



ANALISIS PERBANDINGAN VOLUME *STOCKPILE* BATU BARA HASIL UAV LIDAR DAN HASIL PENIMBANGAN (STUDI KASUS PT. HARDAYA MINING ENERGY, SITE SEBAKIS, NUNUKAN, KALIMATAN UTARA)

Dedi Setyawan¹, Yunus Susilo²

^{1,2} Prodi Teknik Geomatika, Fakultas Teknik Universitas Dr. Soetomo, Surabaya, Indonesia

email: dedi.setyawan@ccm.co.id, yunus.susilo@unitomo.ac.id

ABSTRAK: *Stockpile* (tumpukan material) merupakan tempat penyimpanan batubara sementara yang digunakan sebagai penyangga antara pengiriman dan produksi batubara. Salah satu kegiatan utama dalam pengelolaan *stockpile* batubara adalah *monitoring volume* batubara. Survei volumetrik merupakan kegiatan rutin yang memiliki fungsi pengawasan dalam area *stockpile* batu bara. Hasil pengukuran volume yang akurat sangat diperlukan untuk perhitungan volume batubara sehingga target nilai ekonomis cadangan dan produksi tidak melenceng jauh dari perencanaan. Akurasi pengukuran volume ditentukan oleh metode dan peralatan yang digunakan. Perangkat survei yang umum digunakan dalam pengukuran volume adalah alat *Total Station* (TS), *Receiver GNSS* tipe RTK (*Real Time Kinematic*), atau *Terrestrial Laser Scanner* (TLS). Pemanfaatan wahana *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) metode *Light Detection and Ranging* (Lidar) menjadi metode baru yang digunakan untuk pengukuran volume *stockpile*. Penelitian dilakukan dengan membandingkan hasil hitungan volume dari akuisisi data UAV Lidar, dan penimbangan pada periode waktu yang sama. Uji volume dilakukan dengan membandingkan volume keseluruhan timbangan (*bulk volume*) dan volume hasil dari UAV Lidar. Hasil uji menunjukkan bahwa, hitungan volume kedua metode tersebut memiliki selisih yang sangat kecil. Volume hasil perhitungan metode UAV Lidar sebesar 134.333,038 metrik ton. Hasil perhitungan tonase penimbangan adalah 136.196,663 metrik ton, terdapat selisih sebesar 1863,625 metrik ton (1,39 %). Angka selisih ini masih memenuhi standar toleransi ASTM (*American Standard Testing and Material*) sebesar 2% sehingga data perhitungan dapat digunakan. Metode pengukuran volume dengan UAV Lidar bisa digunakan untuk pengukuran *stockpile* batu bara.

Kata Kunci: *Stockpile* batubara, *Light Detection and Ranging*, *monitoring volume*

PENDAHULUAN

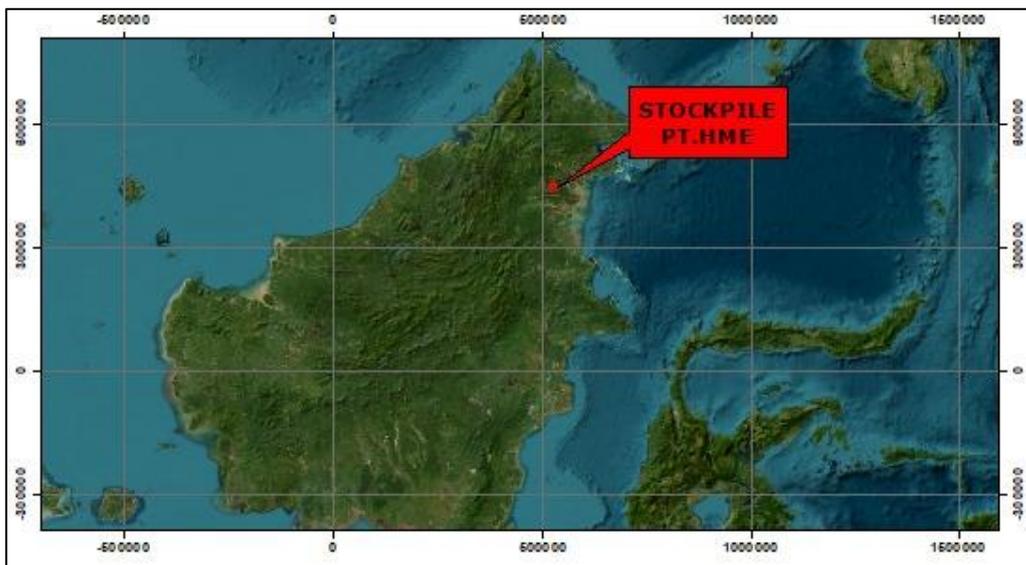
Stockpile (tumpukan material) merupakan elemen penting dalam kegiatan penambangan batubara. *Stockpile* difungsikan sebagai penyimpanan sementara hasil produksi sebelum pengiriman. Batubara hasil produksi ditumpuk pada suatu tempat yang direncanakan (*room stock*) sebelum dilakukannya pengiriman. Hal ini untuk mencegah batubara terhindar dari gangguan jangka pendek maupun jangka panjang seperti penurunan kualitas batubara karena oksidasi. Pemantauan sebagai kontrol wajib dilakukan secara berkala dalam manajemen *stockpile*. Salah satu indikator terpenting pada manajemen *stockpile* yaitu pemantauan volume stock. Survei topografi menjadi metode umum yang dipakai dalam pengukuran volume. Beberapa metode yang sering dipergunakan adalah pengukuran menggunakan alat *Total Station*, *Terrestrial Laser Scanner* dan, *Global Navigation Satellite System* (Khomsin dkk, 2018). Dibutuhkan ketelitian yang tinggi dalam perhitungan volume batubara sehingga target nilai ekonomis cadangan dan produksi tidak melenceng jauh dari perencanaan. Kebanyakan pengukuran dan pengambilan data volume tumpukan batubara pada *stockpile* masih menggunakan metode konvensional yang dalam proses pekerjaannya membutuhkan banyak waktu. Sesuai dengan perkembangan dan kemajuan teknologi pada bidang pertambangan, pengukuran tumpukan volume *stockpile* batubara tidak hanya menggunakan metode konvensional tetapi juga memanfaatkan wahana *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) metode *Light Detection and Ranging* (Lidar). Survey Lidar merupakan metode baru untuk menggantikan metode survey konvensional yang terkadang tidak bisa mewakili suatu area, misalkan jika diperlukan perhitungan luasan longsor atau volume longsor maka metode konvensional tidak dapat diterapkan karena faktor keamanan. Hal tersebut dikarenakan lokasi timbunan longsor sangat tidak aman untuk diambil titik-titik pengukuran. Selain itu juga permintaan pembeli (*buyer*) untuk mengetahui ukuran dan jumlah



tumpukan volume yang ada serta kondisi di lapangan pada saat melakukan pembelian batubara pada *stockpile* membutuhkan informasi yang cepat sehingga digunakannya metode survey Lidar sebagai alternatif pengambilan data di lapangan guna memberi informasi data terbaru bagi pembeli (*buyer*) sebagai pertimbangan pembelian. Berdasarkan permasalahan tersebut, maka peneliti ingin melakukan penelitian terhadap data hasil UAV Lidar, dengan tujuan menilai seberapa efektif dan efisien data UAV Lidar dapat digunakan dalam perhitungan tumpukan volume *stockpile*.

METODE

Penelitian ini dilakukan pada salah satu *Stockpile* milik PT. Hardaya Mining Energy yang berada di Desa Sebakis, Kecamatan Sebuku, Kabupaten Nunukan, Provinsi Kalimantan Utara.



Gambar 1. Lokasi *Stockpile* PT. Hardaya Mining Energy (Sumber: Google Earth 2023)

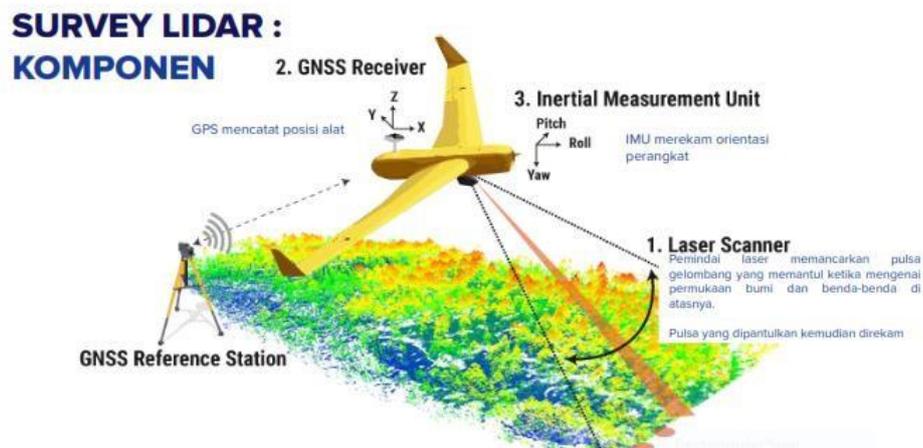
Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode penelitian deskriptif kuantitatif, dimana metode kuantitatif digunakan pada hasil dari data UAV Lidar (koordinat x,y,dan z) berupa angka yang diolah menggunakan perangkat lunak (*software*) Surpac 6.3.2 untuk mendapatkan hasil perhitungan volume *stockpile* menggunakan metode *cut and fill*. Sedangkan pengumpulan datanya dengan metode pustaka atau literatur dari laporan perusahaan dan metode observasi langsung di lapangan.

Light Detection and Ranging (LiDAR)

LiDAR adalah suatu perangkat atau sistem yang sering digunakan pada aktivitas survei, pengukuran, atau pengamatan dengan menggunakan metode penginderaan jauh cahaya optis dalam bentuk pulsa sinar laser untuk mengukur jarak-jarak terhadap objek-objek permukaan bumi (Muller, 2021). Teknologi ini menggunakan pulsa laser untuk menentukan jarak suatu obyek. LiDAR memiliki aplikasi di berbagai bidang, termasuk pemetaan topografi, pemetaan hutan dan vegetasi, pemetaan bangunan dan infrastruktur, serta dalam kendaraan otonom dan sistem bantuan pengemudi canggih. Hasil dari LiDAR berupa titik-titik yang memiliki nilai koordinat dan tinggi, titik-titik ini disebut dengan *point cloud*. *Point cloud* adalah sekumpulan data berupa titik-titik pada beberapa sistem koordinat. Data tersebut diproses pasca survei pengumpulan data melalui sistem lidar. Dalam sistem koordinat 3D kartesian, titik-titik ini ditentukan oleh koordinat X, Y, dan Z, dan sering dimaksudkan untuk mewakili permukaan eksternal dari suatu objek.

Komponen LiDAR

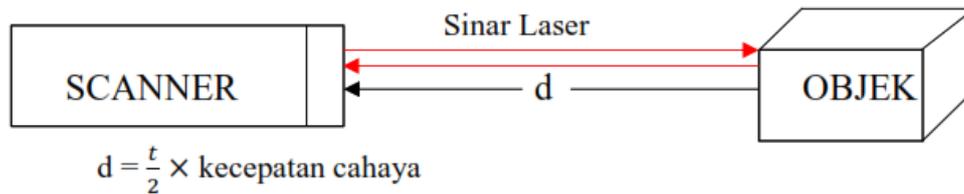
Laser pada LiDAR digunakan untuk memancarkan pulsa cahaya laser ke permukaan atau objek yang dituju. Komponen sensor pada LiDAR kemudian menghitung waktu yang dibutuhkan oleh setiap pulsa laser untuk memantul dari permukaan tersebut ke sensor. Dengan menggabungkan data jarak yang diperoleh dari berbagai sudut, LiDAR dapat menghasilkan model medan yang detail dari permukaan tanah atau objek lainnya. Pemindai pada LiDAR memiliki kecepatan yang berbeda-beda tergantung pada sistem LiDAR yang digunakan. Kecepatan pemindai ini akan mempengaruhi kecepatan dalam menghasilkan citra yang diinginkan. Terdapat beberapa metode pemindaian yang digunakan, seperti *azimuth & elevation*, *dual oscillating plane mirrors*, *dual axis scanner*, dan *polygonal mirrors*. Kecepatan pencitraan gambar yang dapat dihasilkan tergantung pada kecepatan pindai objek dari suatu sistem LiDAR. *Photo detector* atau *receiver* digunakan untuk membaca dan merekam pulsa laser yang dipantulkan dari objek yang terukur. Komponen ini berperan penting dalam mengubah sinyal cahaya menjadi data yang dapat diolah lebih lanjut. *Photo detector / receiver* adalah perangkat yang berfungsi untuk membaca dan merekam pulsa laser yang dipantulkan dari objek terukur. Ada dua macam *photo detector* yang umum digunakan pada sistem LiDAR, yaitu *photodiode* dan *photomultipliers*. Sistem navigasi pada LiDAR digunakan untuk menentukan informasi geografis dari pantulan sinar laser. Dengan menggunakan data dari sistem navigasi, LiDAR dapat menghasilkan pemetaan yang akurat dan terkait dengan lokasi geografis yang tepat.



Gambar 2. Komponen Survey Lidar (Sumber: Terra Drone, 2024)

Prinsip Kerja Sensor Laser Dalam Sistem LiDAR

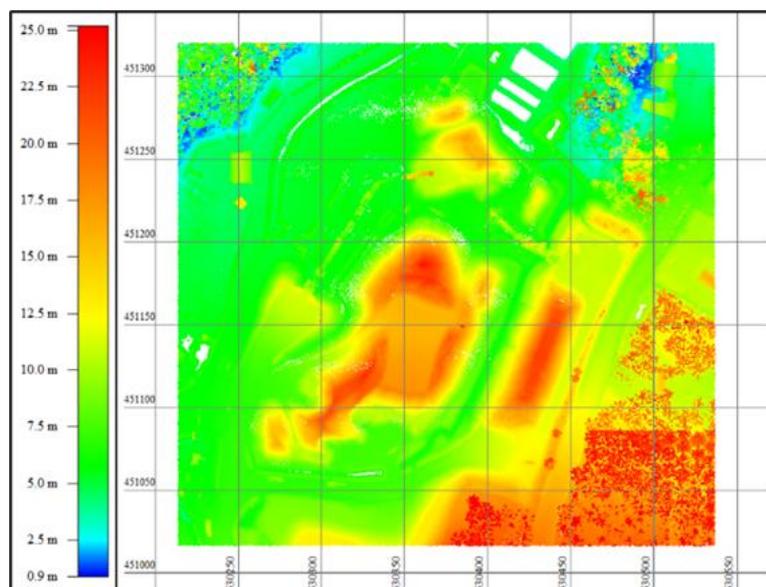
Teknologi laser scanning mempunyai perbedaan prinsip pengukuran dan mekanisme akuisisi datanya dengan teknologi yang selama ini memanfaatkan tenaga matahari. Pada proses akuisisi data dengan menggunakan teknologi LiDAR, untuk laser scanning harus didasarkan pada perencanaan model matematika yang teliti, dengan tujuan agar bisa memenuhi persyaratan presisi tinggi. Sedangkan untuk laser *scanning* terrestrial kalibrasi yang teliti diperlukan juga untuk meningkatkan kualitas geometris dari hasil proses akuisisi data, diluncurkannya satelit *Global Positioning System* memungkinkan ditentukannya posisi suatu wahana yang bergerak dengan ketelitian yang tinggi, dengan mengacu pada suatu sistem koordinat tertentu. Jika posisi sensor dapat ditentukan dengan ketelitian yang cukup tinggi, dan juga jarak dan sudut antara sensor dengan titik objek di permukaan bumi, maka posisi objek tersebut dapat juga ditentukan. Karakteristik menarik dari sensor laser pada teknologi LiDAR adalah dapat diaturnya frekuensi pancaran sinyal, yang memungkinkan diaturnya density titik tiap satuan luas tertentu.



Gambar 3. Prinsip Kerja Sistem Laser (Sumber: Nawangsidi, 2009)

Point Cloud

Point cloud adalah sekumpulan titik data dalam beberapa system koordinat dan membentuk suatu objek tertentu. Dalam system koordinat tiga dimensi, titik-titik ini biasanya ditentukan oleh koordinat X, Y, dan Z. Koordinat ini sering dimaksudkan untuk mewakili permukaan luar objek (Lichti D, dkk, 2004). *Point cloud* dihasilkan dari proses perangkat *scanner* 3D. Perangkat tersebut mengukur sejumlah besar titik pada permukaan objek, menghasilkan *point cloud* sebagai file data. Biasanya *point clouds* tidak langsung dapat digunakan di sebagian besar aplikasi 3D, oleh karena itu perlu dikonversi ke model CAD melalui suatu proses. *Point cloud* terdiri dari dua macam, yaitu, *point cloud* tergeoreferensi dan *point cloud* tidak tergeoreferensi. *Point cloud* tergeoreferensi adalah *point cloud* yang diikatkan pada sistem referensi koordinat tertentu seperti WGS 1984, sedangkan *point cloud* tak tergeoreferensi adalah *point cloud* yang tidak memiliki sistem referensi koordinat tertentu atau menggunakan sistem koordinat lokal. *Point cloud* sebagai kerangka 3D untuk pembuatan *Digital Elevation Model* (DEM), *Digital Surface Model* (DSM), dan *Normalized Digital Surface Model* (NDSM), pemodelan 3 dimensi objek (*meshing*) atau untuk acuan *Modelling*.



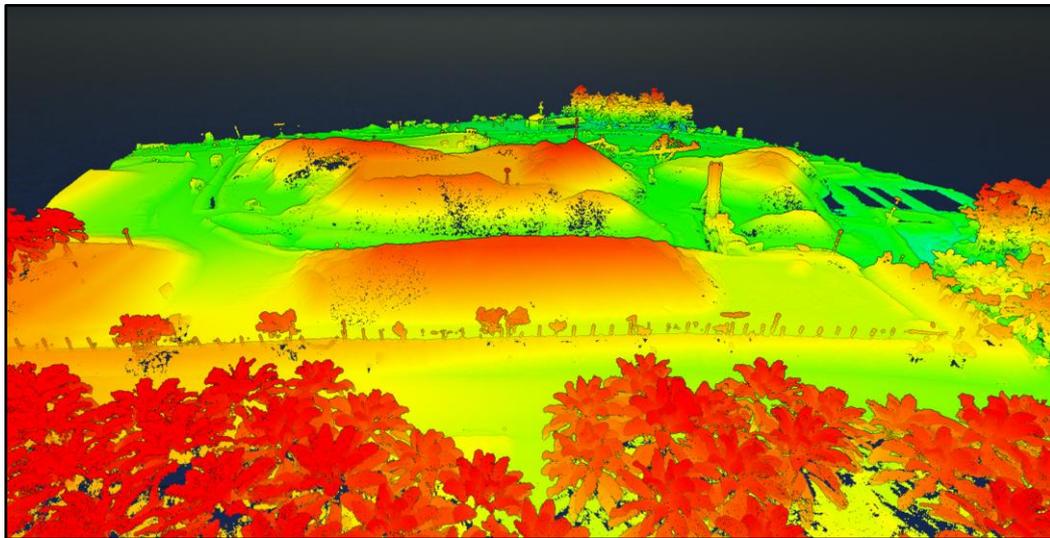
Gambar 4. Hasil *Point Cloud* UAV LiDAR (Sumber: Pengolahan data 2025)

3D Modelling

Tiga dimensi dapat diartikan sebagai objek yang dapat didefinisikan dalam sistem koordinat kartesian tiga sumbu, yaitu pada sumbu x, sumbu y dan sumbu z, sederhananya objek 3D adalah objek yang memiliki panjang lebar dan tinggi. Semua objek *real-world* (dunia nyata) berbentuk 3D. Model dapat diartikan sebagai representasi / tiruan dari dunia nyata, sehingga model 3D dapat diartikan sebagai penggambaran atau representasi dunia nyata dalam bentuk 3D dalam sistem lain. Dalam kaitannya dengan Sistem Informasi Geografis, model 3D dibagi menjadi model 3D yang



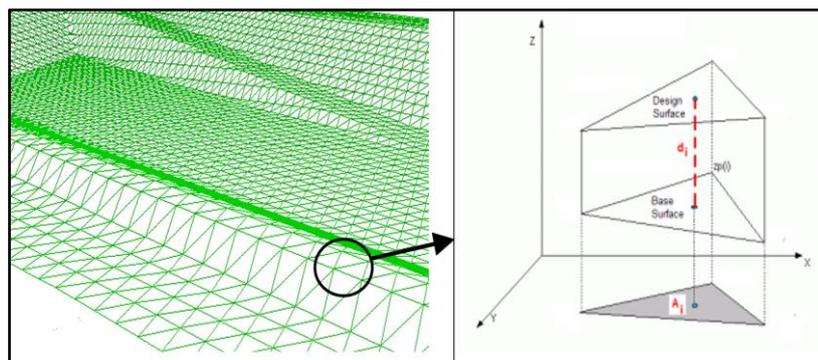
memiliki referensi kebumian (*georeference*), dan model 3D yang tidak memiliki referensi kebumian (Prahasta 2009 dalam Fesvur 2013).



Gambar 5. Hasil 3D modeling Tumpukan Batubara (Sumber: Pengolahan data 2025)

Penghitungan Volume Menggunakan Data LiDAR

Prinsip penghitungan volume adalah rumus prisma (Geodis-Ale, 2012). Rumus ini merupakan pengembangan dari rumus dua tampang (*end area*). Volume Lidar dihitung dari DTM yang dibentuk dari data *point cloud* hasil pengukuran menjadi jaring-jaring segitiga (TIN). Jaringan segitiga inilah yang akan membentuk suatu geometri prisma dari dua *surface*. *Surface* dibedakan menjadi dua yaitu *design surface* dan *base surface*. *Design surface* merupakan *surface* yang akan dihitung volumenya sedangkan *base surface* merupakan *surface* yang dijadikan sebagai alas.



Gambar 6. Visualisasi Penghitungan Volume dengan metode *Cut and Fill* (Sumber: Geodis-Ale, 2012)

Gambar diatas menunjukkan bahwa volume total dari suatu area dihitung dari penjumlahan volume semua prisma. Volume prisma dihitung dengan mengalikan permukaan proyeksi (A_i) dengan jarak antara pusat massa dari dua segitiga yaitu Progres surface dan base surface (d_i). Rumus penghitungan volume dengan *prism method* dapat dilihat pada rumus 1.1. (Geodis-Ale, 2012)

$$V_i = A_i \cdot d_i \dots \dots \dots (1.1)$$



Keterangan :

V_i = Volume prisma

A_i = Luas bidang permukaan proyeksi

d_i = Jarak antara pusat massa dua segitiga *surface* desain dan *base* desain.

Pengukuran dan perhitungan volume batubara pada stockpile PT. Hardaya Mining Energy dilakukan dengan menggunakan *software* Surpac 6.3.2, untuk mengetahui perolehan volume batubaranya, dilakukan dengan cara mengalikan hasil volume yang sudah dihitung pada *software* Surpac 6.3.2 dengan density batubara pada *stockpile*, sehingga mendapatkan nilai yang sebenarnya (*real*), untuk volume batubara yang terdapat pada *stockpile* milik PT. Hardaya Mining Energy. Langkah-langkah perhitungan data di *software* Surpac 6.3.2 adalah sebagai berikut :*Export dense cloud*, sebelum melakukan perhitungan volume *stockpile* batubara tahap awal yaitu dengan melakukan perubahan format file yang awal berupa XYZ di ubah menjadi format file CSV agar terkoneksi pada *software* Surpac 6.3.2.

1. Import koordinat, dilakukan untuk memunculkan titik-titik koordinat yang telah di *export* pada tahap awal pada *software* Surpac 6.3.2.
2. *New layer boundry*, dilakukan untuk membuat *boundary* (batasan) di sekeliling tumpukan batubara pada titik-titik koordinat sebagai penanda batas wilayah perhitungan yang akan dihitung pada *Software* Surpac 6.3.2.
3. Pembuatan *Surface Base* dari data sebelum dilakukan penumpukan batubara, proses ini dilakukan untuk menentukan lapisan bagian dasar pada tumpukan volume *stockpile* batubara.
4. Selanjutnya pembuatan *Surface Progres* dari data point koordinat yang telah di import pada *software* Surpac 6.3.2.

Pengukuran volume, dalam proses ini pengukuran volume dilakukan setelah semua proses pembuatan di *software* Surpac 6.3.2 selesai dilakukan sampai pembuatan *surface* dan *boundary*, dengan cara melakukan proses “DTM *Cut and Fill Volumes*” dan hasil dari perhitungan volume batubara akan muncul.

Penentuan Tonase Timbangan

Penentuan tonase stockpile batubara menggunakan timbangan dilakukan dengan cara menimbang jumlah muatan batubara dalam dump truck. Secara rinci tonase dihitung dari muatan batubara di dalam *dump truck* yang melewati jembatan timbang dikalikan dengan banyaknya dump truck yang melewati jembatan timbang tersebut sebelum memasuki area *stockpile* (Fujiono, 2004, dalam Saputra, 2012).



Gambar 7. Proses Penimbangan Batubara



Total hasil tonase dicari dengan rumus perhitungan metode hasil permodelan dikalikan dengan nilai densitas batubara dan juga di bagi dengan nilai timbangan. Rumus yang digunakan adalah sebagai berikut :

$$T = D \times V : t$$

Dimana :

T = Total Tonase

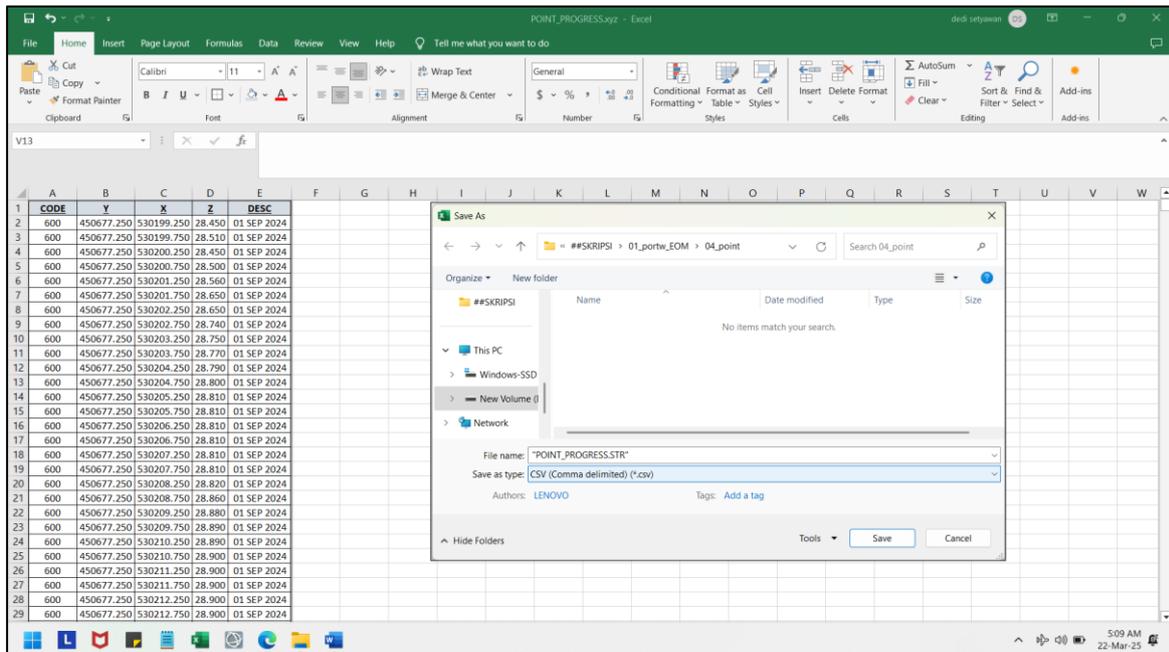
D = Densitas

V = Total Volume *Stockpile*

t = Timbangan

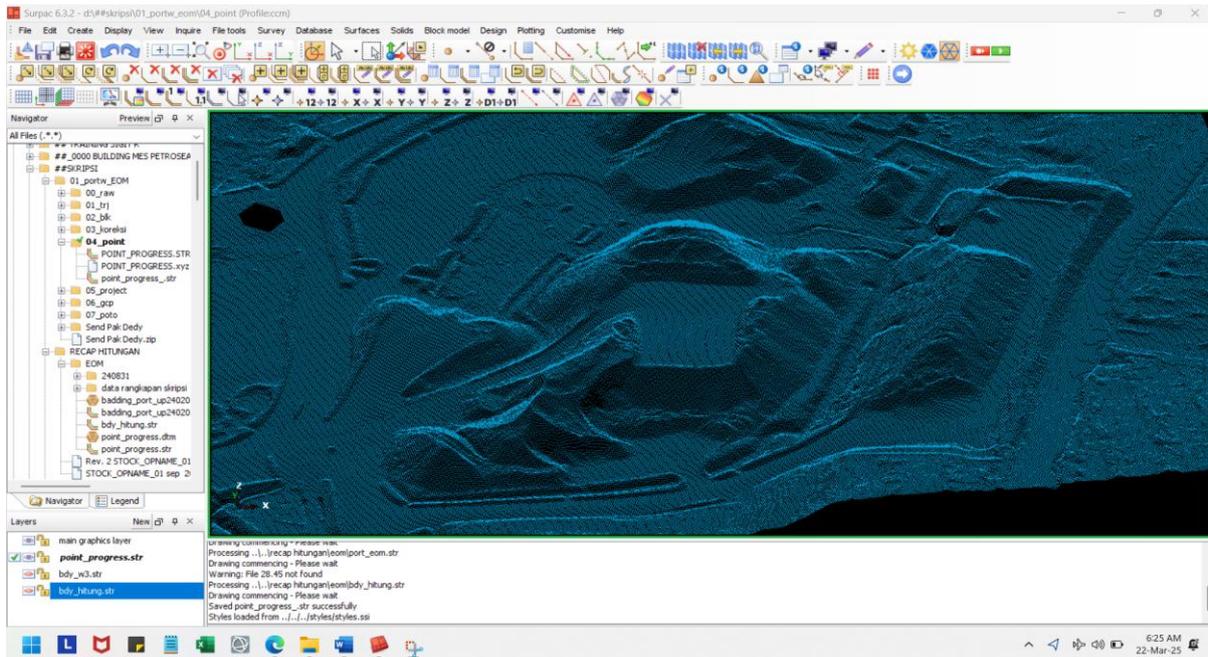
HASIL DAN PEMBAHASAN

Sebelum melakukan perhitungan volume pada *software* Surpac 6.3.2, Langkah awal dalam *processing* data adalah dengan cara membuka data *point cloud* lidar ke dalam *Microsoft excel*, kemudia data tersebut disimpan dalam format CSV (*Comma Separated Values*). Hal tersebut dilakukan agar data *point cloud* bisa terbaca oleh *software* surpac, seperti pada gambar 8.



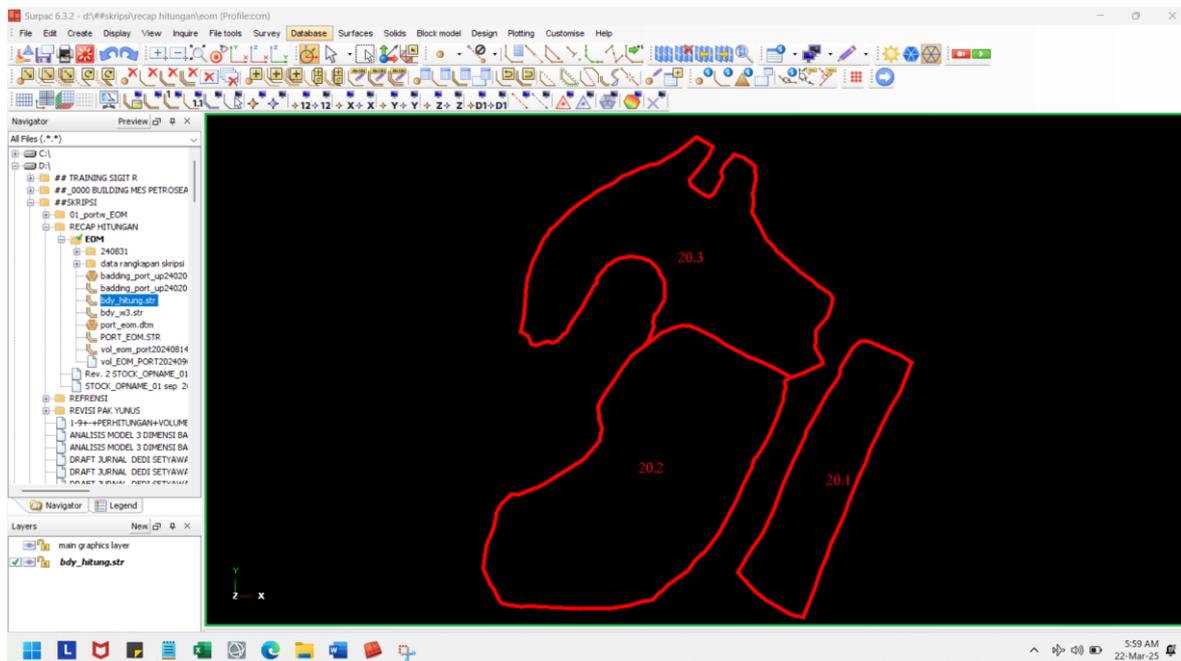
Gambar 8. Export Data Dense Cloud Point Lidar dalam Format CSV (Sumber: Pengolahan data2025)

Setelah melakukan proses *export* data *point cloud* ke format CSV, langkah selanjutnya adalah membuka Point tersebut di *Software* Surpac 6.3.2 dengan cara *Double Click* File *export* tersebut ke jendela Desktop Software Surpac 6.3.2, seperti pada gambar 9.



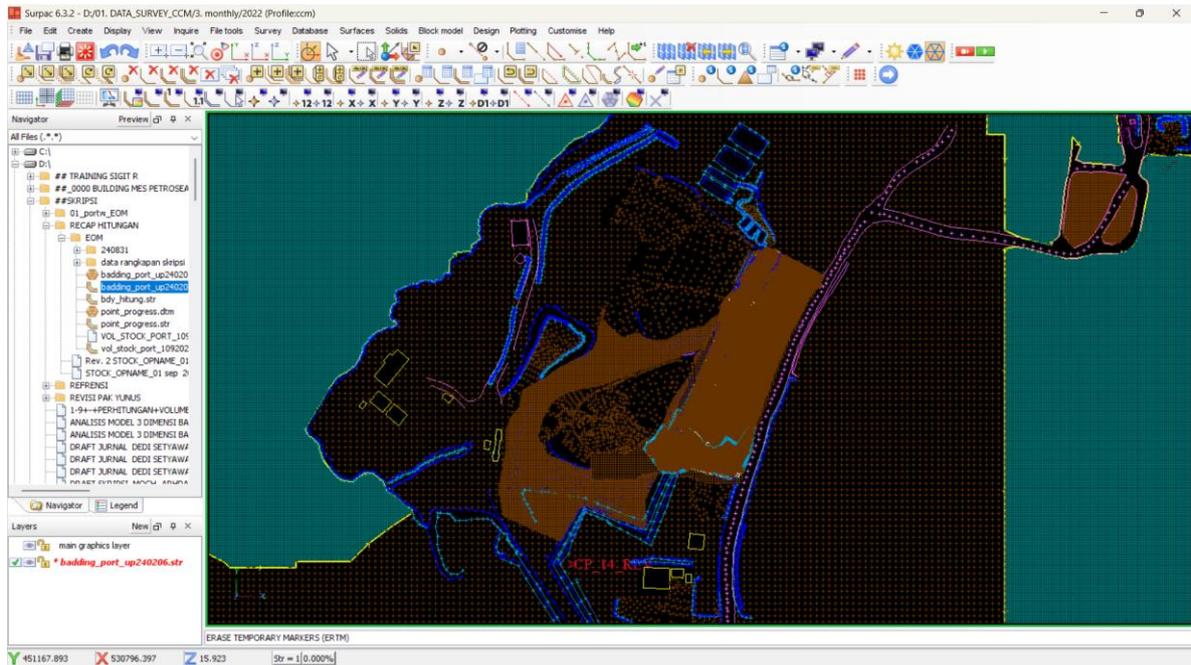
Gambar 9. Tampilan Hasil *Point* Tumpukan pada *Software* Surpac 6.3.2 (Sumber: Pengolahan data 2025)

Selanjutnya adalah membuat *boundary* hitung tumpukan batubara sebagai batas pemisah tumpukan batubara. Batas tersebut diperoleh dengan cara mendigitasi batas terluar tumpukan batubara, seperti gambar 10.

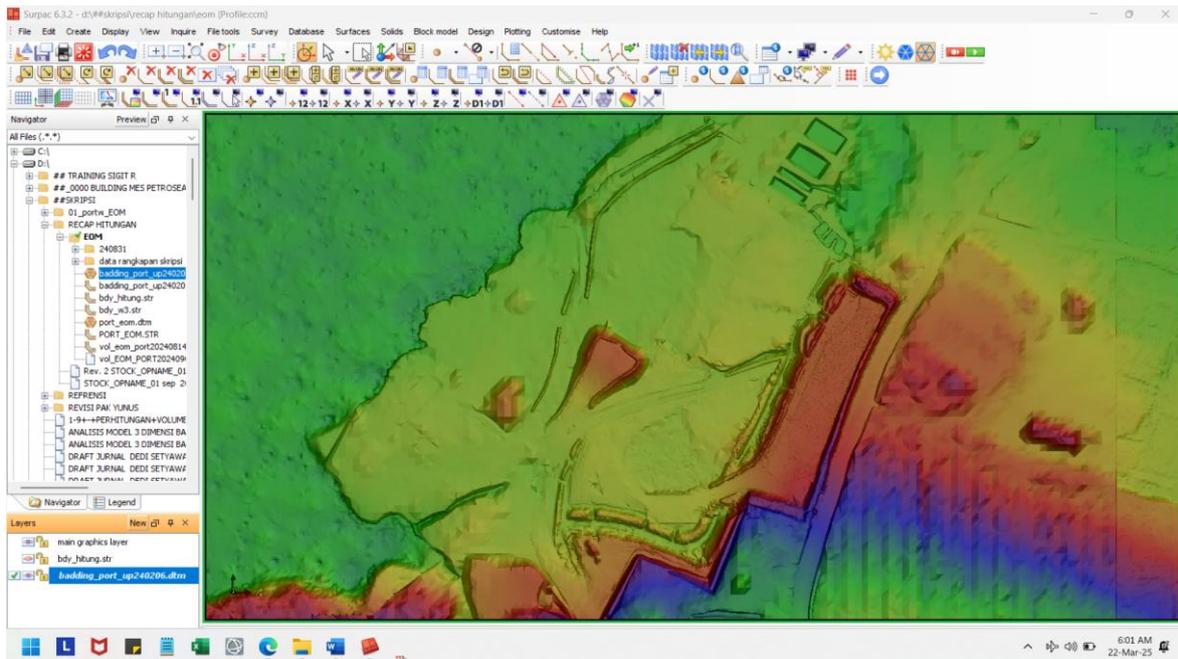


Gambar 10. Tampilan *Boundary* Hitung Tumpukan Batubara pada *Software* Surpac 6.3.2 (Sumber: Pengolahan data 2025)

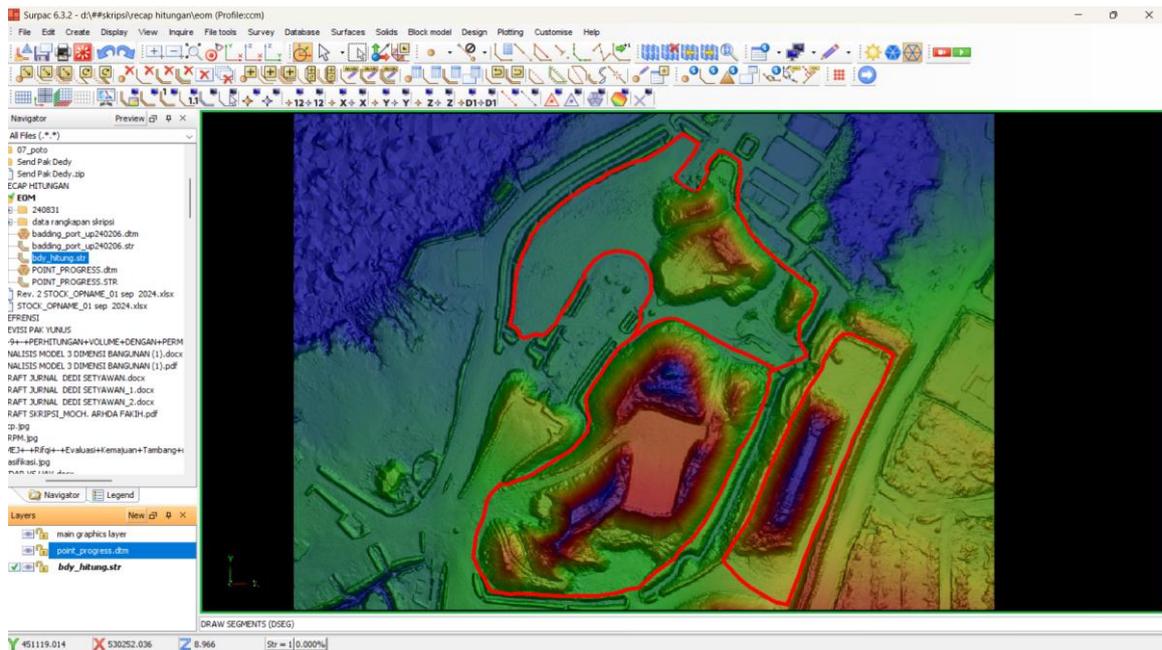
Langkah selanjutnya adalah pembuatan *surface base* batubara sebelum dilakukan penumpukan, dan *surface progress* batubara setelah ditumpuk seperti pada gambar 11 dan 12, hal ini perlu dilakukan agar volume tumpukan batubara bisa dihitung pada *software* Surpac 6.3.2.



Gambar 11. Tampilan *Point Base* Pada *Software* Surpac 6.3.2

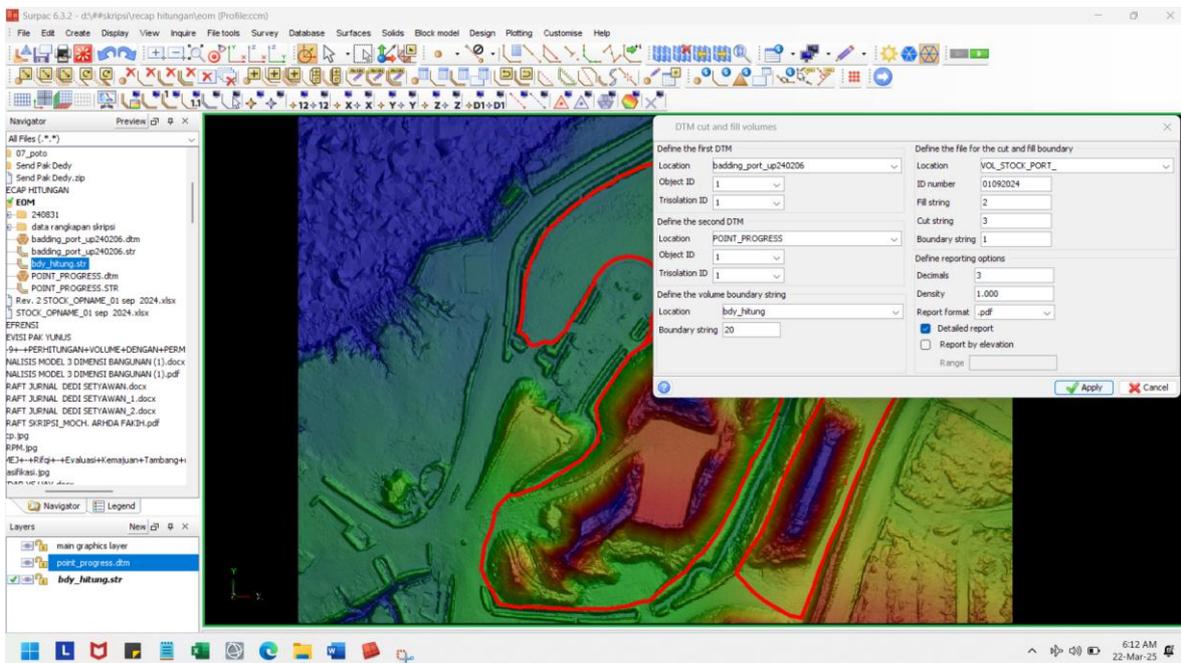


Gambar 12. Tampilan 3D *Base Hitung* Pada *Software* Surpac 6.3.2 (Sumber: Pengolahan Data 2025)



Gambar 13. Tampilan 3D *Point* LiDAR Tumpukan Batubara Pada *Software* Surpac 6.3.2 (Sumber: Pengolahan Data 2025)

Langkah selanjutnya adalah melakukan perhitungan volume pada *software* Surpac 6.3.2. Perhitungan volume pada *software* Surpac 6.3.2 menggunakan 2 *surface* sebelumnya yang sudah dibuat, yakni *top surface*, menggunakan data *base badding_port_up240206*, dan *bottom surface progress*, menggunakan *point_progress*, sedangkan untuk *boundary* hitung sebagai batas tumpukan batubara menggunakan *Body_Hitung*, seperti pada gambar 14.



Gambar 14. Tampilan Perhitungan DTM *Cut and Fill* Pada *Software* Surpac 6.3.2 (Sumber: Pengolahan Data 2025)



Setelah melakukan perhitungan volume seperti langkah di atas, maka akan muncul hasil *report* hitungan volume surpac 6.3.2 tumpukan tiap *boundary* hitung, hasil perhitungan volume tersebut masih dalam satuan metrik kubik (M^3), seperti pada gambar 15.

DTM CUT AND FILL VOLUME REPORT		Mar 22, 2025					
First DTM: badding_port_up240206.dtm Second DTM: POINT_PROGRESS.dtm Upper DTM object ID: 1 Upper DTM trisolation ID: 1 Lower DTM object ID: 1 Lower DTM trisolation ID: 1 Boundary file: bdy_hitung.str Boundary string: 20 Number of segments: 3 Density: 1.000							
DTM Extents							
	X Minimum	X Maximum	Y Minimum	Y Maximum	Z Minimum	Z Maximum	
Badding Port Up240206.dtm	529952.255	531077.948	450599.476	451495.476	-2.842	34.688	
Point Progress.dtm	530155.750	530539.750	450677.250	451366.250	0.910	36.530	
Volumes							
Segment	Cut Vol	Cut Area	Fill Vol	Fill Area	Nett Vol	Nett Tonnage	Common Area
1	84.201	862.192	16052.692	4490.654	15968.491	15968.491	1.450
2	39.153	161.734	96116.109	14267.270	96076.956	96076.956	0.000
3	838.413	2959.342	17835.270	7817.658	16996.857	16996.857	0.000
Total	961.767	3.983.268	130.004.071	26.575.582	129.042.304	129.042.304	1.450

Gambar 15. *Report* Hasil Perhitungan Pada *Software* Surpac 6.3.2 (Sumber: Pengolahan Data 2025)

Setelah melakukan proses pengolahan data dan permodelan, hasil perhitungan volume *stockpile* batu bara pada lokasi penelitian sebesar $129.042,304 m^3$, hasil volume tersebut dikalikan dengan nilai *density* batubara pada *stockpile* sebesar 1,041 untuk mendapatkan volume *stock* dalam satuan Tons, seperti pada tabel 1.

Tabel 1. Tonase Permodelan

No	Segment Area	Volume (M^3)	Density Batubara	Volume (Tons)
1	20.1	15.968,491	1,041	16.623,199
2	20.2	96.076,956	1,041	100.016,111
3	20.3	16.996,857	1,041	17.693,728
	Total	129.042,304		134.333,038

Untuk menentukan tingkat ketelitian volume batubara maka perlu dilakukan lagi perhitungan perbandingan volume *stockpile* batubara antara timbangan (data laporan perusahaan) dan hasil permodelan yang dapat dihitung dengan hasil disajikan pada tabel 2.

Tabel 2. Perbandingan Tonase Permodelan dengan Timbangan

No	Tonase Permodelan (Tons)	Tonase Timbangan (Tons)	Selisih (Tons)	Persentase %
1	16.623,199	16.825,129	201,634	1,20
2	100.016,111	100.445,750	1.429,634	1,41
3	17.693,728	18.050,789	232,061	1,29
	134.333,038	136.196,663	1.863,625	1,39



Persentase selisih perbandingan tonase batubara antara timbangan dan permodelan di *stockpile* PT. Hardaya Mining Energy adalah 1,39%. Selisih ini masih memenuhi standar toleransi perbandingan antara timbangan dan metode permodelan yang berdasarkan acuan pada *American Standard Testing and Material* (ASTM) sebesar 2%.

KESIMPULAN

Volume hasil perhitungan metode UAV Lidar sebesar 134.333,038 metrik tons dan hasil perhitungan tonase penimbangan adalah 136.196,663 metrik tons, terdapat selisih sebesar 1863,625 metrik tons (1,39%). Angka selisih ini masih memenuhi standar toleransi ASTM (*American Standard Testing and Material*) sebesar 2% sehingga data perhitungan dapat digunakan. Metode pengukuran volume dengan UAV Lidar bisa digunakan untuk pengukuran *stockpile* batu bara.

REFERENSI

1. Antonius R.,S., A. (2022). *Perbandingan Perhitungan Volume Stockpile Batubara hasil UAV Fotogrametri dan UAV LIDAR*. Skripsi. Departemen Teknik Geodesi UGM. Yogyakarta.
2. Immanuel, B. A. N. (2017). *Analisis Ketelitian Model Terrain Digital Hasil Pemetaan Metode Fotogrametris Menggunakan Wahana UAV dan Metode Terrestrial Laser Scanner*. Skripsi. Departemen Teknik Geodesi FT-UGM. Yogyakarta.
3. Khomsin, Danar G. P. ,Achmad F. A. (2018). *Analisa perbandingan volume dan ketelitian icp dari 3's (TS, GNSS, dan TLS)*. Jurnal Geoid. Vol. 14. No. 1, 2018 (112-123)
4. Muh, G.R., Sumarno, Nurul Y. (2021). *Perbandingan perhitungan volume stockpile hasil pengukuran unmanned aerial vehicle (uav) dan pengukuran electronic total station (ets) (studi kasus: pt.Indocement tunggal prakarsa tbk. Palimanan, cirebon)*. Prosiding Seminar Nasional dan Desiminasi Tugas Akhir. 8-9 Februari 2021. ITN. Malang.
5. Nurcahyo, A. & Djurdjani. (2021). *Analisis Perbandingan Ketelitian Model 3D Menggunakan Lensa Normal dan Lensa Fisheye*. Journal of Geospatial Information Science and Engineering, Vol 4, No 2 (2021). <https://doi.org/10.22146/jgise.67869>
6. Salsabila, R. (2017). *Perbandingan Perhitungan Volume Stockpile Batu Bara Menggunakan Data Terrestrial Laser Scanner (TLS) dan Data Foto Udara Unmanned Aerial Vehicle (UAV)*. Skripsi. Departemen Teknik Geodesi FT-UGM. Yogyakarta.
7. Sri Wulan N. A., Dewi R., Yosa M., Wahyudi Z. (2021). *Pemodelan Stockpile Menggunakan Metode Fotogrametri Dengan Wahana Uav (Unmanned Aerial Vehicle) Di PT Triaryani*. Jurnal Geomine. Volume 9. Nomor 2: Agustus 2021. Hal. 141 – 149. Winn, M. (2018). 2018 Commercial Drone Industry Trends.