

**PEMANFAATAN TERRESTRIAL LASER SCANNER METODE CLOUD TO CLOUD UNTUK EARTHMOVING TAMBANG (Studi Kasus : PT. Pamapersada Nusantara Distrik PT. Trubaindo Coal Mining)**

Aulia Rizky, Bambang Sudarsono, Andri Suprayogi<sup>\*)</sup>

Departemen Teknik Geodesi, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro  
 Jl. Prof. Soedharto SH, Tembalang Semarang. Telp. (024)76480785, Fax. (024)76480788  
 e-mail : auliarizkysuharsono@gmail.com<sup>\*)</sup>

**ABSTRAK**

Perhitungan *earthmoving* tambang merupakan suatu kegiatan survei yang dilakukan di area penambangan untuk menghitung volume pemindahan tanah. Perhitungan *earthmoving* tambang harus dilakukan dengan cepat, akurat dan detail. Kebutuhan akan hal tersebut bisa diperoleh dengan menggunakan teknologi *laser scanner*. Kegiatan aplikatif ini untuk menghitung volume *earthmoving* tambang dan melakukan kajian pada tahapan akuisisi data, pengolahan dan hasil volumetriknya.

Akuisisi data lapangan dilakukan pada April 2017 dan Mei 2017 menggunakan metode *cloud to cloud*. Perangkat lunak yang digunakan dalam registrasi data dan pengolahan *point clouds* ialah *RiScan Pro* yang merupakan perangkat lunak operasional alat TLS *Riegl VZ 1000*. Objek dari kegiatan aplikatif ini adalah area penambangan PT Pamapersada Nusantara distrik PT Trubaindo Coal Mining. Titik kontrol didapatkan dari pengukuran menggunakan GPS geodetik yang akan digunakan sebagai referensi titik berdiri alat TLS. Untuk perhitungan volume dilakukan dengan metode *cut and fill* terhadap DTM dari *point clouds* yang terbentuk. Hasil hitungan volume *earthmoving* dari *software RiScan Pro* dan *AutoCad Civil 2015* dilakukan uji perbandingan dengan membandingkan volume *earthmoving* hasil hitungan ritasi alat angkut (*truck count*). Data *truck count* diasumsikan sebagai data yang benar.

Rata-rata selisih perhitungan dengan *RiScan Pro* yaitu sebesar  $\pm 2,25\%$  dan dengan *Autocad Civil* yaitu sebesar  $\pm 2,17\%$ . Toleransi selisih yang disyaratkan untuk pengukuran berdasarkan dokumen ASTM adalah 2,78%, sehingga pengukuran TLS yang dilakukan masuk toleransi yang telah ditetapkan.

**Kata Kunci :** *Point Clouds, RiScan Pro, Terrestrial Laser Scanner*

**ABSTRACT**

*The calculation of mine earthmoving is a survey activity undertaken in the mining area to calculate the volume of earth moving. Calculation of mine earthmoving should be done quickly, accurately and detaily. The requirement for that can be obtained by using laser scanner technology. This applicative activity is to calculate mine earthmoving volume and conduct study on data acquisition, processing and volumetric stages.*

*Field data acquisitions were conducted in April 2017 and May 2017 using the cloud to cloud method. The software used in data registration and processing of point clouds is RiScan Pro which is software operational tool TLS Riegl VZ 1000. Object of this applicative activity is mining area PT Pamapersada Nusantara district PT Trubaindo Coal Mining. Control points are obtained from measurements using geodetic GPS to be used as reference TLS tool point stands. For calculation of volume is done by cut and fill method to DTM point clouds that formed. The result of earthmoving volume count of RiScan Pro and AutoCad Civil 2015 software is done by comparing the earthmoving volume of the calculation result of the truck count. The truck count data is assumed to be the correct data.*

*The average difference in calculation with RiScan Pro is  $\pm 2.25\%$  and with Autocad Civil is  $\pm 2.17\%$ . The difference tolerance required for measurement based on ASTM documents is 2.78%, so TLS measurements are made in the specified tolerances.*

**Keywords :** *Point Clouds, RiScan Pro, Terrestrial Laser Scanner*

<sup>\*)</sup>Penulis, Penanggung Jawab

## I. Pendahuluan

### I.1. Latar Belakang

Pada pengelolaan tambang, diantaranya dibutuhkan perhitungan terkait *earthmoving* tambang, data tersebut dapat diperoleh dengan teknik pengukuran geodesi. Salah satu alat pengukuran geodesi tersebut adalah *Terrestrial Laser Scanner* (TLS). Pada pengolahan TLS, dibutuhkan data perekaman TLS dan data titik kontrol. Pada kegiatan pertambangan, perhitungan *earthmoving* tambang tersebut diperlukan untuk menghitung besarnya volume pemindahan lapisan tanah. Survei tambang tersebut memerlukan pengukuran yang memenuhi aspek efisien, efektif, presisi dan juga akurat.

Pemetaan tambang menggunakan alat *Electronic Total Station* (ETS) terasa kurang efektif, dikarenakan memerlukan waktu yang cukup lama untuk melakukan pemetaan topografi skala besar. Keterbatasan waktu tersebut, memiliki dampak pada tingkat ketelitian/kerapatan *spot height*. Ilmu pengetahuan dan teknologi terkait survei tambang terus berkembang dan terus mengalami kemajuan dan memberikan kemudahan dalam melakukan akuisisi data serta pengolahannya. Salah satu teknologi tersebut yaitu penggunaan pemindaian *laser* untuk memetakan lahan tambang secara tiga dimensi dan berkerapatan tinggi serta akurasi data yang baik. Teknologi tersebut adalah teknologi *Terrestrial Laser Scanning* dengan alat TLS.

Beberapa penelitian sebelumnya, telah melakukan penelitian terkait TLS, namun dilakukan pada objek yang relatif kecil. Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini mencoba mengkaji hal terkait pemanfaatan TLS untuk *earthmoving* tambang, dengan studi kasus pada PT Pampersada Nusantara Distrik PT Trubaindo Coal Mining, Kabupaten Kutai Barat, Provinsi Kalimantan Timur.

### I.2. Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana tahapan dan kendala pengolahan data TLS dengan metode *cloud to cloud*?
2. Bagaimana konsep penghitungan *earthmoving* berdasarkan *truck count*?
3. Berapa hasil volume *earthmoving* tambang dengan memanfaatkan teknik pengukuran TLS?
4. Berapa besar perbedaan hasil pengukuran TLS jika dibandingkan dengan pengukuran *truck count*?

### I.3. Maksud dan Tujuan Penelitian

Adapun maksud dan tujuan penelitian ini adalah:

1. Menerapkan teknologi TLS sebagai salah satu alternatif solusi dalam pekerjaan survei topografi tambang.
2. Mengetahui permasalahan terkait pemanfaatan TLS untuk pemetaan topografi tambang.

3. Menghitung volume *earthmoving* (*cut and fill*) tambang yang dilakukan dengan metode TLS.
4. Mengetahui besar perbedaan perhitungan volume metode TLS dibandingkan metode *truck count*.

### I.4. Ruang Lingkup

Adapun Ruang lingkup penelitian ini adalah:

1. Area studi penelitian ini adalah area penambangan batubara PT Pampersada Nusantara distrik PT Trubaindo Coal Mining, Kabupaten Kutai Barat Provinsi Kalimantan Timur.
2. Proses pengukuran data lapangan menggunakan TLS bertipe *static laser scanner* yaitu *Riegl VZ-1000*.
3. Proses pengolahan data *point clouds* dan hitungan volume *cut and fill* menggunakan perangkat lunak *RiScan Pro* dan *Autocad Civil 3D 2015*.
4. Perhitungan volume *earthmoving* tambang dilakukan dengan menggunakan data TLS bulan April 2017 dengan data TLS bulan Mei 2017.
5. Perbandingan hasil *earthmoving* menggunakan data hasil pengukuran TLS terhadap data pengukuran *truck count*.
5. Hasil penelitian ini adalah volume *earthmoving* tambang.

## II. Tinjauan Pustaka

### II.1. Terrestrial Laser Scanner

TLS adalah suatu peralatan atau teknologi pemetaan yang memanfaatkan aplikasi sinar *laser* untuk mengukur koordinat tiga dimensi suatu kenampakan objek secara otomatis dan *real time* dengan memanfaatkan sensor aktif (Mills, J dkk, 2003). Alat TLS *Riegl VZ-1000* dan *GNSS Trimble R5 TSC3* yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 TLS *Riegl VZ-1000* dan *GNSS Trimble R5 TSC3*

Hasil dari penyajian ini akan memperoleh suatu data yang dinamakan *point clouds*. *Point clouds* adalah kumpulan titik - titik tiga dimensi yang memiliki koordinat (X, Y dan Z) dalam suatu sistem koordinat yang sama (Sitek dkk, 2006).

Georeferensi adalah transformasi data *scanner* (*point clouds*) dalam sistem koordinat lokal ke sistem koordinat tanah yang mana sangat penting dalam integrasi dengan data geospasial lainnya (Rehsetyuk, Y, 2009).

Proses registrasi adalah tahap yang menggabungkan beberapa *scan world* yang berbeda dari proses akuisisi data yang kemudian menjadi satu kesatuan *point clouds*. Terdapat berbagai metode registrasi data *point clouds*, namun secara umum metode registrasi tersebut dibedakan menjadi tiga, yaitu registrasi berdasarkan target, registrasi dengan menggunakan iterasi titik terdekat, dan registrasi berdasarkan bentukan dari objek (Vosselman, G dkk, 2010).

Filterisasi merupakan tahap menghilangkan data *point clouds* yang tidak diperlukan dari data hasil pemindaian yang dianggap sebagai *noise* (Quentiro, M. S dkk, 2008). Data *point clouds* yang dianggap sebagai *noise* seperti objek pohon, manusia, pagar dan objek lainnya. Apabila *noise* tidak dibersihkan maka akan mempengaruhi perhitungan nilai dari volume (Pancarka, A. R, 2016).

## II.2. Pengukuran dan Pemetaan Tambang

Kegiatan survei pada usaha pertambangan merupakan kegiatan pendukung yang sangat penting, baik pada tahap persiapan (eksplorasi), selama kegiatan operasional, maupun pada tahap penutupan tambang (pasca operasi).

Pada saat kegiatan eksploitasi juga dilakukan survei yaitu dengan tujuan mengevaluasi kemajuan dari tambang atau untuk mengetahui total volume dari bahan galian yang telah ditambang atau OB yang telah dipindahkan serta sisa cadangan dari bahan galian yang belum tergalai (Kurnia, M.A, 2015).

Triono dkk pada tahun 2014 menjelaskan bahwa urutan proses kegiatan penambangan antara lain adalah *land clearing*, pengupasan tanah pucuk (*top soil*), pengupasan dan pemindahan lapisan tanah penutup (*overburden*), penimbunan tanah serta penggalian dan pengangkutan batubara.

## III. Metodologi Penelitian

### III.1. Alat yang Digunakan

- 1) Perangkat Komputer dengan Spesifikasi :
  - a. Laptop Acer Aspire V15 Nitro
  - b. Sistem Operasi Windows 10 Home 64-bit
  - c. Processor Intel® Core™ i7-6500U @ 2.5GHz with Turbo Boost up to 3,1 GHz; NVIDIA GTX 950M
  - d. RAM 20 GB DDR4
  - e. SSD 500 GB
- 2) Perangkat Lunak :
  - a. RiScan Pro 1.7.8
  - b. Autocad Civil 3D 2015
  - c. VRmesh v9.5 Trial Demo
  - d. Arcmap 10.3
  - e. Microsoft Office 2013

### III.2. Bahan yang Dibutuhkan

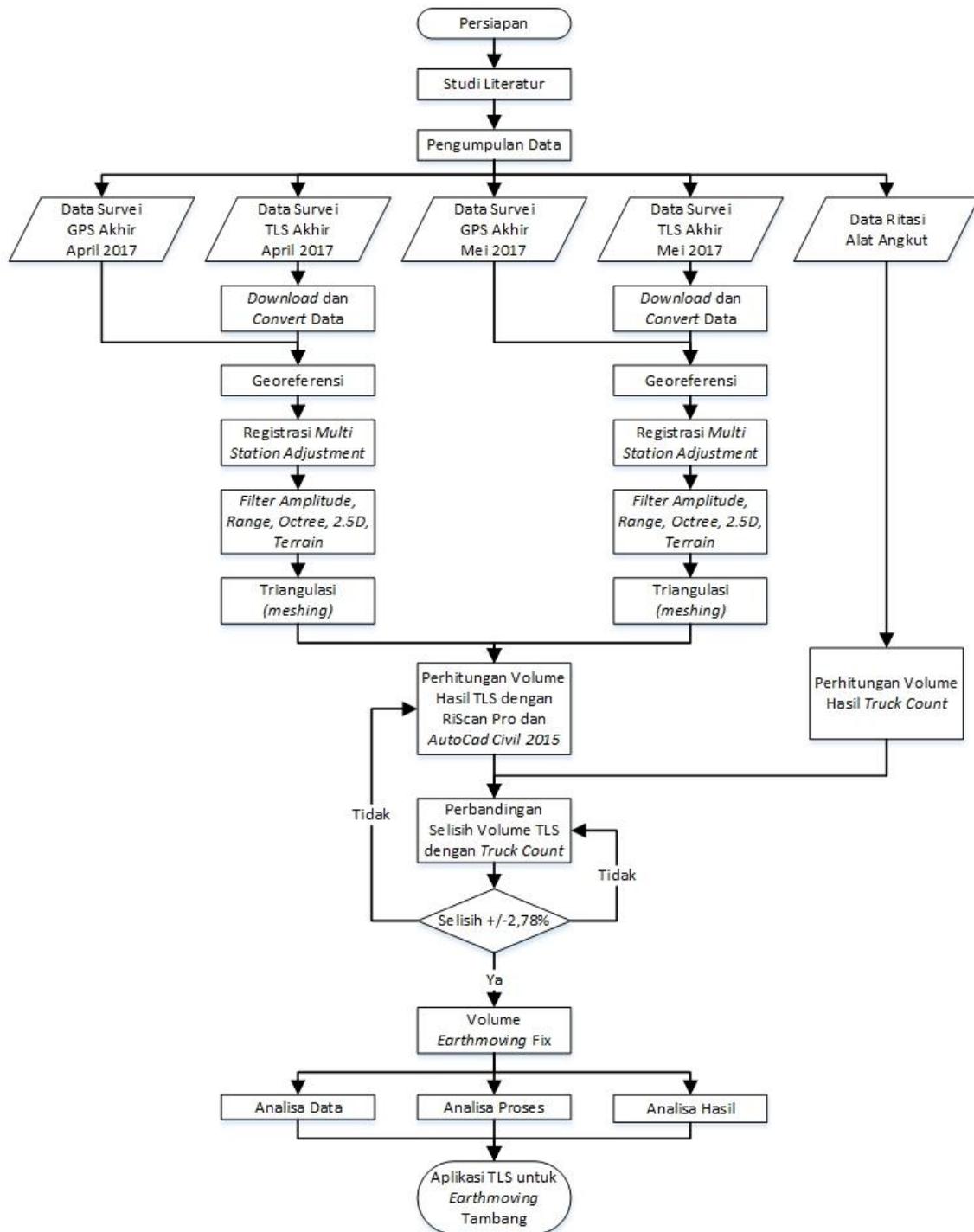
- 1) Data scanning Terrestrial Laser Scanner:
  - a. Data pit 3.000 blok 30 pada April 2017
  - b. Data pit 4.000 blok 30 pada April 2017
  - c. Data pit 4.000 blok 33 pada April 2017

- d. Data pit 7.000 blok 14 pada April 2017
- e. Data pit 3.000 blok 30 pada Mei 2017
- f. Data pit 4.000 blok 30 pada Mei 2017
- g. Data pit 4.000 blok 33 pada Mei 2017
- h. Data pit 7.000 blok 14 pada Mei 2017
- 2) Data *tie point* sebagai titik kontrol melalui pengukuran GPS.
- 3) Data EWACS *truck count* tambang periode April 2017 dan Mei 2017.

### III.3. Pelaksanaan

1. Persiapan dan Studi Literatur
2. Pengumpulan Data
  - a. Pengumpulan Data *Tie Point*
  - b. Pengumpulan Data Hasil Scanning TLS
  - c. Pengumpulan Data EWACS *Truck Count*
3. Pengolahan Data dengan RiScan Pro
  - a. Membuat *Project* : agar *project* dapat dibuka kembali pada lain waktu
  - b. Download dan Konversi Data Scan : untuk merubah data dari \*.rxp (format data hasil scan alat Riegl) ke \*.rsp (format pengolahan data software RiScan Pro)
  - c. Mengimpor *Control Point* : untuk mendapatkan koordinat *center of beam output* alat TLS.
  - d. Georeferensi Data Scan : untuk mentransformasi data *point clouds* dari sistem koordinat alat ke sistem koordinat tanah.
  - e. *Plane Filter* : untuk mempersiapkan sampel *polydata* untuk proses registrasi MSA:
  - f. Registrasi *Multi Station Adjustment* : untuk menggabungkan beberapa *scan world* yang berbeda dari proses akuisisi data yang kemudian menjadi satu kesatuan *point clouds*.
  - g. Filterisasi *Amplitudo* dan *Range Gate* : untuk menghilangkan *noise* yang berada dibawah *surface* ketika laser merekam objek yang berupa air.
  - h. Filterisasi *Octree* : untuk menyaring data-data *redundant* secara vertikal dengan menggunakan struktur *octree*.
  - i. Filterisasi *2.5D Raster* : untuk menyaring data-data *redundant* secara horizontal dengan membagi *point clouds* ke dalam sel-sel dan kemudian menjadikan setiap sel tersebut hanya berisi 1 *point clouds*.
  - j. Filterisasi *Terrain* : untuk menghilangkan *noise* yang berupa objek-objek tambang dan vegetasi.
  - k. Triangulasi Data : untuk membentuk *point clouds* menjadi bentuk TIN sehingga diperoleh model DTM.
  - l. Menghitung Volume *Earthmoving* dengan RiScan Pro dan AutoCad Civil.
4. Analisis

Secara spesifik metodologi penelitian tugas akhir ini dapat di lihat pada Gambar 2.



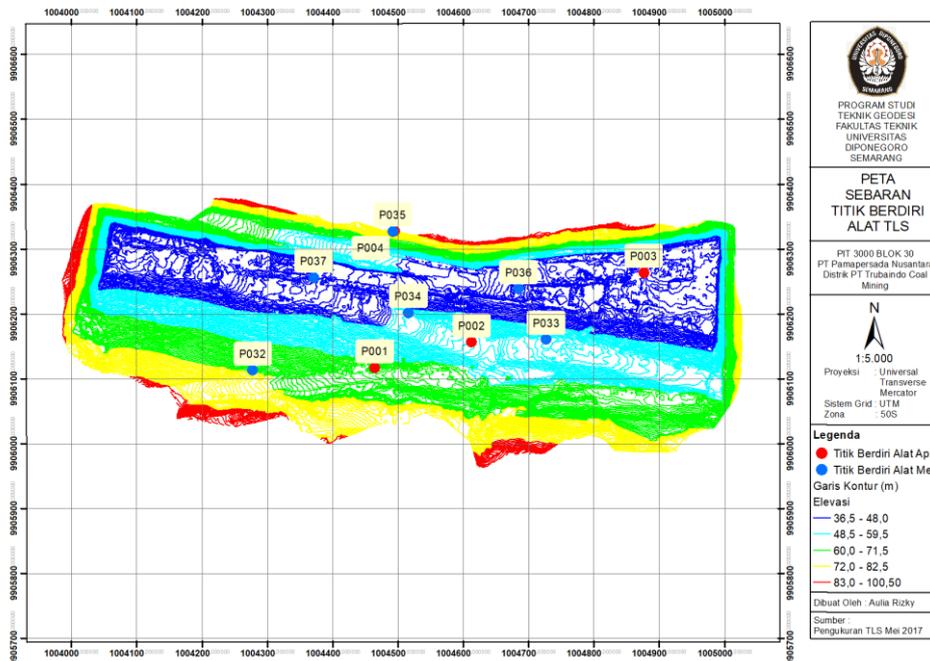
Gambar 2 Diagram Alir

**IV. Hasil dan Pembahasan**

**IV.1. Tie Point Titik Berdiri Alat Laser Scanner**

Registrasi pada pengolahan *laser scanner* memerlukan data *tie point*, data *tie point* tersebut didapat melalui pengukuran GPS RTK *Trimble*. Koordinat *tie point* dilakukan untuk mendapatkan koordinat tanah *center of beam output* alat TLS. Koordinat *tie point* tersebut didapatkan melalui pengukuran survey secara terestris dengan GPS RTK

yang antenna GPS tersebut dipasang di bagian atas alat TLS. Nilai koordinat hasil pengukuran GPS tersebut dalam sistem koordinat UTM dengan zona 50S dengan menggunakan koordinat X,Y, Z. Pada pengukuran TLS menggunakan GPS, nilai *offset* dari plat antenna GPS ke *center of beam output* TLS adalah -0,1555 meter. Gambar 3 merupakan contoh peta sebaran titik berdiri alat TLS.



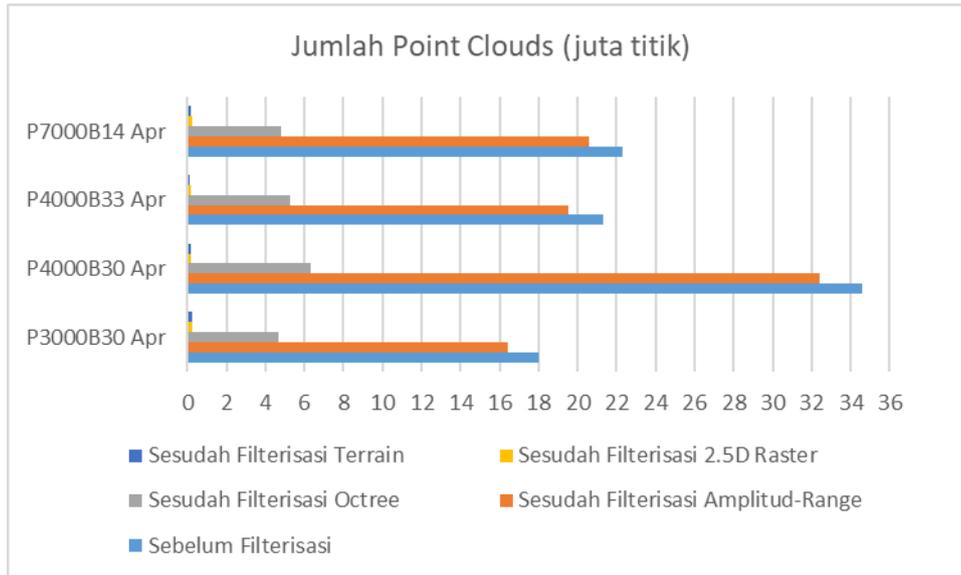
**Gambar 3** Titik Sebaran Berdiri Alat TLS Pada Pit 3.000 Blok 30

**IV.2. Hasil Filterisasi Point Clouds**

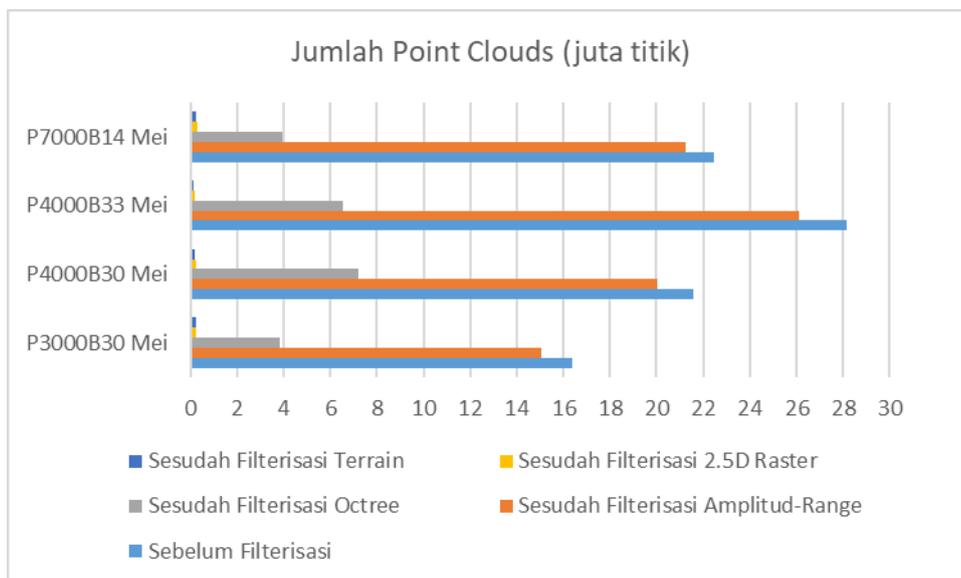
Filterisasi adalah tahap menghilangkan data *point clouds* yang tidak diperlukan. Pada pengolahan data *point cloud*, rata-rata jumlah titik dalam *point clouds* mengalami penurunan hingga sekitar 99,2%, yaitu dari sekitar 23 juta titik menjadi hanya sekitar 180 ribu titik.

Sebelum mengalami proses filterisasi, jumlah *point clouds* pada setiap pit tambang secara rata-rata berkisar 23,1 juta titik. Setelah mengalami proses

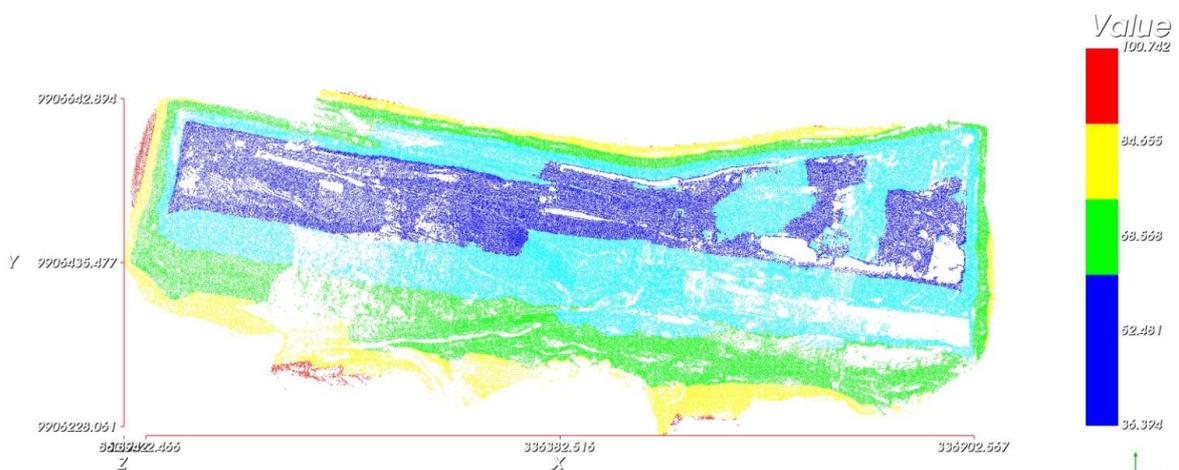
filterisasi *Amplitude* dan *Range*, jumlah *point clouds* menjadi sekitar 21,4 juta titik. Setelah mengalami proses filterisasi *Octree*, jumlah *point clouds* menjadi sekitar 5,3 juta titik. Setelah mengalami proses filterisasi *2.5D Raster*, jumlah *point clouds* menjadi sekitar 226 ribu titik. Setelah mengalami proses filterisasi *2.5D Raster*, jumlah *point clouds* menjadi sekitar 180 ribu titik. Gambar 4 dan Gambar 5 menampilkan jumlah *point cloud* hasil proses-proses filterisasi pada April dan Mei 2017.



Gambar 4 Filterisasi Point Clouds April 2017



Gambar 5 Filterisasi Point Clouds Mei 2017



Gambar 6 Hasil Pengolahan Point Clouds Pit 3.000 Blok 30 April 2017

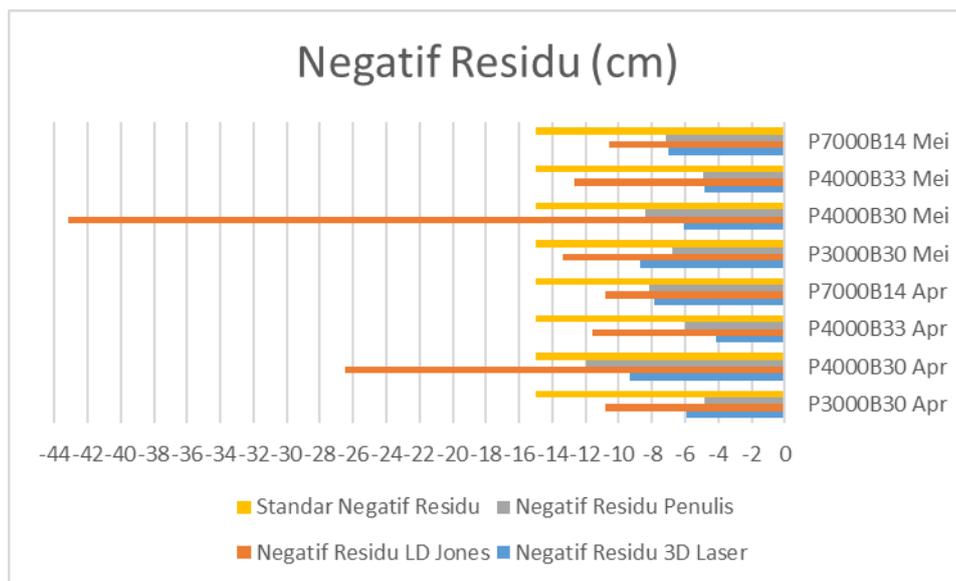
Gambar 6 merupakan contoh hasil pengolahan *point clouds* pada pengukuran pit tambang 3.000 blok 30 di akhir bulan April 2017 yang dilakukan dengan empat kali *scanning*, dengan *point clouds* yang terekam sekitar 18 juta titik dan ukuran file sebesar 213.2 MB.

**IV.4. Hasil Perbandingan Parameter Multi Station Adjustment**

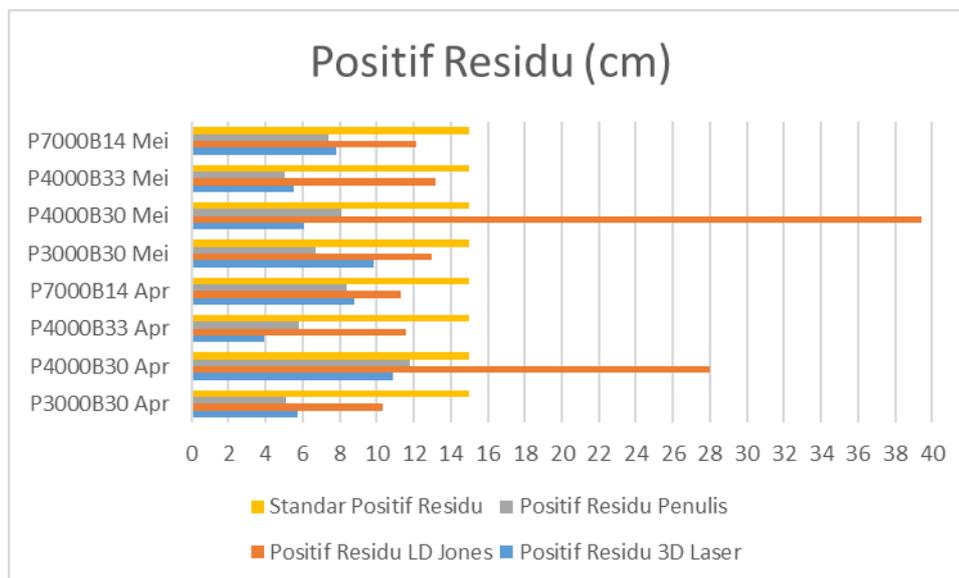
Metode registrasi yang digunakan dalam pengolahan TLS dalam penelitian ini adalah *Multi Station Adjustment*. Prinsip dasar dari metode ini adalah penggabungan data dari dua atau lebih posisi (*ScanPos*) terhadap titik-titik data yang secara otomatis akan menemukan titik-titik data yang sama berdasarkan titik terdekat menggunakan proses *adjustment*.

Algoritma dalam metode ini adalah *Iterative Closest Point (ICP)*.

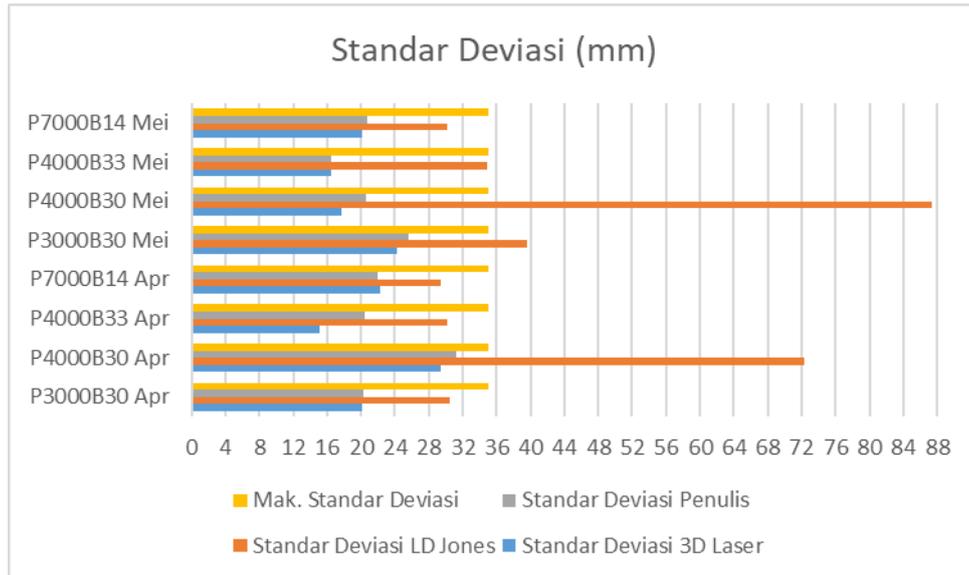
Gambar 7 dan Gambar 8 merupakan nilai negatif residu dan positif residu dari hasil perbandingan parameter registrasi *Multi Station Adjustment*. Negatif residu merupakan nilai residual yang bernilai kurang dari 0, sedangkan positif residu merupakan nilai residual yang bernilai lebih dari 0. Ketentuan besar residual tersebut (*error antar plane*) harus bernilai antara -0,150 m hingga 0,150 m. Semakin nilai residu mendekati 0, maka data semakin baik untuk dijadikan model. Pada penelitian ini parameter MSA yang memenuhi nilai residu kurang dari  $\pm 0,150$  m adalah parameter penulis dan parameter *3D Laser*.



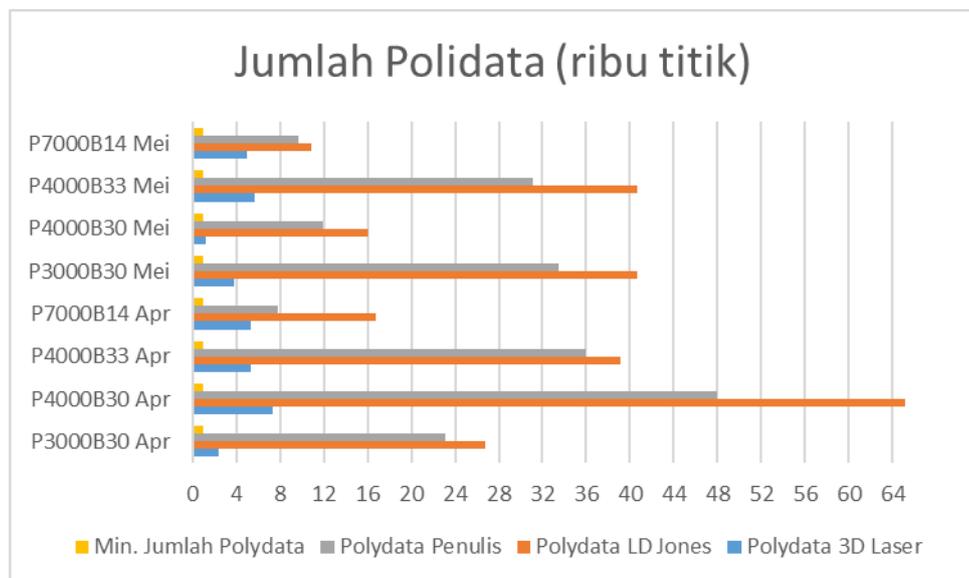
Gambar 7 Perbandingan Negatif Residu



Gambar 8 Perbandingan Positif Residu



Gambar 9 Perbandingan Standar Deviasi



Gambar 10 Perbandingan Jumlah Polidata

Gambar 9 merupakan nilai standar deviasi dari hasil perbandingan parameter registrasi *Multi Station Adjustment*. Ketentuan besar standar deviasinya harus bernilai kurang dari 0,035 m. Semakin nilai standar deviasi mendekati 0, maka data semakin baik untuk dijadikan model. Pada penelitian ini parameter MSA yang memenuhi nilai standar deviasi kurang dari  $\pm 0,035$  m adalah parameter penulis dan parameter *3D Laser*.

Gambar 10 merupakan jumlah titik polidata dari hasil perbandingan parameter registrasi *Multi Station Adjustment*. Ketentuan banyaknya jumlah titik *polydata* harus bernilai ribuan. Semakin banyak jumlah titik *polydata*, maka data semakin baik untuk dijadikan

model. Pada penelitian ini parameter MSA yang memiliki paling banyak jumlah titik *polydata* adalah parameter penulis dan parameter *L.D Jones*.

#### IV.4. Hasil Volume *Earthmoving* Tambang

Analisis *earthmoving* atau pemindahan lapisan tanah pada tambang batubara PT Pampersada Nusantara distrik PT Trubaindo Coal Mining dilakukan dengan membandingkan hasil pengolahan data TLS dengan data *Truck Count*. Volume *earthmoving* berdasarkan pengukuran TLS dengan perangkat lunak *RiScan Pro* dan *AutoCad Civil 2015* serta berdasarkan *truck count* dapat dilihat pada Tabel 1.

**Tabel 1** Volume *Earthmoving* Periode Mei Antara TLS dengan *Truck Count*

Periode	Pit	Truck Count (BCM)	RiScan Pro - Truck Count			Autocad Civil - Truck Count		
			RiScan Pro (BCM)	Selisih (BCM)	%	Autocad Civil (BCM)	Selisih (BCM)	%
Mei-17	P3000B30	347.890,154	356.716,191	8.826,037	2,54	356.299,070	8.408,916	2,42
Mei-17	P4000B30	335.531,792	342.410,078	6.878,286	2,05	341.955,440	6.423,648	1,91
Mei-17	P4000B33	326.974,207	334.854,588	7.880,381	2,41	334.867,290	7.893,083	2,41
Mei-17	P7000B14	427.426,665	418.815,374	-8.611,291	-2,01	419.227,640	-8.199,025	-1,92

Toleransi perbedaan antara perhitungan TLS dan *Truck Count* adalah sebesar  $\pm 2,78\%$ . Hasil uji

perbandingan yang diperoleh pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 2.

**Tabel 2** Hasil Volume *Earthmoving* Antara *RiScan Pro* dengan *Truck Count*

Periode	Pit	RiScan - Truck		AutoCad - Truck	
		%	Hasil Uji	%	Hasil Uji
Mei-17	P3000B30	2,54%	Memenuhi	2,42%	Memenuhi
Mei-17	P4000B30	2,05%	Memenuhi	1,91%	Memenuhi
Mei-17	P4000B33	2,41%	Memenuhi	2,41%	Memenuhi
Mei-17	P7000B14	-2,01%	Memenuhi	-1,92%	Memenuhi
Rata-rata ( $\pm$ )		2,25%	Memenuhi	2,17%	Memenuhi

**V. Penutup**

**V.1. Kesimpulan**

Berdasarkan hasil dan analisis pada penelitian ini, dapat diambil beberapa kesimpulan akhir sebagai berikut :

1. Tahapan pengolahan data *Terrestrial Laser Scanner* dengan metode *Cloud to Cloud* adalah konversi data hasil pengukuran TLS, georeferensi, registrasi *Multi Station Adjustment*, filterisasi, *meshing* atau *triangulated data*, perhitungan volume dengan metode *cut and fill*. Kendala pengolahan data *Terrestrial Laser Scanner* dengan metode *Cloud to Cloud* adalah penentuan titik berdiri alat *Terrestrial Laser Scanner* sangat mempengaruhi kenampakan suatu objek. Apabila banyak halangan terhadap objek, maka hasil pengukuran akan mempunyai banyak *noise*. Dan juga apabila terdapat air pada objek yang terekam, maka *point clouds* yang terekam akan mengalami bias. Tahapan pengolahan data yang terpenting adalah tahapan registrasi *Multi Station Adjustment* dan tahapan filterisasi-filterisasi *point clouds*. Tahapan registrasi akan berpengaruh terhadap proses menggabungkan *scan* menjadi satu dan filterisasi *point clouds* akan mempengaruhi bentuk *surface* (DTM) permukaan tambang.
2. Konsep penghitungan volume pemindahan lapisan tanah dengan metode *truck count* pada penelitian ini adalah dengan mengkonversi satuan berat tonase material ke satuan volume *Bank Cubic Meter* (BCM). Dimana pada setiap *Dump Truck* (alat berat angkut) telah terpasang alat timbangan berat material digital untuk menghitung berat material yang dimuat oleh *Exavator* (alat berat muat) ke *Dump Truck*. Untuk menghitung volume material berdasarkan berat tonase, dilakukan dengan membagi berat tonase dengan faktor konversi (massa jenis material). Umumnya standar kapasitas *vessel* dari *dump truck* bertipe HD 1500 adalah 56

BCM, HD 785 adalah 42 BCM, HD 465 adalah 21 BCM dan Volvo adalah 15 BCM.

3. Estimasi volume *earthmoving* tambang yang diperoleh dengan menggunakan:
  - a. TLS dan perangkat lunak *RiScan Pro* yaitu pada pit 3.000 blok 30 adalah 356.716,191 BCM, pada pit 4.000 blok 30 adalah 342.410,078 BCM, pada pit 4.000 blok 33 adalah 334.854,588 BCM dan pada pit 7.000 blok 14 adalah 418.815,374 BCM.
  - b. TLS dan perangkat lunak *Autocad Civil 2015* yaitu pada pit 3.000 blok 30 adalah 356.299,070 BCM, pada pit 4.000 blok 30 adalah 341.955,440 BCM, pada pit 4.000 blok 33 adalah 334.867,290 BCM dan pada pit 7.000 blok 14 adalah 419.227,640 BCM.
4. Hitungan volume hasil *truck count* digunakan sebagai acuan hasil. Dari nilai-nilai tersebut diperoleh:
  - a. Selisih perhitungan dengan *RiScan Pro* yaitu pada pit 3.000 blok 30 sebesar 2,54% dalam persentase, pada pit 4.000 blok 30 sebesar 2,05% dalam persentase, pada pit 4.000 blok 33 sebesar 2,41% dalam persentase dan pada pit 7.000 blok 14 sebesar -2,01% dalam persentase.
  - b. Selisih perhitungan dengan *AutoCad Civil 2015* yaitu pada pit 3.000 blok 30 sebesar 2,42% dalam persentase, pada pit 4.000 blok 30 sebesar 1,91% dalam persentase, pada pit 4.000 blok 33 sebesar 2,41% dalam persentase dan pada pit 7.000 blok 14 sebesar -1,92% dalam persentase.
  - c. Rata-rata selisih perhitungan dengan *RiScan Pro* yaitu sebesar  $\pm 2,25\%$  dan dengan *Autocad Civil* yaitu sebesar  $\pm 2,17\%$ . Hasil yang diperoleh dari survei dapat diterima dalam toleransi kesalahan sesuai dokumen ASTM tahun 2002, selisih tersebut masuk dalam toleransi yang diberikan yaitu  $\pm 2,78\%$ .

## V.2. Saran

Berdasar dari pengalaman peneliti, terdapat beberapa saran untuk kemajuan penelitian mendatang, diantaranya :

1. Melakukan kajian perbandingan pengukuran *terrestrial laser scanner* pada waktu yang berbeda seperti siang atau malam, karena pengukuran tambang dengan TLS kadang juga dilakukan pada malam hari.
2. Penelitian selanjutnya terhadap alat ini sebaiknya lebih difokuskan kepada resolusi bukaan sudut alat TLS dengan registrasi *target to target* dan *cloud to cloud*.
3. Penempatan *station* pengukuran sebisa mungkin tersebar merata atau membentuk grid pada keseluruhan area pengukuran sehingga semua area pengukuran dapat dipindai dengan jelas atau meminimalisasi adanya *blocked area*.
4. Memperbanyak membaca referensi dalam pengolahan TLS menggunakan perangkat lunak *RiScan Pro* sehingga lebih memperkaya pengetahuan dan analisis penelitian.
5. Penggunaan komputer atau laptop yang memiliki spesifikasi yang tinggi sangat diperlukan dalam penelitian ini, sebab data hasil pemindaian berupa data *point clouds* dengan jumlah yang sangat banyak yang membutuhkan proses yang lama.
6. Hasil pengukuran dengan TLS jangan hanya tergantung dari nilai standar deviasi dan residu hasil registrasi *Multi Station Adjustment*, tetapi perlu juga dilakukan uji akurasi dengan survei geodesi lainnya.
7. Hindari posisi pengukuran objek yang menentang matahari karena dapat menimbulkan efek *flare* (cahaya masuk dan menyebar di dalam lensa melalui mekanisme yang tidak diharapkan).
8. Tidak perlu melakukan proses *smoothing* pada objek *mesh* (DTM), karena akan mengurangi ketelitian dari kenampakan objek hasil perekaman.

## Daftar Pustaka

- Kurnia, M.A. 2011. *Evaluasi Penambangan di Pit 3 Berdasarkan Pengukuran Survei Kemajuan Tambang Terhadap Ritase Alat Angkut (Truck Count) Pada PT Tanjung Alam Jaya Kecamatan Pengaron, Kabupaten Banjar, Kalimantan Selatan*. Skripsi. Jurusan Teknik Pertambangan. Fakultas Teknik. Universitas Lambung Mangkurat. Banjarmasin.
- Mills, J dkk. 2003. *An Addendum to the Metric Survei Specifications for English Heritage– the collection and archiving of point clouds data obtained by terrestrial laser scanning or other methods*. Version 11/12/2003.
- Pancarka, A. R. 2016. *Penggunaan 3D Laser Scanner Topcon Gls 2000 untuk Perhitungan Volumetrik Stock Opname Batubara*. Skripsi. Departemen Teknik Geodesi. Fakultas Teknik. Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- Quentiro, M. S dkk. (2008) : *3D Risk Mapping Theory and Practice on Terrestrial Laser Scanning*. Vlaams Leonardo Da Vinci Agentschap. Europe.
- Rehsetyuk, Y. 2009. *Self Calibration and Direct Georeferencing in Terrestrial laser Scanning*. Doctoral Thesis. Division of Geodesy. Department of Transport and Economics. Royal Institute of Technology (KTH).
- Sitek dkk. 2006. *Tomographic Reconstruction Using an Adaptive Tetrahedral Mesh Defined by a Point clouds*, *IEEE Trans. Med. Imag.* 25 1172.
- Triono dkk. 2014. *Perhitungan Kemajuan Tambang (Progress Survey) dengan Metode Penampang Melintang di CV. Wulu Bumi Sakti Kecamatan Samboja Kabupaten Kutai Kartanegara Provinsi Kalimantan Timur*. Jurnal Geologi Pertambangan. Departemen Teknik Pertambangan. Fakultas Teknik. Universitas Kutai Kartanegara. Kutai Kartanegara.
- Vosselman, G dkk. 2010. *Airborne and Terrestrial laser Scanning*. Boca Raton, Florida: CRC Press.