

PENENTUAN JARAK BATU TERBANG MENGGUNAKAN METODE LINTASAN DI KUARI ANDESIT PT. NSM PURWAKARTA

Awang Suwandhi¹, Wanda Adinugraha², Dwihandoyo Marmer¹, Maikel Kambuaya¹

¹Prodi Teknik Pertambangan Sekolah Tinggi Teknologi Mineral Indonesia, Bandung

²Pusat Pengembangan Sumber Daya Manusia Geologi, Mineral dan Batubara, Bandung

Email penulis: awang.suwandhi@gmail.com

Naskah Diterima: November 2022/Revisi: November 2022 /Disetujui: Desember 2022

ABSTRAK

Salah satu masalah dalam peledakan adalah adanya batu terbang yang dapat menimbulkan dampak serius terhadap lingkungan sekitarnya, terutama apabila terkena manusia dan infrastruktur. Untuk menentukan jarak horisontal batu terbang biasanya dilakukan dengan pengukuran koordinat lokasi peledakan dengan titik jatuh batu ke tanah. Pendekatan metode video *Tracker* digunakan untuk mengetahui jarak horizontal terjauh melalui lintasannya. Berdasarkan geometri peledakan yang sama diperoleh bahwa kesetaraan jarak horisontal batu terbang menggunakan video *Tracker* mencapai 97% terhadap metode pengukuran koordinat. Sedangkan jarak batu terbang hasil metode pengukuran tidak dapat disetarakan dengan pendekatan intrinsik atau teoritis yang bersifat pendugaan. Pengaruh jumlah bahan peledak cukup signifikan terhadap terjadinya batu terbang. Makin banyak bahan peledak dipakai, lebih jauh batu terbang akan terlempar. Kejadian batu terlempar jauh hasil peledakan di PT. NSM mencapai 95,60% disebabkan oleh jumlah bahan peledak.

Kata kunci: Video Tracker; pengukuran koordinat; pendekatan intrinsik

ABSTRACT

One of the problems in blasting is the presence of fly rocks which can have a serious impact on the surrounding environment, especially when hit by humans and infrastructure. To determine the horizontal distance of fly rocks is usually conducted by measuring the coordinates of the blasting point to the point where the rock fell to the ground. The video Tracker method approach is used to determine the farthest horizontal distance through its path. Based on the same blasting geometry, it was found that the equivalence of the horizontal distance of fly rocks using the video Tracker reached 97% of the coordinate measurement method. Meanwhile, the fly rocks distance resulting from the measurement method cannot be equated with the intrinsic or theoretical approach which is predictive in nature. The effect of total explosives used is quite significant on the occurrence of fly rocks. The more explosives used, the farther the fly rocks will be thrown. The incident of rocks being thrown away as a result of explosions at PT. NSM reached 95.60% due to the amount of explosives.

Keywords: Video Tracker; coordinate measurements; intrinsic approach

PENDAHULUAN

Peledakan batuan menghasilkan energi yang mampu mendorong fragmentasi batu hasil peledakan hingga terpecah ke segala arah. Diantara fragmentasi batu yang terpecah itu terdapat batu yang lintasannya cukup jauh melebihi lintasan fragmentasi normal yang disebut batu terbang (*fly rock*). Kejadian batu terbang bisa juga berasal dari batu lepas disekitar lubang ledak, baik yang berada di permukaan jenjang, menggantung di dinding jenjang maupun material *stemming* di dalam lubang ledak. Konsumsi energi ledak untuk batu terbang hanya 1% dari seluruh energi peledakan, namun bisa menimbulkan dampak serius apabila terkena manusia dan infrastruktur (Raina, dkk, 2015). Menurut McKenzie, 2009, batu terbang merupakan hasil interaksi antara operator peledakan, desain peledakan dan geologi lokal yang dapat menimbulkan masalah terhadap lingkungan. Maksudnya adalah kejadian tentang batu

terbang sangat erat hubungannya dengan ketelitian operator peledakan sebagai pelaksana di lapangan dan *mine engineers* sebagai perancang peledakan. Berdasarkan Keputusan Menteri ESDM Republik Indonesia nomor 1827.K/30/MEM/2018 tentang Pedoman Pelaksanaan Kaidah Teknik Pertambangan Yang Baik dijelaskan bahwa jarak aman peledakan bagi alat dan fasilitas pertambangan adalah 300 m serta bagi manusia adalah 500 m dari batas terluar peledakan diukur pada jarak horizontal dan/atau berdasarkan kajian teknis. Istilah “jarak aman peledakan” dapat ditafsirkan sebagai jarak aman dari kemungkinan timbulnya dampak negatif akibat peledakan terhadap lingkungan sekitarnya, yaitu getaran, kebisingan, ledakan udara dan batu terbang.

Pengukuran jarak batu terbang di lapangan hampir tidak pernah dilakukan karena pada umumnya semburan fragmentasi batuan berada di bawah jarak aman peledakan. Masalah mulai muncul ketika terjadi satu atau lebih fragmentasi batu terbang melesat jauh yang diperkirakan melebihi jarak aman peledakan. Ketika kondisi tersebut terjadi, maka pengukuran jarak batu terbang langsung di lapangan harus dilakukan agar diketahui jaraknya dengan pasti sebagai bagian tanggung jawab yang harus dilaporkan. Tujuan penelitian adalah mengetahui jarak horizontal batu terbang dengan pendekatan metode lintasan menggunakan perangkat video *Tracker*. Kemudian hasil metode lintasan tersebut dibandingkan dengan pengukuran menggunakan koordinat untuk mengetahui derajat akurasinya. Disamping itu hasil jarak horizontal metode lintasan dibandingkan juga dengan pendekatan teroris menggunakan rumus-rumus yang sudah ada.

METODOLOGI

Metode lintasan merupakan salah satu cara pendekatan praktis untuk mengetahui jarak lemparan batu terbang (*fly rock*) terjauh dari suatu hasil peledakan dengan mengamati pergerakan fragmentasi batuan. Proses pengamatan dapat menggunakan kamera atau *drone* yang memiliki kemampuan merekam lintasan gerak fragmentasi batuan dalam bentuk video. Berdasarkan video tersebut dapat diidentifikasi lintasan gerak seluruh fragmentasi batuan mulai dari titik awal bergerak, jalur lintasannya sampai pada titik jatuh batuan menyentuh bumi, termasuk gerak fragmentasi batuan terjauh atau batu terbang.

Aplikasi video *Tracker* merupakan suatu perangkat lunak yang dirancang untuk menganalisis gerak benda maupun cahaya pada ilmu fisika. Penerapan video *Tracker* pada analisis lemparan batu terbang sangat relevan karena berkaitan dengan benda, yaitu fragmentasi batuan, yang bergerak. Hasil analisis video *Tracker* berupa tabel dan grafik lintasan gerak batu terbang, sehingga jarak lemparan terjauh ke arah horizontal maupun vertikalnya dapat diketahui. Disamping itu digunakan juga aplikasi GPS sebagai media pengukur koordinat titik awal (lokasi peledakan) dan titik jatuh batu ke bumi. Kedua titik koordinat tersebut diplot pada *Google Earth* agar diperoleh jarak horizontal batu terbang.

HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Geometri Peledakan

Peledakan batu andesit di PT. NSM tidak dilakukan setiap hari, namun demikian ada lima data lengkap yang berhasil dicatat (Tabel 1). Ukuran diameter lubang adalah 89 mm (3,5 inci) sedangkan ukuran parameter geometri peledakan lainnya beragam. Untuk peledakan nomor 4 dan 5 dilaksanakan dengan *free breakage*, yaitu desain geometri peledakan dengan tinggi jenjang (H) lebih besar dibandingkan dengan kedalaman lubang ledak (L). Perkiraan volume hasil peledakan kondisi *free breakage* (V_{fbk}) dihitung dengan rumus di bawah ini:

$$V_{fbk} = \frac{(2L+B) \times B \times S}{2} \quad (1)$$

Di mana L, B dan S masing-masing adalah kedalaman lubang ledak, burden dan spasi. Volume peledakan rata-rata hampir sama antara hasil perhitungan dan realisasi, namun konsumsi bahan peledak (ANFO) berhasil dikurangi hingga 52% dari perhitungan. Akibat penurunan jumlah bahan peledak, maka PF berkurang dari hasil perhitungan 0,80 kg/m³ menjadi 0,40 kg/m³ tanpa menurunkan kualitas fragmentasinya karena tetap bisa diterima oleh proses berikutnya. Dengan demikian perusahaan telah berhasil melakukan efisiensi peledakan dengan mengurangi konsumsi bahan peledak.

Tabel 1 Geometri peledakan dan *powder factor*

Nomor urut	Geometri Peledakan										Total W _{ANFO}		Total Volume		Powder Factor	
dan lokasi	de	B	S	L	H	T	J	PC	n	Hitung	Real	Hitung	Real	Hitung	Real	
peledakan	(mm)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(holes)	(kg)	(kg)	(m³)	(m³)	(kg/m³)	(kg/m³)	
1	L1	89	2,4	1,9	6,0	5,0	1,8	1,0	4,2	79	1.652	875	1.801	1.801	0,92	0,49
2	L4	89	2,5	2,0	9,0	9,0	2,2	0,0	6,8	48	1.625	1.028	2.160	2.160	0,75	0,48
3	L1	89	2,0	2,2	6,0	5,0	2,5	1,0	3,5	89	1.551	825	1.958	1.664	0,79	0,50
4	L4	89	2,2	2,5	9,0	19,0 ²⁾	2,5	0,0	6,5	60	1.941	660	3.333 ²⁾	2.970	0,58	0,22
5	B3	89	1,9	2,3	9,0	17,0 ²⁾	2,0	0,0	7,0	57	1.986	1.197	2.478 ²⁾	2.240	0,80	0,53
Rata-rata =											1.751	917	2.346	2.167	0,77	0,44

Keterangan: ¹⁾Peledakan tanpa lantai jenjang (*free breakage*), di mana H > L

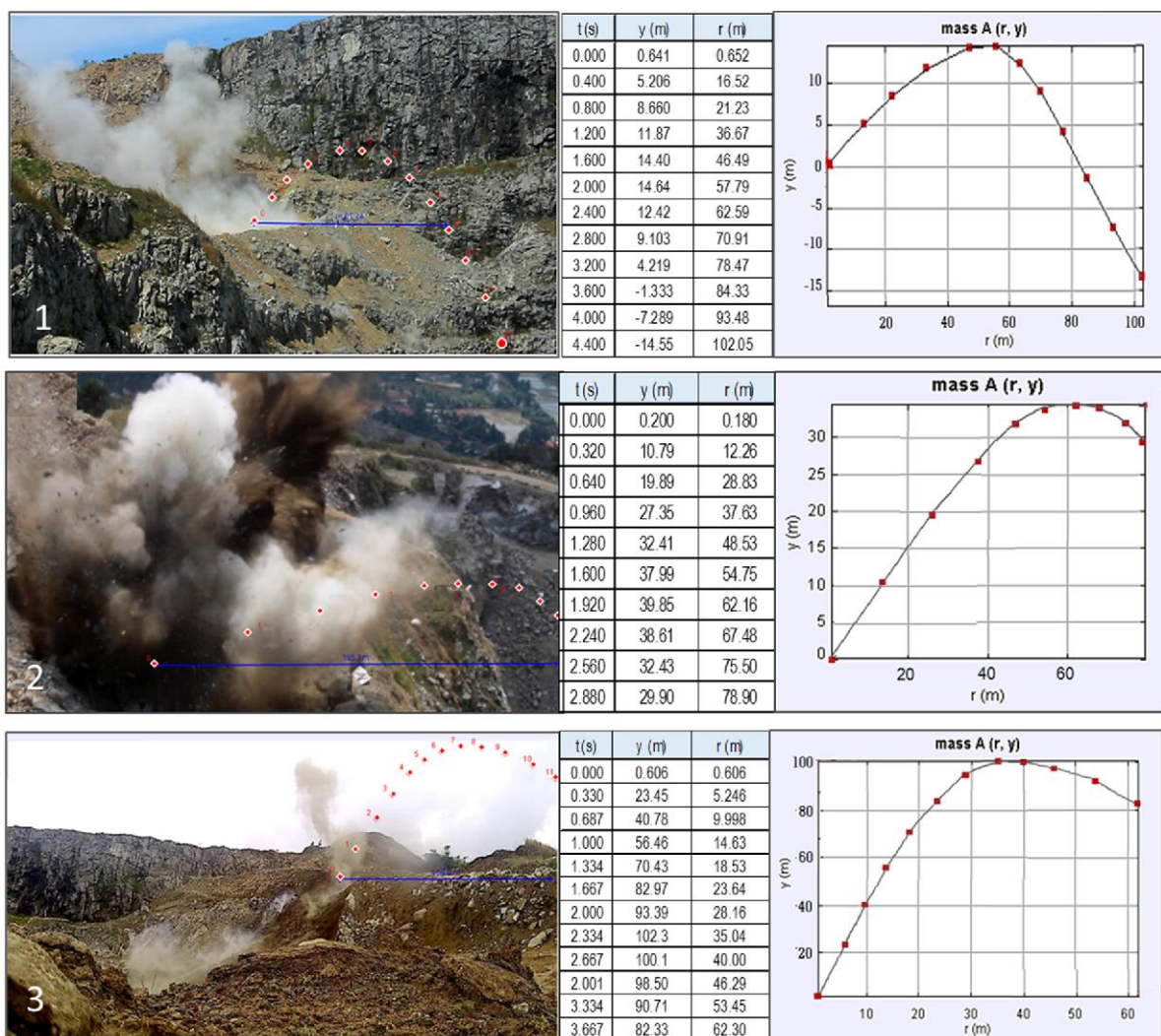
²⁾Dihitung dengan Persamaan: $V_{fbk} = \frac{(2L+B) \times B \times S}{2}$

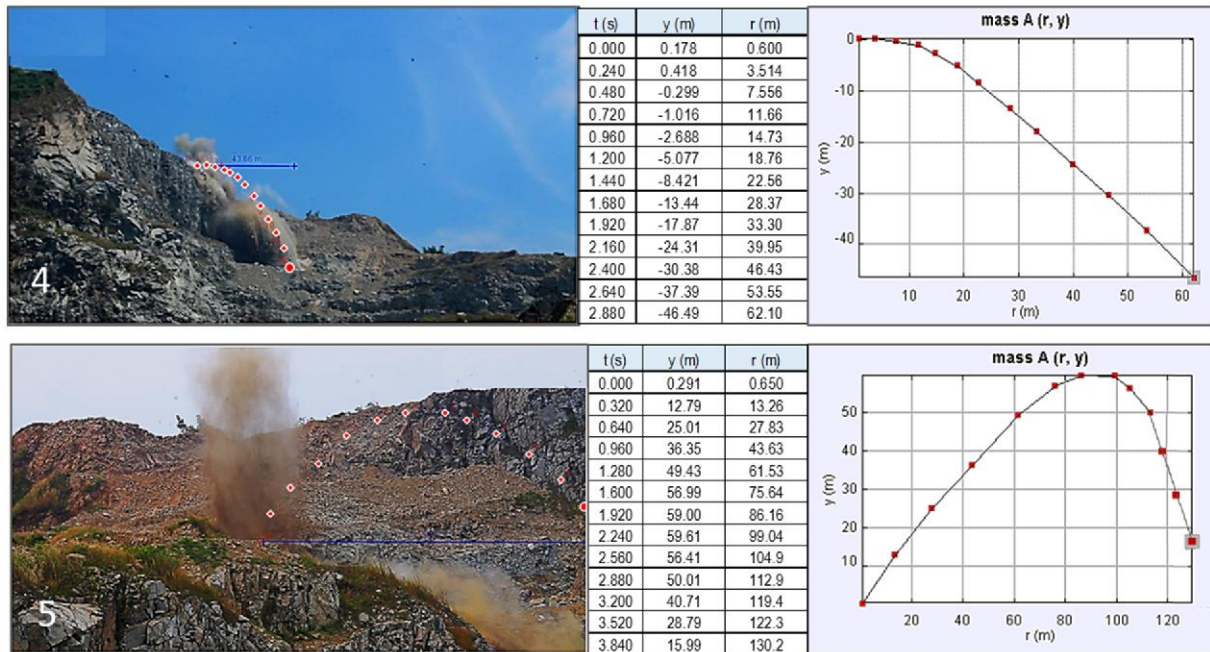
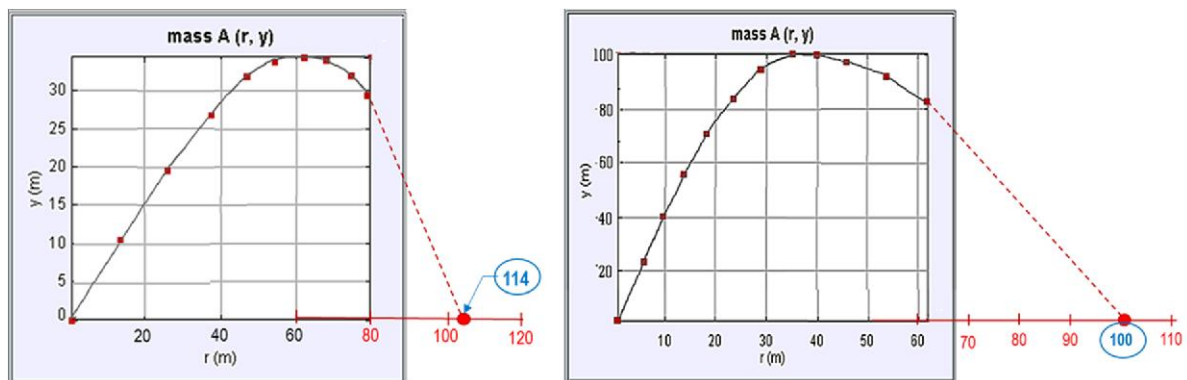
b. Jarak batu terbang dengan rekaman video Tracker

Hasil peledakan direkam memakai kamera dari salah satu sudut bidik yang dipastikan dapat menangkap seluruh semburan fragmentasi batuan kesegala arah. Perangkat lunak video *Tracker* digunakan untuk menganalisis video rekaman semburan batuan tersebut agar dapat ditentukan jarak lemparan batu terjauh atau batu terbang. Setelah batu terbang pada video ditentukan dan perintah *autotrack* diaktifkan, maka hasil penelusuran lintasannya terekam dengan meninggalkan titik-titik jelajah yang merepresentasikan waktu, jarak vertikal dan jarak horizontal dari batu terbang tersebut (Gambar 1).

Terdapat lima video rekaman semburan batuan hasil peledakan yang dapat dianalisis lemparan batu terbangnya. Pada Gambar 1 terlihat foto nomor 2 dan 3 hasil tangkapan gerak (*performance capture*) lintasan batu terbangnya terpotong oleh batas foto sebelum sampai

menyentuh tanah. Untuk menggambarkan lintasan batu terbang secara utuh, maka ditarik garis bantu hingga memotong sumbu absis agar jarak horisontal terjauh dari batu terbang dapat ditetapkan (Gambar 2). Setelah ditarik garis bantu akhirnya dapat disesuaikan (*adjusted*) titik sentuh batu terbang dengan tanah untuk foto nomor 2 dan 3 masing-masing pada jarak horizontal 114 m dan 100 m. Cara yang sama juga dilakukan pada analisis foto nomor 1 dan 5 yang titik sentuh batu terbang dengan tanahnya tidak terlalu jauh, sehingga tingkat akurasi perkiraannya lebih mendekati kebenaran. Perekaman semburan fragmentasi batuan hasil peledakan yang cukup representatif untuk analisis video *Tracker* seperti terlihat pada foto nomor 4. Lintasan batu terbang pada foto nomor 4 tersebut dapat dijelajah seutuhnya dari awal batu terbang terlontar ke udara hingga jatuh ke tanah. Rangkuman jarak horizontal terjauh hasil analisis video *Tracker* terdapat pada Tabel 2.



Gambar 1 Lintasan dan jarak horizontal batu terbang terjauh hasil analisis video *Tracker*

Gambar 2 Cara memperkirakan jarak horizontal batu terbang terjauh pada lintasan yang terpotong batas foto

Tabel 2 Jarak batu terbang dari perangkat lunak *Tracker*

Nomor urut dan lokasi peledakan	W_{ANFO} (kg)	Jarak dari Tracker		
		Tracked (m)	Adjusted (m)	
1	L1	875	102,05	105,00
2	L4	1.028	78,90	114,00
3	L1	825	62,30	100,00
4	L 4	660	62,10	62,10
5	B 3	1.197	130,20	132,00

c. Jarak batu terbang dengan pengukuran koordinat

Disamping menganalisis jarak batu terbang dengan perangkat lunak video *Tracker* dilakukan juga pengukuran jarak horizontal terjauh dari batu terbang menggunakan *Google Earth*. Perangkat GPS dipakai untuk mengukur koordinat lokasi peledakan dan titik jatuhnya batu

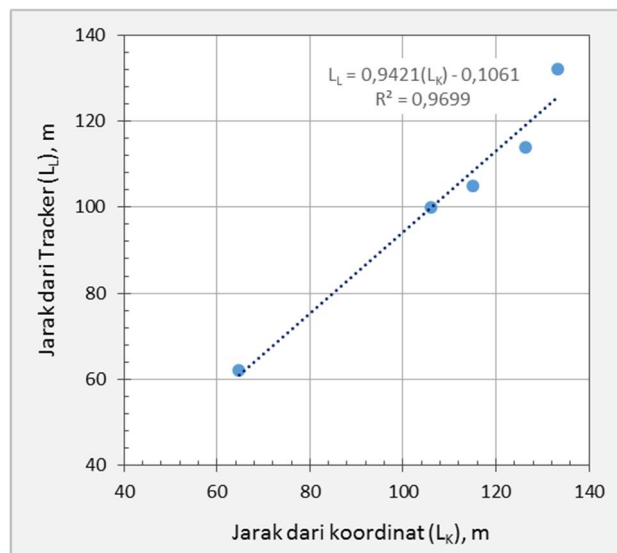
terbang. Kedua titik koordinat tersebut diplot pada *Google Earth* dan jarak horizontal antara dua titik diketahui. Hasil pengukuran jarak batu terbang menggunakan *Goggle Earth* tertera pada Tabel 3. Pada tabel tersebut terlihat bahwa jarak lemparan batu terbang paling dekat 64,71 m dan paling jauh 133,21 m. Untuk jarak batu terbang yang paling jauh itu menurut peraturan termasuk jarak aman bagi alat produksi karena kurang dari 200 m.

Tabel 3 Jarak batu terbang dari pengukuran koordinat

Nomor urut dan lokasi peledakan	W _{ANFO} (kg)	Koordinat lokasi peledakan		Koordinat batu terbang jatuh		Jarak horisontal (m)	
		Easting	Northing	Easting	Northing		
1	L1	875	237.368	9.267.631	237.207	9.267.644	115,00
2	L4	1.028	237.586	9.267.563	237.543	9.267.603	126,31
3	L1	825	237.355	9.267.595	237.341	9.267.612	105,96
4	L 4	660	237.464	9.267.507	237.480	9.267.538	64,71
5	B 3	1.197	658.236	9.568.215	237.429	9.267.702	133,21

d. Kesetaraan jarak batu terbang antara analisis video *Tracker* dengan koordinat

Hasil pengukuran jarak batu terbang dengan metode video *Tracker* dan koordinat seharusnya sama, paling tidak antara keduanya memiliki jarak yang setara. Untuk menilai kesetaraan jarak tersebut dapat dibandingkan Tabel 2 dan Tabel 3 yang hasilnya berupa grafik pasangan antara jarak batu terbang dengan metode koordinat dan metode video *Tracker* (Gambar 3). Jarak batu terbang dengan metode koordinat ditetapkan sebagai variabel bebas karena titik jatuh batu terbang dapat langsung diukur koordinatnya. Dengan demikian grafik tersebut menggambarkan seberapa jauh perbedaan jarak batu terbang hasil video *Tracker* dengan metode koordinat.



Gambar 3 Kesetaraan jarak batu terbang dengan metode koordinat dan video *Tracker*

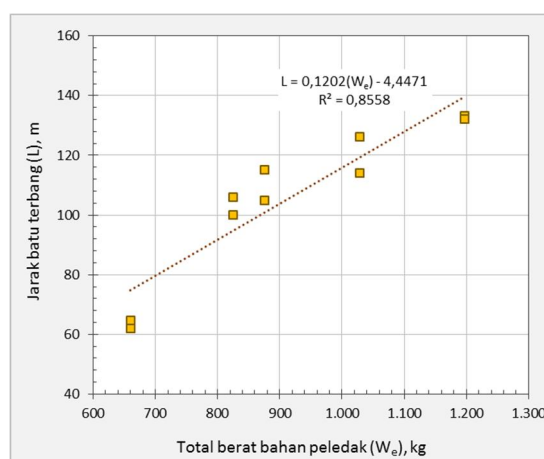
Pasangan jarak batu terbang dengan metode koordinat (L_K) dan metode video *Tracker* (L_L) menghasilkan persamaan garis regresi linear $L_L = 0,9421(L_K) - 0,1061$ dan garis tersebut membentuk sudut $43,25^\circ$ dengan sumbu absis. Apabila kedua metode tersebut menghasilkan jarak batu terbang yang sama, maka persamaan regresi linear seharusnya $L_L = L_K$ dan garis

regresinya membentuk sudut 45° dengan sumbu absis. Dari fakta tersebut dapat diketahui bahwa tingkat kesetaraan jarak batu terbang hasil video *Tracker* ditinjau dari sudut garis regresi linier adalah 96,12% dari metode koordinat dan tingkat perbedaannya kurang dari 5%. Selain itu, kesetaraan kedua metode dapat juga ditinjau koefisien determinasi (R^2) dan koefisien korelasi (R). Persamaan garis regresi linier pada Gambar 3 menghasilkan R^2 sebesar 0,9699 ($\approx 97\%$) yang berarti hubungan varians yang terjadi pada variabel jarak dari *Tracker* 97% dapat dijelaskan setara dengan varians yang terjadi pada variabel jarak dari koordinat. Untuk menginterpretasi tingkat hubungan kedua metode dipakai koefisien korelasi (R) yang besarnya $0,9699^{1/2} = 0,9850$ (98,50%). Dengan koefisien korelasi 98,50% dapat diinterpretasikan bahwa korelasi antara jarak batu terbang hasil dari koordinat dengan hasil video *Tracker* “sangat kuat”.

e. Pengaruh jumlah bahan peledak terhadap jarak batu terbang

Jarak lemparan batu terbang sesungguhnya tergantung pada banyak faktor, diantara keadaan geologi massa batuan, geometri peledakan dan jenis bahan peledak. Diduga kuat bahwa pada keadaan batuan dan geometri peledakan yang sama, maka jarak lemparan hasil peledakan merupakan fungsi dari jumlah (berat) bahan peledak. Maksudnya adalah lebih banyak bahan peledak dipakai, lebih jauh batu terbang akan terlempar. Untuk membuktikan dugaan tersebut seharusnya dilakukan peledakan setiap satu lubang ledak dengan jumlah bahan peledak berbeda-beda pada tiap lubang ledak tersebut dan bentuk bidang bebas yang baik.

Upaya penyelidikan untuk mengetahui pengaruh jumlah bahan peledak terhadap jarak batu terbang pada kasus peledakan ini dilakukan dengan cara menghubungkan jarak batu terbang dengan total berat bahan peledak yang digunakan (Gambar 4). Cara tersebut diambil dengan pertimbangan bahwa dari semburan fragmentasi batu hasil peledakan seluruh lubang tidak diketahui dari lubang ledak yang mana batu terbang itu muncul. Misalnya peledakan nomor 1 pada Tabel 1 diledakkan 79 lubang dan diperoleh jarak batu terbang 105 m dari metode *Tracker* dan 115 m dari koordinat, tetapi tidak diketahui secara tepat lubang yang menghasilkan batu terbang sejauh itu.



Gambar 4 Pengaruh berat bahan peledak terhadap batu terbang

Kondisi batuan disekitar lubang dan akurasi kedalaman lubang ledak serta akurasi jumlah bahan peledak dalam lubang bisa menjadi penyebab perbedaan jarak batu terbang pada semburan fragmentasi hasil peledakan. Grafik pada Gambar 4 memperlihatkan bahwa kenaikan berat

bahan peledak diiringi oleh peningkatan jarak batu terbang. Untuk lokasi penambangan batu andesit di PT. NSM grafiknya mengikuti persamaan $L = 0,1202(W_e) - 4,4471$. Berdasarkan persamaan tersebut di peroleh jarak batu terbang mencapai 300 m apabila total bahan peledak yang dipakai 2550 kg dan batu terbang 500 m apabila memakai total bahan peledak 4200 kg.

f. Jarak batu terbang hasil prediksi

Jarak batu terbang dapat diprediksi melalui pendekatan intrinsik (teoritik) dengan menggunakan persamaan atau rumus-rumus empirik. Diantara rumus yang dikenal hingga saat ini antara lain dari Lundborg, dkk. (1975), *Scaled Depth of Burial* (SDoB) dari Chiappetta, dkk. (1983), Workman dan Calder (1994), serta Richards dan Moore (2004). Prediksi jarak batu terbang dengan rumus empirik didasarkan atas ukuran parameter geometri peledakan, terutama ukuran *burden* (B) dan *stemming* (T) serta jumlah bahan peledak. Dalam penelitian ini dilakukan penyetaraan antara jarak batu terbang dengan pengukuran koordinat terhadap persamaan dari Richards dan Moore (R&M) serta SDoB.

Prediksi batu terbang pada persamaan R&M dibagi berdasarkan batas bidang bebas, yaitu (1) lemparan batu terbang ke depan bidang bebas (*face burst*), dan (2) lemparan batu terbang ke bagian belakang bidang bebas yang terdiri dari dua kemungkinan, yaitu peledakan kawah (*crater blasting*) atau *cratering* dan semburan dari *stemming* ke atas atau *rifling*. Penelitian batu terbang dilakukan pada sistem *bench blasting*, sehingga besar kemungkinan batu terbang terjadi akibat *face burst* dan *rifling*. Persamaan untuk memprediksi batu terbang akibat *face burst* dan *rifling* serta SDoB adalah sebagai berikut:

$$L_{fbmaks} = \frac{k^2}{9,8} \left(\frac{\sqrt{Ld}}{B} \right)^{2,6} \quad (2)$$

$$L_{rfmaks} = \frac{k^2}{g} \left(\frac{\sqrt{Ld}}{T} \right)^{2,6} \sin(2\theta) \quad (3)$$

$$SDoB = \frac{T + 0,0005 m d_e}{0,00923 (m d_e^3 \rho_e)^{1/3}} \quad (4)$$

Faktor k untuk andesit pada Persamaan 2 dan 3 adalah 23 dihasilkan dari interpolasi antara 13,5 untuk batuan kompak yang agak lunak semacam *overburden* batubara yang berdensitas 1,3 t/m³ dengan 27 untuk batuan kompak yang keras seperti basalt atau granit yang berdensitas 3,0 t/m³. Sedangkan faktor *m* pada Persamaan 4 diambil 10 dengan pertimbangan batu andesit tergolong keras dan bahan peledak yang digunakan ANFO dengan densitas 0,8 g/cc.

Hasil perhitungan jarak batu terbang maksimum akibat kondisi *face burst* dan *rifling* serta prediksi SDoB terdapat pada Tabel 4 dan korelasinya dengan jarak batu terbang hasil pengukuran koordinat tertera pada Gambar 5. Jarak batu terbang hasil pengolahan rumus baik pada kondisi *face burst*, *rifling* dan SDoB bersifat prediktif, sehingga tidak dapat disetarakan

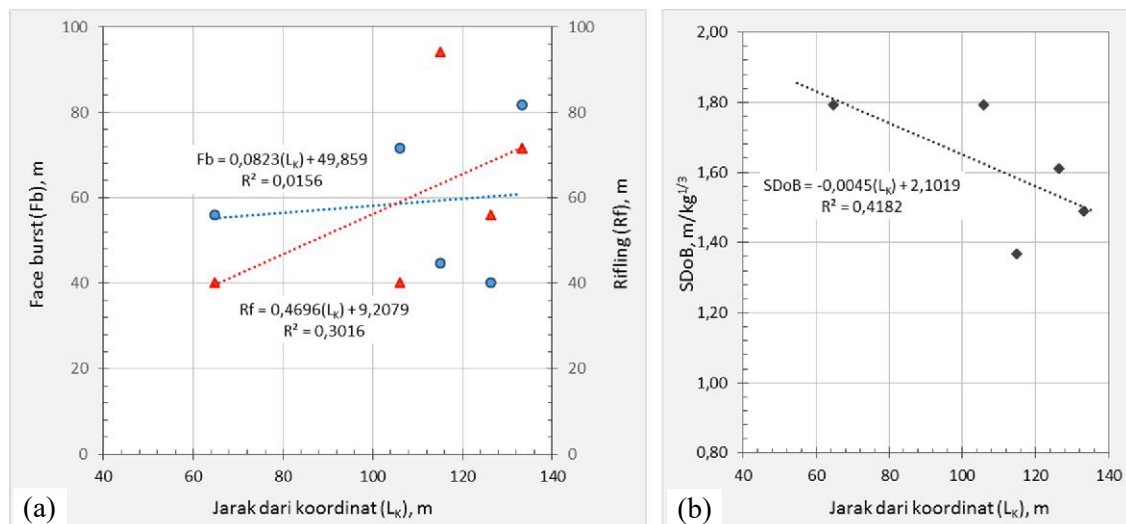
dengan hasil pengukuran koordinat. Ketidaksetaraan itu terlihat dari titik-titik korelasi yang terpencar dan membentuk garis regresi linier dengan koefisien korelasi (R) sebagai berikut:

- R antara jarak batu terbang dari koordinat dan dari *face burst* (Gambar 5a) adalah $0,0156^{1/2} = 0,1250$ yang berarti tingkat kesetaraannya “sangat rendah” (Sugiyono, 2013).
- R antara jarak batu terbang dari koordinat dan dari *rifling* (Gambar 5a) adalah $0,3016^{1/2} = 0,5492$ yang berarti tingkat kesetaraannya “sedang”.
- R antara jarak batu terbang dari koordinat dan SDoB (Gambar 5b) adalah $0,4182^{1/2} = 0,6467$ yang berarti tingkat kesetaraannya “kuat”.

Walaupun pendekatan intrinsik melalui rumus-rumus di atas tidak setara dengan pengukuran jarak batu terbang langsung di lapangan, paling tidak dapat memprediksi lebih dini adanya potensi batu terbang dari suatu peledakan.

Tabel 4 Hasil prediksi jarak batu terbang

Nomor urut dan lokasi peledakan	d_e (mm)	B (m)	T (m)	Ld (kg/m)	Koordinat (m)	Face burst (m)	Riffling (m)	SDoB (m/kg ^{1/3})
1 L1	89	2,3	1,8	4,98	115,00	49,8	94,2	1,37
2 L4	89	2,2	2,3	4,98	126,31	55,9	49,8	1,67
3 L1	89	2,0	2,5	4,98	105,96	71,7	40,1	1,79
4 L4	89	2,2	2,5	4,98	64,71	55,9	40,1	1,79
5 B3	89	1,9	2,0	4,98	133,21	81,9	71,7	1,49



Gambar 5 Jarak batu terbang hasil dari koordinat dengan prediksi akibat

face burst, *rifling* (a) dan SDoB (b)

KESIMPULAN

Analisis jarak batu terbang dengan metode lintasan menggunakan video *Tracker* merupakan pendekatan semipraktis yang hasilnya 97% diyakini setara dengan metode pengukuran koordinat di lapangan. Keunggulan lain dari metode lintasan video *Tracker* ini adalah dapat mendeteksi jarak vertikal maksimum batu terbang melalui jelajah lintasannya. Untuk

mendapatkan rekaman video yang memuaskan perlu dipersiapkan kamera berkecepatan tinggi atau *drone* yang dapat menangkap semburan fragmentasi hasil peledakan secara menyeluruh. Karena yang dibidik adalah batu terbang, diupayakan lintasannya tertangkap kamera atau *drone* seutuhnya agar video *Tracker* dapat menganalisisnya dengan benar.

Pada penelitian terbukti bahwa jarak lemparan hasil peledakan merupakan fungsi dari jumlah bahan peledak pada kondisi batuan dan geometri peledakan yang sama. Makin banyak bahan peledak digunakan dan bidang bebas tidak baik karena ada bagian yang menjorok ke dalam mendekati lubang ledak, maka ada potensi terjadinya batu terbang.

Untuk memprediksi jarak batu terbang dapat digunakan pendekatan intrinsik melalui rumus-rumus yang ada saat ini. Hasilnya merupakan dugaan jarak maksimum batu terbang sebelum aktifitas peledakan dilakukan. Dari penelitian menunjukkan bahwa hasil prediksi tidak dapat disetarakan dengan hasil pengukuran koordinat di lapangan. Walaupun demikian, pendekatan teoritik memiliki kecenderungan yang logis menurut korelasi antara hasil pengukuran koordinat dengan prediksi jarak batu terbang akibat *face burst*, *rifling* maupun dengan pendekatan SDoB.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kepala Teknik Tambang PT. NSM, Purwakarta, yang telah memberi kesempatan pengambilan data dan atas dukungannya untuk mempublikasikan artikel ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Aghajani-Bazzazi, A., M. Osanloo and Y. Azimi. 2010. *Flyrock prediction by multiple regression analysis in Esfordi phosphate mine of Iran*. Rock Fragmentation by Blasting – Sanchidrián (ed). Taylor & Francis Group, London. Pp. 649 - 657
- Brown, D. 2009. *Video Modeling with Tracker*. Melalui <<http://www.compadre.org/OSP>> [10/5/20]
- Lwin, M.M and Aung, Z.M. 2019. Prediction and Controlling of Flyrock due to Blasting for Kyaukpahto Gold Mine. *International Journal of Advances in Scientific Research and Engineering (ijasre)*. Volume 5, Issue 10. Pp. 338 – 345.
- McKenzie, C.K. 2009. *Flyrock Range & Fragment Size Prediction*. International Society of Explosives Engineers 2009G Volume 2.
- Richards, A.B. and Moore, A.J. 2004. Flyrock Control-By Chance or Design. *International Society of Explosives Engineers* 2004G Volume 1.
- Raina, A.K., Murthy, V.M.S.R dan Soni, A.K. 2015. Flyrock in surface mine blasting: understanding the basics to develop a predictive regime. *Current Science*, Vol. 108, No. 4, 25 Feb.
- Sugiyono, 2013. *Statistika Untuk Penelitian*. Penerbit Alfabeta Bandung.