

PENGGUNAAN DRONE DENGAN TEKNOLOGI LIDAR DI TAMBANG BAWAH TANAH PT FREEPORT INDONESIA

Andrew Parhusip¹⁾, Benget Hutauruk²⁾, Emil Meigy³⁾, Ahmad Muklas Widodo⁴⁾

- 1) Chief Engineer Underground Construction, PT Freeport Indonesia,
- 2) Superintendent UG Survey, PT Freeport Indonesia
- 3) Underground Surveyor Engineer, PT Freeport Indonesia
- 4) GBC Chief Underground Surveyor Engineer, PT Freeport Indonesia

ABSTRAK

PT Freeport Indonesia memiliki empat area tambang bawah tanah di distrik Mimika, Papua, Indonesia. Tiga tambang menggunakan metoda ambrukan (*block caving*) yaitu *Grasberg Block Cave* (GBC), *Deep Mill Level Zone* (DMLZ) dan *Deep Ore Zone* (DOZ); sedangkan tambang Big Gossan (BG) menggunakan metode stope and fill. Metode *block caving* yang digunakan di DOZ, GBC, dan DMLZ memerlukan banyak lubang penyaluran (*Ore Pass*) untuk menyalurkan bijih batuan (*ore*) ke level hauling, untuk *open stopes* di Big Gossan memerlukan berbagai ukuran *stopes* tergantung pada posisi mineral yang akan ditambang. Pengukuran dan monitoring kondisi *ore pass* dan *stopes* merupakan salah satu kunci penting dalam proses operasi produksi tambang yang berkesinambungan. Banyak kasus telah terjadi dimana penanganan yang terlambat terhadap perbaikan dinding *ore pass* yang tergerus membuat produksi terhambat di panel dimana *ore pass* itu berada. Metode monitoring survey konvensional acapkali dinilai memerlukan waktu pengerjaan yang banyak, kualitas data yang bervariasi dan mempunyai beberapa keterbatasan di area terbatas seperti *ore pass* dan *stopes* yang memberikan hasil yang tidak akurat dalam pengambilan keputusan dan penundaan pada produksi tambang. Proses ini telah diperbaiki dengan penggunaan *Autonomy* drone dikombinasikan dengan teknologi LiDAR. Hasil dari penggunaan teknologi drone ini kemudian dibandingkan dengan metode survey konvensional terkait dengan implementasi, hasil akhir dari pengukuran dan proses pengambilan data dalam pengoperasian survey. Kajian ini akan memaparkan secara detail penggunaan teknologi drone LiDAR di tambang bawah tanah untuk setiap tambang bukan hanya untuk memonitor aset infrastruktur pendukung produksi tambang bawah tanah seperti *ore pass*, *raise* ventilasi, tapi juga pengukuran pergerakan terowongan, penilaian kondisi *wet muck* panel dan area yang tidak disanglah *ground support*. Dari kajian ini dapat disimpulkan bahwa teknologi baru ini dapat meningkatkan kualitas data survey yang diambil dengan aman untuk mendukung proses operasi produksi yang berkesinambungan.

Kata Kunci: Drone, LiDAR, *Ore Pass*, *Stopes*, Tambang Bawah Tanah

ABSTRACT

PT Freeport Indonesia has four different underground mine complexes in Papua Site, Indonesia. The mine block cave method is GBC, DMLZ and DOZ; where Big Gossan is using the stope and fill mining method; The block caving methods in DOZ, GBC and DMLZ requires many ore passes to deliver the ores into the haulage systems, and for the open stopes in Big Gossan require variable stope sizes and geometries depending on the localized mineralization. Obtaining accurate ore pass and stopes actual condition is a key part to sustain production

rate of PTFI. Many cases of late treatment or repair of worn out ore pass generate loss production of the panels. Conventional survey methods are subject to issues such as resources required, time consumed, and variable data quality, and limitation to several types of confined space area leading to inaccurate decision making and delays in the production cycle. This process has been improved by the implementation of Drone autonomy and mobile LiDAR mapping payload. The results of using this new technology are then compared with the traditional survey methods regarding implementation, output quality and safety. This paper discusses in detail LiDAR drone applications in underground mines not only to monitor the condition of infrastructure such as ore pass, ore-flow systems, ventilation rise and services drift but also to measure its ground movement. The introduction of LiDAR drones, big-data and point-clouds have all been challenges. However, once overcome the benefits from this new technology and the data it generates is proving to be invaluable for improving safety, time efficiencies specially to aid decision making for future operational repair to help sustain underground mining process.

Keywords: Drone, LiDAR, Ore Pass, Stopes, Underground Mine

A. PENDAHULUAN

Lokasi tambang PT Freeport Indonesia (PTFI) berada di Kabupaten Mimika, Provinsi Papua. PTFI sedang mengembangkan dua tambang baru besar yaitu *Deep Mill Level Zone* (DMLZ) dan *Grasberg Block Cave* (GBC) serta mengoptimalkan dua tambang lain yang sudah lebih dahulu berproduksi yaitu *Deep Ore Zone* (DOZ) dan Big Gossan (BG). Tiga tambang yaitu GBC, DMLZ, dan DOZ beroperasi menggunakan metode ambrukan bijih atau dikenal dengan istilah *Block caving*. Sedangkan Big Gossan dioperasikan dengan metode *Stopping Paste and Fill*. Keempat tambang ini diharapkan dapat melanjutkan produksi tambang PTFI setelah produksi tambang terbuka *open pit Grasberg* selesai di tahun 2020.

B. METODOLOGI PENELITIAN

B.1 Review Metode Survey PTFI

Proses pengukuran lubang atau kemajuan tambang sebelum penggunaan teknologi drone adalah menggunakan metode *Cavity Monitoring Sistem* (CMS), C-ALS, MS Nova, Zeb-Revo atau disebut juga Metode laser *scanning*. Metode ini telah menjadi standar industri dalam pengukuran ruang terbuka di tambang bawah tanah dan telah digunakan dan masih digunakan selama bertahun-tahun. Akan tetapi penggunaan teknologi ini di tambang bawah tanah PTFI memiliki beberapa konstrain operasional:

- Untuk melakukan CMS survei, surveyor membutuhkan jarak ukur yang dekat ke objek ukur dikarenakan rentang ukur yang “terbatas”. Jarak ukur yang dekat ini memiliki risiko kepada crew yang bekerja seperti jatuh dari ketinggian, interaksi dengan batuan yang tidak stabil, dan lain sebagainya.
- Penggunaan *scanner* CMS pada lubang penyaluran *ore pass* membutuhkan pengambilan yang dilakukan berkali-kali dan berpindah-pindah sehingga membutuhkan proses operasi yang lama dan koordinasi yang intensif dengan berbagai pihak.
- Dikarenakan konfigurasi CMS, “*shadowing*” dapat terjadi di dalam hasil pengukuran, dimana hasil scan tidak dapat mencapai seluruh area lubang penyaluran atau *stopes* dikarenakan geometri dari stope dan lubang penyaluran tersebut yang disebabkan

overbreak atau tight/underbreak. Untuk tambang GBC, lubang penyaluran (*ore pass*) memiliki konfigurasi yang menghubungkan 3 level ketinggian *drift* yang berbeda (*gambar 6*). Dimana hal tersebut memberikan kesulitan tersendiri dalam pengukuran dan monitoring menggunakan CMS. Keterbatasan ini menghasilkan output data pengukuran yang kurang memadai untuk mengambil keputusan selanjutnya.

B.2 Overview Perangkat Scanning Dan Inspeksi

LiDAR *Hovermap mapping* sistem yang digunakan di area tambang PTFI merupakan produk *Emesent*. Sistem ini kemudian dibawa oleh perangkat pesawat nirawak atau Drone keluaran DJI dengan tipe M300 yang memiliki penampakan seperti pada gambar 2. Sistem *scanner* yang dibawa pada drone ini memiliki berat sekitar 1.8 kg dan dapat dilepas-sambung pada alat *Unmanned Aerial Vehicles (UAV)*, kerangkeng/*cage*, ataupun mobile equipment seperti Toyota *Light Vehicles (LV)* yang lazim digunakan sebagai alat transportasi utama di lingkungan kerja PTFI. Sumber tenaga drone dan LiDAR ini menggunakan baterai khusus.

LiDAR *Scanner Hovermap* ini terdiri dari 16 channel *Velodyne scanner*, *Inertial Measurement Unit (IMU)* dan sistem computer on-board. *Scanner* ini dapat memproduksi 300,000-poin setiap detiknya yang menghasilkan resolusi tinggi pada hasil akhirnya. Hasil *scanning* ini kemudian menghasilkan *Simultaneous Localization and Mapping (SLAM)*, yang membuat sistem *Hovermap* ini mampu untuk memonitor lokasi secara relatif dan real time. Sistem ini juga memungkinkan kondisi *Virtual Ellipsoidal Shield (VESH)*, atau sebuah kondisi 3 dimensi di sekitar area drone yang memungkinkan drone untuk memiliki jarak aman secara virtual. Kondisi tersebut membuat drone bergerak dengan pencegahan tubrukan pada drone. Hal ini menjadi titik kunci dari kelebihan integrasi *sistem drone* ini dalam pengambilan data yang optimal di lingkungan tambang bawah tanah. Data *scanning* yang dihasilkan dari *Hovermap* ini kemudian diproses dan menghasilkan point cloud data dalam format .laz yang kemudian dapat dikonversikan menjadi tipe data yang bervariasi untuk kebutuhan survei lain, analisis data engineering dan pengambilan data bagi konstruksi tambang bawah tanah berikutnya. Perangkat Drone yang digunakan pada Tambang bawah tanah di area PTFI terbagi menjadi dua jenis wahana drone dengan fokus output yang dihasilkan berbeda. Perangkat drone yang digunakan antara lain:

B.3 Drone Inspeksi Tambang Bawah Tanah (Underground Drone Inspection)

Perangkat drone ini difungsikan untuk mendapatkan output visual berupa video dan foto yang kemudian dapat diproses lebih lanjut untuk mendapatkan hasil *scanning* atau pencitraan dalam bentuk solid. Inspeksi visual ini ditujukan untuk mendapatkan pencitraan secara detail di tambang bawah tanah guna keperluan inspeksi struktur bawah tanah, drawpoint *hang-up*, area-area sempit seperti pipa baja *dewatering* dan area-area sempit lainnya yang tidak memungkinkan dilakukan inspeksi secara manual oleh manusia karena sifat pekerjaannya yang memiliki risiko dan bahaya tinggi. Adapun detail dari perangkat tersebut adalah;

- *1 ea Elios 2 (aircraft)*; perangkat drone yang digunakan untuk mendapatkan visual foto dan video
- *12 ea Batteries*; jumlah baterai yang digunakan harus cukup untuk melakukan beberapa kali penerbangan
- *2 ea Battery charger*; pengisi daya catu baterai untuk hari berikutnya
- *1 ea Ground Control Sistem*; merupakan perangkat untuk mendapatkan titik/poin pick up yang kemudian akan dimasukkan kedalam sistem sentral database GIS.
- *1 ea Range Extender*; perangkat pemancar berupa kabel untuk menambah daya pancar sinyal kontrol remote ke perangkat drone.



Gambar 1. Contoh pengambilan data inspeksi di drawpoint hang-up

B.4 Drone Inspeksi dan Survey Tambang Bawah Tanah (Underground Drone Survey)

Perangkat drone ini difungsikan untuk mendapatkan output visual berupa video dan foto dan juga *scanning* LiDAR seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya.

Adapun detail dari perangkat tersebut adalah;

- 1 ea *Emesent Hovermap (Autonomy Level 1 & 2)*.
merupakan *scanner* yang memiliki keunggulan dalam kecepatan *scanning* berupa 300,000 point per second dan juga mempunyai keunggulan *autonomy*, yang membuat perangkat drone ini mampu untuk menjelajah tambang tanpa kontrol penuh dari remote drone sepenuhnya
- 1 ea *DJI Matrice 210 Drone + TB50 Batteries (3x Sets)*
- 1 ea *DJI Matrice 300 Pro Drone + TB47S Batteries (3x Sets)*
- 2 ea *Battery Chargers: TB47S and TB50 Charging Hub*
- 2 ea *Controllers and Ground Control Sistem*



Gambar 2 Perangkat Drone LiDAR

B.5 Implementasi penggunaan Drone Survey pada area kerja PTFI

Sebelum mendatangkan perangkat LiDAR *scanning* dan drone ini, briefing project dan diskusi dilakukan secara rutin, hal ini dilakukan karena area kerja drone akan dilakukan di keempat tambang bawah tanah PTFI. Diskusi pertama yang dilakukan adalah pengenalan area kerja yang direncanakan akan diambil datanya. Poin-poin yang harus ada dalam diskusi agar pengoperasian dapat berjalan secara efektif;

- Gambar Teknik dari lokasi kerja dikaji secara mendalam untuk menentukan titik masuk drone dan titik keluarnya. Gambar Teknik diperlukan untuk menilai risiko kerja yang dilakukan
- Arah dan kecepatan angin dan penilaian risiko lain yang bisa terjadi, seperti area yang ditinjau apakah memiliki *ground support* yang memadai atau tidak. Lokasi kerja memiliki potensi gas berbahaya atau tidak dan lain sebagainya. Hal tersebut akan menentukan titik maksimum posisi pilot atau crew survey sebagai titik aman pengoperasian drone.

B.6 Platform yang digunakan dalam akuisisi data survei PTFI

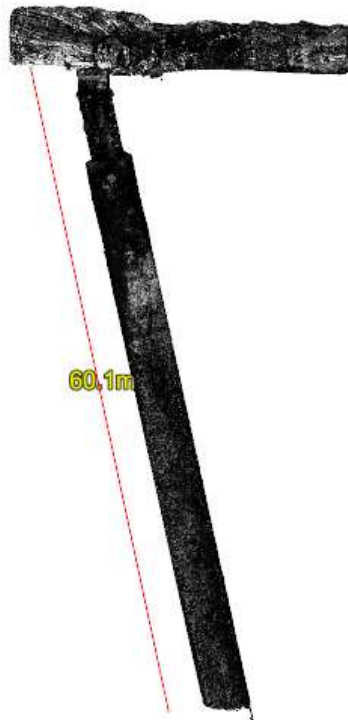
Di dalam pengoperasian sistem drone LiDAR, *Scanner* LiDAR ini dapat ditempel pada drone dan dapat juga digunakan pada equipment non-drone. Analisis penggunaan non-drone dikaji dari keputusan apakah area tersebut membutuhkan drone ataupun tidak.

B.7 Penggunaan wire sling dengan caged LiDAR Scanner

Sistem cangkang/*shell cage* LiDAR *Scanner* dilakukan pada kondisi tertentu, dengan cara menurunkan LiDAR *Scanner* yang terpasang pada *cage* ke dalam sebuah lubang *raise*. Di tambang GBC dan DMLZ yang memiliki banyak lubang penyaluran *Ore pass*, sistem ini sangat tepat digunakan karena memiliki keunggulan dalam pengoperasiannya. *Scanner* dilindungi dengan cangkang besi baja dan diturunkan perlahan ke dalam lubang penyaluran *ore pass* Dengan *winch sling* dan kemudian dinaikkan kembali. Kecepatan penurunan dilakukan seoptimal mungkin agar data *scanning* yang dihasilkan memiliki kualitas yang optimal



Gambar 3 Aplikasi penggunaan Scanner LiDAR pada Ore Pass dengan Caged



Gambar 4 Hasil Scanning Menggunakan Caged LiDAR Scanner pada Ore Pass DMLZ

C. APLIKASI PENGGUNAAN PADA TAMBANG BAWAH TANAH PTFI

C.1 Penggunaan Metode Survey Drone di GBC, DOZ dan DMLZ

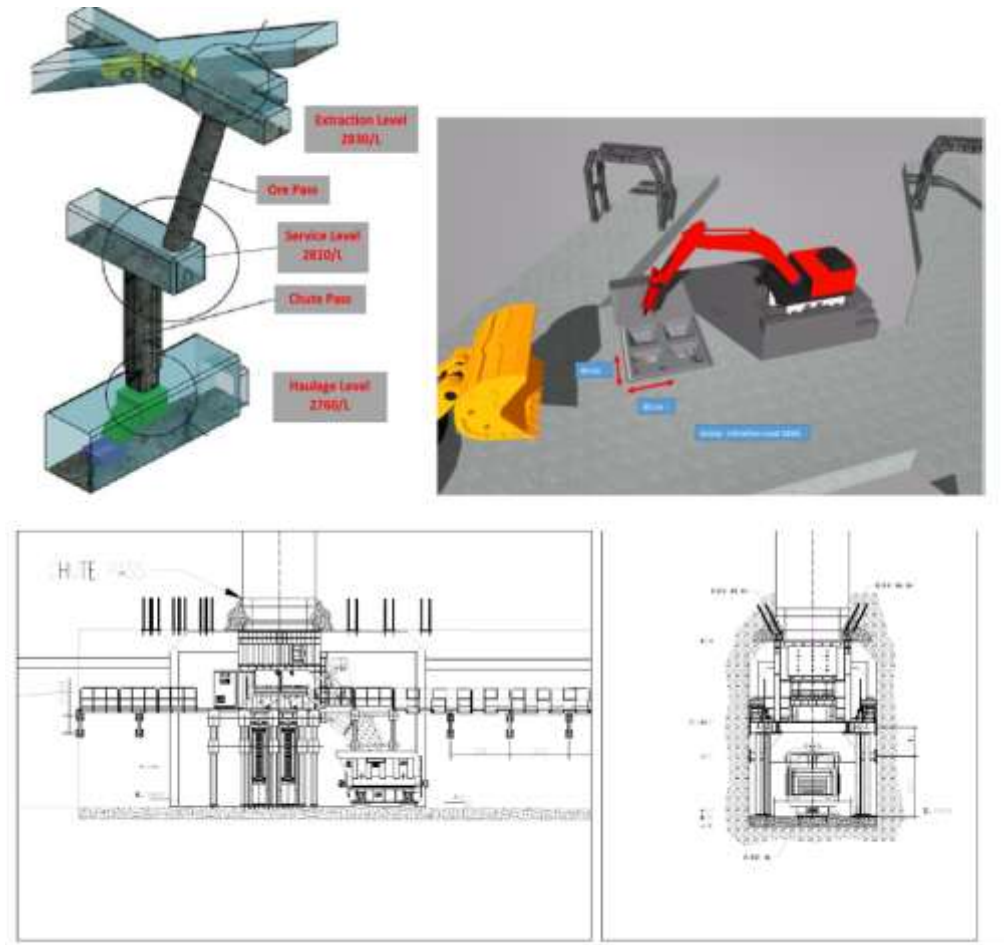
C.1.1. Inspeksi dan pengambilan data pada lubang penyaluran *Ore Pass*

Pengambilan data dan inspeksi lubang penyaluran *ore pass* diperlukan dan dilakukan secara berkala untuk mendapatkan kondisi terkini dari lubang penyaluran tersebut. Kondisi lubang penyaluran *ore pass* yang mengalami kerusakan dapat mengakibatkan produksi tambang menjadi tidak optimal dikarenakan potensi hang up atau penyaluran tersumbat di dalam lubang penyaluran *ore pass* atau kondisi dimana lubang penyaluran menjadi semakin besar karena tergerus bijih batu produksi secara terus menerus, hal ini dapat mengakibatkan kerusakan pada struktur *chute* yang membuat produksi terhambat.

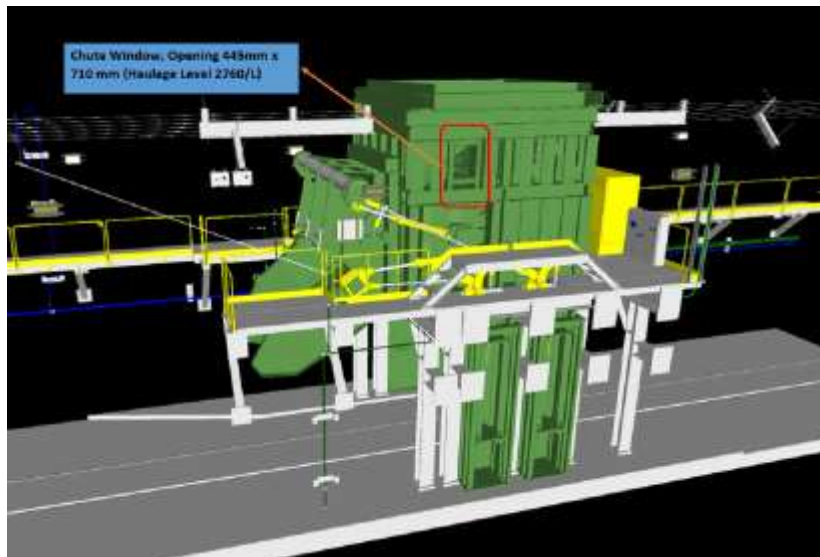
Struktur lubang penyaluran *Ore pass* di GBC dengan menghubungkan level extraction atau level produksi biji hasil peledakan undercut atau bijih deposit tambang yang kemudian diambil (*mucking*) dengan menggunakan remote loader maupun manual loader dan kemudian dijatuhkan (*dumping*) pada *grizzly* ke dalam lubang *ore pass*. Sistem penyaluran vertical ini terdiri dari dua sistem *ore pass*; yaitu lubang penyaluran *ore pass* yang menghubungkan level extraction di ketinggian 2830 meter di atas permukaan laut (mdpl) dengan service level di ketinggian 2810 mdpl. Untuk lubang penyaluran *chute pass* menghubungkan sistem penyaluran dari level service level ke level *chute gallery* di ketinggian 2760 mdpl. Integritas sistem ini disebut dengan sistem interlevel dimana sistem ini menghubungkan lebih dari satu level untuk menciptakan sistem hauling produksi yang berkesinambungan.

Di dalam pengoperasian drone di sistem interlevel GBC ini drone di operasikan dengan pilihan sebagai berikut:

1. Drone LiDAR melakukan manuver dengan masuk melalui bukaan *chute* di level haulage (2760/L) kemudian naik untuk melakukan *scanning* di dalam *chute pass raise* atau drone masuk melalui *grizzly* di level 2830/L dan kemudian turun untuk melakukan *scanning* di dalam *ore pass*.
2. Drone masuk dari akses di tengah service level kemudian melakukan manuver dengan naik ke atas untuk melakukan *scanning ore pass* dan kemudian turun ke level *chute pass* dan keluar kembali ke service level
3. *Scanner* LiDAR masuk melalui *grizzly* dengan bantuan winch dan cage steel sebagai pelindung, dalam hal ini Drone tidak digunakan sebagai wahana penggerak.



Gambar 5 Skema Jalur Ore Pass yang ditinjau Drone



Gambar 6 Skema Drone Scanning pada Infrastruktur Chute

C.1.2. Inspeksi Hung-Up Drawpoint di Level Extraction

Batuan hasil peledakan drawbell di extraction acap kali mengalami hung-up (menggantung di ketinggian tertentu) akibat dari berbagai hal, termasuk fragmentasi hasil blasting drawbell pertama kali yang belum cukup untuk membuat aliran hasil peledakan mengalir dengan baik. Salah satu penyebab hang up juga bisa dikarenakan batuan caving yang turun memiliki kondisi geologi yang bervariasi yang menyebabkan batuan memiliki ukuran yang bervariasi, hal ini berpotensi menyebabkan *hung-up*, dikarenakan batuan saling mengunci.

Berbagai metode hung-up treatment dapat dilakukan untuk mengatasi hal ini seperti metode breaking menggunakan *explosive* maupun *equipment mechanical* seperti *mobile rock breaker* atau *water cannon equipment*. Agar mendapatkan hasil *treatment* yang optimal untuk menjatuhkan batuan penyebab hung-up, survey dan *scanning* perlu dilakukan. Mengingat kondisi hung-up ini cukup berbahaya maka daripada itu konsep *scanning* menggunakan drone akan memberikan pilihan alternative yang baik dari sisi keamanan personel.



Gambar 7 Hasil Inspeksi Visual batuan menggantung pada Drawpoint Produksi

C.1.3. Inspeksi Kondisi Panel *Wet muck*

Kondisi *wet muck* atau lumpur basah merupakan salah satu risiko terbesar kondisi tidak aman dari tambang bawah tanah GBC. Kondisi tersebut sangat memungkinkan terjadi karena tambang bawah tanah GBC merupakan deposit yang tepat berada di bawah tambang terbuka Grasberg. Dengan curah hujan yang tinggi di area tambang Grasberg ditambah dengan propagasi batuan yang kedepannya semakin halus (*fine*), kondisi *wet muck* akan terjadi dan saat ini memang sudah terjadi di tambang bawah tanah GBC. Situasi dimana panel *wet muck* akan mengharuskan panel tersebut di mucking menggunakan sistem *unmanned zone* atau dilakukan secara remote. Dan untuk melakukan inspeksi *wet muck* akan lebih baik jika dilakukan dengan metode inspeksi tanpa personel yang masuk ke dalam area tersebut.

Pengoperasian drone di panel *wet muck* GBC secara keseluruhan dapat dilakukan, karena drone dapat terbang dan melakukan *scanning* dalam jarak 300-400-meter dari posisi control pilot.



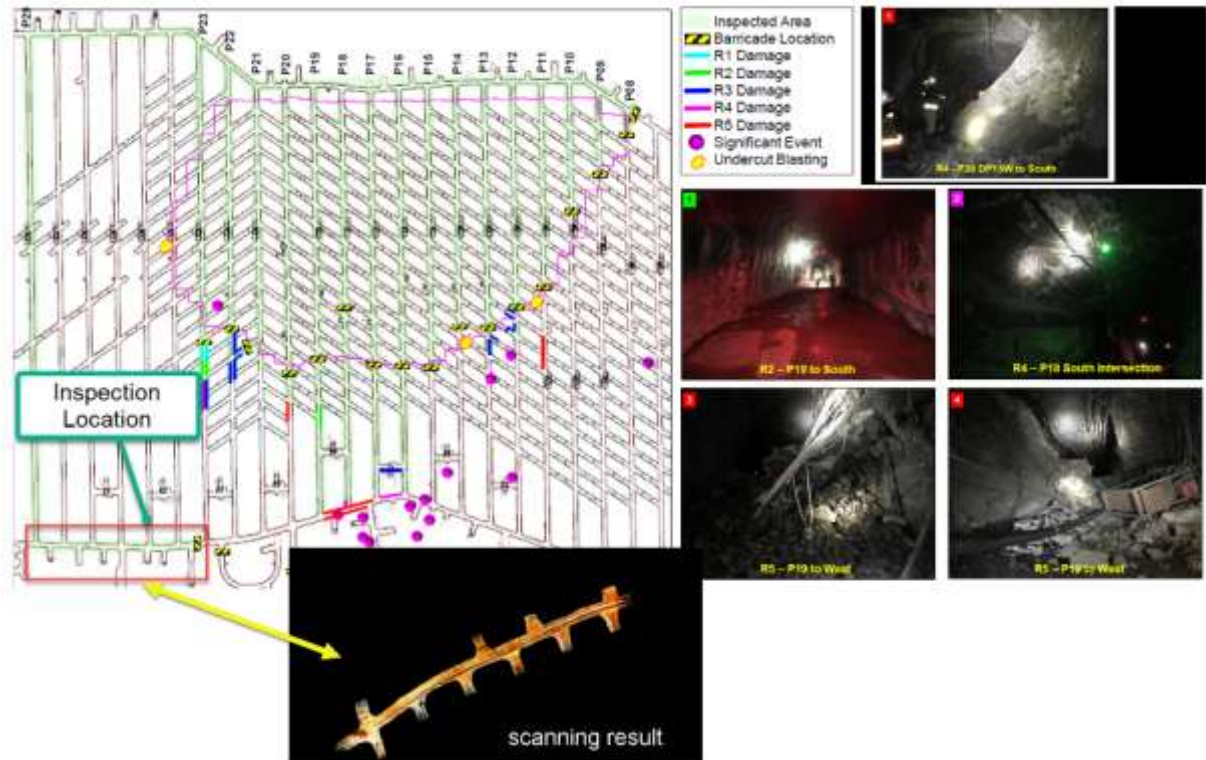
Gambar 8 Rute Visual pada Sistem Kontrol Pilot Drone



Gambar 9 Hasil Output Scanning Drone pada Panel Wet muck

C.1.4. Inspeksi dan *Scanning* Kondisi *drift* area merah (Red Zone)

Area Merah atau *red-zone* area merupakan kondisi dimana *drift*/terowongan tersebut memiliki tingkat kerusakan yang tinggi akibat aktivitas seismik. Aktivitas tersebut membuat kondisi terowongan menjadi tidak stabil. Protokol pengecekan kondisi terowongan tidak dapat dilakukan oleh personel secara langsung karena ketidakstabilan terowongan tersebut. Dengan kondisi tersebut, *scanning* dengan perangkat drone akan memberikan tingkat keamanan lebih tinggi bagi personel tambang, karena pekerjaan tersebut dapat dilakukan tanpa paparan risiko dari ketidakstabilan *drift*.



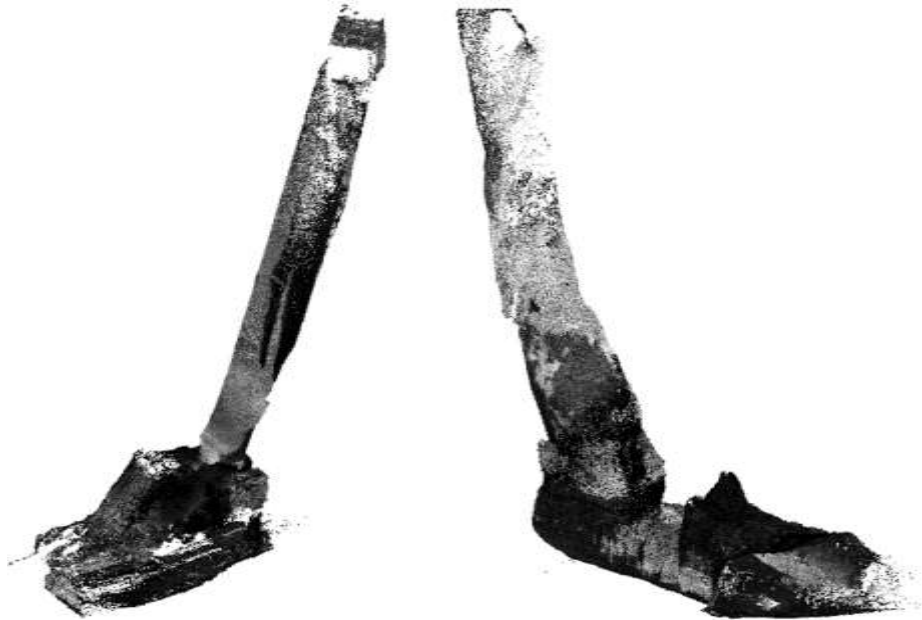
Gambar 10 Survey Scanning plan dan hasil output pada area Red Zone

C.1.5. Inspeksi Kondisi *Raise* dan Keausan *Ore Pass Chute*

Inspeksi kondisi *Raise* dilakukan acapkali setelah kejadian seismik terjadi, kebanyakan *Ore Pass* tidak diperkuat dengan *ground support*. Pengecekan dengan metode CMS memiliki kekurangan dibandingkan dengan metode Drone, dikarenakan personel harus memposisikan diri dekat dengan *brow* atau bibir *Ore Pass* saat pengambilan data CMS. Gambar 12 terlihat DMLZ Intake *Raise* Lat 2 VR P16-17 SFD, karena area tidak aman dan orang tidak bisa masuk, maka drone diterbangkan dari luar batas pengaman untuk inspeksi *raise* yang rusak. Pada gambar 13 terlihat keausan pada *Ore Pass* yang menyalurkan *Ore* dari level extraction ke level chute. Kondisi *Ore Pass* terutama dari gerusan batuan harus dimonitor dengan baik agar dapat memberikan angka produksi yang berkesinambungan.



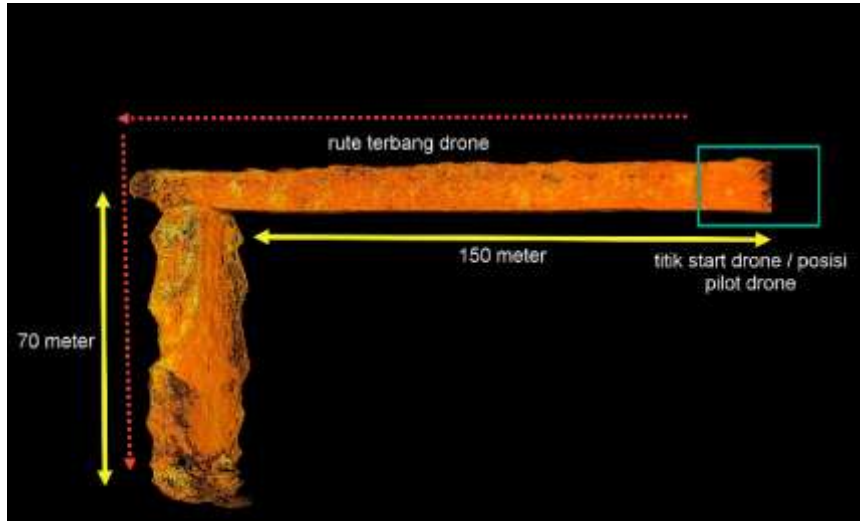
Gambar 11 Pengambilan Data pada Slot Raise DMLZ



Gambar 12 DOZ -3079 Ore Pass 16 & Ore Pass S-1 From Chute

C.2 Penggunaan Metode Survey Drone di Big Gossan

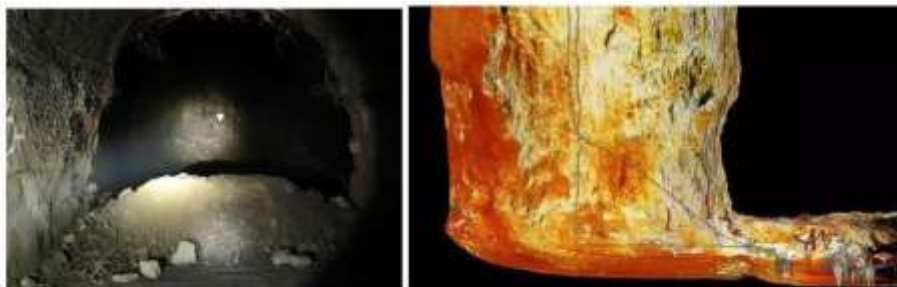
Penggunaan drone LiDAR *Scanner* di tambang bawah tanah Stopping Big Gossan dilakukan untuk mendapatkan data pengukuran volume stope. Pengukuran ini penting dilakukan untuk menentukan perencanaan tambang selanjutnya dan perhitungan produksi *paste fill* yang akan digunakan sebagai bahan pengisian void stope. Sistem drone ini memiliki keunggulan dibandingkan dengan sistem CMS yang dirangkum pada gambar 16 ;



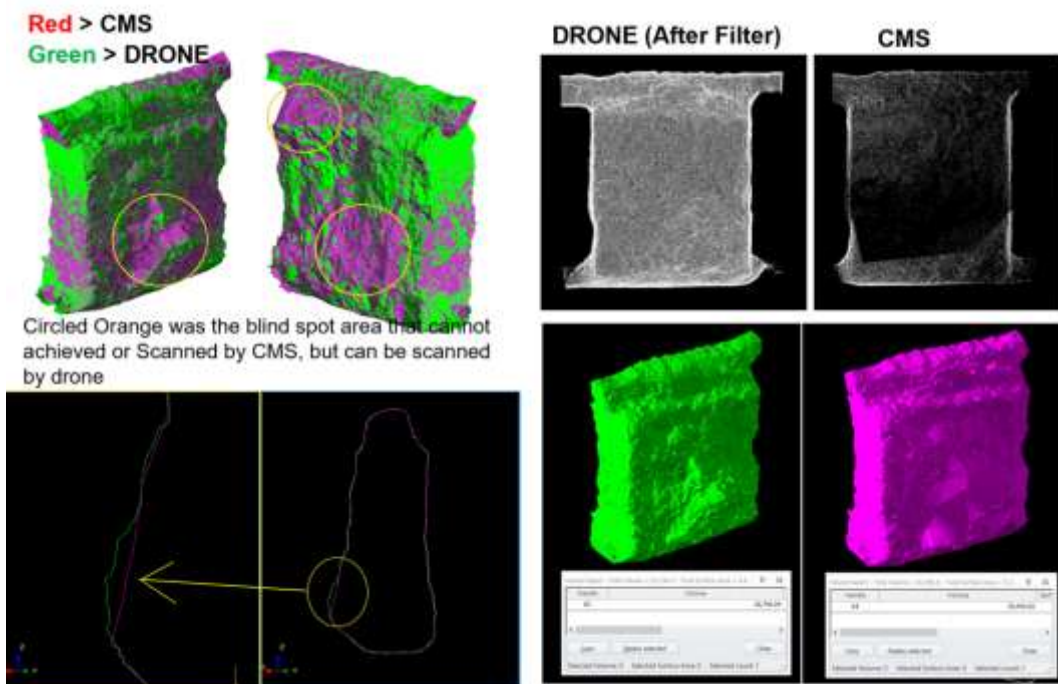
Gambar 13 Skema Jalur Terbang Pada Big Gossan Stope Raise XC-53

Selain itu sistem drone pada tambang bawah tanah Big Gossan memberikan keuntungan berupa:

- Durasi pengambilan data *scanning* yang lebih cepat dan dilakukan dalam satu waktu; metode CMS membutuhkan minimal dua kali pengambilan dari upper stope dan dari lower stope, sedangkan dengan metode drone LiDAR *Scanner*, *scanning* dilakukan satu kali dari satu tempat yang ditentukan.
- Hasil pengukuran dengan Drone LiDAR *Scanner* lebih rapat atau dense dibandingkan metode pengukuran dengan CMS, bisa dilihat pada gambar 16, metode drone memiliki keunggulan dapat mencapai area tertentu dibandingkan metode CMS yang memiliki keterbatasan jangkauan.
- Metode Drone LiDAR *Scanner* memiliki keunggulan di sisi keamanan bagi Surveyor dalam melakukan pengambilan data pengukuran. Metode *Scanning* data CMS, mengharuskan team surveyor memposisikan diri sedekat mungkin dengan collar atau *brow* stope saat pengambilan data sehingga memiliki risiko kejatuhan batu. Sedangkan dengan metode Drone LiDAR, team Surveyor dapat memposisikan diri pada jarak yang lebih aman dan berdiri cukup jauh dari bibir collar atau *brow*.



Gambar 14 Proses Pengambilan Data Scanning Pada Stope Big Gossan



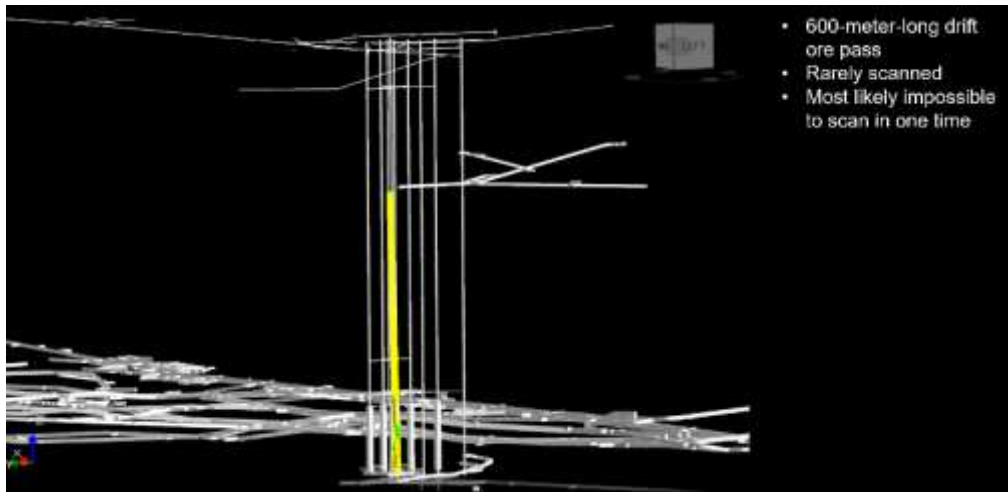
Gambar 15 Output Pengambilan Data Scanning Pada Stope Big Gossan dan Perbandingan dengan Hasil CMS

C.3 Penggunaan Metode Survey Drone di Area Lain

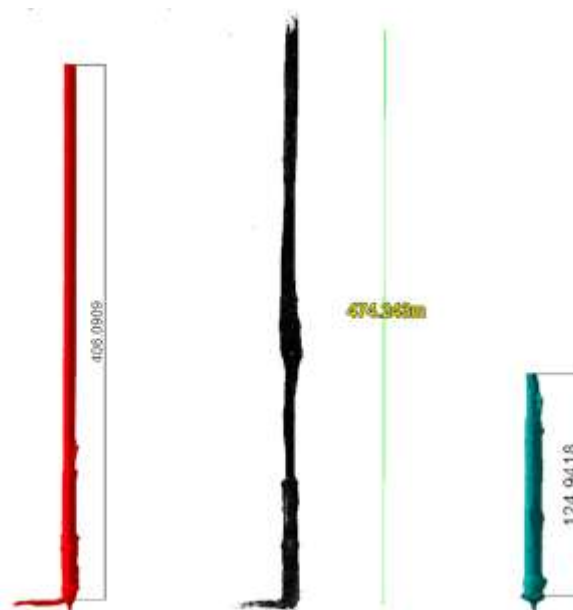
Selain digunakan di areal tambang produksi, Drone LiDAR *Scanner* ini digunakan juga untuk monitoring *Ore Pass* di area *non-mining* yaitu di area infrastruktur penting seperti *Ore Bin* dan area *Common Infrastructure*.

1. Area MLA Ore Pass

Pada area *Ore Pass*, Metode Drone LiDAR Scanner terbukti dapat dilakukan pada *vertical raise* sepanjang 400-meter yang sebelumnya belum pernah dilakukan kembali setelah rentang waktu 15 tahun pengoperasian. Metode konvensional yang dilakukan dulu sebelum Drone LiDAR ini adalah dengan membuat platform mechanical dan manual *scanning* dengan cara personel yang turun ke dalam *Ore pass*. Perbandingan data di DOZ MLA Ore Bin 9 & 7, untuk jangkauan data di *Vertical Raise* dengan menggunakan Drone LiDAR bisa mencapai 470 meter, sedangkan dengan menggunakan alat CMS hanya menjangkau 124 meter.



Gambar 16 Pengambilan Pada Ore Pass 600 Meter

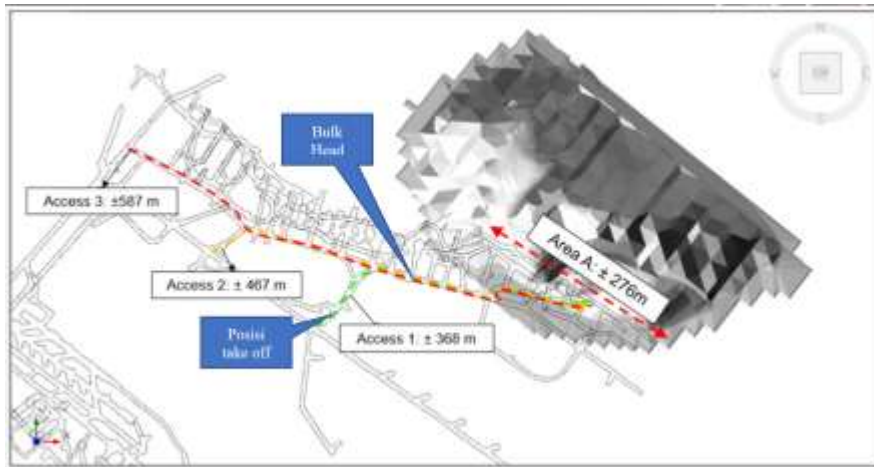


Gambar 17 Perbandingan Hasil Scan dengan Drone LiDAR pada Ore Bin 400 Meter vs Hasil CMS

2. Area MLA Old Stope

Pada area ini terdapat suatu kondisi yang sangat menantang, dimana selain terowongan yang tidak aman akibat tidak disangga namun juga jalur yang berbelok serta jarak yang cukup panjang. Metode Drone LiDAR Scanner pada dasarnya mampu memenuhi harapan namun setelah dijalankan terdapat penutupan akses *bulkhead* yang berada di area tengah sehingga tidak dapat meneruskan hingga mencapai area yang dituju. Video yang terpasang

memberikan visual yang cukup baik dan dengan jelas dapat melihat aktual terowongan dan *bulkhead* tersebut.



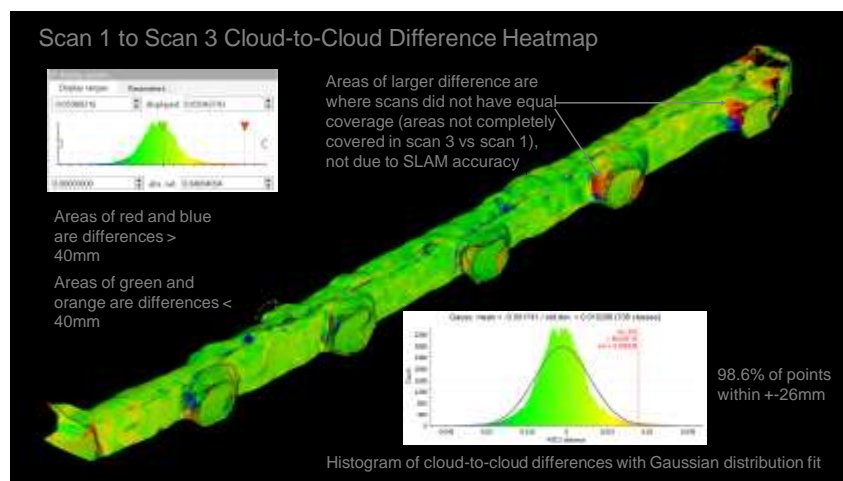
Gambar 18 Kondisi dan jalur area MLA Old Stope

3. Area AB Tunnel

Kebutuhan pada area ini adalah untuk melihat kondisi dan menghitung volume debit air yang lebih representatif masih dapat ditampung pada saluran air sehubungan akan adanya rencana penambahan kapasitas. Menggunakan LiDAR scanner yang dipasang pada atap mobil berhasil memetakan saluran air di terowongan AB Tunnel yang memiliki panjang lebih kurang 7 km.

4. Aplikasi monitoring Geoteknik

Telah dilakukan uji coba untuk melihat adanya pergerakan pada terowongan dengan cara melakukan pengukuran menggunakan Drone LiDAR scanner pada area yang sama dengan panjang 100 m dimana dilakukan pengukuran sebanyak 3 kali di hari yang sama. Data-data scan diproses satu per satu menggunakan software Emesent dan scanning. Hasilnya, scan tersatukan/selaraskan dengan baik dengan 98,6% titik dalam jarak +/-20 mm satu sama lain untuk perbandingan pemindaian 1 hingga 2, dan +/- 26mm untuk pemindaian 1 hingga 3 perbandingan. Sebagian besar perbedaan yang lebih besar berada di area di mana pemindaian mungkin tidak memiliki tingkat cakupan yang sama. Kesalahan penyelarasan antara hasil scan yang diamati berada dalam kisaran noise yang dipublikasikan dari *Velodyne VLP-16* LiDAR yang digunakan dalam Hovermap (+/-30mm).



Gambar 19 Hasil perbandingan scan 1 ke 3 dalam bentuk heatmap

D. TANTANGAN DAN KESEMPATAN KEDEPANNYA UNTUK PENGGUNAAN DRONE DI AREA TAMBANG BAWAH TANAH

Berbagai tantangan atau constraint yang didapat dari pekerjaan *scanning* dan inspeksi menggunakan pesawat nir awak atau drone di area tambang tanah PTFI adalah:

D.1 Tantangan/constraints:

- *Low resolution (grainy) photographs*: untuk beberapa kasus tertentu seperti penggunaan drone di area *wet muck*, kamera dari drone tersebut belum cukup mampu memberikan kualitas gambar yang mumpuni untuk peninjauan fragmentasi batuan di drawpoint yang kemudian akan digunakan dalam pengklasifikasian kelas drawpoint. Hal ini disebabkan karena kadar debu yang cukup tinggi di panel tersebut dan juga kondisi cahaya yang di bawah ambang batas kamera drone.
- *Wind turbulence*: beberapa kasus didapatkan bahwa drone akan memiliki kesulitan untuk terbang ketika didapat turbulensi angin (angin yang berputar) sehingga fungsi kontrol drone terganggu dan daya baterai lebih cepat habis.
- *Heavy dripping water*; kondisi air yang mengucur dari dinding *drift* akan dinilai secara subjektif oleh pilot drone sebelum terbang, apabila kondisi dinding *drift* yang akan ditinjau memiliki kucuran air yang tinggi atau deras dikhawatirkan akan membuat *short* pada sistem kelistrikan pesawat nirawak/drone
- *Big data size*: data output yang dihasilkan dari proses pengambilan *scanning* dan inspeksi ini pada umumnya memiliki ukuran file yang sangat besar jika dibandingkan dengan metode *scanning* lainnya. Untuk itu diperlukan kapasitas penyimpanan digital yang memadai baik lokal maupun *cloud*. Begitu juga dengan perangkat komputer untuk memproses data *scanning* harus memiliki spesifikasi tinggi, sehingga waktu pengolahan data menjadi lebih cepat dan mendapatkan hasil yang optimal

D.2 Kesempatan Kedepannya Untuk Penggunaan Drone

1. **Peningkatan sistem operasional pengambilan data lapangan**
 - Pengambilan data *scanning* dan inspeksi di lapangan dengan drone mengurangi keterpaparan personel dari risiko tambang bawah tanah.
 - Sistem drone ini meningkatkan kapabilitas pengambilan data di area yang sempit dan berbahaya.
2. **Hasil akhir data scanning dan inspeksi yang lebih baik dari metode sebelumnya**
 - Hasil *scanning* memiliki peningkatan dibandingkan metode CMS dan metode lainnya yang digunakan sebelumnya.
 - Proses yang dilakukan sistematis dan dapat dilakukan berulang kali sehingga dimungkinkan untuk dilakukan analisis lebih lanjut untuk mendapatkan tingkat ketelitian *scanning* yang lebih baik.
3. **Waktu pengambilan data yang efisien dan cepat**
 - Akuisisi data yang dilakukan sangat cepat dibandingkan metode sebelumnya
4. **Pengurangan Biaya (Cost Reduction)**
 - Mengurangi pengeluaran atau cost secara signifikan karena waktu pekerjaan yang ditempuh jauh lebih singkat.

E. KESIMPULAN

Monitoring dan inspeksi pada area infrastruktur underground sangat penting dan kritical untuk keberlangsungan operasi tambang bawah tanah PTFI. Metode Drone LiDAR ini memungkinkan team Underground untuk melakukan monitoring pada area yang tidak memungkinkan untuk diakses secara aman oleh manusia. Metode sekarang yang dilakukan oleh tim Survey di lingkungan PTFI dilakukan dengan metode CMS yang memiliki keterbatasan dalam beberapa hal. Metode CMS dibandingkan dengan metode Drone LiDAR memiliki waktu pengerjaan yang lebih lama dan persiapan yang lebih besar. Selain itu, metode CMS juga memiliki keterbatasan dalam pengambilan data di bagian-bagian tertentu. Kebanyakan area yang akan dimonitor juga merupakan area yang memiliki tingkat risiko tinggi seperti kejatuhan batu dan lain sebagainya, dengan menggunakan metode drone LiDAR di lingkungan tambang bawah tanah PTFI memberikan keuntungan metode kerja yang lebih aman bagi pekerja terutama surveyor. Keunggulan yang didapat dalam jangka panjang adalah pengurangan ongkos biaya yang didapat dari waktu pekerjaan yang berkurang. Selain itu metode ini juga memberikan keuntungan dalam hasil data *scanning* yang lebih baik.

F. UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan ini, kami sampaikan terima kasih sebesar-besarnya kepada ;

- Manajemen Divisi Underground atas izin dan review yang diberikan untuk publikasi ini.
- Tim GBC Construction yang sudah membantu terlaksananya proyek ini
- Tim *Underground Survey* yang sudah membantu pelaksanaan proyek ini.

G. DAFTAR PUSTAKA

Woolmer, D., Jones, E., Taylor, J., Baylis, C., and Kewe, D. (2020): *Use of Drone based LiDAR technology at Olympic Dam Mine and Initial Technical Applications*, MassMin 2020.