan pelaksanaannya dapat berbeda-beda, hal ini dimungkinkan karena adanya faktor-faktor sebagai berikut (Nugraheni, 2020):

1. Sifat-sifat fisik material atau tanah
2. Alat mekanis yang digunakan
3. Jarak angkut atau pemindahan
4. Tujuan akhir pekerjaan
5. Keadaan situasi atau kondisi lapangan

Dalam kegiatan pemindahan tanah mekanis terutama pada kegiatan penambangan terdapat beberapa jenis alat utama yang umum dipakai antara lain alat pemuatan (*excavator*), alat angkut (*dumptruck*), dan alat pendukung seperti *bulldozer*, *grader*, *compactor* dan *bucket wheel excavator* (Ivanov and Dzyurich, 2022).

2.6.1 Excavator

Excavator merupakan alat berat yang dipergunakan untuk menggali dan mengangkut (*loading* dan *hauling*) suatu material baik itu tanah, batubara, pasir dan lainnya. *Excavator* ini berperan penting dalam industri pertambangan, khususnya dalam penambangan terbuka berskala besar dan pekerjaan konstruksi lainnya. Berdasarkan jenis penggerakanya *excavator* dapat dibedakan menjadi 2 yaitu:

1. *Crawler Excavator* atau *excavator* roda kelabang

Excavator jenis ini menggunakan roda kelabang pada bagian *undercarriage*. *Excavator* jenis ini menggunakan *powertrain hydrostatic*

transmission dimana tenaga dari motor hidraulik dialirkan ke sistem *planetary gear* sehingga *excavator* dapat bergerak.

2. *Wheel Excavator* atau *excavator* menggunakan roda

Excavator jenis ini menggunakan roda dimana *excavator* ini tidak membutuhkan bagian *undercarriage*.

Secara umum tenaga penggerak *excavator* ada dua yaitu *engine type* (diesel) dan *battery type* (motor listrik). Secara umum tenaga penggerak utama *hydraulic excavator* adalah mesin diesel yang merubah energi mekanik menjadi energi hidraulik melalui tekanan pompa yang kemudian didistribusikan ke silinder hidraulik untuk menghasilkan gerakan. Sedangkan motor listrik untuk menstarter dan menyuplai energi komponen-komponen elektrik seperti dinamo, lampu, alat-alat ukur operator, monitor/panel dan sebagainya.

Dengan adanya perbedaan kebutuhan dari masing-masing bidang industri, maka para perusahaan pembuat *excavator* melengkapi unitnya dengan berbagai jenis *bucket* berdasarkan fungsinya antara lain sebagai berikut:

1. *Standard bucket*

Merupakan jenis yang paling banyak digunakan karena penggunaanya yang fleksibel untuk beberapa kondisi pekerjaan. *Standard bucket* dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3 *Standard bucket*

2. *Ripper bucket*

Cocok digunakan untuk menggali lapisan bebatuan atau tanah liat yang keras. *Ripper Bucket* dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4 *Ripper bucket*

3. *Ditch cleaning bucket*

Cocok digunakan untuk membersihkan sungai atau mengeruk lumpur dari dasar sungai. *Bucket* ini memiliki beberapa lubang yang berfungsi sebagai tempat keluarnya air. *Ditch cleaning bucket* dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5 *Ditch cleaning bucket*

4. *Slope finishing bucket*

Digunakan untuk meratakan permukaan tanah kerana memiliki bucket yang datar dan lebar. Biasa digunakan untuk meratakan jalan, kanal, sisi lereng dll. *Slope finishing bucket* dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6 *Slope finishing bucket*

2.6.2 *Dump truck*

Dump truck merupakan alat berat yang berfungsi untuk mengangkut atau memindahkan material pada jarak menengah sampai jarak jauh. *Dump truck* biasa digunakan untuk mengangkut material alam seperti tanah, pasir, batu dan juga material bahan galian lainnya. Umumnya material yang dimuat pada *dumptruck* oleh alat pemuat seperti *excavator backhoe* atau *loader*. Untuk membongkar muatan material bak *dump truck* dapat terbuka dengan bantuan sistem hidrolik.

Menurut (Sudianto, Syaifudin, Nugraha, & Wiyono, 2018) *dump truck* merupakan sebuah alat berat yang berfungsi untuk mengangkut atau memindahkan material dalam jarak tertentu. Terdapat beberapa komponen utama seperti *tube*, *rod* dan piston. Dari beberapa komponen tersebut yang sering mengalami kerusakan yaitu piston, dikarenakan mobilitas pemakaiannya bergerak naik dan turun maupun maju dan mundur *dump truck* dilengkapi dengan bak terbuka yang dioperasikan dengan bantuan hidrolik, *dump truck* biasa digunakan untuk memindahkan material hasil tambang ataupun material tanah. Kapasitas *dump body* akan menentukan kinerja dari hidrolik. Kedua komponen tersebut harus sesuai dengan kapasitasnya masing-masing agar *dump truck* dapat beroperasi sesuai dengan medan operasional agar memperlancar dan membuat efektif dalam penyelesaian kerja yang optimal. Alat *dump truck* dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7 *Dump truck*

Cara kerja *dump truck* secara umum dibagi dua, yaitu:

1. Gerakan jalan

Gerakan dari *dump truck* untuk berjalan mengangkut muatan dari satu tempat menuju tempat lain untuk memindahkan dan menumpahkan muatan tersebut. Gerakan tersebut dimulai dari suatu sumber tenaga yang dinamakan dengan mesin penggerak.

2. Gerakan *dumping*

Pada saat menumpahkan muatan dengan pengangkatan bak, *dump truck* menggunakan sistem hidrolis. Sistem ini merupakan pemindah daya dengan menggunakan zat cair atau fluida sebagai perantaranya. Sistem hidrolis merupakan pengubahan tenaga dari tenaga hidrolis menjadi mekanis. Dengan gerakan *dumping* yang berprinsip kerja sistem hidrolis tersebut, muatan akan dengan mudah meluncur ke bawah.

Dump truck berdasarkan muatannya dapat dibagi menjadi 2 yaitu berdasarkan besar muatan dan volume muatan. Berdasarkan besar muatan dapat dibagi menjadi *dump truck* ukuran kecil, *dump truck* ukuran sedang dan *dump truck* ukuran besar. Sedangkan berdasarkan volume muatannya, *dump truck* ada dua yaitu *on high way dump* dan *off high way dump*.

2.7 Faktor yang mempengaruhi pemindah tanah mekanis

Pemindahan tanah mekanis merupakan kegiatan yang dilakukan untuk memindahkan suatu lapisan tanah yang berada diatas cadangan bahan galian dengan tujuan agar bahan galian dapat tersingkap nantinya. Faktor-faktor yang mempengaruhi pemindah tanah mekanis adalah sebagai berikut:

1. Jenis Material

Material yang akan digali dan ditangani adalah tanah atau batuan, maka harus diketahui tentang mudah atau tidaknya material tersebut digali dan ditangani.

2. Faktor Pengisian (*Fill Factor*)

Faktor pengisian merupakan perbandingan antara kapasitas nyata suatu alat dengan kapasitas baku alat tersebut yang dinyatakan dalam persen (%).

3. Efisiensi Kerja

Efisiensi kerja adalah penilaian terhadap pelaksanaan terhadap suatu pekerjaan atau merupakan suatu perbandingan antara waktu yang dipakai untuk bekerja dengan waktu yang tersedia. Dengan berkurangnya waktu kerja efektif akan berpengaruh terhadap produksi alat mekanis tersebut.

4. Waktu Kerja

Waktu kerja efektif adalah waktu kerja sesungguhnya yang digunakan pada waktu operasi. Berdasarkan pengaturan waktu kerja telah ditetapkan kegiatan dalam satu hari kerja mulai pukul 07.00 – 18.00 WITA untuk shift kerja I dan untuk shift kerja II dimulai pukul 19.00 – 06.00 WITA (1 jam untuk pergantian shift). Dalam kegiatan pengupasan lapisan tanah penutup terdapat waktu kerja efektif dimana waktu ini didapatkan setelah dikurangi jumlah waktu hambatan-hambatan selama kegiatan berlangsung.

Adapun hambatan-hambatan yang terjadi pada alat muat dan alat angkut terdiri dari hambatan yang dapat dihindari dan hambatan yang tidak dapat dihindari.

1. Hambatan Yang Dapat Dihindari

Merupakan hambatan yang terjadi karena adanya penyimpangan terhadap waktu kerja yang telah dijadwalkan, yang termasuk tersebut adalah sebagai berikut:

- a. Terlambat memulai kerja
- b. Cepat berakhir kerja
- c. Keperluan operator, yaitu hilangnya waktu kerja beberapa saat sampai operator pengganti kembali

2. Hambatan Yang Tidak Dapat Dihindari

Merupakan hambatan yang terjadi pada waktu jam kerja yang menyebabkan hilangnya waktu kerja, yang termasuk dalam hambatan tersebut adalah sebagai berikut:

- a. Hujan dan pengeringan jalan, terhentinya kerja alat karena adanya gangguan cuaca.
- b. Hambatan pada alat, yaitu terhentinya kerja alat karena adanya kerusakan dan memerlukan perbaikan pada saat itu juga.

2.8 Metode Perhitungan Volume Overburden

2.8.1 Metode *Cut and Fill*

Cut and fill merupakan salah satu istilah dalam konstruksi yang dikenal dengan menggali dan menimbun. *Cut and Fill* merupakan proses pengerjaan tanah dimana sejumlah material baik tanah maupun bebatuan yang diambil dari tempat tertentu dan kemudian dipindahkan ke tempat lain agar tercipta elevasi yang diinginkan. Oleh karena itu, sebelum pengerjaannya dibutuhkan pengukuran dan perhitungan yang teliti. Proses ini umumnya dilakukan pengembang untuk melakukan perataan lahan yang berkontur sehingga pembangunan kawasan perencanaan lebih efisien (Rostiyanti, 2008).

Pengertian lainnya bahwa *cut and fill* adalah proses pengambilan tanah dari suatu tempat kemudian menimbun tanah ke tempat lain yang dalam pekerjaannya dibutuhkan pengukuran yang teliti sebelum dilakukan proses di lapangan (Makmur, 2021). Jika lahan yang memiliki kemiringan perlu dilakukan tahapan pekerjaan *cut and fill* agar mempermudah kegiatan proyek pembangunan sebagai salah satu dasar untuk pengerjaan pemotongan lahan baik untuk perumahan, infrastruktur, maupun untuk kawasan industri. Oleh karena itu, diperlukan proses pekerjaan *cut and fill* berupa galian dan timbunan guna untuk menyesuaikan kemiringan atau elevasinya (Gultom et al., 2020).

Penerapan dalam pekerjaan *cut and fill* saat akan melakukan pekerjaan proyek harus dilakukan dengan metode (Mandala Mega Makmur, 2021; Erianda *et al.*, 2022), sebagai berikut:

- a. Penerapan metode *cut and fill* dapat dilakukan saat pembukaan lokasi baru.
- b. Pekerjaan metode *cut and fill* juga bisa diterapkan sebelum pekerjaan jalan.
- c. Metode *cut and fill* dapat dilakukan proses penggalian material alam yang akan diisi dengan tanah bebatuan atau lumpur untuk mencegah longsornya dinding galian.

Sebelum dilakukan pekerjaan metode *cut and fill* yang perlu diperhatikan adalah rencana dalam proses pekerjaan tersebut, akan sangat dibutuhkan saat awal sebagai proses pematangan dengan cara melakukan sebuah tahapan diantaranya pekerjaan *cut and fill* agar terlaksananya kegiatan. Gumelar (2022) mengatakan bahwa ada beberapa tahapan yang perlu dilakukan dan dipahami dalam proses

pekerjaan metode *cut and fill* yaitu peninjauan lokasi target, pengolahan data survei serta pengukuran lahan. Pekerjaan metode *cut and fill* butuh alat berat untuk mempercepat pekerjaan lahan dengan elevasi atau kemiringan yang dibutuhkan untuk proyek pembangunan kawasan yang telah direncanakan (Turalaki *et al.*, 2018).

Penggunaan alat berat dalam pekerjaan konstruksi seperti pekerjaan metode *cut and fill* dalam bidang teknik tambang tentunya sudah menjadi kebutuhan dan wajib dilaksanakan di setiap pekerjaan proyek penambangan. Alat berat digunakan tentunya harus secara efisien penggunaannya agar tingkat produktivitas dapat tercapai sesuai dengan jadwal dan biaya tambahan yang telah dikeluarkan, dan keterbatasan alat serta biaya operasional alat (PTUT, 2018; DPU, 2021). Beberapa jenis alat berat yang dibutuhkan untuk proses pekerjaan metode *cut and fill* sebagai berikut: *hydraulic excavator*, *loader*, *truck*, *grader*, dan *compactor*.

Dalam pekerjaan tanah berupa metode *cut and fill* yang perlu diperhatikan adanya faktor yang dapat mempengaruhinya salah satunya kondisi tanah yang tidak stabil, elevasi atau kemiringan, serta agregat mineral-mineral padat. Kondisi ini yang dapat mempengaruhi volume tanah dalam proses pengerjaan pendistribusian, adapun keadaan material yang tergambarkan ke dalam beberapa kondisi (Gumelar, 2022), yaitu:

a. Keadaan asli

Keadaan asli merupakan kondisi dimana material atau tanah sebelum dilakukan pengerjaan atau ketika masih dalam ukuran alam. Kondisi ini yang digunakan sebagai dasar untuk perhitungan volume pemindahan material atau tanah ke tempat yang dituju.

b. Keadaan lepas

Keadaan lepas adalah suatu kondisi tanah setelah dilakukan pekerjaan. Misalnya tanah yang ada di depan *dozer blade* atau diatas *dump truck*. Dalam kondisi ini ada penambahan rongga udara di antara butiran-butiran tanah. Hal ini membuat volume menjadi lebih besar.

c. Keadaan padat

Kondisi ini di dapat ketika material di timbun dan dilakukan pemadatan, sehingga terjadi perubahan volume karena adanya penyusutan rongga

udara di dalam partikel-partikel tanah yang membuatnya berubah ukuran meskipun beratnya tetap.

Pekerjaan galian dan timbunan (*cut and fill*) diperlukan biaya yang tidak sedikit. Pekerjaan tersebut menyumbang sejumlah biaya sehingga memerlukan fungsi objektif yang andal untuk menghitung volume pekerjaan tanah dalam waktu dan akurasi yang sangat tepat (Babapour *et al.*, 2018). Pembiayaan proyek (*project financing*) dalam pekerjaan metode *cut and fill* adalah pembiayaan yang diperuntukan untuk membiayai suatu kegiatan pekerjaan metode *cut and fill* dalam proyek kawasan yang dilakukan oleh pihak bank atau lembaga lainnya dengan tujuan agar pekerjaan proyek dapat berjalan dengan baik (Saefudin, 2019; Utami, 2020; Simanjuntak & Victor, 2020).

Pembiayaan biasanya terdapat pada sekelompok investor yang bertindak sebagai penanam saham (*shareholder*) dari sebuah perusahaan, kemudian dikenal sebagai entitas bertujuan khusus. Ciri utama dalam pembiayaan proyek (*project financing*) sebagai berikut:

- a. Pembiayaan diberikan nilai atas dasar sebagai sebuah identitas.
- b. Pembiayaan termasuk dalam *highly leveraged* atau memanfaatkan hutang dalam jumlah yang besar, hingga mencapai 65% - 80% dari nilai proyek.
- c. Pembiayaan dengan lama proyek bersifat jangka panjang.
- d. Arus kas yang dihasilkan harus cukup untuk seluruh biaya operasional proyek

Keuntungan menggunakan metode *cut and fill* dengan *software surpac* antara lain dapat menghitung secara akurat volume *overburden* yang akan digali dan ditimbun kembali. Informasi ini sangat penting untuk perencanaan tambang dan pengelolaan sumber daya. Selain itu, *software surpac* memungkinkan perbandingan volume yang digali dan ditimbun, untuk memudahkan mengidentifikasi faktor-faktor yang dapat menyebabkan perbedaan dalam perhitungan volume.

2.8.2 Metode Truck Count

Truck Count merupakan hasil produksi pada area penambangan yang dicatat oleh bagian pencatat produksi (*checker*) berupa catatan ritase alat muat *dump truck* dalam satu hari dengan masing-masing muatan. Ritase adalah jumlah siklus kerja dari alat angkut pada satuan waktu tertentu. Semakin besar jumlah ritase alat angkut

dalam satu kali *shift* kerja maka akan semakin besar pula volume produksi dari alat kerja tersebut.

Ritase adalah besaran perhitungan waktu kerja suatu alat angkut dalam waktu tertentu, di dalam penjelasannya semakin meningkat besaran ritase yang dihasilkan dalam penggalian batubara dan *overburden* maka semakin besar kapasitas produksi yang dihasilkan dari alat angkut. Ritase alat angkut yang ditulis oleh bagian pencatatan produksi dilapangan berupa catatan ritase alat angkut *dumptruck* dalam satu hari dengan muatan, kemudian untuk hasil pencatatan ritase akan diolah oleh departemen produksi berdasarkan kemampuan alat gali muat yang digunakan.

Hasil perhitungan metode *truck count* ini dilandaskan pada total siklus kerja yang dihasilkan dalam satu hari kerja dan dikalikan dalam 1 (satu) bulan kerja, siklus kerja tersebut meliputi pemuatan dan pengangkutan. Dalam perhitungan tonase batubara menggunakan metode *truck count* dilakukan uji petik dimana untuk mengetahui rata-rata tonase batubara pada 1(satu) kali dilakukannya pengangkutan.

Adapun cara menghitung volume dengan metode *truck count* dapat dilihat pada persamaan (5).

$$Truck\ count = n \times C \times \rho \quad (5)$$

dimana,

n = Jumlah *ritase*

C = Kapasitas *vessel dump truck* (m^3)

ρ = Densitas material (ton/m^3)

2.9 Deviasi

Deviasi rata-rata adalah rata-rata penyimpangan data-data dari rata-rata (*mean*)-nya. Di dalam menghitung deviasi rata-rata harus kita cari rata-rata dari harga mutlak selisih antara tiap-tiap data dengan *mean*-nya. Deviasi produksi di pertambangan batubara diartikan pada penyimpangan dari tingkat produksi batubara yang diharapkan atau diinginkan. Beberapa faktor dapat menyebabkan penyimpangan dalam produksi, antara lain seperti kondisi geologis, faktor teknologi, faktor industri, dan tantangan operasional.

Faktor geologi berperan penting dalam menentukan kualitas dan kuantitas cadangan batubara. Variasi ketebalan, kedalaman, dan komposisi lapisan batubara dapat menyebabkan penyimpangan tingkat produksi (Osipova, 2022). Faktor teknologi dan industri juga mempengaruhi fluktuasi produksi di pertambangan batubara. Faktor-faktor seperti kerusakan peralatan, masalah pemeliharaan, dan inefisiensi operasional juga dapat menyebabkan penyimpangan produksi (Souza et al., 2010).

Masalah operasional seperti masalah keselamatan dan regulasi lingkungan dapat memengaruhi operasi penambangan batubara dan menyebabkan penyimpangan dari target produksi insiden keselamatan, kecelakaan, atau kebutuhan akan tindakan keselamatan tambahan dapat mengganggu produksi dan menyebabkan deviasi (Wang et al., 2021).

Dalam menghitung deviasi terlebih dahulu harus dicari rata-rata dari harga mutlak selisih antara tiap-tiap data dengan *mean*-nya Cara menghitung deviasi dapat dilihat pada persamaan (6) (Hasvah dan Maiyudi, 2021):

$$\% \text{Selisih} = \frac{(V_1 - V_2)}{V_1} \times 100\% \quad (6)$$

dimana,

V_1 = Hasil metode *cut and fill*

V_2 = Hasil metode *truck count*

$$\sigma = \sqrt{\frac{(X_1 - \bar{x})}{n-1}} \quad (7)$$

dimana,

σ = Standar deviasi

$\bar{x}$ = Rerata hitung

X_1 = Nilai data pada setiap pengamatan

n = Total dari jumlah pengamatan