

Kajian pengaruh tinggi *stemming* terhadap *heave*' pada peledakan bijih emas di PT Indo Muro Kencana (IMK)

Effect of stemming height on heave' of ore blasting in PT Indo Muro Kencana (IMK)

Ziat Kurniawan, Nurhakim*, Marselinus Untung Dwiatmoko
Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Lambung Mangkurat
e-mail: nurhakim@ulm.ac.id

ABSTRAK

PT IMK melaksanakan pemboran dan peledakan untuk memberai *ore* dan *waste*. Saat proses ledakan, terjadi pergerakan *ore block* berupa *heave*, sehingga perlu dilakukan penelitian untuk mengontrol *heave* tersebut. Monitoring menggunakan '*blasting vector indicator*' (BVI) dilakukan untuk mengontrol *heave*. Metode yang digunakan untuk menentukan tinggi *stemming* dengan pendekatan *Scale Depth of Burial* (SDOB). Pengaruh tinggi *stemming* terhadap *heave* dianalisis menggunakan pendekatan *regresi linear*. Dari data survey diperoleh maksimal *heave horizontal distance* sebesar 3.976 m, dan *heave vertical request level* (RL) 2.847 m dengan tinggi *stemming* 47%. Sedangkan pada tinggi *stemming* 64% diperoleh *heave horizontal distance* sebesar 0.39 m, dan *heave vertical request level* (RL) 0.35 m. Kesimpulan dari penelitian ini ialah tinggi *stemming* mempengaruhi *heave vertical* sebesar 87.89%, dan mempengaruhi *heave horizontal* sebesar 88.71%.

Kata-kata kunci: Peledakan, Heave, SDOB, Stemming, BVI

ABSTRAK

PT IMK melaksanakan pemboran dan peledakan untuk memberai *ore* dan *waste*. Saat proses ledakan, terjadi pergerakan *ore block* berupa *heave*, sehingga perlu dilakukan penelitian untuk mengontrol *heave* tersebut. Monitoring menggunakan '*blasting vector indicator*' (BVI) dilakukan untuk mengontrol *heave*. Metode yang digunakan untuk menentukan tinggi *stemming* dengan pendekatan *Scale Depth of Burial* (SDOB). Pengaruh tinggi *stemming* terhadap *heave* dianalisis menggunakan pendekatan *regresi linear*. Dari data survey diperoleh maksimal *heave horizontal distance* sebesar 3.976 m, dan *heave vertical request level* (RL) 2.847 m dengan tinggi *stemming* 47%. Sedangkan pada tinggi *stemming* 64% diperoleh *heave horizontal distance* sebesar 0.392 m, dan *heave vertical request level* (RL) 0.351 m. Kesimpulan dari penelitian ini ialah tinggi *stemming* mempengaruhi *heave vertical* sebesar 87.89%, dan mempengaruhi *heave horizontal* sebesar 88.71%.

Keywords: Peledakan, Heave, SDOB, Stemming, BVI

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Kegiatan peledakan (*blasting*) merupakan tahapan krusial dalam operasi penambangan terbuka, khususnya pada proses pembongkaran batuan bijih (*ore*). Keberhasilan peledakan tidak hanya ditentukan oleh keterpecahan batuan (*fragmentation*), tetapi juga oleh respons massa batuan terhadap energi peledakan, salah satunya ditunjukkan oleh *heave* atau pergerakan vertikal dan horizontal material hasil peledakan. *Heave* yang optimal sangat penting karena berpengaruh langsung terhadap kemudahan pemuatan (*diggability*), stabilitas jenjang, serta efisiensi kegiatan penambangan lanjutan.

Salah satu faktor teknis yang berperan signifikan dalam mengontrol distribusi energi peledakan adalah *stemming*, yaitu material penutup lubang ledak yang berfungsi menahan gas hasil detonasi agar energi peledakan dapat dimanfaatkan secara maksimal untuk memecah dan menggeser batuan. Variasi jenis material *stemming*, panjang *stemming*, serta sifat mekanik *stemming* akan memengaruhi pelepasan energi, pola retakan, dan arah pergerakan massa batuan. Oleh karena itu, pengaturan *stemming* yang tidak tepat dapat menyebabkan kehilangan energi ke udara (*blow out*), fragmentasi yang tidak seragam, maupun *heave* yang terlalu kecil atau berlebihan.

Meskipun secara teoritis peran *stemming* telah banyak dibahas dalam literatur peledakan, kajian empiris yang secara spesifik mengevaluasi pengaruh uji *stemming* terhadap *heave* of *ore blasting* masih relatif terbatas, khususnya pada kondisi geologi dan karakteristik bijih tertentu. Uji *stemming* yang terkontrol diperlukan untuk memperoleh pemahaman kuantitatif mengenai hubungan antara parameter *stemming* dan respons *heave*, sehingga desain peledakan dapat dioptimalkan sesuai dengan kondisi lapangan.

Dengan demikian, penelitian mengenai pengaruh uji *stemming* terhadap *heave* hasil peledakan bijih menjadi penting untuk menjembatani kesenjangan antara konsep teoritis peledakan dan implementasi praktis di lapangan, serta untuk mendukung penerapan praktik peledakan yang lebih efektif, aman, dan ekonomis.

METODOLOGI

Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif dengan pendekatan eksperimental lapangan (field experimental study) yang bertujuan untuk menganalisis pengaruh uji stemming terhadap *heave of ore blasting*. Pendekatan ini dipilih karena variabel yang diteliti berkaitan langsung dengan kondisi operasional peledakan dan memerlukan pengamatan serta pengukuran langsung di lapangan. Penelitian difokuskan pada hubungan sebab-akibat antara variasi parameter stemming dan respons pergerakan massa batuan hasil peledakan.

Penelitian dilaksanakan pada area tambang terbuka yang menerapkan metode peledakan sebagai bagian dari kegiatan pembongkaran bijih. Lokasi penelitian dipilih berdasarkan keseragaman kondisi geologi, litologi, dan geometri jenjang, sehingga pengaruh variabel luar dapat diminimalkan. Waktu penelitian disesuaikan dengan jadwal peledakan rutin perusahaan dan dilakukan dalam beberapa kali peledakan uji (blast trial) untuk memperoleh data yang representatif.

Variabel bebas (independent variable) adalah tinggi stemming (m), jenis material stemming, metode atau tingkat pemadatan. stemming. Variabel terikat adalah *heave of blasting material*, yang dinyatakan sebagai besaran perpindahan massa batuan hasil peledakan dari posisi awal ke posisi akhir. Variabel terkontrol (control variables) Variabel terkontrol meliputi: diameter dan kedalaman lubang ledak, burden dan spacing, tinggi jenjang dan subdrilling, jenis dan berat bahan peledak, pola dan waktu tunda (delay), kondisi massa batuan yang relatif seragam.

Desain uji stemming dilakukan dengan menerapkan beberapa skenario peledakan, di mana setiap skenario menggunakan variasi parameter stemming tertentu. Pada setiap uji, parameter peledakan lainnya dijaga konstan. Panjang stemming dirancang dalam beberapa rasio terhadap kedalaman lubang ledak, sedangkan jenis material stemming dipilih berdasarkan material yang umum digunakan di lokasi penelitian.

Setiap skenario diuji dalam satu atau beberapa baris peledakan untuk memastikan konsistensi hasil. Desain ini bertujuan untuk memperoleh perbandingan langsung pengaruh setiap variasi stemming terhadap nilai heave yang dihasilkan.

Pelaksanaan peledakan mengikuti standar operasional prosedur (SOP) perusahaan dan peraturan keselamatan pertambangan yang berlaku. Tahapan pelaksanaan meliputi:

1. Persiapan lubang ledak dan pengukuran kedalaman aktual,
2. Pengisian bahan peledak sesuai desain,
3. Pemasangan sistem inisiasi dan delay,
4. Pemasangan dan pemadatan stemming sesuai skenario uji,
5. Pemeriksaan akhir dan pelaksanaan peledakan.

Seluruh parameter peledakan dicatat secara rinci untuk keperluan analisis dan verifikasi data.

Pengukuran heave dilakukan setelah peledakan dengan menggunakan metode pengamatan langsung dan pengukuran lapangan. Heave diukur sebagai jarak perpindahan material hasil peledakan dari titik referensi awal. Metode yang digunakan meliputi: pengukuran manual menggunakan alat ukur lapangan, dokumentasi visual berupa foto dan video, pengamatan arah dan pola pergerakan material.

Selain data utama, dikumpulkan pula data pendukung berupa: kondisi lubang ledak (kering atau berair), karakteristik fragmentasi secara kualitatif, tingkat kemudahan pemuatan pasca-peledakan, kejadian tidak diinginkan seperti *flyrock* atau *backbreak*. Data pendukung ini digunakan untuk memperkaya analisis dan memastikan interpretasi hasil yang komprehensif.

Analisis data dilakukan dengan pendekatan deskriptif dan kuantitatif. Data *heave* dibandingkan antar variasi stemming untuk mengidentifikasi pola pengaruh. Selanjutnya dilakukan analisis statistik, seperti korelasi atau regresi, untuk mengevaluasi hubungan antara parameter stemming dan nilai heave. Hasil analisis digunakan untuk menentukan kondisi stemming yang menghasilkan heave optimal, yaitu pergerakan material yang mendukung efisiensi pemuatan tanpa meningkatkan risiko keselamatan.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Geometri Peledakan

Dari pengamatan diperoleh geometri peledakan aktual seperti yang terlihat dalam Tabel-1 berikut. Data utama ini sebagai parameter untuk mengetahui berapa besar pengaruh tinggi *stemming* terhadap *heave*.

Monitoring Heave

Monitoring *heave* dengan menggunakan BVI (Blast Vector Indicator) pada Gambar-1. Tujuannya untuk mengetahui besarnya pergerakan *ore block*, berdasarkan data koordinat BVI sebelum dan sesudah peledakan.

Tabel-1. Geometri Peledakan Aktual

TANGGAL	GEOMETRI PELEDAKAN										
	Tinggi Jenjang (m)	Burden (m)	Spasi (m)	Subdrill (m)	Kedalaman (m)	Kolom Isian (m)		Stemming (m)		Stemming Ratio (%)	
						ore	waste	ore	waste	ore	waste
4-Aug-18	6.0	3.5	4.5	0.5	6.4	2.8	4.5	3.6	1.9	56.25	29.69
16-Aug-18	6.0	4.0	5.0	0.5	7.3	3.9	5.6	3.4	1.7	46.58	23.29
26-Aug-18	6.0	4.0	5.0	0.5	5.7	2.1	3.6	3.6	2.1	63.16	36.84
2-Sep-18	6.0	4.0	5.0	0.5	6.3	2.6	4.3	3.7	2.0	58.73	31.75
6-Sep-18	6.0	4.0	5.0	0.5	7.2	3.5	5.4	3.7	1.8	51.39	25.00
7-Sep-18	5.0	4.0	5.0	0.5	5.3	1.9	3.4	3.4	1.9	64.15	35.85
19-Sep-18	6.0	4.0	5.0	0.5	5	1.8	3.2	3.2	1.8	64.00	36.00
29-Sep-18	6.0	3.5	4.0	0.5	5.7	2.1	3.6	3.6	2.1	63.16	36.84
TRIAL PELEDAKAN											
19-Oct-18	5.0	4.0	5.0	0.5	5.5	2.2	3.6	3.3	1.9	60.00	34.55
22-Oct-18	5.0	4.0	5.0	0.5	5.1	1.9	3.3	3.2	1.8	62.75	35.29
23-Oct-18	6.0	4.0	5.0	0.5	6.3	2.7	4.4	3.6	1.9	57.14	30.16

**Gambar-1. Monitoring Heave**

Adapun hasil data survey pada pengukuran BVI sebelum dan setelah peledakan, dapat dilihat pada tabel 2 berikut.

Tabel-2. Kordinat BVI Sebelum dan Setelah Peledakan

DATA BLAST VECTOR INDICATOR (BVI)							
DATE OF BLASTING	LOCATION	BEFORE			AFTER		
		NORTHING	EASTING	RL	NORTHING	EASTING	RL
4-Aug-18	Serujan 2	9925849.714	212680.077	15.564	9925850.077	212680.801	16.879
		9925857.636	212669.009	15.064	9925856.991	212670.309	15.993
		9925856.634	212653.212	15.178	9925856.098	212654.394	16.451
16-Aug-18	Serujan 2	9925793.069	213156.335	58.839	9925791.915	213159.996	61.686
		9925782.156	213190.729	58.962	9925779.032	213193.189	61.551
26-Aug-18	Serujan 2	9925974.246	212766.452	21.968	Not found		
		9925957.266	212767.129	21.495			
2-Sep-18	Serujan 2	9925924.021	212752.704	15.881	9925923.718	212752.091	16.672
		9925934.284	212833.943	20.163	Not found		
6-Sep-18	Serujan 2	9925892.381	212818.331	17.152	9925893.089	212815.937	18.592
		9925888.58	212797.177	16.52	9925889.233	212794.883	17.871
7-Sep-18	Serujan 4	9926710.628	212844.880	94.68	9926710.489	212844.698	95.037
19-Sep-18	Serujan 2	9925952.415	212811.022	10.556	Not found		
		9925941.020	212811.363	10.486			
29-Sep-18	Serujan 2	9925856.072	212660.833	10.231	9925855.997	212661.218	10.582
		9925857.083	212668.125	10.921	9925856.965	212668.589	11.401
TRIAL PELEDAKAN							
19-Oct-18	Serujan 4	9926697.178	212881.38	90.054	9926696.995	212880.861	90.729
		9926697.431	212862.495	90.059	9926697.228	212861.912	90.693
22-Oct-18	Serujan 4	9926699.195	212919.828	90.879	9926699.038	212919.345	91.501
		9926688.511	212926.002	90.613	9926688.361	212925.502	91.119
23-Oct-18	Serujan 2	9925894.791	212745.545	3.762	9925895.104	212746.173	4.608
		9925885.584	212729.277	3.811	9925885.899	212729.891	4.616
		9925874.054	212716.986	3.759	9925874.421	212717.649	4.701

Scale Depth of Burial

Perhitungan nilai SDOB pada peledakan ore tanggal 4 Agustus 2018, sebagai berikut:

Diameter lubang (Ø) = 127 mm
 Tinggi stemming (St) = 3.6 m
 Densitas bahan peledak = 1.15 gr/cc
 Loading density (LD) = 14.57 kg/m

Length of 10 explosive diameters (L)

$$= 10 \times \emptyset$$

$$= 10 \times 0.127 = 1.27 \text{ m}$$

Explosive within 10 explosive diameters (W) = LD x L

$$= 14.57 \times 1.27 = 18.50 \text{ kg}$$

Distance from surface to center of W (D)

$$= St + (0.5 \times L)$$

$$= 3.6 + (0.5 \times 1.27) = 4.235 \text{ m}$$

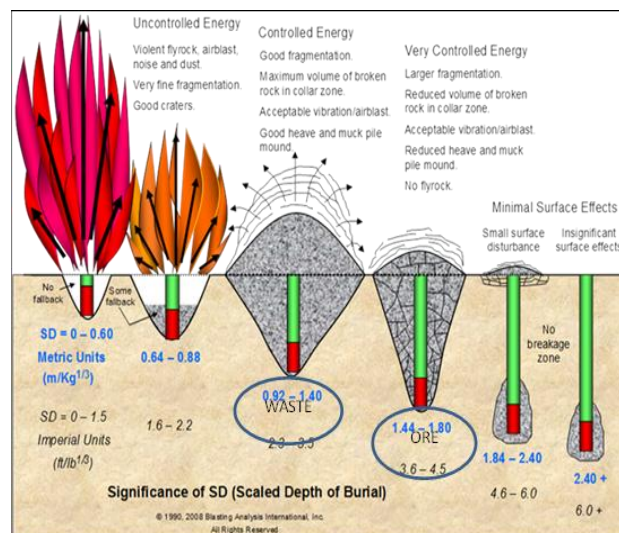
Scale Depth of Burial (SDOB) = $D / W^{1/3}$

$$= 4.235 / 18.50^{1/3} = 1.60 \text{ m/kg}^{1/3}$$

Dengan menggunakan cara yang sama seperti pada perhitungan SDOB pada tanggal 4 Agustus 2018, maka diperoleh hasil pada Tabel-3.

Tabel-3. Hasil Perhitungan SDOB

Date Of Blasting	Depth (m)	Stemming (m)		Scale Depth Of Burial (SDOB)	
		ore	waste	ore	waste
4-Aug-18	6.4	3.6	1.9	1.60	0.96
16-Aug-18	7.3	3.4	1.7	1.53	0.88
26-Aug-18	5.7	3.6	2.1	1.60	1.03
2-Sep-18	6.3	3.7	2.0	1.64	1.00
6-Sep-18	7.2	3.7	1.8	1.64	0.92
7-Sep-18	5.3	3.4	1.9	1.53	0.96
19-Sep-18	5	3.2	1.8	1.45	0.92
29-Sep-18	5.7	3.6	2.1	1.60	1.03
Trial Peledakan					
19-Oct-18	5.5	3.3	1.9	1.49	0.96
22-Oct-18	5.1	3.2	1.8	1.45	0.92
23-Oct-18	6.3	3.6	1.9	1.60	0.96
Average	5.98	3.48	1.90	1.56	0.96



Gambar-2. Efek Peledakan Berdasarkan nilai SDOB

Gambar-2 menjelaskan konsep Scaled Depth of Burial (SD) pada kegiatan peledakan batuan dan hubungannya dengan respons energi ledakan. SD menunjukkan perbandingan antara kedalaman bahan peledak terhadap berat bahan peledak. Pada SD rendah, energi ledakan tidak terkontrol sehingga terjadi flyrock dan lontaran material. SD menengah menghasilkan fragmentasi optimal dan pelepasan energi yang efektif. Pada SD lebih besar, energi mulai terperangkap, menyebabkan retakan terbatas dan pemborosan energi. Pada SD sangat besar, tidak terjadi zona runtuh karena energi sepenuhnya terkungkung. Gambar ini menekankan pentingnya pengaturan kedalaman peledakan untuk efisiensi dan keselamatan. Berdasarkan Tabel-3, nilai SDOB ore *very controlled energy* dan waste *controlled energy* (Gambar-2).

Setelah mendapatkan data kordinat BVI kemudian menentukan besarnya *heave horizontal* (distance) dan *vertical* (request level). Adapun perhitungan *heave* BVI 1 pada tanggal 4 Agustus 2018, yaitu:

Discrepancy Northing dan *Easting*

$$Dx = Xb - Xa$$

$$= 212680.801 - 212680.077 = 0.724$$

$$Dy = Yb - Ya$$

$$= 9925850.077 - 9925849.714 = 0.363$$

Heave vertical (RL)

$$Dz = Zb - Za$$

$$= 16.879 - 15.564 = 1.315 \text{ m}$$

Heave horizontal (distance)

$$\text{HD} = \sqrt{0.363^2 + 0.724^2} \\ = 0.810 \text{ m}$$

Sudut Kuadran (Bearing)

$$\text{Dx} / \text{Dy} = 0.724 / 0.363 \\ = 1.994490359$$

$$\tan^{-1} (\text{Dx/Dy}) = 63.37^\circ (\text{kuadran 1})$$

$$\text{Azimuth} = 63.37^\circ$$

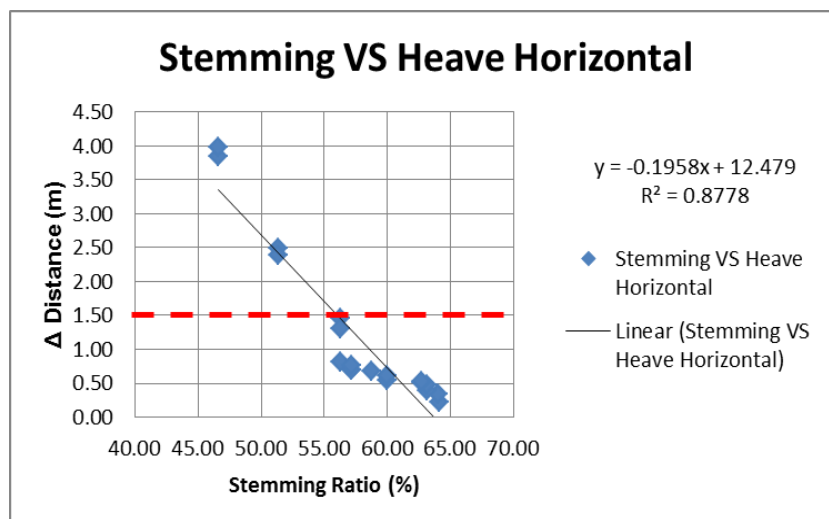
Dengan cara yang sama seperti perhitungan *heave* tanggal 4 Agustus 2018, diperoleh hasil pada Tabel-4.

Tabel-4. Hasil Perhitungan *Heave*

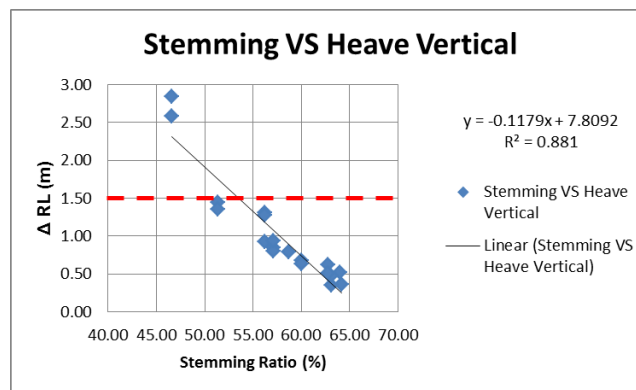
Data Of Blasting	Discrepancy			Kuadran	Dx/Dy	Sudut kuadran (Dx/Dy)	Kuadran to Azimuth	Distance (m)
	Northing	Easting	RL					
4-Aug-18	0.363	0.724	1.315	1	1.994	63.372	63.372	0.810
	-0.645	1.300	0.929	2	2.016	63.612	116.388	1.451
	-0.536	1.182	1.273	2	2.205	65.607	114.393	1.298
16-Aug-18	-1.154	3.661	2.847	2	3.172	72.504	107.496	3.839
	-3.124	2.460	2.589	2	0.787	38.219	141.781	3.976
26-Aug-18	not found							
2-Sep-18	-0.303	-0.613	0.791	3	2.023	63.697	243.697	0.684
	not found							
6-Sep-18	0.708	-2.394	1.440	4	3.381	73.525	286.475	2.496
	0.653	-2.294	1.351	4	3.513	74.111	285.889	2.385
7-Sep-18	-0.139	-0.182	0.357	3	1.309	52.630	232.630	0.229
19-Sep-18	not found							
	0.087	0.328	0.525	1	3.770	75.145	75.145	0.339
29-Sep-18	-0.075	0.385	0.351	2	5.133	78.977	101.023	0.392
	-0.118	0.464	0.480	2	3.932	75.732	104.268	0.479
TRIAL PELEDAKAN								
19-Oct-18	-0.183	-0.519	0.675	3	2.836	70.577	250.577	0.550
	-0.203	-0.583	0.634	3	2.872	70.802	250.802	0.617
22-Oct-18	-0.157	-0.483	0.622	3	3.076	71.993	251.993	0.508
	-0.150	-0.500	0.506	3	3.333	73.301	253.301	0.522
23-Oct-18	0.313	0.628	0.846	1	2.006	63.508	63.508	0.702
	0.315	0.614	0.805	1	1.949	62.841	62.841	0.690
	0.367	0.663	0.942	1	1.807	61.034	61.034	0.758

Efek Stemming Ratio terhadap *Heave Vertical* dan *Heave Horizontal*

Berdasarkan Gambar-3 dapat dilihat bahwa *heave* tertinggi (2.5 – 4.0 m) terdapat pada tinggi stemming 45% - 50% dan penurunan *heave* terjadi pada *stemming ratio* 55% - 60%. Semakin tinggi *stemming ratio* yang digunakan, maka *heave horizontal* (jarak) akan semakin kecil. Sehingga dapat dikatakan bahwa tinggi *stemming* mempengaruhi *heave horizontal*, dengan tingkat pengaruh 88.71% dan 11.29% dipengaruhi oleh faktor lain seperti *tie up*, kondisi batuan, kondisi air tanah. Namun dengan tingkat pengaruh 88.71% sudah cukup meyakinkan bahwa *stemming ratio* mempengaruhi *heave horizontal*.



Gambar -3. Pengaruh *Stemming Ratio* Terhadap *Heave Horizontal*



Gambar-4. Pengaruh *stemming ratio* Terhadap *Heave Vertical*

Berdasarkan Gambar-4 dapat dilihat bahwa *heave* tertinggi (1.3 – 2.8 m) terdapat pada *stemming ratio* 45% - 55% dan penurunan *heave* terjadi pada tinggi *stemming* 55% - 65%. Semakin tinggi *stemming ratio* yang digunakan, maka *heave vertical* akan menurun seperti yang terlihat pada grafik di atas. Sehingga dapat dikatakan bahwa tinggi *stemming ratio* mempengaruhi *heave vertical*, dengan tingkat pengaruh 87.89% dan 12.11% dipengaruhi oleh faktor lain. Sehingga dapat direkomendasikan tinggi *stemming* 57% - 65% dari kedalaman lubang.

Kesimpulan

Dari hasil penelitian pada peledakan di PT IMK, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut ini:

1. Monitoring *heave* dengan menggunakan *blasting vector indicator* (BVI) telah dilaksanakan dan datanya dapat digunakan untuk menganalisis *Heave*.
2. Menurut nilai SDOB, tinggi *stemming* pada peledakan *ore* termasuk kedalam kategori *very controlled energy* dan tinggi *stemming* pada peledakan *waste rock* termasuk kategori *controlled energy*.
3. Semakin tinggi *stemming ratio* maka *heave horizontal* dan *heave vertical* (RL) akan semakin kecil.
4. Rekomendasi tinggi *stemming* pada peledakan bijih emas minimal 57% dan maksimal 65% dari total kedalaman lubang ledak.

Saran

1. Sebaiknya BVI disesuaikan dengan *ore block*
2. Perlu dilakukan kajian dengan menggunakan *blast movement monitoring*

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada pembimbing lapangan Pak Rocky L. Simatupang serta rekan Drill and Blast PT Indo Muro Kencana.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Budiarto and Sudiyanto, Anto. 2003. "Diktat Ilmu Ukur Tambang" Universitas Pembangunan Nasional "Veteran". Yogyakarta.
- [2] Chiappetta, R. F. 2010. "*Combining Electronic Detonators With Stem Charges and Air Decks*". Blasting Analysis International, Inc. Drill and Blast Perth, Australia.
- [3] Hustrulid, W. 1999. "*Blasting Principles for Open Pit Mining Volume 1*". Colorado School of Mines, Golden, Colorado, USA.
- [4] Jimeno, C. L. and Emilio, L. J. 1995. "*Drilling and Blasting of Rocks*". A.A. Balkema, Rotterdam, Brookfield.
- [5] Koesnaryo. 2005. "*Teori Peledakan*". Diklat Pengelola Peledakan Bahan Galian, Bandung.
- [6] Konya, C. J. and Edward, J. W. 1990. "*Surface Blast Design*". Prentice Hall, Engle Wood Cliffs, New Jersey.
- [7] Kramadibrata, Suseno. 2000. *Teknik Pemboran dan Peledakan*. Pelatihan Pengawas Tambang PT Arutmin Indonesia. Senakin.
- [8] Nobel, Dyno. 2010. "*Blasting and Explosives Quick Reference Guide*". Service and Reference Guide. Asia Pacific.
- [9] Taylor, D. L. and Firth, I. R. 2003. "*Utilization of Blast Movement Measurements In Grade Control*". Applications of Computers and Operations Research in the Mineral Industries, South African Institute of Mining and Metallurgy.