

# PREDIKSI ZONA KERUSAKAN BATUAN SETELAH PELEDAKAN PADA BEBERAPA TAMBANG BATUBARA DI INDONESIA MENGGUNAKAN DATA SEISMIK REFRAKSI DAN GETARAN PELEDAKAN

## *Prediction of Rock Damage Zone After Blasting Process at Several Indonesia Coal Mines Using Seismic Refraction and Blasting Vibration Data*

ZULFAHMI

Puslitbang Teknologi Mineral dan Batubara  
Jalan Jenderal Sudirman 623, Bandung 40211  
Tlp. (022) 6030483, Fax. (022) 6003373  
e-mail: zulfahmi@tekmira.esdm.go.id

---

### SARI

Untuk mengevaluasi pengaruh peledakan terhadap zona kerusakan struktur batuan, telah dilakukan penelitian terhadap kondisi batuan di sekitar lokasi peledakan dengan pengukuran seismik refraksi dan getaran peledakan. Hipotesis awal adalah terdapat korelasi antara kecepatan rambat gelombang seismik, kerusakan struktur batuan dan jarak dari sumber peledakan. Tiga refraktor dengan kedalaman bervariasi telah dihasilkan dari pengukuran seismik ini. Refraktor tersebut berada kedalaman antara 0,15 - 2,1 meter, 2,2 – 3,5 meter dan 2,7 – 4,5 meter dari permukaan. Kecepatan rambat gelombang pada lapisan 3 menunjukkan nilai perambatan paling tinggi dibandingkan dengan lapisan yang lain. Kurva dari grafik kecepatan rambat gelombang sebelum dan sesudah peledakan cenderung berhimpitan. Hal ini berarti pada lapisan tersebut tidak terjadi kerusakan signifikan. Pada lapisan 1 dan 2 terjadi perbedaan kecepatan yang ditunjukkan dengan kurva yang berjauhan. Hal ini berarti terjadi perubahan struktur batuan. Lapisan 1 menunjukkan kurva sejajar ke arah menjauhi lokasi peledakan, sedangkan kurva pada lapisan 2 menunjukkan saling berpotongan atau saling mendekati. Dari perhitungan, diperoleh jarak minimum yang aman dari kerusakan adalah 35,65 meter (PT.KJA), 29,00 meter (PTBA), 39,09 meter (PT.BBE) dan 38,19 meter (PT. MSJ). Hasil korelasi antara jarak minimum yang aman dari kerusakan batuan dengan grafik kecepatan partikel puncak (PPV) diperoleh nilai PPV 17,20 mm/detik untuk PT. KJA, 18,41mm/detik (PTBA), 16,70 mm/detik (PT. BBE) dan 16,80 mm/detik (PT. MSJ). Berdasarkan data tersebut, dapat diketahui kondisi kerusakan batuan pada beberapa lokasi penambangan batubara di Indonesia berada sampai pada jarak antara 29,00 – 39,09 meter dengan nilai ambang PPV antara 16,70 – 18,41 mm/detik.

Kata Kunci: Seismik refraksi, getaran peledakan, kecepatan rambat gelombang, kerusakan akibat peledakan

### ABSTRACT

*A combination of refraction seismic and blast vibration of the rock around the blasting area have been measured study the effect of blasting on the zone of rock structure damage. The hypothesis for the study is that there is a correlation between seismic wave velocity, structure damage and the distance from the blasting source. Three refractors with varying depth were gained from this seismic measurement. Those are refractors with the depth between 0.15 – 2.1 meters from the surface, 2.2 – 3.5 meters and 2.7 – 4.5 meters. Refractor 3 (layer 3) showed the highest propagation wave velocity if compared to other layers. The graphic tended coincide. This means that no significant damage occurs. Layer 1 and 2 showed different velocities. It means that the rock structures of both layers have been changed. Layer 1 retained parallel*

curves away from the blast site. The second layer, performed intersection curves approaching each other. Based on the calculation, minimum safe distance is 35.65 (PT.KJA), 29.00 meters (PTBA), 39.09 meters (PT.BBE) and 38.19 meters (PT. MSJ). Correlation the minimum safe distance of peak particle velocity (PPV) gained the PPV values of 17.20 mm/sec for PT. KJA, 18.41 mm/sec (PTBA), 16.70 mm/sec (PT. BBE) and 16.80 mm/sec (PT MSJ). It can be seen that the rock damage due to blasting activity at some Indonesia coal mines occur at maximum distance of 29.00 - 39.09 meters from the blasting source. Its PPV value is approximately 16.70 - 18.41 mm/sec.

Keywords: Seismic refraction, blasting vibration, wave velocity, blast damage

## PENDAHULUAN

Penambangan batubara di Indonesia menunjukkan peningkatan. Konsekuensinya, frekuensi peledakan juga ikut meningkat karena umumnya pembongkaran menggunakan bahan peledak sebagai salah satu metode penggalian yang paling efektif saat ini. Pada kondisi ini penggalian menggunakan metode peledakan bertujuan untuk mengembangkan rekahan mikro (*microcracks*) atau mengembangkan retakan pada arah tertentu untuk membentuk fragmen batuan. Namun demikian, energi yang dilepaskan pada saat peledakan ketika ditransmisikan ke batuan umumnya sulit untuk dikontrol dan akan menyebabkan kerusakan batuan sekitar dalam bentuk rekahan mikro (Rathore dan Bhandary, 2007). Pernyataan ini juga ditegaskan oleh beberapa peneliti seperti Raina dkk. (2000), Dey (2004), Van Gool (2007) dan Saiang (2008) yang menilai bahwa pada umumnya di sekitar lokasi peledakan banyak mengalami perubahan mikrostruktur.

Pada waktu peledakan, tidak semua energi yang dihasilkan digunakan untuk membentuk fragmen batuan. Sebagian energi diteruskan pada massa batuan dalam bentuk energi gelombang seismik (Warneke dkk., 2007). Potensi kerusakan dalam bentuk mikro ini akan mengurangi kekuatan batuan dan menyulitkan operasional selanjutnya. Dampak signifikan yang timbul adalah potensi terjadinya kelongsoran lereng (Monjezi dkk., 2009) karena retakan-retakan yang ditemukan di sekitar lokasi peledakan merupakan salah satu indikasi telah melemahnya kekuatan batuan dalam bentuk perubahan struktur tersebut akan memunculkan kerusakan yang lebih parah akibat adanya faktor eksternal dengan terbentuknya retakan-retakan baru atau melebarnya retakan awal yang sudah ada. Beberapa kasus yang diungkapkan oleh para peneliti tersebut umumnya terjadi pada objek batuan keras, sedangkan kasus yang terjadi pada tambang batubara di Indonesia umumnya pada batuan lunak.

Penelitian kerusakan batuan akibat peledakan menggunakan beberapa metode telah dilakukan untuk membuktikan terjadinya perubahan yang sama pada jenis batuan di sekitar aktifitas peledakan di Indonesia. Salah satunya adalah metode seismik yang membandingkan perubahan cepat rambat gelombang pada batuan tersebut, sebelum dan setelah peledakan. Hipotesis sementara adalah terdapat korelasi antara kecepatan rambat gelombang seismik, kerusakan massa batuan dan jarak sumber peledakan. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui indikasi kerusakan batuan dengan melihat perubahan mikrostruktur batuan pada beberapa tambang batubara di Indonesia di antaranya adalah di PTBA, PT. Kideco Jaya Agung (KJA), PT. Mahakam Sumber Jaya (MSJ) dan PT. Bukit Baiduri Energi (BBE) dengan melakukan pengukuran seismik refraksi dan getaran peledakan.

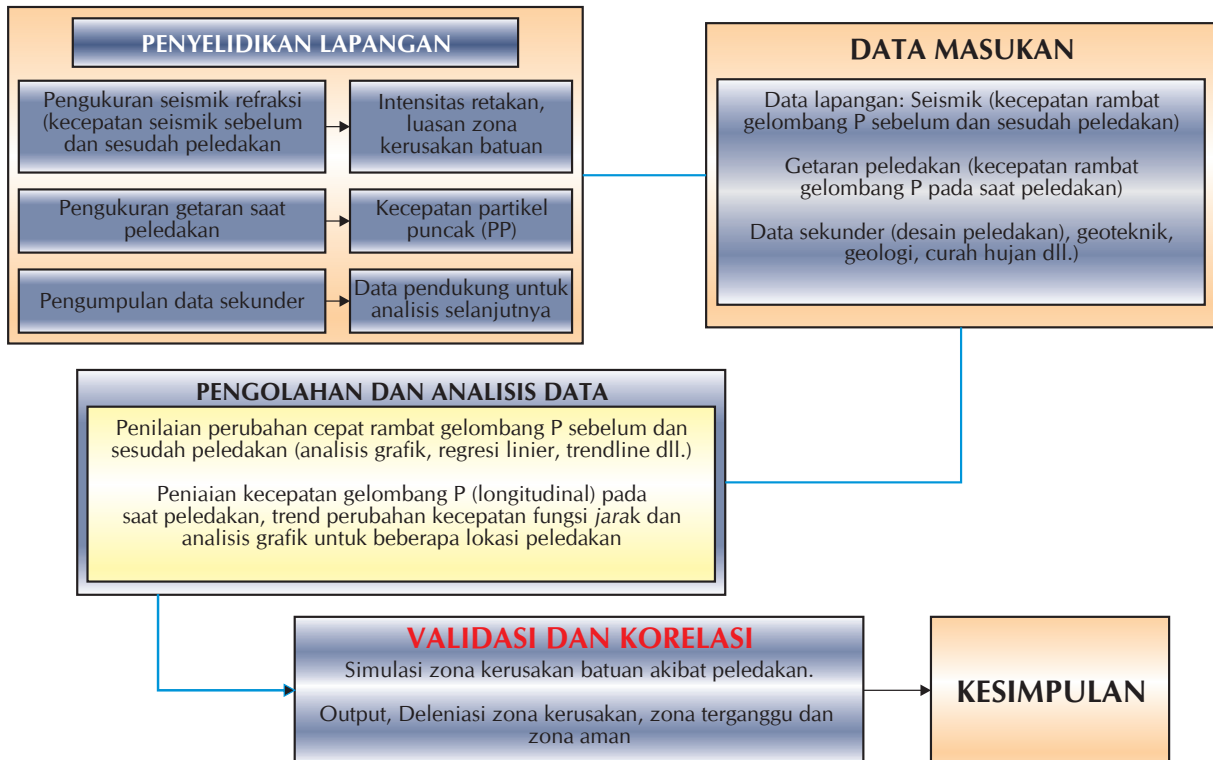
## METODOLOGI

Metodologi penelitian ini adalah pengambilan data primer dan sekunder. Data primer diperoleh dengan melakukan pengukuran getaran sebelum dan sesudah peledakan. Selain itu dilakukan pula pengukuran getaran pada saat peledakan. Data sekunder diperoleh dari beberapa informasi di antaranya dari data pengukuran yang telah dilakukan perusahaan, *text book*, jurnal-jurnal dan internet. Radius perubahan mikrostruktur batuan dari titik peledakan diperoleh dari hasil validasi dan komparasi. Metodologi dalam penelitian ini secara lengkap diilustrasikan pada Gambar 1.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Zona Kerusakan Akibat Peledakan

Zona kerusakan batuan menurut Martino (2003) dalam Saiang (2008) diklasifikasikan ke dalam dua komponen utama, yaitu zona terganggu dan rusak.



Gambar 1. Metodologi penelitian

Pada zona yang pertama hanya tegangan saja yang berubah; sedangkan pada yang kedua, sifat mekanik, hidrolis dan fisik massa batuan mengalami perubahan yang bersifat permanen (*irreversible*). Zona rusak selanjutnya dibagi lagi menjadi zona dalam (*inner zone*) dan luar (*outer zone*). Zona dalam ditandai oleh perubahan yang tajam dari sifat-sifat mekanik dan hidrolis, sedangkan zona luar ditandai oleh perubahan bertahap dari sifat-sifat tersebut di atas.

Chun-ruikkk. (2009) menyatakan bahwa karakteristik batuan yang rusak memiliki perubahan signifikan yang seiring dengan perubahan jarak ke sumber peledakan dan karakteristik batuan tersebut. Kerusakan batuan dibagi menjadi zona hancur, retak dan elastis. Radius zona hancur ditentukan oleh densitas batuan, kecepatan gelombang pada batuan, radius rongga (*cavity radius*) yang terbentuk setelah batuan dan kuat tekan uniaksial batuan. Besarnya radius rongga ditentukan oleh rata-rata tekanan peledakan (*average explosive pressure*), kekuatan batuan pada kondisi tekanan berbagai arah dan radius lubang ledak. Nilai tekanan peledakan ditentukan oleh densitas batuan dan kecepatan

detonasi, sedangkan kekuatan batuan pada tekanan berbagai arah dapat ditentukan dari nilai kuat tekan uniaksial, densitas batuan dan kecepatan rambat gelombang pada batuan.

### Penjalaran Gelombang dan Cepat Rambat Gelombang

Jika material padat mendapat tumbukan secara tiba-tiba, sejumlah gelombang akan terbentuk pada titik tumbuk dan menjalar secara sferis ke arah luar dengan amplitudo yang terus berkurang. Kecepatan penjalaran gelombang ini sangat dipengaruhi oleh karakteristik material. Gelombang longitudinal atau primer (P) mempunyai cepat rambat yang paling besar dibandingkan dengan gelombang lainnya (transversal dan permukaan). Besarnya kecepatan tersebut merupakan fungsi karakteristik material (Saiaang, 2008). Cepat rambat gelombang permukaan (*surface wave*), terdiri atas gelombang *rayleigh* yang merambat pada permukaan bebas dan *love* yang merambat pada lapisan permukaan. Menurut Burchell (1987), selama merambat gelombang seismik mengalami kehilangan energi dan pengurangan amplitudo. Gejala ini disebut

dengan pelemahan gelombang (*wave attenuation*). Kehilangan ini terjadi karena redaman pada material yang berkaitan dengan kondisi material yang tidak elastis (*inelasticity*), tidak kontinu (*discontinuities*) dan penyebaran secara geometris.

### Sifat dan Perilaku Batuan

Sifat dan perilaku batuan ketika diberi beban dinamik telah banyak diteliti oleh ahli geomekanika seperti Liang dkk. (2009), Li dkk. (2009), Dai dan Xia (2009), Aydan dan Kumsar (2009), Ohta dan Aydan (2009) dan Ferrero dkk. (2010) yang telah melakukan pengujian langsung di areal tambang maupun tak langsung dengan permodelan di laboratorium, namun kombinasi pengukuran seismik refraksi dan getaran peledakan pada batuan lunak serta korelasi terhadap keduanya belum ada yang melakukannya di Indonesia. Sifat batuan sangat memengaruhi perilaku gelombang yang merambat pada material tersebut. Secara empirik parameter yang penting untuk menentukan kekuatan massa batuan adalah modulus deformasi ( $E_m$ ), Mohr-Coulomb, gesekan ( $\phi$ ) dan kohesi ( $c$ ). Modulus deformasi massa batuan dapat diturunkan menggunakan sistem klasifikasi umum seperti  $Q$ , *Rock Mass Rating* (RMR) dan *Geological Strength Index* (GSI). Menurut Saiang (2004), parameter Mohr-Coulomb untuk massa batuan tidak dapat dengan mudah diperoleh dengan menggunakan sistem klasifikasi sebab parameter ini tergantung kepada faktor-faktor lain seperti *confining stress* yang tidak diakomodasi dalam sistem klasifikasi. Data yang dibutuhkan untuk memperkirakan modulus deformasi ( $E_m$ ) menurut Hoek dan Brown (1997) dan Hoek dkk. (2002) adalah kuat tekan batuan *intact* ( $\sigma_{ci}$ ), *rating*

GSI atau RMR dan konstanta Hoek-Brown ( $m_i$ ).

### Pengukuran Seismik

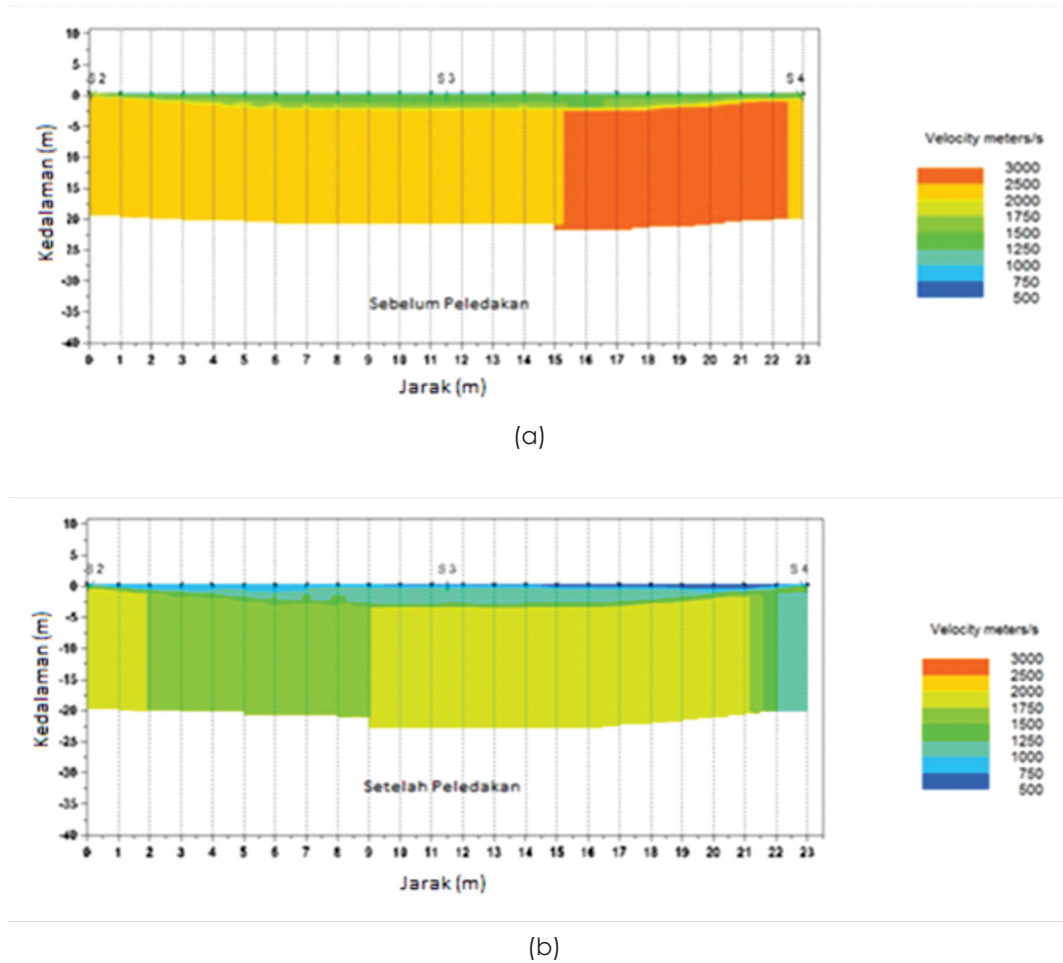
Pengukuran seismik refraksi menggunakan PASI Geophysical Instrument dan dilakukan untuk melihat intensitas perubahan waktu perjalanan (*travel times*) gelombang P (*compressional wave*) pada titik-titik yang diketahui sepanjang permukaan tanah yang berasal dari sumber energi impulsif. Sumber energi ini menggunakan getaran yang bersumber dari benda yang dijatuhkan seberat 25 kilogram pada jarak sekitar 2,5 meter dengan pola sentakan. Aktifitas pengukuran seismik refraksi dapat dilihat pada Gambar 2. Proses pengukuran dilakukan sebelum dan sesudah peledakan. Tabel 1 dan 2 menggambarkan kondisi lapisan batuan yang direkam. Gambar 3 menunjukkan gambaran kecepatan rambat gelombang pada salah satu lokasi pengukuran sebelum dan sesudah peledakan.

### Pengukuran Getaran Peledakan

Pengambilan data getaran peledakan dilakukan menggunakan dua jenis peralatan, yaitu *single vibration monitor* buatan InstanTel, Kanada dan DMT Summit M Vipa buatan DMT GmbH & Co. KG, Jerman. Data getaran peledakan diperoleh juga dari *seismoblast* dengan sistem *multivibration monitor* buatan Puslitbang Teknologi Mineral dan Batubara (*tekMIRA*). Jarak pengukuran untuk *single vibration monitor* bervariasi. Namun umumnya dilakukan pada jarak lebih dari 300 meter dari sumber peledakan. Pengukuran dengan *multivibration monitor* dilakukan pada jarak 50, 75, 100 dan 125 meter dari sumber peledakan. Gambar 4 menunjukkan



Gambar 2. Aktifitas pengukuran seismik refraksi



Gambar 3. Kecepatan rambat gelombang sebelum peledakan (a) dan setelah peledakan (b)

Tabel 1. Data pengukuran kecepatan gelombang seismik di salah satu lokasi pengukuran sebelum dan sesudah peledakan

No. GP	Sebelum Peledakan						Setelah Peledakan					
	Tebal Lapisan		Bed	Kecepatan Glb, (m/detik)			Tebal Lapisan		Bed	Kecepatan Glb, (m/detik)		
	Lap. 1	Lap. 2	Rock	v1	v2	v3	Lap. 1	Lap. 2	Rock	v1	v2	v3
1	0,2	-	-	769	1554	-	0,10	-	-	588	1356	-
2	0,2	3,0	3,2	816	1552	2061	0,10	2,7	2,80	653	1366	2010
3	0,2	3,0	3,2	863	1551	2051	0,11	2,8	2,91	718	1376	1980
4	0,2	3,2	3,4	910	1549	2000	0,12	2,8	2,92	783	1387	1999
5	0,2	3,2	3,4	958	1548	2020	0,13	2,6	2,73	848	1397	2030
6	0,2	3,1	3,3	1005	1547	2072	0,14	2,7	2,84	913	1408	2020
7	0,2	3,1	3,3	1052	1545	2061	0,15	2,7	2,85	979	1418	1999
8	0,2	2,2	2,4	1099	1544	2100	0,16	2,8	2,96	1044	1429	1980
9	0,2	2,3	2,5	1147	1543	2100	0,17	2,9	3,07	1109	1439	1990
10	0,2	2,6	2,8	1194	1541	1980	0,18	2,2	2,38	1174	1450	2300
11	0,2	2,6	2,8	1241	1540	1990	0,19	2,2	2,39	1239	1460	2250
12	0,2	2,6	2,8	1289	1539	2030	0,20	2,7	2,90	1305	1471	1970



Tabel 1. Lanjutan ...

No. GP	Sebelum Peledakan						Setelah Peledakan					
	Tebal Lapisan		Bed	Kecepatan Glb, (m/detik)			Tebal Lapisan		Bed	Kecepatan Glb, (m/detik)		
	Lap. 1	Lap. 2	Rock	v1	v2	v3	Lap. 1	Lap. 2	Rock	v1	v2	v3
13	0,20	2,7	2,90	1289	1539	1980	0,20	2,6	2,80	1305	1471	1999
14	0,25	2,6	2,85	1301	1539	2000	0,19	2,6	2,79	1250	1471	1990
15	0,30	2,5	2,80	1313	1539	2061	0,18	2,6	2,78	1195	1471	1960
16	0,36	2,0	2,36	1326	1539	2105	0,17	2,3	2,47	1141	1471	2400
17	0,41	2,2	2,61	1338	1539	2055	0,16	2,3	2,46	1086	1471	2350
18	0,47	3,0	3,47	1351	1539	2061	0,15	3,4	3,55	1031	1471	1990
19	0,52	3,1	3,62	1363	1539	2000	0,14	3,5	3,64	977	1471	1970
20	0,58	3,0	3,58	1376	1539	2061	0,13	3,5	3,63	922	1471	1960
21	0,63	3,0	3,63	1388	1539	2030	0,12	3,5	3,62	867	1471	1970
22	0,69	3,1	3,79	1401	1539	2010	0,11	3,4	3,51	813	1471	2010
23	0,74	2,9	3,64	1413	1539	2094	0,10	3,3	3,40	758	1471	2040
24	0,80	-	-	1426	1539	-	0,10	-	-	704	1471	-

GP = Geophone  
 Jarak Antar Geophone 1,0 meter ,  
 V1 = Kecepatan rambat lap , Atas (1),  
 V2 = Kecepatan rambat lap , Tengah (2), dan  
 V3 = Kecepatan rambat lapisan dasar

aktivitas pengukuran getaran peledakan. Sedangkan Tabel 2 memperlihatkan data hasil pengukuran yang terdiri atas nilai *peak particle velocity* (PPV) dan *peak vector sum* (PVS).

**Analisis Data**

Pengukuran yang telah dilakukan menggunakan dua cara yaitu sejajar dan melintang dari baris akhir lobang peledakan dan jarak antar geofon 1,0 meter dengan jarak *shoot point* terjauh 24 meter. Hasilnya diperoleh 3 refraktor dengan kedalaman bervariasi. Refraktor pertama berada pada kedalaman 0,15 sampai 2,1 meter dari permukaan. Refraktor kedua berada pada kedalaman 2,2 sampai 3,5 meter dan refraktor ketiga berada pada kedalaman 2,7 sampai 4,5 meter (Gambar 5). Mengingat areal pengukuran di lokasi penambangan sangat terbatas, kedalaman refraktor tidak mencapai batas yang diinginkan yaitu minimal sama dengan tinggi lereng tambang (*single bench*). Angka-angka yang ditampilkan dari hasil pengukuran menunjukkan nilai signifikan, sesuai dengan hasil hipotesis awal kajian ini.

Dari hasil pengukuran di beberapa lokasi berbeda diperoleh tingkat kecepatan rambat gelombang yang cenderung mengikuti pola sama pada saat sebelum dan setelah peledakan. Gambar 6 menunjukkan

grafik perbedaan kecepatan rambat gelombang di beberapa lokasi pengukuran untuk masing-masing lapisan sebelum dan sesudah peledakan pada beberapa lokasi pengukuran.

Menurut Saiang (2008), terjadinya kerusakan batuan akibat peledakan ditandai oleh berubahnya struktur mikro sehingga kecepatan rambat gelombang akan mengalami penurunan. Beberapa pengukuran menunjukkan penurunan kecepatan rambat gelombang. Hasil pengukuran pada lapisan refraktor 3 menunjukkan kecepatan rambat gelombang yang tinggi dibandingkan dengan dua lapisan refraktor yang lain namun kurva kecepatan cenderung berhimpitan. Hal ini berarti bahwa lapisan tersebut cukup kompak dan tidak terjadi kerusakan signifikan. Pada lapisan refraktor 1 dan 2, kecepatan rambat gelombang setelah peledakan lebih lambat dibandingkan sebelum peledakan. Pada lapisan refraktor 1 kurva mempunyai kecenderungan sejajar di sepanjang jalur pengukuran. Hal ini berarti sepanjang jalur pengukuran mengalami kerusakan. Kurva kecepatan rambat gelombang pada lapisan refraktor 2 cenderung mendekati titik tertentu. Hal ini berarti bahwa sampai di titik tersebut batuan mengalami kerusakan, sedangkan selebihnya tidak terjadi kerusakan. Penilaian batas kerusakan yang terjadi akibat peledakan digunakan data lapisan

Tabel 2. Data pengukuran cepat rambat gelombang

No	Lokasi	Jarak dari Sumber (meter)	Nilai <i>Peak Particle Velocity</i> -PPV (mm/detik)			
			MVM	BM1	BM2	BM3
1	PTBA-1	50	15,30			
		75	11,60			
		100	8,54			
		150	4,35			
		175		3,67		
2	PTBA-2	200			3,21	
		50	14,30			
		75	12,34			
		100	8,23			
		150	4,04			
		175	2,06	3,89		
		250				2,34
3	KJA	75		11,80		
		100			7,34	
		150				6,35
		175	3,05			
		200	3,76			
		225	1,68			
		250	1,47			
4	BBE	100			8,36	
		150				5,46
		175	3,18			
		200	2,93			
		225	2,74			
		250	1,88			
5	MSJ	75	10,90			
		100	7,84			
		150	5,55			
		175	3,12			
		200		3,04		
		250			2,90	

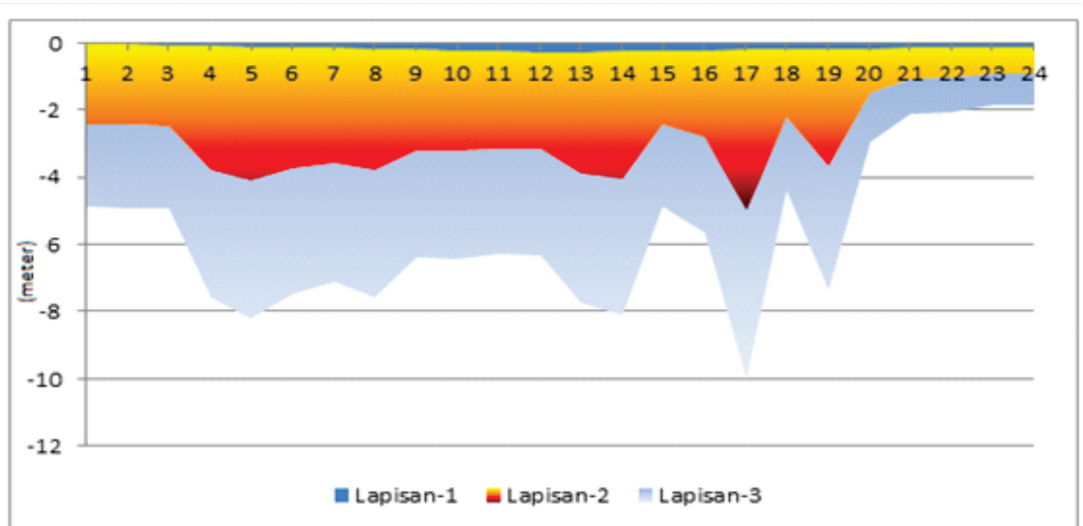
refraktor 2 karena lapisan refraktor 2 lebih tebal dari refraktor 1 seperti dilihat pada Tabel 1. Gambar 7 menunjukkan nilai-nilai persamaan garis perubahan kecepatan rambat gelombang P untuk lapisan refraktor 2 pada masing-masing lokasi penelitian.

Dari persamaan tersebut, dapat diketahui bahwa jarak minimum lapisan batuan yang aman dari kerusakan struktur akibat peledakan pada masing-

masing lokasi adalah nilai  $x$  pada masing-masing persamaan tersebut dikalikan jarak geofon sebenarnya yaitu 1,0 meter dan ditambah jarak geofon terdekat dengan baris terakhir dari lobang peledakan yaitu 5 meter. Dari hasil perhitungan, diperoleh jarak minimum batuan yang aman dari kerusakan batuan untuk masing-masing lokasi penelitian yaitu 35,65 (PT.KJA), 29,00 (PTBA), 39,09 (PT.BBE) dan 38,19 meter (PT. MSJ).



Gambar 4. Aktifitas pengukuran getaran peledakan



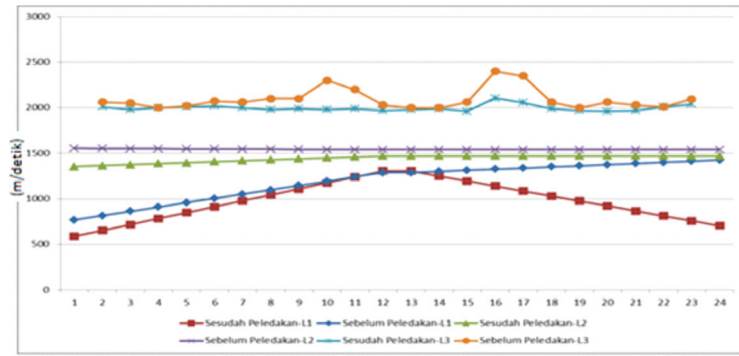
Gambar 5. Hasil interpretasi ketebalan lapisan batuan di salah satu lokasi penelitian

### Korelasi Data Seismik dan Getaran Peledakan

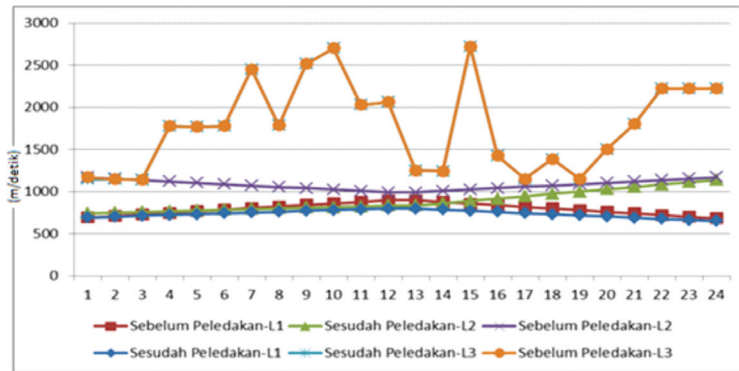
Pengukuran getaran peledakan dilakukan untuk mengetahui hubungan antara kecepatan rambat gelombang peledakan dengan jumlah bahan peledak, sehingga akan diketahui jumlah bahan peledak yang diizinkan. Analisis yang digunakan adalah bentuk regresi dengan menghubungkan antara *log peak particle velocity* dengan *log square root scaling (scale distance)*, sehingga diperoleh gambaran grafik regresi linier. Dengan mengore-

lasikan nilai kecepatan rambat gelombang yang berasal dari pengukuran seismik dapat diketahui tingkat perubahan cepat rambat gelombang sebelum dan sesudah peledakan menggunakan sumber getaran berasal dari getaran yang dibuat dengan menjatuhkan beban pada jarak tertentu. Dari data getaran peledakan ini dapat diketahui kecepatan rambat gelombang pada saat peledakan dan sumber getarannya berasal dari peledakan itu sendiri. Variasi kecepatan rambat gelombang dapat dilihat pada Gambar 8.

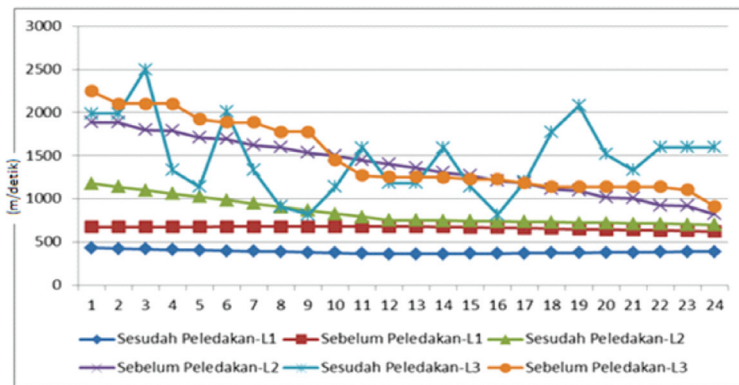




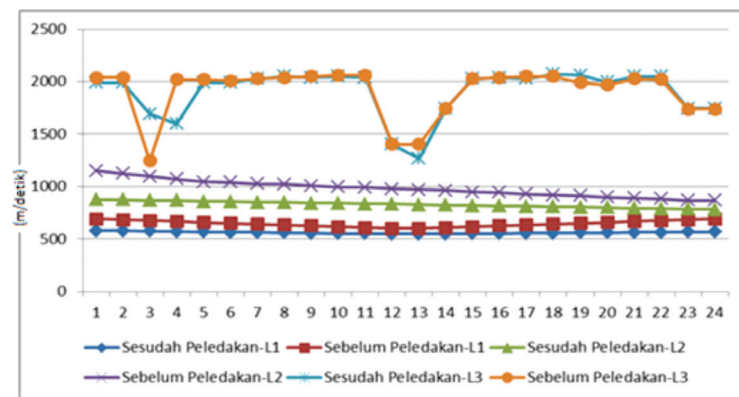
(a)



(b)

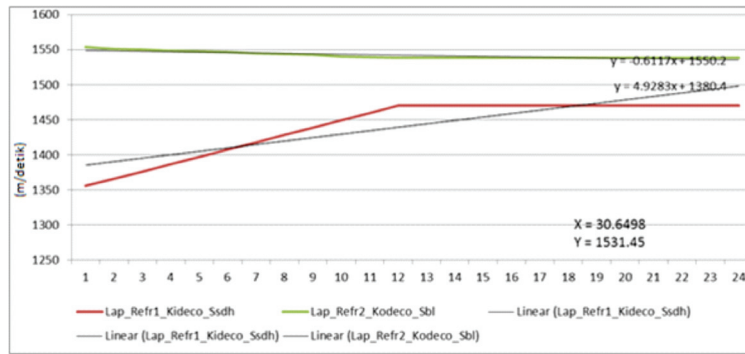


(c)

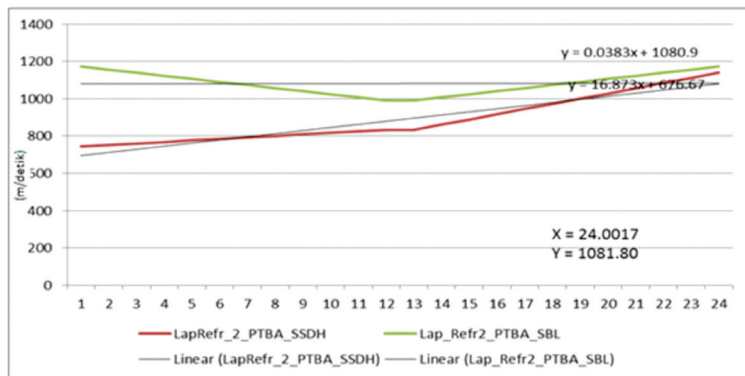


(d)

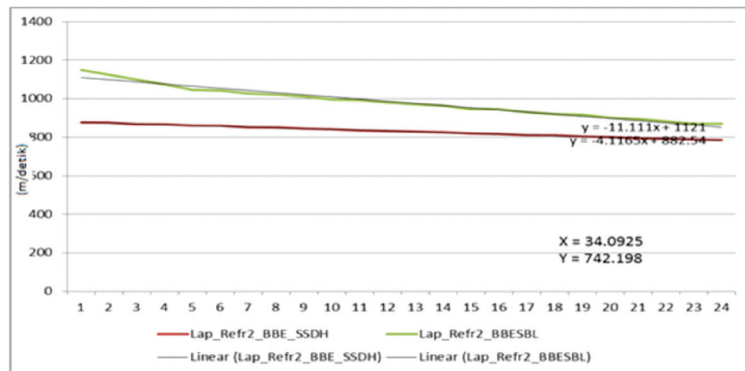
Gambar 6. Kondisi kecepatan rambat gelombang sebelum dan sesudah peledakan di salah satu lokasi PT. KJA (a), PTBA (b), PT. MSJ (c) dan PT. BBE (d)



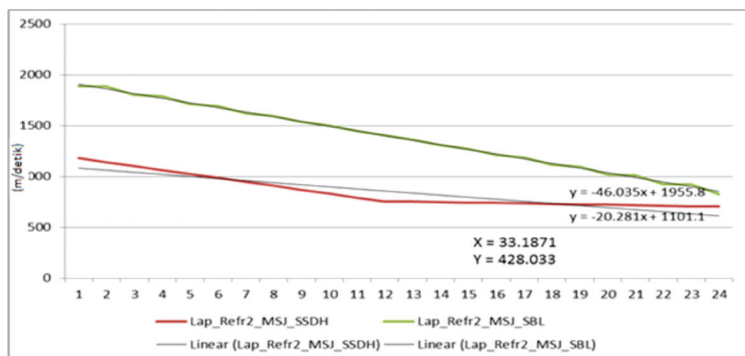
(a)



(b)

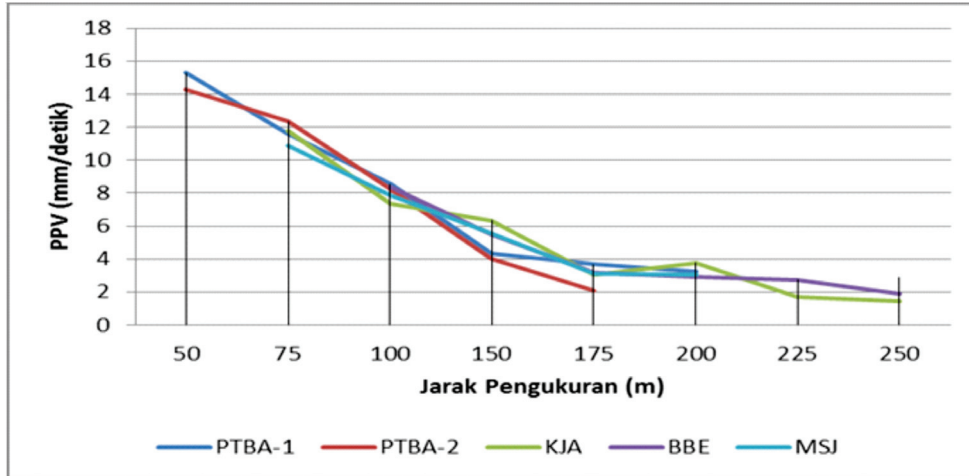


(c)



(d)

Gambar 7. Nilai persamaan garis perubahan kecepatan rambat gelombang P untuk lapisan refraktor 2 di lokasi PT. KJA (a), PT.BA (b), PT.BBE (c) dan PT.MSJ (d)



Gambar 8. Kondisi kecepatan rambat gelombang pada saat peledakan pada jarak tertentu di beberapa lokasi penambangan

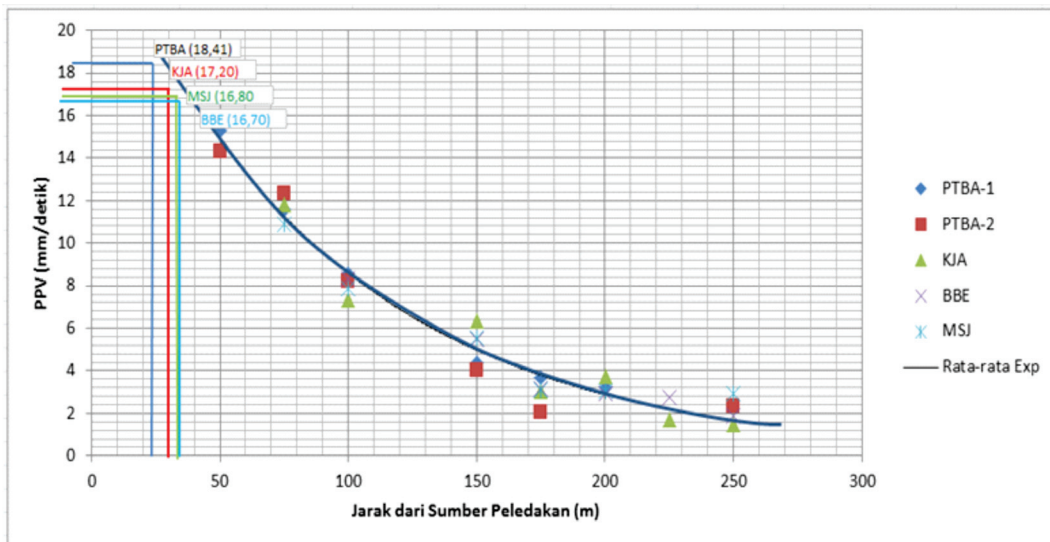
Data pada Gambar 8 dikorelasikan dengan nilai hasil perhitungan jarak minimum batuan yang aman dari kerusakan batuan pada masing-masing lokasi penelitian, diperoleh nilai PPV yang menyebabkan terjadinya kerusakan batuan (Gambar 9) yaitu 17,20 (PT. KJA), 18,41 (PT. BBA), 16,70 (PT. BBE) dan 16,80 mm/detik (PT. MSJ).

Berdasarkan data tersebut, dapat diketahui bahwa kondisi kerusakan batuan di beberapa lokasi penambangan batubara di Indonesia berada pada jarak maksimum antara 29,00 -39,09 meter dengan nilai PPV 16,70 -18,41 mm/detik.

### KESIMPULAN

Pengukuran sesimik refraksi yang menggunakan jarak antar geofon 1,0 meter dengan jarak shoot point terjauh 24 meter memperoleh 3 refraktor dengan kedalaman yang bervariasi. Refraktor pertama berada pada kedalaman 0,15 sampai 2,1 meter dari permukaan. Refraktor kedua berada pada kedalaman 2,2 sampai 3,5 meter dan refraktor ketiga berada pada kedalaman 2,7 sampai 4,5 meter.

Pengukuran di beberapa lokasi berbeda memperoleh tingkat kecepatan peledakan yang cenderung



Gambar 9. Grafik korelasi nilai seismik dan getaran peledakan

mengikuti pola yang sama pada saat sebelum dan setelah peledakan. Umumnya kecepatan rambat gelombang lapisan refraktor 3 menunjukkan nilai kecepatan perambatan tinggi dibandingkan dengan lapisan refraktor 1 dan 2. Grafiknya cenderung berhimpitan. Hal ini berarti bahwa pada lapisan refraktor 3 tidak terjadi perubahan struktur batuan yang signifikan, sedangkan pada lapisan refraktor 1 dan 2 terjadi perbedaan kecepatan yang signifikan sepanjang jalur geofon yang tegak lurus dengan baris terakhir lobang peledakan.

Lapisan refraktor 1 mempunyai kurva cenderung sejajar ke arah menjauhi lokasi peledakan, sedangkan lapisan refraktor 2 mempunyai kurva yang cenderung berpotongan atau saling mendekati. Dari perhitungan diperoleh jarak minimum batuan yang aman dari kerusakan untuk masing-masing lokasi penelitian, yaitu 35,65 (PT.KJA), 29,0 (PTBA), 39,09 (PT.BBE) dan 38,19 meter (PT. MSJ).

Korelasi antara nilai perhitungan jarak minimum batuan yang aman dari kerusakan batuan dengan grafik kecepatan rambat gelombang peledakan menghasilkan nilai PPV yang menyebabkan terjadinya kerusakan batuan yaitu 17,20 (PT. KJA), 18,41 (PTBA), 16,70 (PT. BBE) dan 16,80 mm/detik (PT. MSJ). Berdasarkan data tersebut, dapat diketahui bahwa kondisi kerusakan batuan pada beberapa lokasi penambangan batubara di Indonesia berada pada jarak antara 29,00 – 39,09 meter dengan nilai PPV berkisar antara 16,70 – 18,41 mm/detik.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada General Manager UPTe PTBA Tanjung Enim beserta staff, KTT PT. KJA beserta staff dan Sdr. Binsar Marpaung, Pimpinan PT. MSJ, Pimpinan PT. BBE dan Sdr. Humaidi yang telah memberikan bantuan dan kemudahan selama melakukan penelitian ini. Selain itu teman-teman kelompok penelitian, Sdr. Gunawan, Eko Pujiyanto, Zulkifli Pulungan, Deden Agus Ahmid dan beberapa personil lainnya yang telah membantu penelitian ini hingga selesai.

## DAFTAR PUSTAKA

Aydan, O. dan Kumsar, H., 2009. An experimental and theoretical approach on the modeling of sliding response of rock wedges under dynamic loading, *Rock Mechanics*. Rock Engineering, hal. 35 – 47.

Burchell, J.H., 1987. Explosive and rock blasting, Atlas Powder Company, *Field Technical Operation*, Dallas, Texas U.S.A, hal. 375 - 406.

Chun-rui, Li., Kang Li-jun, Qi Qing-xing, Mao De-bing, Liu Quan-ming dan Xu Ganga, 2009. The numerical analysis of borehole blasting and application in coal mine roof-weaken, *Procedia Earth and Planetary Science*, hal. 451–459, Elsevier.

Dai, F. and K. Xia. 2009. Tensile strength anisotropy of Barre Granite. In *RockEng09: 3rd Canada-US rock mechanics symposium*, Toronto - Canada, 9 – 15 May 2009, eds. C.S. Diederichs and Grasselli, hal. 231-232.

Dey, K., 2004. Investigation of blast-induced rock damage and development of predictive models in horizontal drivages. Unpublished Ph. D. thesis in Indian School of Mines. Dhanbad. Hal. 45-103.

Ferrero, A.M., M. Migliazza, G. Tebaldi, 2010. Development of a new experimental apparatus for the study of the mechanical behaviour of rock discontinuity under monotonic and cyclic loads, *Rock Mechanics*. Rock Engineering, hal. 685–695

Hoek, E. dan E.T. Brown, 1997. Practical estimates of rock mass strength. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, hal. 1165-1186.

Hoek, E., C. Carranza Toress, dan B. Corkum, 2002. Hoek Brown failure criterion – 2002 edition, *Proc. 5th. North American Rock Mechanics Symposium and 17th Tunneling Association of Canada Conference*, University of Toronto, hal. 267- 271.

Li, J., Ma, G. dan Huang, X., 2009. Analysis of wave propagation through a filled rock joint, *Rock Mechanics*. Rock Engineering, hal. 24 - 35.

Monjezi, M., M. Rezaei, A. Yazdian, 2009. Prediction of backbreak in open-pit blasting using fuzzy set theory, *Expert Systems with Applications*, hal. 2637–2643, Elsevier Ltd.

Ohta, Y. dan Aydan, O., 2009. The dynamic responses of geo-materials during fracturing and slippage, *Rock Mechanics*. Rock Engineering, hal. 727–740.

Raina, A.K., A.K. Chakraborty, M. Ramulu, dan J.L. Jethwa, 2000. Rock mass damage from underground blasting, a literature review, and lab and full scale tests to estimate crack depth by ultrasonic method. *Fragblast International Journal for Blasting and Fragmentation*, hal. 103- 125.

Rathore, S.S., S. Bhandary, 2007. Controlled fracture growth by blasting while protecting damages to remaining rock, *Rock Mechanics*. Rock Engineering, hal. 63 - 67.

- Saiang, D., 2004. Damaged rock zone around excavation boundaries and its interaction with shotcrete, *Licentiate Thesis*, Luleå University of Technology, hal. 121.
- Saiang, D., 2008a. Damage rock zone study - A progress report, *Technical Report*, Lulea University of Technology, Department of Civil, Mining and Environmental Engineering, division of rock mechanics.
- Saiang, D., 2008b. Damaged rock zone around excavation boundaries, *A progress report to Banverket*, Division of Rock Mechanics & Rock Engineering, Luleå University of Technology.
- Sato, T., T. Kikuchi, dan K. Sugihara, 2000. In situ experiments on an excavation disturbed zone induced by mechanical excavation in Neogene sedimentary rock at Tono mine, central Japan. *Engineering Geology*, hal. 97-108.
- Van Gool, B.S., 2007. Effect of blasting on the stability of paste fill stopes at Cannington mine, *Dissertation Thesis for the degree of Doctor of Philosophy in the School of Engineering*, James Cook University, hal. 65 – 86.
- Warneke, J., J.G. Dwyer, dan T. Orr, 2007. Use of a 3D scanning laser to quantify drift geometry and over-break due to blast damage in underground manned entries. In: E. Eberhardt, D. Stead and T. Morrison (Editors), *Rock Mechanics: Meeting Society's Challenges and Demands*. Taylor & Francis Group, London, Vancouver, Canada, hal. 93-100.