

**STUDI PEMANFAATAN TEKNOLOGI TERRESTRIAL
LASER SCANNER UNTUK MENGHITUNG VOLUME
PENGUPASAN OVERBURDEN DI PIT 2 ELEKTRIFIKASI
BANKO BARAT PT. BUKIT ASAM, TBK. TANJUNG ENIM,
SUMATERA SELATAN**

**STUDY OF TERRESTRIAL LASER SCANNER
TECHNOLOGY UTILIZATION TO CALCULATE THE
STRIPPING VOLUME OF OVERBURDEN IN PIT 2
ELECTRIFICATION MINING, BANKO BARAT, PT. BUKIT
ASAM, TBK., TANJUNG ENIM, SUMATERA SELATAN.**

*Ezil Defri Maharfi¹, Taufik Arief², Diana Purbasari^{3 1,2,3} Jurusan Teknik
Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya Jl. Raya Palembang-
Prabumulih Km.32 Inderalaya Sumatera Selatan, Indonesia Email :
defrizil@gmail.com*

ABSTRAK

PT. Bukit Asam, Tbk. merupakan perusahaan pertambangan batubara yang terletak di Tanjung Enim, Kabupaten Muara Enim, Provinsi Sumatera Selatan. Selama ini pengukuran volume pengupasan *overburden* dilakukan menggunakan alat *Total Station*. Pengukuran area *overburden* yang luas dan bentuk permukaan yang beragam menggunakan *Total Station* dinilai kurang efektif karena lamanya waktu yang dibutuhkan dan rendahnya tingkat ketelitian. Oleh karena itu, diperlukan alat yang dapat mengukur volume dengan cepat serta menghasilkan data ukuran volume yang detail dan dengan kerapatan tinggi. Salah satunya yaitu penggunaan *Terrestrial Laser Scanner*. Metode yang digunakan dalam melakukan pengukuran yaitu metode *occupation and backsight*. Pengukuran menggunakan metode *occupation and backsight* diperlukan dua titik yang telah diketahui koordinatnya yang digunakan sebagai titik berdiri alat dan untuk titik acuan (*backsight*). Metode registrasi yang digunakan yaitu metode *occupation and backsight* dan metode *cloud to cloud*. Data *point clouds* yang telah diregistrasi perlu dilakukan *filtering* untuk menghilangkan *noise* dan objek asing yang bukan lapisan *overburden*. Perhitungan volume dilakukan dengan metode *cut and fill* terhadap model tiga dimensi dari *point cloud* yang terbentuk. Data hasil perhitungan didapatkan volume pengupasan *overburden* selama Desember 2017 sampai dengan Mei 2018 adalah sebesar 847.937 m³, dengan rincian 255.700 m³ di bulan Desember 2017, 299.120 m³ di bulan Januari 2018, 227.543 m³ di Bulan Februari 2018 dan 65.572 m³ di bulan Maret 2018.

Kata Kunci : *Terrestrial Laser Scanner*, *overburden*, Registrasi

ABSTRACT

PT. Bukit Asam, Tbk. is a coal mining company located in Tanjung Enim, Muara Enim District, South Sumatra. The measurement area and extensive overburden form a diverse surface using a Total Station is judged less effective because of the length of time required and low levels of precision. It's a necessary tool that can measure the volume quickly and generate a data volume size that detail and with high density. One of them, namely the use of Terrestrial Laser Scanner. The methods used in conducting the measurement method occupation and backsight. Measurement method using occupation and backsight needed two points which have been known to its own coordinate used as tools and stand point to a reference point (backsight). Data point clouds that had been registered to do filtering to eliminate noise and foreign objects not layers of overburden. Calculation of the volume done by the method of cut and fill a three-dimensional model of toward point cloud formed. Data calculation result obtained by the volume of stripping overburden during December 2017 up to May 2018 amounted to 847,937 m³, with details of 255,700 m³ in December 2017, 299,120 m³ in January 2018, 227,543 m³ in February 2018 and 65,572 m³ in March 2018.

Keywords : *Terrestrial Laser Scanner, overburden, registration*

1. PENDAHULUAN

Perkembangan dunia survei dan pemetaan sangatlah pesat. Di era sekarang ini, pemanfaatan teknologi *Terrestrial Laser Scanner* dapat memberikan solusi untuk pendokumentasian suatu bangunan, topografi bahkan volume suatu tumpukan. Teknologi ini dinilai sangat efisien jika dibandingkan dengan teknologi pengukuran lainnya. Hasil pengukuran *Terrestrial Laser Scanner* berupa *point cloud* yang mempunyai koordinat 3 dimensi. Perhitungan volume lapisan *overburden* bisa dilakukan menggunakan *Terrestrial Laser Scanner* ini dengan cepat. Jika dibandingkan dengan alat ukur lainnya, *Terrestrial Laser Scanner* memiliki tingkat akurasi yang lebih tinggi serta waktu pengoperasian yang jauh lebih efektif dan efisien. Sehingga penggunaan *Terrestrial Laser Scanner* sebagai alat ukur penambangan di era modern ini sangatlah menguntungkan, baik dari segi ekonomis maupun dari segi efektifitas waktu yang digunakan.

Perhitungan estimasi volume pengupasan *overburden* dengan alat konvensional, seperti *Theodolite*, *Total Station* dan GPS Geodetik memiliki permasalahan utama, yaitu teknologi perhitungan yang masih menerapkan metode *human plotting*, artinya *surveyor* harus menuju titik yang diinginkan untuk memperoleh data koordinat, sehingga waktu yang dibutuhkan tentu lebih banyak. Berbeda dengan *Terrestrial Laser Scanner*, alat ini menggunakan teknologi laser untuk mendapatkan data koordinat, bahkan mampu memperoleh >1.000.000 titik dalam satu kali pemindaian, sehingga jauh lebih efektif dan efisien dari segi waktu maupun pekerjaan.

PT. Bukit Asam, Tbk. pada tahun 2018 menargetkan produksi batubara sebesar 27,7 juta ton, artinya dengan *Stripping Ratio* 4, maka perusahaan harus mengupas 110,8 juta BCM *overburden* pada tahun yang sama. Melihat tingginya kapasitas produksi

overburden yang harus dicapai, maka penggunaan teknologi *Terrestrial Laser Scanner* sangat layak diterapkan perusahaan. Hal ini bertujuan untuk mempersingkat waktu pekerjaan survei sehingga perhitungan volume *overburden* menjadi lebih cepat pula.

Penelitian ini akan membahas perhitungan volume pengupasan lapisan *overburden* dengan melakukan kegiatan survei menggunakan alat ukur *Terrestrial Laser Scanner* di Pit 2 Elektrifikasi Banko Barat, PT. Bukit Asam, Tbk. Data yang telah diambil dan terkumpul (*data collect*) akan diproses menggunakan *software Maptek I-Site* dan *RiScan Pro*, sehingga nantinya dapat diwujudkan dalam bentuk gambar tiga dimensi (3D) serta dapat dihitung volume pengupasan *overburden* tiap bulannya.

1.1 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis aplikasi *Terrestrial Laser Scanner* sebagai media pengambilan data survei untuk menghitung volume pengupasan *overburden*.
2. Mengetahui proses pengolahan data hasil pengukuran *Terrestrial Laser Scanner* menjadi data gambar tiga dimensi (3D) menggunakan *software Maptek I-Sitedan RiScan Pro*.
3. Menganalisis perhitungan volume pengupasan *overburden* berdasarkan data survei *Terrestrial Laser Scanner* menggunakan *software Maptek I-Sitedan RiScan Pro*.
4. Mengetahui perbedaan pengukuran menggunakan *Terrestrial Laser Scanner* dengan *Total Station*.

1.2 Terrestrial Laser Scanner

Terrestrial Laser Scanner merupakan suatu peralatan penangkapan gambar (*image*) aktif yang secara cepat dapat memperoleh kumpulan dari titik-titik tiga dimensi dari suatu objek maupun permukaan (Lichti, 2005).

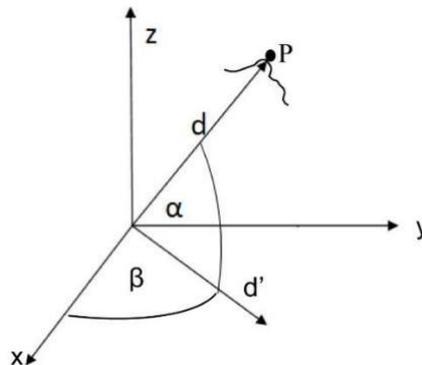
Terdapat dua jenis scanner berdasarkan prinsip pengoperasiannya, yaitu (Boehler, 2002):

1. Triangulation Scanners
Terdiri dari single camera solution dan double camera solution.
2. Ranging Scanners
 - a. Time of flight of a laser pulse. Laser dipancarkan ke objek selanjutnya jarak dihitung dari waktu perjalanan antara sinyal transmisi dan penerimaannya. Prinsip ini mempunyai akurasi rendah karena merupakan tipe scanner jarak jauh dengan cakupan 1,5 – 6.000 meter. Scanner jenis ini cepat dalam melakukan akuisisi data dan titik yang didapat hingga mencapai 11.000 – 122.000 titik setiap detiknya.
 - b. Phase comparison method. Metode ini juga sering dikenal melalui alat tacheometric. Laser yang dipancarkan dimodulasikan dengan gelombang harmonik dengan jarak yang dihitung dengan menggunakan perbedaan beda fase antara gelombang pancar dan gelombang yang diterima. Akurasi yang dihasilkan rendah karena merupakan tipe scanner jarak menengah. Akan tetapi, scanner jenis ini dapat mengukur hingga 1.000.000 titik setiap detiknya.

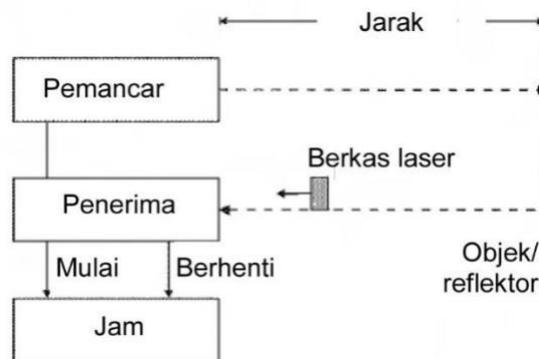
1.3 Prinsip Pengukuran *Terrestrial Laser Scanner*

Pada pengukuran menggunakan TLS dengan melakukan pemindaian objek target, maka didapat hasil berupa *point clouds* yang memiliki koordinat tiga dimensi. Untuk mendapatkan sebaran titik tersebut dilakukan dengan menggunakan gelombang yang dipancarkan dan diterima kembali oleh alat dengan mengukur sudut serta jarak antara sensor dengan objek. Jenis gelombang yang digunakan dalam TLS yaitu gelombang laser sehingga dapat digunakan untuk mengukur jarak.

Agar dapat diperoleh point cloud dengan koordinat tertentu maka terlebih dahulu menentukan jarak. Salah satu prinsip kerja TLS yaitu menggunakan prinsip pulse based dimana pengukuran yang didasarkan pada waktu tempuh gelombang laser mulai dari laser dipancarkan hingga diterima kembali oleh penerima pulsa laser.



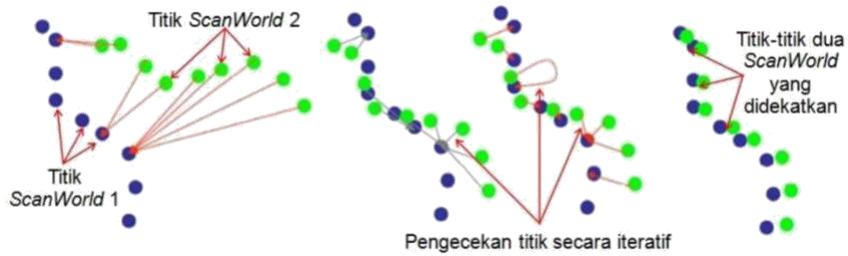
Gambar 1. Penentuan koordinat tiga dimensi *point clouds* (Hai, 2008)



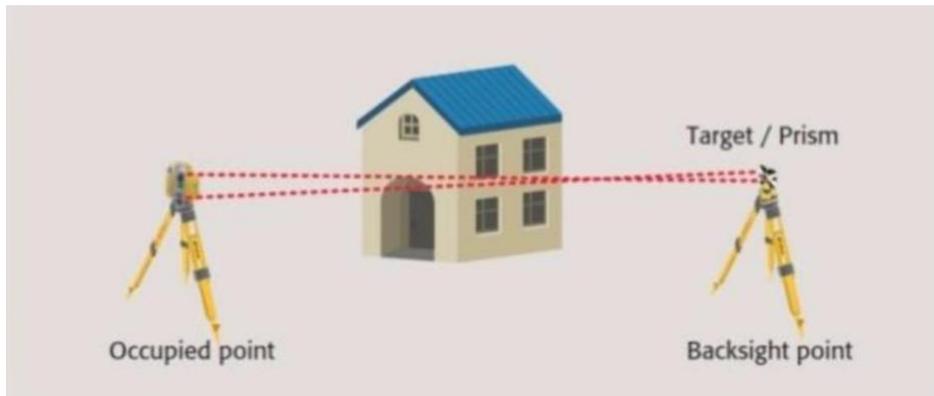
Gambar 2. Pengukuran jarak menggunakan prinsip waktu tempuh berkas cahaya (Zetsche, 1979)

1.4 Registrasi Data

Pengambilan data dengan laser scanner untuk objek tiga dimensi tidak mungkin dapat dilakukan hanya dengan satu kali pengambilan data, sehingga diperlukan teknik untuk menggabungkan data-data per satu kali pengambilan (*ScanWorld*) ke dalam sebuah data global yang dikenal dengan nama registrasi.



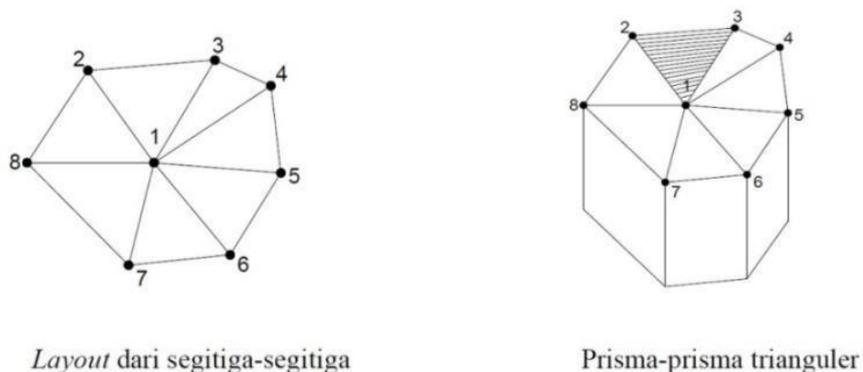
Gambar 3. Registrasi *Cloud to Cloud*



Gambar 4. Registrasi *Occupation and Backsight*

1.5 Metode Perhitungan Estimasi Volume Pengupasan *Overburden*

Perhitungan volume *overburden* pada *Terrestrial Laser Scanner* maupun pada alat ukur lainnya seperti *Waterpass*, *Theodolite* dan *Total Station* menerapkan metode triangulasi, dimana metode ini merupakan bagian dari perhitungan volume endapan metode Penampang Horizontal (Hustrulid and Kutcha 1995). Metode Triangulasi dilakukan dengan konsep dasar menjadikan titik yang diketahui menjadi titik sudut suatu prisma segitiga. Prisma segitiga diperoleh dengan cara menghubungkan titik-titik yang diketahui tanpa berpotongan.



Gambar 5. Prinsip perhitungan volume *overburden*

2. METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam prose perekaman data tiga dimensi (3D)

menggunakan Laser Scanner dibagi menjadi 4 tahap, yang terdiri dari :

2.1 Persiapan

Pada tahap persiapan awal penelitian ini kegiatan yang dilakukan meliputi studi pustaka/literatur terkait objek yang menjadi sasaran perekaman data. Tahapan persiapan merupakan tahapan utama dalam suatu pengukuran yang bertujuan untuk mempermudah pengambilan data saat di lapangan. Tahapan persiapan terdiri dari persiapan personil dan persiapan peralatan. Tahapan persiapan memberikan gambaran tentang hal-hal penting pada bagian apa saja yang harus direkam secara lebih detail.

2.2 Perekaman Data di Lapangan

Merupakan tahapan yang dilakukan pada obyek penelitian yaitu padapit 2 Elektrifikasi Penambangan Banko Barat, PT. Bukit Asam, Tbk., Tanjung Enim, Sumatera Selatan. Dalam tahapan perekaman data di lapangan ini dibagi menjadi beberapa aktivitas yaitu :

- a. Survey lokasi untuk penentuan titik berdiri alat
- b. Proses perekaman data (pemindaian tiga dimensi (3D))

2.3 Pengolahan Data

Proses pengolahan data dilakukan di lapangan dan di laboratorium. Pengolahan data di lapangan sebagai koreksi awal apabila ada data yang kurang, sehingga bisa cepat dilengkapi dan proses selanjutnya yaitu pengolahan data di laboratorium. Pengolahan data di laboratorium menggunakan komputer berpeforma tinggi untuk menjalan program RiScan Pro, Qgis dan Maptek I-Site. Tahap pengolahan data terdiri dari proses registrasi, georeferensi, filtering dan proses pembuatan data tiga dimensi (3D).

2.4 Analisis Data

Dari pengolahan data tiga dimensi (3D) hasil perekaman, kemudian dilakukan analisis obyek untuk menghitung volume pengupasan *overburden* berdasarkan *cut and fill* pengupasan *overburden*.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengaplikasian *Terrestrial Laser Scanner* dalam Pengambilan Data Survei

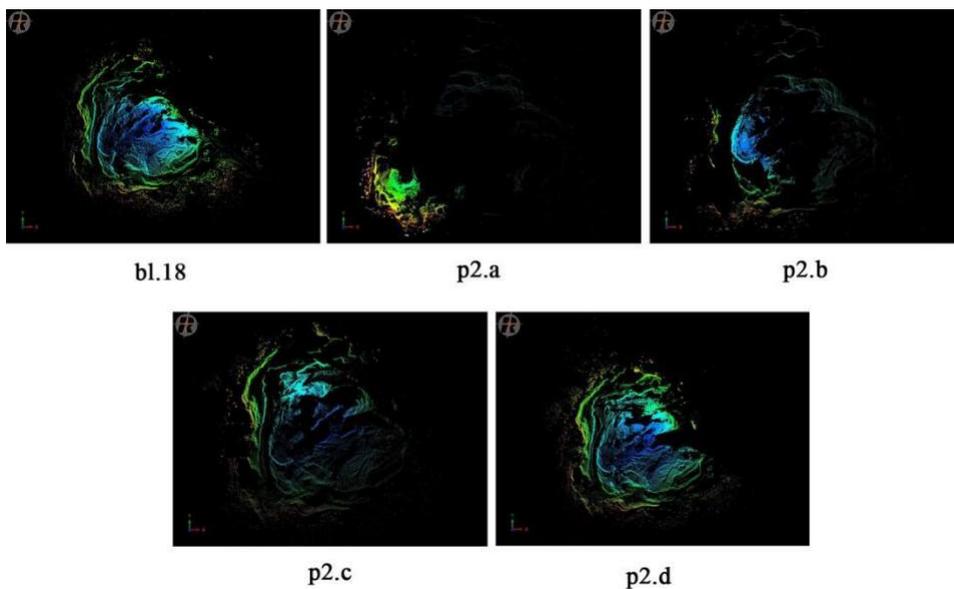
Data hasil pengukuran *Terrestrial Laser Scann*er tiap satu kali melakukan pemindaian dinamakan *Scanworld*. *Scanworld* berisi kumpulan titik-titik yang telah diketahui koordinatnya yang disebut dengan *point cloud*. Penentuan koordniat *point cloud* didasarkan pada koordinat berdiri alat sebagai titik kontrol. Pengukuran koordinat stasiun berdiri alat diukur menggunakan *Total Station*.

Tabel 1. Koordinat stasiun berdiri alat dengan sistem UTM WGS 1984 zona 48s

Pengukuran Maret 2018			
Nama Titik	X	Y	Z
23.c (<i>backsight</i>)	369293.5640	9581978.3440	67.3570
bl.18	369279.5340	9581984.1010	66.5980
p2.a	368779.7004	9581631.0678	68.7422
p2.b	368878.5904	9581835.7158	41.4043
p2.c	368967.5181	9582074.5364	52.7432
p2.d	369136.6025	9582086.2871	62.5367



Gambar 6. Posisi berdiri *Terrestrial Laser Scanner* dilihat dari foto citra udara



Gambar 7. Hasil pindaian tiap berdiri alat (*scanworld*)

3.2 Pengolahan Data Hasil Pengukuran *Terrestrial Laser Scanner* menjadi Data Tiga Dimensi (3D)

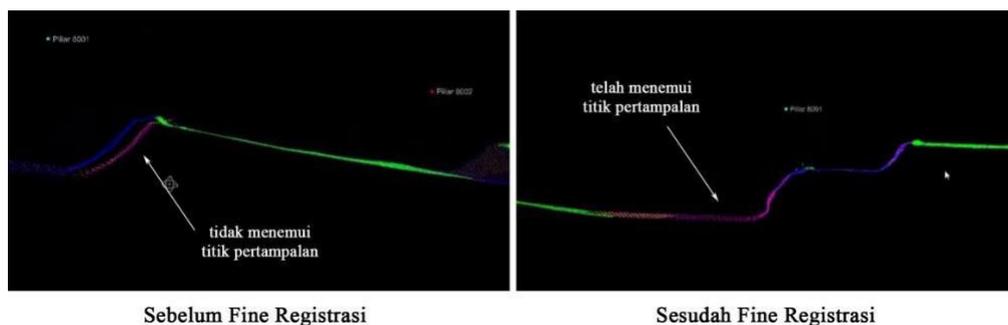
Hasil pengukuran *Terrestrial Laser Scanner* adalah data *point clouds* yang belum dapat dijadikan acuan dalam perhitungan volume pengupasan *overburden*. Oleh sebab itu, data *point clouds* harus diolah dengan menggunakan *software* Maptek I-Site, QGIS dan Riscan Pro sehingga nantinya menjadi data valid yang bisa menjadi acuan dalam proses perhitungan volume.

Proses registrasi dilakukan dengan tujuan untuk menggabungkan seluruh data pindaian (*scanworld*) pada tiap stasiun pengukuran menjadi satu data *surface* yang telah mencakup seluruh area pengukuran. Metode yang diterapkan pada proses registrasi ini adalah metode “*occupation & backsigh*” dan metode “*cloud to cloud*”.

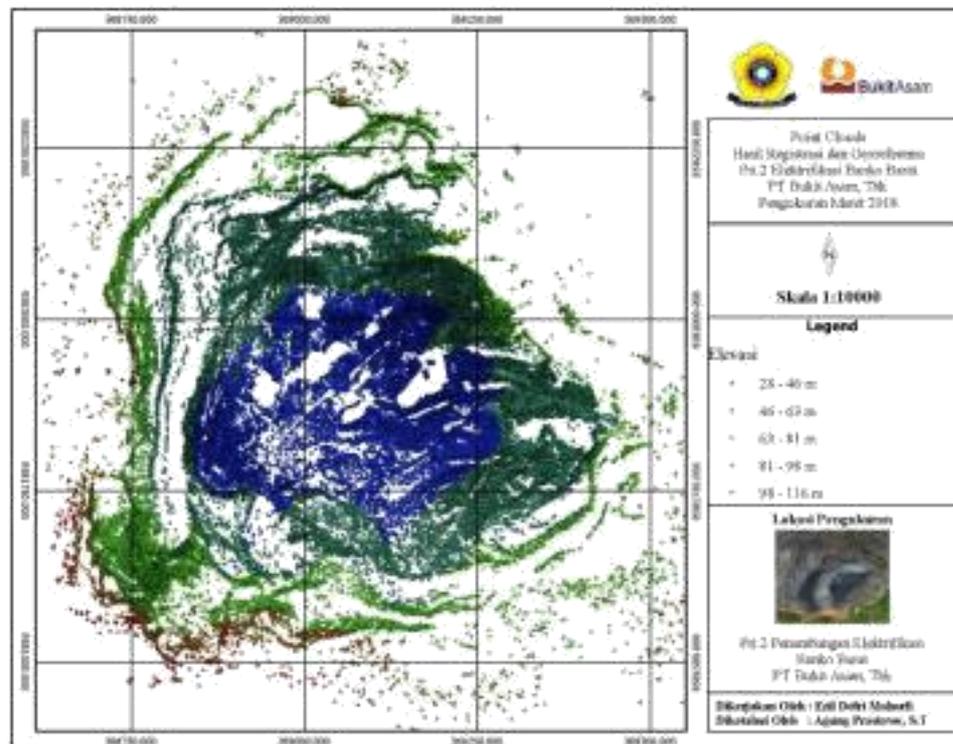
Georeferensi merupakan proses transformasi koordinat lokal keseluruhan *point cloud* ke dalam sistem koordinat yang diinginkan (dalam kasus ini adalah koordinat WGS 1984 UTM zona 48S) dapat dilakukan hanya dengan menentukan parameter transformasi pada saat memasukkan data pengukuran ke dalam program RiScan Pro.

Proses filtrasi bertujuan untuk menghapus objek-objek asing, seperti alat berat, mobil, manusia, vegetasi dan lain sebagainya yang dapat mempengaruhi hasil pengukuran. Hal ini berdampak juga pada hasil akhir perhitungan volume pengupasan *overburden*. Proses filtrasi dapat dilakukan dalam dua cara, yaitu pada saat data masih dalam bentuk *point clouds* dan pada saat data sudah dalam bentuk TIN (tiga dimensi).

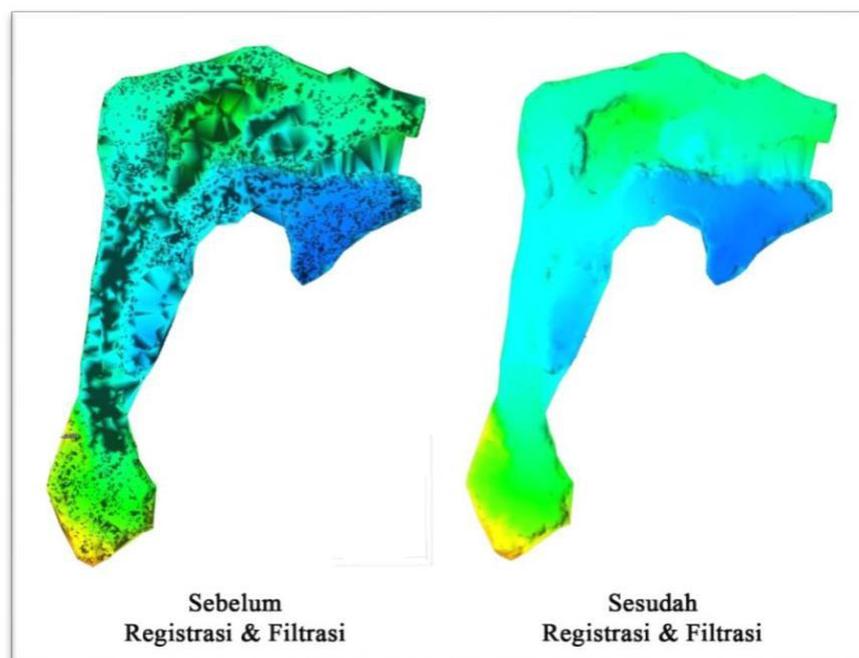
Pemodelan tahap akhir merupakan pemodelan data *point cloud* yang telah menjalani proses registrasi, georeferensi dan filtrasi dengan baik sehingga bentuk *surface* 3D dari model ini akan sama dengan keadaan nyata di lapangan dengan persentase kesamaan $\geq 80\%$. Hasil pemodelan data *point cloud* ini merupakan dasar acuan dalam perhitungan volume pengupasan *overburden*.



Gambar 8. Hasil proses registrasi data *point clouds*



Gambar 9. Hasil Georeferensi data *point clouds*



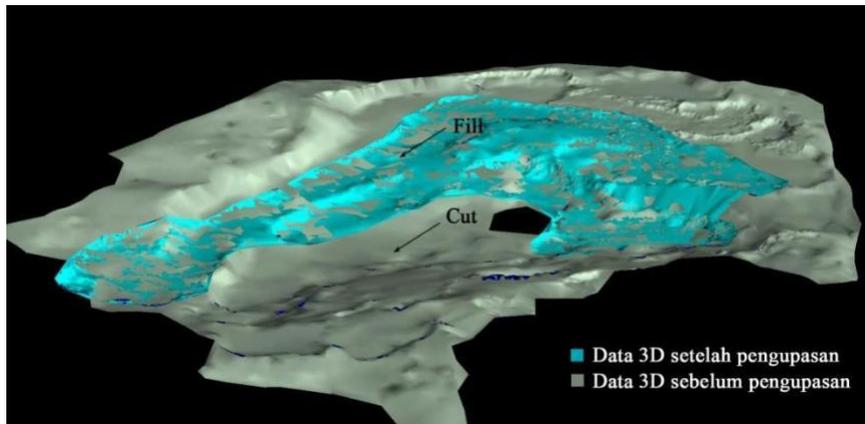
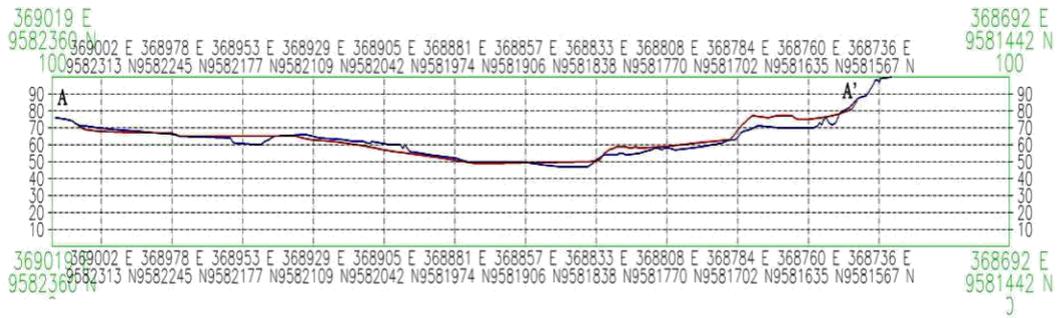
Gambar 10. Hasil tiga dimensi (3D) data *point clouds*

3.3 Analisis Dasar Perhitungan Volume Pengupasan *Overburden*

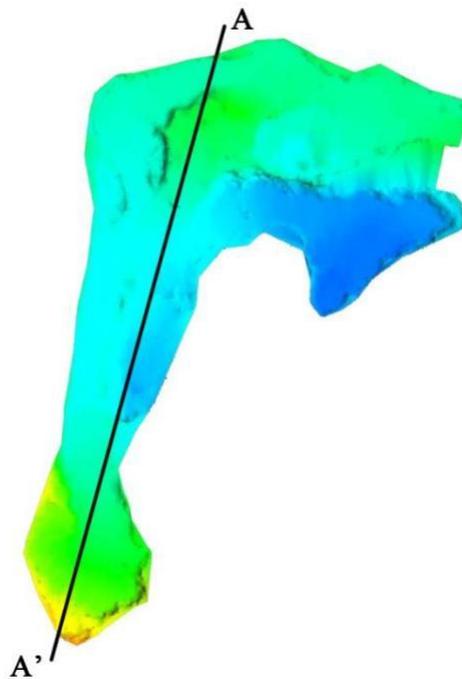
Perhitungan volume *overburden* pada software RiScan Pro menerapkan metode triangulasi, dimana metode ini merupakan bagian dari perhitungan volume endapan metode penampang horizontal. Metode triangulasi dilakukan dengan konsep dasar menjadikan titik yang diketahui menjadi titik sudut suatu prisma segitiga. Prisma segitiga diperoleh dengan cara menghubungkan titik-titik yang diketahui tanpa berpotongan.

Pada kasus perhitungan volume pengupasan *overburden* pada front penambangan, perhitungan didasarkan dengan membandingkan data pemodelan surface sebelum

dengan sesudah dilakukannya pengupasan. Perhitungan volume pengupasan overburden dihitung berdasarkan data komulatif antara volume tanah yang terkupas (cut) dan volume tanah yang terisi (fill).



Gambar 11. Data perbandingan model 3D sebelum dan sesudah pengupasan *overburden*.



Gambar 12. *Cross section* untuk menunjukkan perbedaan elevasi sebelum dan sesudah pengupasan *overburden*

Tabel 2. Volume Pengupasan Overburden Desember 2017 – Maret 2018

Pengukuran Desember 2017		
	Volume Cut (m ³)	Volume Fill (m ³)
Area Pengupasan 1	245500.19	11428.38
Area Pengupasan 2	22576.64	947.92
Volume Pengupasan Total OB (<i>cut-fill</i>)		255700.63
Pengukuran Januari 2018		
	Volume Cut (m ³)	Volume Fill (m ³)
Area Pengupasan 1	336247.68	37127.02
Volume Pengupasan Total OB (<i>cut-fill</i>)		299120.65
Pengukuran Februari 2018		
	Volume Cut (m ³)	Volume Fill (m ³)
Area Pengupasan 1	168340.36	7451.58
Area Pengupasan 2	68373.32	1718.63
Volume Pengupasan Total OB (<i>cut-fill</i>)		227543.46
Pengukuran Maret 2018		
	Volume Cut (m ³)	Volume Fill (m ³)
Area Pengupasan 1	53213.75	4334.26
Area Pengupasan 2	15199.55	225.46
Area Pengupasan 3	3406.62	1687.19
Volume Pengupasan Total OB (<i>cut-fill</i>)		65572.99
Volume Pengupasan OB Desember 2017 - Maret 2018		847937.74

3.4 Perbedaan Pengukuran *Terrestrial Laser Scanner* dengan *Total Station*

Pengukuran menggunakan *Total Station* dilakukan dengan menegakkan *Total Station* dan sebuah prisma statis pada 2 titik kontrol (*Benchmark*) yang telah diketahui koordinatnya. Hal ini dilakukan agar arah utara *Total Station* sama dengan arah utara bumi. Prisma dinamis berfungsi sebagai penentu titik yang akan diukur koordinatnya. Perbedaan teknis pengukuran volume pengupasan *overburden* dengan menggunakan *Total Station* dan *Terrestrial Laser Scanner* dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Perbedaan pengukuran antara *Total Station* dan *Terrestrial Laser Scanner*

	<i>Total Station</i>	<i>Terrestrial Laser Scanner</i>
Bentuk Umum	Permukaan 3 Dimensi	<i>Point Clouds</i>
Detail Bentuk	Kurang Detail	Sangat Detail
	Berdasarkan ketinggian	Berdasarkan Ketinggian
Warna	Hitam Putih	Berdasarkan Jarak
		Berdasarkan Intentitas
Penghalusan Bentuk	Otomatis	Warna Asli Objek
		Melalui proses <i>registrasi</i> dan <i>filtering</i>

	<i>Total Station</i>	<i>Terrestrial Laser Scanner</i>
Pengambilan Titik	Manual	Otomatis (Laser)
Jarak Interval Titik	10 meter	15 cm
Progres Bulanan	3-6 hari	1-3 Hari
Jumlah Surveyor	4-5 surveyor	2 surveyor
Koding Objek	Manual	Tidak ada koding

KESIMPULAN

Berdasarkan pembahasan yang telah dilakukan dalam penelitian ini. Dapat diambil beberapa kesimpulan yaitu sebagai berikut :

- 1) Data *point clouds front* penambangan diperoleh dari hasil pengukuran dari *Terrestrial Laser Scanner* melakukan satu kali pemindaian tiap berdiri alat (*scanworld*). Titik berdiri alat (*station*) ditentukan pada area yang telah mengalami pengupasan. Koordinat *station* menjadi acuan *Terrestrial Laser Scanner* dalam mengukur tiap koordinat pada *point clouds*.
- 2) Penggabungan data *point clouds* menggunakan metode *registrasi occupation and backsight* dan metode *cloud to cloud* menghasilkan tingkat pertampalan yang mencapai >80%. Sehingga dapat disimpulkan bahwa penerapan metode ini tergolong dalam kategori akurat. Proses georeferensi dapat digunakan untuk menyelaraskan koordinat *point clouds* dari koordinat lokal hasil pengukuran TLS dengan koordinat stasiun berdiri alat sehingga menjadi koordinat berdiri global yang sesuai dengan posisi sebenarnya di permukaan bumi.
- 3) Hasil perhitungan volume pengupasan *overburden* di Pit 2 Elektrifikasi Banko Barat, PT. Bukit Asam, Tbk pada periode Desember 2017 – Maret 2018 adalah sebesar 847937.74 m³, dengan rincian pada bulan Desember 2017 sebesar 255700.63 m³, bulan Januari 2018 sebesar 299120.65 m³, bulan februari 2018 sebesar 227543.46 m³, dan bulan Maret 2018 sebesar 65572.99 m³.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Maharsayanto, P. Y. (2013). Aplikasi Terrestrial Laser Scanner Untuk Pemodelan Tampak Muka Bangunan. Tugas Akhir, Semarang : Jurusan Teknik Geodesi Fakultas Teknik Universitas Diponegoro.
- [2] Kuang, S. (1996). Geodetic Network Analysis and Optimal Design : Concepts and Applications. Michigan : Ann Arbor Press, Inc
- [3] Boehler, W. and Marbs, A., 2005, Investigating Laser Scanner Accuracy, i3mainz, Institute for Spatial Information and Surveying Technology, FH Mainz, University of Applied Sciences, Mainz, Germany.
- [4] Hai, H. F. (2008). 3D Terrestrial Laser Scanning For Application In Earthwork And Topographical Surveys, University of Southern Queensland, Faculty of Engineering and Surveying.

- [5] Quintero, M. S., Genechten, B. V., M. D., Ronald, P., Hankar, M, dan Barnes, S., 2008, 3D Risk Mapping Theory and Practice on Terrestrial Laser Scanning, Vlaams Leonardo Da Vinci Agentschap, Europe.
- [6] Pfeifer, N., 2007. Theory and Application of Laser Scanning, ISPRS Summer School 2007, Solvina.[7] Asdak, C. (1995). *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. Yogyakarta:Gadjah Mada University Press.
- [8] Basuki, Slamet, 2011, Ilmu Ukur Tanah, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta
- [9] Mochtar, 2012, Perbandingan Metode Registrasi Terrestrial laser scanner (Studi Kasus: Aula Timur dan Gardu Listrik GKU Timur), Bandung: Tugas Akhir, Jurusan Teknik Geodesi dan Geomatika, Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumihan, Institut Teknologi Bandung, Bandung.

