

ANALISIS KERUSAKAN BATUAN AKIBAT PELEDAKAN DAN PENGARUHNYA TERHADAP STABILITAS MENARA SUTET DI KABUPATEN KUTAI KARTANEGARA, KALIMANTAN TIMUR

Analysis of Blast-Induced Rock Damage and Its Influence on Extra High Voltage Tower Stability at Kutai Kartanegara Regency, East Kalimantan

ZULFAHMI

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

SARI

Pada salah satu lokasi penambangan batubara terbuka di Desa Loa Ulung, Kecamatan Tenggarong Seberang, Kutai Kartanegara, Kalimantan Timur, terdapat konstruksi menara saluran udara tegangan ekstra tinggi (SUTET) dengan kekuatan 500 kV yang letaknya hampir mendekati lereng tambang tempat aktivitas penambangan berlangsung. Menara SUTET ini sangat penting untuk menyalurkan energi listrik dari pusat-pusat pembangkit menuju pusat-pusat beban di sekitar Kabupaten Kutai Kartanegara. Jarak terpendek antara lokasi peledakan dan menara SUTET tersebut adalah 69 m terhadap Menara-1 dan 148 m terhadap Menara-2. Permasalahan yang perlu diwaspadai adalah kemungkinan terganggunya konstruksi pondasi bangunan menara akibat adanya aktivitas peledakan sehingga perlu kajian untuk menganalisis jarak minimum peledakan terhadap posisi menara listrik tersebut. Hasil analisis pengukuran dengan mengambil garis regresi 95% diperoleh persamaan hubungan antara kecepatan partikel puncak atau Peak Particle Velocity (PPV) dengan Square Root Scaled Distance yaitu $PPV = 276 SD^{-1.19}$. Bila mengacu pada SNI 7571:2010, bangunan pondasi menara SUTET PLN tersebut termasuk ke dalam kelas 5 dan nilai PPV maksimum yang diizinkan adalah 40 mm/det. Hasil pengukuran dengan menggunakan alat BlastMate III, terdapat kejadian peledakan yang melebihi ambang batas, yaitu peledakan yang terletak pada lokasi koordinat $S0^{\circ}22.408$, $E117^{\circ}0.543$ yang jaraknya hanya 69 meter dari lokasi menara dengan nilai PPV 59,3 mm/det. Hasil simulasi dengan menggunakan metode matematis Holmberg-Persson dengan bantuan perangkat lunak MatLab versi 2010, jarak aman untuk muatan bahan peledak sebesar 1200 kg per-waktu tunda harus lebih besar dari 176 meter.

Kata Kunci : menara SUTET, getaran peledakan, kecepatan partikel puncak, stabilitas menara

ABSTRACT

One of the open pit coal mine at Loa Ulung village, subdistrict of Tenggarong Seberang, district of Kutai Kartanegara-East Kalimantan, there is an extra high voltage tower (SUTET) of 500 kV close to the slopes of mine where the mining activities are taking place. The SUTET tower is a vital construction to deliver electricity from the centers of power to the load centers around Kutai Kartanegara regency. The shortest distances between the blasting location and the SUTET tower are 69 m to Tower-1 and 148 m to Tower-2. The problems that need to be aware are the possibility of the structure construction disrupt the tower foundations due to the mine blasting activities. To determine the effect of blasting vibration on the construction disrupt structure of electrical tower in the vicinity of blasting location, analysis of the minimum distance between blasting point and the position of the electric tower building has been studied. The results of measurement analysis by taking a 95% regression line equation reveal that the relationship between Peak Particle

Velocity (PPV) and Square Root Scaled Distance is $PPV = 276 SD^{-1.19}$. Referring to the ISO 7571:2010, the structure foundations of the SUTET tower building are included on class 5, therefore the maximum of PPV allowed is 40 mm / sec. The results of measurement using BlastMate III devices, there are blasting events that exceed the threshold of SNI 7571:2010, that are the blastings located on the coordinate location of $S0^{\circ}22.408'$, $E117^{\circ}0.543'$. The distance of this location is only 69 meters from the tower with the PPV value of 59,3 mm/s. Simulation results using a mathematical of Holmberg-Persson method by means of the MatLab software version 2010, suggest that a safe distance for a total charge explosive of 1,200 kg per delay time must be greater than 176 meters.

Key Word : SUTET tower, blast vibration, peak particle velocity, tower stability

PENDAHULUAN

Penggunaan bahan peledak sebagai salah satu metode untuk membongkar batuan pada aktivitas penambangan batubara di Indonesia semakin meningkat. Hal ini dapat dilihat dari data Direktorat Jenderal Mineral dan Batubara, pada tahun 2006 penggunaan amonium nitrat sebagai salah satu bahan kimia untuk bahan peledak ANFO hanya 312.115 ton, namun pada tahun 2010 melonjak hingga mencapai 457.310 ton dan diperkirakan pada tahun 2012 akan mencapai 550.000 ton.

Permasalahan yang sering muncul terkait dengan penggunaan bahan peledak untuk operasional penambangan ini adalah kerusakan batuan yang tidak diinginkan di luar parimeter peledakan akibat proses peledakan yang tidak terkontrol. Kerusakan tersebut dapat berupa terbentuknya retakan-retakan baru, penutupan dan pembukaan retakan awal yang sudah ada (*pre-existing fracture*) dan re-distribusi tegangan (Saiang, 2008). Retakan-retakan setelah peledakan yang ditemukan di sekitar lokasi peledakan merupakan salah satu indikasi telah terjadinya kerusakan batuan. Apabila retakan-retakan tersebut berada di sekitar lereng tambang atau pada bangunan konstruksi, maka akan beresiko terjadinya ketidak-stabilan lereng tambang atau rusaknya bangunan tersebut.

Salah satu lokasi penambangan batubara terbuka di Desa Loa Ulung, Kecamatan Tenggarong Seberang terdapat konstruksi menara saluran udara tegangan ekstra tinggi (SUTET) dengan kekuatan 500 kV yang letaknya hampir mendekati lereng tambang. Menara SUTET ini sangat vital untuk menyalurkan energi listrik dari pusat-pusat pembangkit menuju pusat-pusat beban di sekitar Kabupaten Kutai Kartanegara. Jarak terpendek antara lokasi peledakan dengan tower SUTET tersebut pada saat penelitian ini adalah 69 m terhadap Menara-1 dan 148 m terhadap Menara-2.

Permasalahan yang perlu diwaspadai adalah kemungkinan terganggunya konstruksi pondasi bangunan menara akibat adanya aktivitas peledakan. Untuk mengetahui pengaruh getaran peledakan pada aktivitas penambangan terhadap konstruksi bangunan menara listrik di sekitar lokasi peledakan, telah dilakukan kajian untuk menganalisis jarak minimum peledakan terhadap posisi bangunan menara listrik tersebut.

Penelitian mengenai kerusakan batuan akibat peledakan telah banyak dibahas oleh para peneliti sebelumnya, di antaranya adalah Dey (2004) yang menyatakan bahwa nilai ambang PPV bervariasi antara 700 - 1300 mm/det pada tambang bijih (*metaliferrous*) di India. Simangunsong, dkk. (2004) melakukan penelitian di batuan lemah (*mudstone*) di PT. KPC dan menurut mereka grafik yang paling cocok untuk menggambarkan nilai PPV menggunakan *cube root scaling* (skala akar pangkat tiga). Waldron (2006) membahas *respon residual crack* (retak sisa) pada getaran peledakan. Warneke, dkk. (2007) mendefinisikan kerusakan batuan akibat peledakan adalah sebagai kerusakan yang tidak disengaja dan melemahnya massa batuan di sekitar lokasi peledakan. Van Gool (2007) mengembangkan model untuk memprediksi respon dinamik dari pasta isian tambang (*paste fill*) terhadap beban ledakan menggunakan paket perangkat lunak komersial yang tersedia berbasis elemen hingga mengukur respon ledakan pada isian tambang dan verifikasi model komputer yang dikembangkan dengan menggunakan pengukuran langsung, serta mengestimasi kerusakan akibat peledakan menggunakan perkiraan respon untuk beberapa skenario yang berbeda serta menilai stabilitas isian tambang dari lombong (*open stope*) selama dan setelah peledakan. Monjezi & Dehghani (2008) mengkolerasikan pola parameter peledakan terhadap pecah belakang pada proses peledakan dengan model jaringan saraf tiruan. Monjezi, dkk. (2009) menggunakan teori rangkaian *fuzzi* untuk memprediksi pecah belakang pada operasi peledakan. Lusk, dkk.

(2010) membahas persoalan respon akustik dari struktur batuan terhadap tingkat kenyamanan pada perumahan di dekat penambangan batubara. Liu (2010) memodelkan pecahnya material dan deformasi akibat peledakan di laboratorium. Umumnya para peneliti tersebut menggunakan metode empiris sebagai upaya untuk mengetahui kondisi kerusakan yang terjadi. Salah satu metode yang sangat populer untuk menilai kerusakan batuan adalah Kecepatan Partikel Puncak atau *Peak Particle Velocity* (PPV). Pada penelitian ini, untuk mengetahui kerusakan batuan dan pengaruh peledakan terhadap kestabilan konstruksi bangunan menara SUTET di sekitar lokasi penambangan batubara, telah dilakukan pengukuran getaran peledakan dan permodelan kerusakan batuan berdasarkan pada perhitungan PPV. Tujuan penelitian adalah melakukan analisis kerusakan batuan akibat peledakan dan pengaruhnya terhadap kondisi kestabilan struktur bangunan menara listrik SUTET yang berada tidak jauh dari lokasi penyelidikan.

Penyelidikan getaran peledakan telah dilakukan di lapangan dan permodelan matematis untuk menilai kerusakan batuan dilakukan di studio dengan ruang lingkup penelitian sebagai berikut :

- Studi literatur dan inventarisasi data struktur geologi, parameter geomekanika lereng tambang, pola pemboran dan desain peledakan.
- Pengukuran getaran peledakan di sekitar lereng tambang yang berdekatan dengan menara SUTET.
- Pengolahan data dan analisis getaran serta permodelan kerusakan batuan di sekitar lokasi peledakan.

METODOLOGI

Pengambilan data getaran peledakan dan data sebelumnya serta data pendukung dilakukan secara primer dan sekunder. Data primer dilakukan dengan pengamatan secara visual di lapangan dan pengukuran. Data sekunder diambil dari perusahaan berupa data pengukuran getaran peledakan sebelumnya, parameter dan rancangan peledakan serta data sifat fisik dan mekanik batuan. Analisis dan perhitungan dilakukan dengan menggunakan metode PPV dan permodelan matematis untuk mengetahui besarnya kerusakan batuan. Radius kerusakan batuan dan prediksi jarak aman diperoleh dari hasil validasi dan komparasi. Metodologi dalam penelitian ini secara lengkap dapat diilustrasikan dalam bagan alir pada Gambar 1.

Standar Getaran Terhadap Kemantapan Lubang Buka

Untuk mencari hubungan antara getaran peledakan dengan kemantapan lubang bukaan telah banyak dilakukan penelitian dan dari sejumlah penelitian tersebut dapat disimpulkan bahwa kecepatan partikel dianggap merupakan ukuran terbaik dalam menilai kemungkinan terjadinya gangguan kemantapan lubang bukaan. Sebelum penelitian yang dilakukan oleh Singh (2002), pada umumnya acuan standar getaran peledakan hanya berdasarkan pada kecepatan partikel puncak (*Peak Particle Velocity*).

Selanjutnya Singh menambahkan unsur kekuatan massa batuan sebagai parameter yang menentukan dalam menilai ambang batas getaran peledakan yang dapat menimbulkan kerusakan batuan seperti terlihat pada Gambar 2.

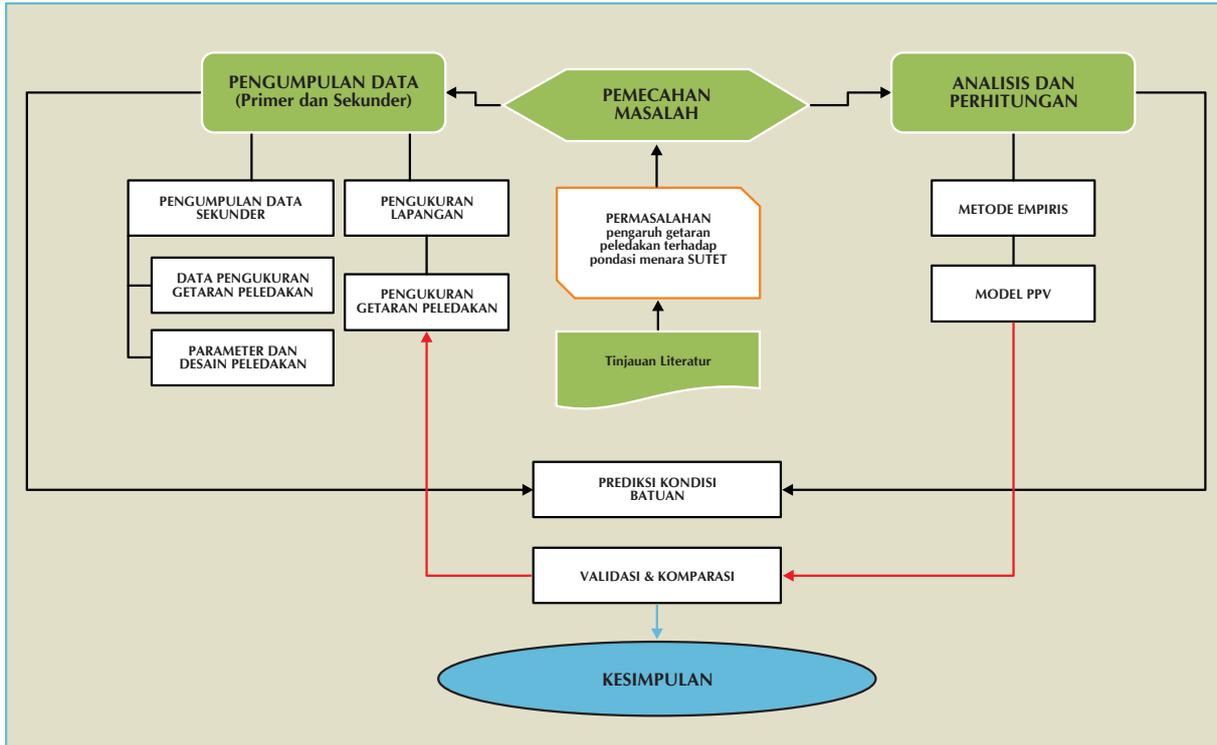
Penilaian Kerusakan Batuan

Kerusakan batuan menurut para peneliti geomekanika ada hubungannya dengan getaran tanah dan para peneliti tersebut mengeluarkan batasan tingkat ambang kecepatan partikel puncak (PPV) untuk derajat kerusakan batuan yang berbeda (Arora & Dey, 2010). Namun demikian, estimasi tingkat PPV tersebut tetap berasal dari ekstrapolasi pengamatan jarak jauh atau menggunakan model jarak dekat (*near-field model*) yang dikembangkan oleh Holmberg-Persson (1979). Pengukuran PPV secara langsung pada jarak dekat dengan menggunakan seismograf sulit dilakukan dan berisiko rusaknya peralatan. Dengan demikian, penggunaan model jarak dekat Holmberg-Persson sangat populer untuk memperkirakan tingkat kecepatan partikel puncak. Bentuk umum dari persamaan tersebut adalah:

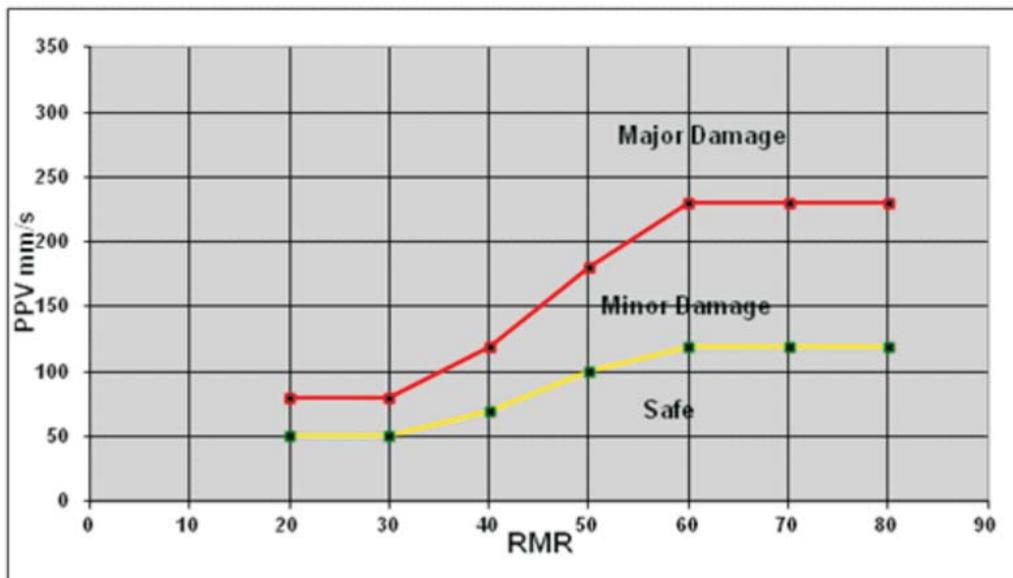
$$KP = K \times M^\alpha / R^\beta \dots\dots\dots (1)$$

- KP = kecepatan partikel,
- K, α , β = konstanta empiris yang ditentukan dari pemantauan jarak jauh,
- M = muatan bahan peledak per waktu tunda (kg), dan
- R = jarak radial dari pusat ledakan ke titik pengamatan (m).

Asumsi dasar dalam persamaan ini adalah muatan bahan peledakan dianggap sebagai suatu titik, tanpa mempertimbangkan panjang kolom peledakan. Namun untuk memperkirakan tingkat kecepatan partikel



Gambar 1. Bagan alir penelitian



Gambar 2. Grafik kriteria nilai kerusakan batuan (Singh, 2002)

(KP) pada jarak dekat, perlu memasukkan panjang kolom peledakan. Holmberg dan Persson (1979) telah mengembangkan model matematis dan telah mendapatkan nilai pendekatan hubungan KP yang dihasilkan dengan mengintegrasikan persamaan

umum tersebut dan diperoleh persamaan:

$$KP = K, \left[M^\alpha \int_0^h \frac{dx}{\{R_0^2 + (z-x)^2\}^{\frac{\beta}{2\alpha}}} \right]^\alpha \dots \dots \dots (2)$$

- KP = kecepatan partikel puncak,
- K, α , β = konstanta empiris yang ditentukan dari pemantauan jarak jauh,
- M = konsentrasi muatan bahan peledak linear (kg/m),
- h = total panjang muatan bahan peledak pada lobang ledak (m),
- X = posisi elemen muatan bahan peledak dari dasar lobang ledak (m), dan
- R0 and Z = jarak seperti yang ditunjukkan dari Gambar 3.

Persamaan matematika di atas dapat diselesaikan dengan menganggap $2\alpha = \beta$ sehingga resultan KP diperoleh dari persamaan berikut :

$$KP = K \left(\frac{q}{R_0} \right)^\alpha \left[\tan^{-1} \frac{z}{R_0} - \tan^{-1} \frac{z-h}{R_0} \right]^\alpha \dots\dots\dots (3)$$

Model matematis dikembangkan berdasarkan asumsi bahwa KP yang disebabkan oleh semua unsur muatan bahan peledak ($q \times dx$) dari kolom peledakan bergerak secara simultan dan dapat dihitung secara aljabar dengan persamaan :

$$\partial KP = KM^\alpha \frac{dx^\alpha}{\left\{ \sqrt{R_0^2 + (z-x)^2} \right\}^\alpha} \dots\dots\dots (4)$$

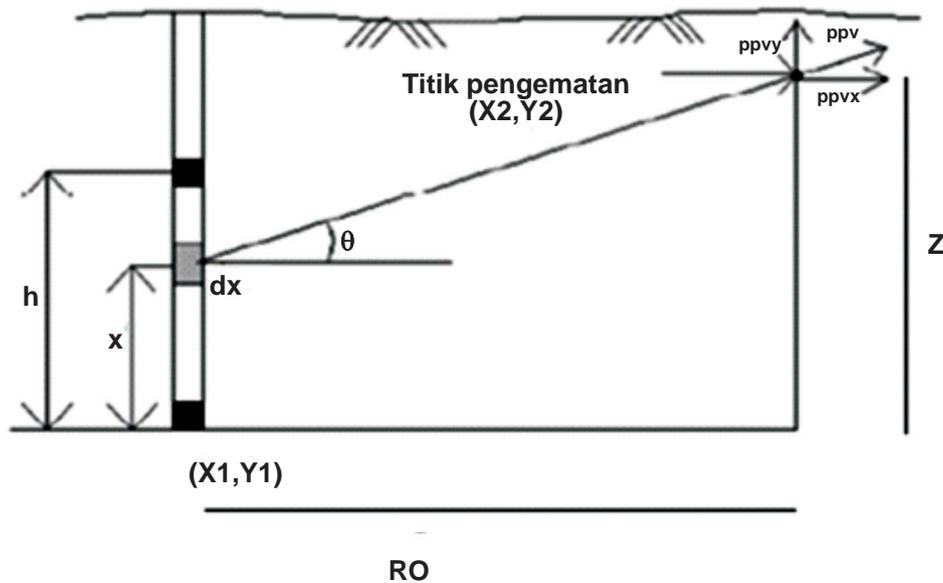
dan resultan KP menjadi :

$$KP = KM^\alpha \left[\sum_x^h = 0 \left\{ \frac{dx}{\left\{ \sqrt{R_0^2 + (z-x)^2} \right\}^{\frac{\beta}{2\alpha}}} \right\}^\alpha \right] \dots\dots\dots (5)$$

- δKP = elemen PPV,
- KP = total PP,
- K, α , β = konstanta empiris yang ditentukan dari pemantauan jarak jauh
- R0 = jarak horizontal antara sumbu lobang bor dan titik pengamatan (m),
- Z = jarak vertikal antara dasar lobang bor dan titik pengamatan (m),
- M = konsentrasi muatan bahan peledak linear (kg/m), (kg/m),
- h = total panjang muatan bahan peledak pada lobang ledak (m), dan
- x = posisi elemen muatan bahan peledak dari dasar lobang ledak (m).

Model yang dikembangkan ini selanjutnya diperluas. Pada model yang diperluas ini jumlah aljabar dari unsur PPV dipisahkan dan dianggap vector. Dengan demikian unsur PPV pada arah 'x' diperoleh dari :

$$\delta ppv_x = KM^\alpha \frac{dy^\alpha}{\left\{ \sqrt{R_0^2 + (z-x)^2} \right\}^\beta} \cos \theta \dots\dots\dots (6)$$



Gambar 3. Pendekatan persamaan Holmberg-Persson untuk menghitung PPV pada pengukuran jarak dekat

dan elemen PPV pada arah 'y' diperoleh dari :

$$\delta ppv_y = KM^\alpha \frac{dy^\alpha}{\left\{ \sqrt{R_0^2 + (z-y)^2} \right\}^\beta} \sin \theta \dots\dots\dots (7)$$

Sehingga resultan PPV pada arah 'x' menjadi :

$$ppv_x = KM^\alpha \left[\sum_y^h = 0 \left\{ \frac{dy}{\left\{ \sqrt{R_0^2 + (z-x)^2} \right\}^{\frac{\beta}{2\alpha}}} \right\} \cos \theta \right]^\alpha \dots\dots\dots (8)$$

$$ppv_y = KM^\alpha \left[\sum_y^h = 0 \left\{ \frac{dy}{\left\{ \sqrt{R_0^2 + (z-y)^2} \right\}^{\frac{\beta}{2\alpha}}} \right\} \sin \theta \right]^\alpha \dots\dots\dots (9)$$

dimana:

$$\cos \theta = \frac{R_0}{\sqrt{R_0^2 + (z-x)^2}} \quad \text{dan} \quad \sin \theta = \frac{z-y}{\sqrt{R_0^2 + (z-x)^2}}$$

dan menurut Arora & Dey (2010), jumlah vector dari resultan PPV tersebut dimenjadi:

$$ppv = [(ppv_x)^2 + (ppv_y)^2]^{0.5} \dots\dots\dots (10)$$

KONDISI UMUM

Terdapatnya endapan batubara di Kalimantan Timur dan Selatan erat hubungannya dengan cekungan-cekungan purba yang sekarang merupakan daerah perbukitan. Cekungan tersebut merupakan pinggir dari geosinklin atau *foreland shelf*. Dari utara ke selatan cekungan-cekungan tersebut secara berurut dinamakan Cekungan Tarakan, Kutai, Pasir dan Barito.

Secara geologi, daerah tambang batubara di Desa Loa Ulung terletak pada Cekungan Kutai yang ditempati oleh batuan-batuan sedimen Tersier. Secara ringkas daerah tambang batubara ini ditempati oleh Formasi Balikpapan yang berumur Miosen Tengah, terdiri dari satuan batuan batupasir, batu lempung lanauan dan serpih dengan sisipan napal, batugamping dan batubara dan satuan batuan yang terdiri dari batulempung pasiran, batupasir kuarsa, batulanau, sisipan batubara, napal, batugamping dan batubara muda.

Struktur Geologi

Struktur geologi regional yang berkembang di daerah pendataan adalah struktur lipatan yang termasuk ke dalam antiklin Tenggarong yang menerus ke arah Timur Laut. Sedangkan ke arah Barat Daya struktur antiklin dan sinklin terdapat pada batuan Formasi Balikpapan dan Formasi Pulau Balang, masing-masing sayap tidak simetris.

Lokasi tambang termasuk dalam Cekungan Kutai dan terletak pada bagian struktur sinklin dengan pusat sumbu sinklin terletak di tengah lokasi tambang, memanjang ke arah Barat Daya – Timur Laut. Pada struktur sinklin umumnya mempunyai kemiringan relatif datar dan struktur geologinya relatif stabil. Hal ini sangat berbeda dengan kondisi struktur antiklin, dengan kondisi struktur geologinya lebih kompleks. Hal ini akan menyulitkan dalam kegiatan penambangan. Kemiringan batuan pada daerah ini relatif sederhana sehingga tidak menyulitkan dalam melakukan penambangan baik secara tambang terbuka maupun tambang bawah tanah. Lapisan pembawa batubara berbentuk sinklin mempunyai kemiringan kurang dari 5° dan sumbu sinklin tersebut mempunyai arah N 30° E. Batas bagian barat dari batubara tersebut terpotong oleh Sungai Mahakam.

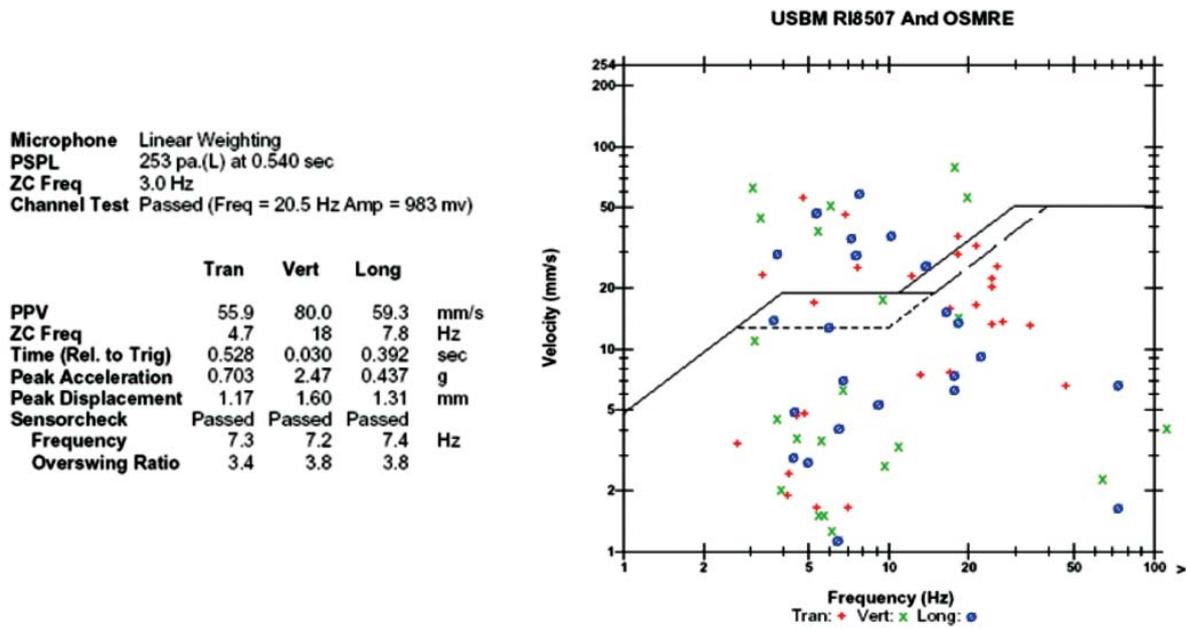
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengukuran Getaran Peledakan

Pengukuran getaran peledakan dilakukan dengan menggunakan Blasmate III, buatan InstanTEL. Contoh nilai pengukuran dan grafik hasil pengukuran dapat dilihat pada Gambar 4 dan resume hasil pengukuran dapat dilihat pada Tabel 1.

Berdasarkan data pada Tabel 1, jarak horizontal terpendek antara lokasi peledakan dengan menara SUTET yaitu 69 m. Berdasarkan data dan kondisi di lapangan serta untuk mengetahui apakah kondisi tersebut aman bila terjadi peledakan (Gambar 5), maka perlu dilakukan analisis pengaruh peledakan terhadap kondisi kestabilan pondasi menara SUTET.

Berdasarkan data pengukuran seperti terlihat pada Tabel 1, nilai PPV yang tertinggi terjadi pada saat peledakan di posisi S 0° 22,408 - E 117° 0,543 den-



Gambar 4. Nilai dan grafik hasil pengukuran getaran peledakan

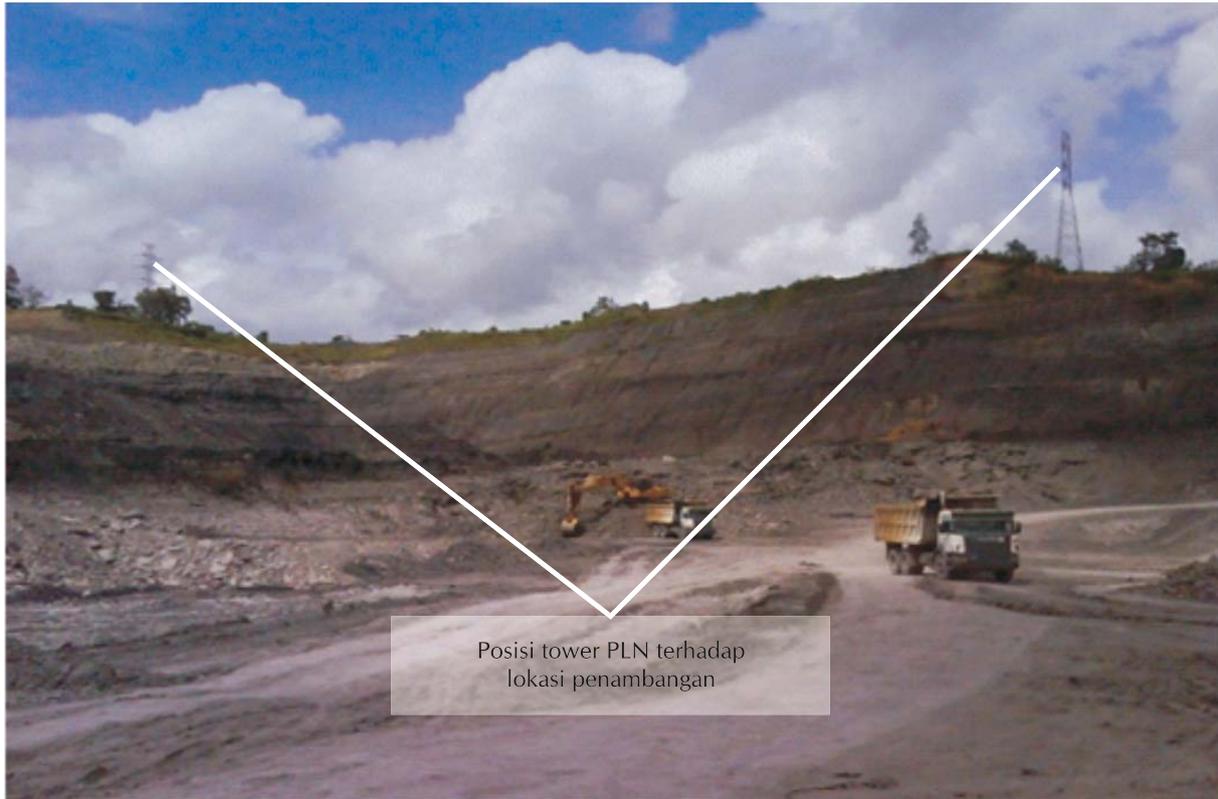
Tabel 1. Hasil pengamatan peledakan pada lokasi penambangan

Lokasi Peledakan	Jarak (meter)			Muatan BP/waktu tunda (Kg)	Hasil Pengukuran								
	Posisi Alat	Menara timur	Menara Barat		PPV (mm/det)			PA (g)			PD (mm)		
					Trans	Vert	Long	Trans	Vert	Long	Trans	Vert	Long
S 0° 22,408 E 117° 0,543	58	69	148	1200	55,9	80,0	59,3	0,70	2,47	0,44	1,17	1,60	1,31
S 0° 22,459 E 117° 0,667	183	290	336	1200	29,8	37,7	29,8	0,11	0,05	0,57	1,04	1,37	0,85
S 0° 22,425 E 117° 0,525	242	102	188	825	3,94	3,94	13,2	0,04	0,16	0,20	0,10	0,11	0,02
S 0° 22,518 E 117° 0,607	102	300	369	730	15,9	17,9	39,6	0,12	1,25	0,21	0,43	0,43	0,71
S 0° 22,484 E 117° 0,465	102	241	310	730	22,1	22,5	37,3	0,15	0,24	0,24	0,35	0,56	0,85

Keterangan : BP = Bahan peledak, PA = Peak acceleration, PD = Peak displacement

gan nilai PPV 55,9 mm/det (transversal), 80,0 mm/det (vertikal) dan 59,3 mm/det (longitudinal) yang berjarak sekitar 69 meter dari lokasi peledakan. Nilai PPV yang umum digunakan untuk mengetahui kerusakan adalah gelombang longitudinal, sehingga nilai PPV yang digunakan dalam perhitungan ini adalah 55,9 mm/det. Pada penelitian ini ada dua

analisis yang saling berkaitan, yaitu analisis regresi dan analisis pengaruh peledakan dengan permodelan matematis. Pada analisis regresi akan diketahui linieritas atau persamaan yang akan digunakan untuk mengetahui besarnya jumlah bahan peledak yang aman terhadap jarak tertentu.



Gambar 5. Kondisi lereng akhir tambang dan posisinya dengan menara PLN

Analisis Regresi

Analisis dilakukan dengan menghubungkan log *Peak Particle Velocity* dengan log *Square Root Scaling (Scale Distance)*, sehingga diperoleh gambaran grafik regresi linier yang hasilnya seperti terlihat pada Gambar 6.

Dari grafik tersebut dengan tingkat kepercayaan 95% diperoleh persamaan regresi linier yaitu $PPV = 276 SD^{-1,19}$. Dari persamaan ini, rekomendasi muatan bahan peledak terhadap jarak untuk mendapatkan nilai PPV sebesar 5 mm/det dapat dilihat pada Gambar 7.

Analisis Pengaruh Getaran Peledakan dengan Permodelan Matematis

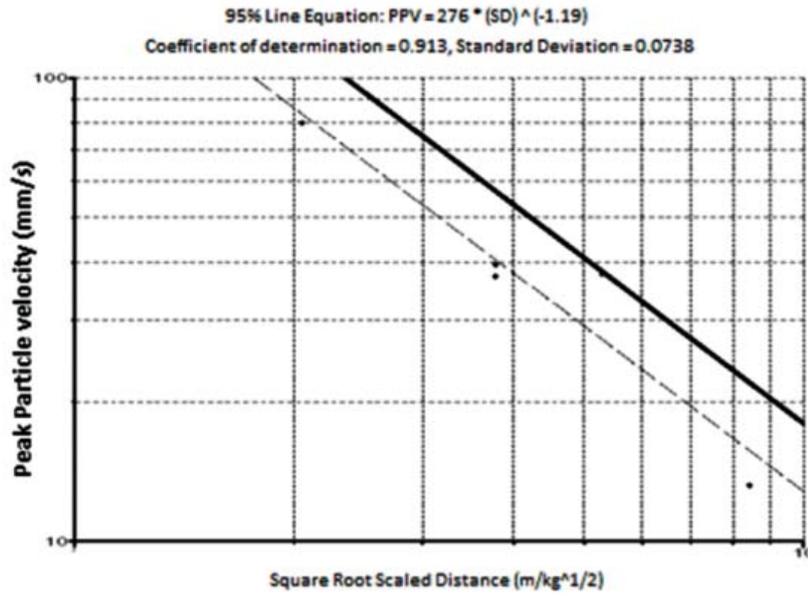
Pada analisis ini, nilai regresi dianggap seperti yang ditampilkan pada Gambar 6 mewakili batas parameter peledakan. Jumlah muatan bahan peledak per waktu tunda dianggap jumlah maksimum bahan peledak pada jarak terpendek. Parameter lobang ledak seperti diameter, kedalaman dan tinggi isian muatan bahan peledak dianggap sama dengan perencanaan peledakan yang disiapkan

oleh perusahaan. Nilai *scale distance (SD)* dianggap sama dengan nilai jarak dibagi akar muatan bahan peledak ($R/M^{0,5}$), R = jarak (m) dan M = muatan bahan peledak (kg), sehingga:

$$KP = PPV = 276(SD)^{-1,19}$$

Dari persamaan ini diperoleh nilai $K = 276$, nilai $\beta = 1,19$ dan $\alpha = \beta/2 = 0,595$. Berdasarkan data yang diperoleh dari lokasi penelitian, maka nilai parameter yang diperlukan untuk memodelkan pengaruh peledakan tersebut terhadap konstruksi pondasi bangunan SUTET diperlihatkan pada Tabel 2.

Berdasarkan penelitian Arora dan Dey (2010), penggunaan persamaan (10) lebih akurat bila dibandingkan dengan persamaan (3) dan (5), karena menggabungkan arah gelombang dan secara teoritis dua gelombang pada arah berlawanan efek getarannya akan saling menetralkan. Berdasarkan acuan tersebut, simulasi dilakukan dengan menggunakan persamaan (10). Model perhitungan dilakukan dengan bantuan perangkat lunak MATLAB versi 2010. Kode program yang ditulis memungkinkan untuk memasukkan variasi nilai-nilai R , Z , K , α , β , q , h dengan jumlah iterasi yang optimum.



Gambar 6. Grafik hubungan PPV dengan *scaled distance*



Gambar 7. Jumlah bahan peledak per waktu tunda vs. jarak (PPV = 5 mm/s)

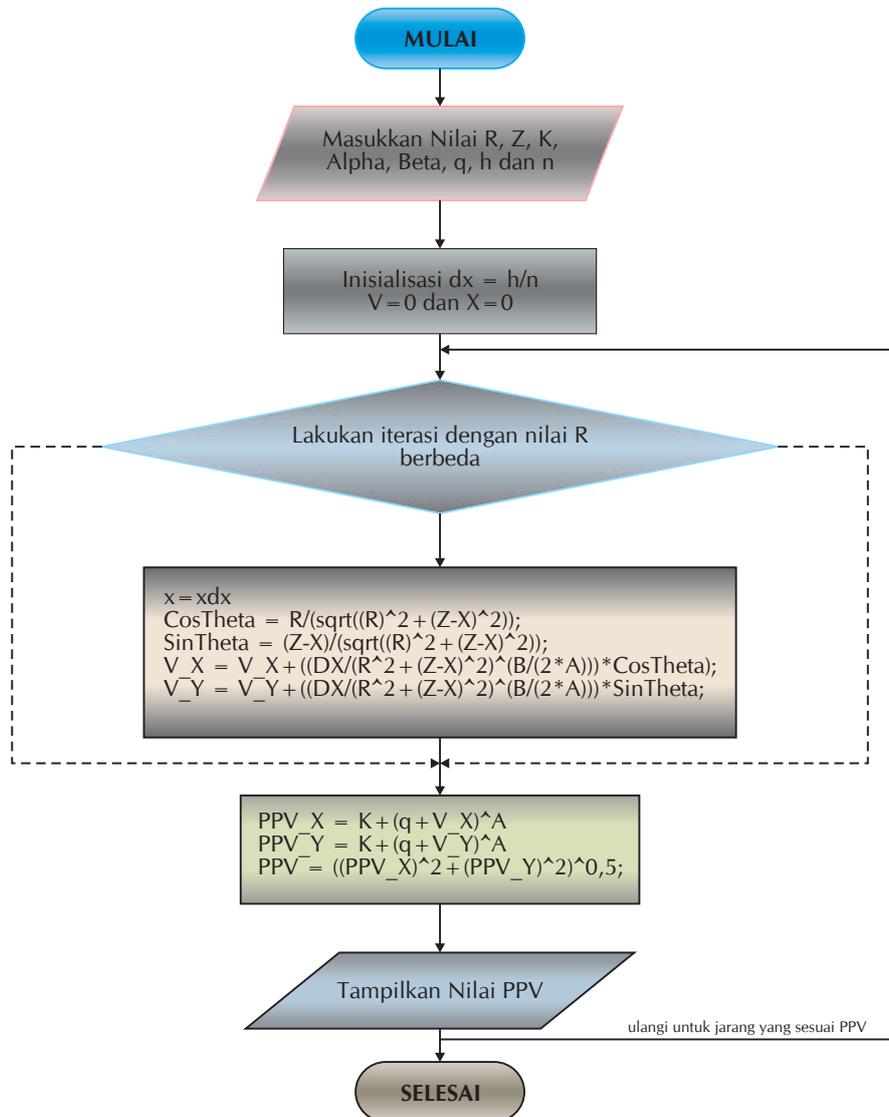
Tabel 2. Parameter untuk permodelan matematis metode Holmberg-Persson

Parameter	Nilai
β	1,190
$\alpha = \beta/2$	0,595
k	276
Konsentrasi muatan bahan peledak (kg/m/waktu tunda)	192
Total jumlah bahan peledak per waktu tunda (kg)	1200
Jarak kerusakan (m)	Simulasi
Tinggi kolom bahan peledak (m)	6,25
Kedalaman lobang ledak (m)	8,00
Nilai PPV maksimum yang diizinkan sesuai SNI 7571:2010 (mm/det)	40*

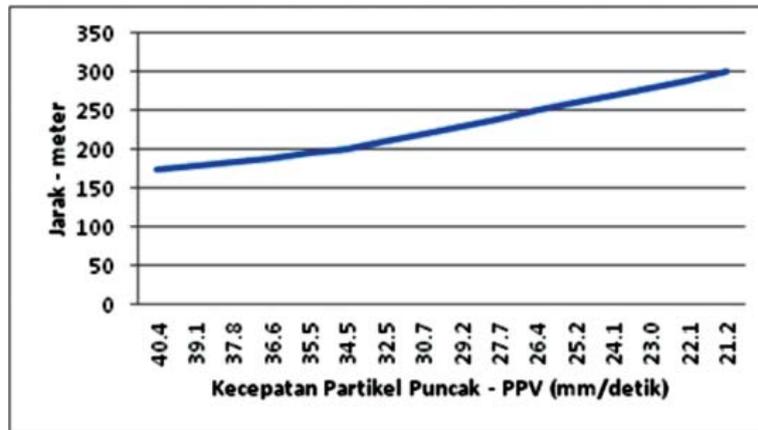
*) PPV maksimum untuk struktur bangunan Kelas 5 pada SNI 7571 (2010)

Dengan melakukan simulasi jarak aman antara posisi menara SUTET dengan posisi kegiatan peledakan untuk kasus peledakan pada koordinat S 0° 22,408 - E 117° 0,543 yang mempunyai muatan bahan peledak sebesar 1200 kg atau 192 kg/m/waktu tunda, jarak minimum yang aman terhadap

konstruksi bangunan menara SUTET adalah 176 meter. Bagan alir program MATLAB dapat dilihat pada Gambar 8. Sedangkan hasil simulasi jarak aman untuk struktur pondasi bangunan menara SUTET terhadap peledakan dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 8. Bagan alir program MatLab



Gambar 9. Grafik hubungan PPV dengan jarak aman peledakan terhadap menara SUTET

KESIMPULAN

- Hasil pengukuran dengan garis regresi 95% diperoleh persamaan hubungan antara *Peak Particle Velocity* (PPV) dengan *Square Root Scaled Distance* yaitu $PPV = 276 SD^{-1,19}$.
- Bila mengacu pada SNI 7571 (2010) dan bangunan pondasi menara SUTET PLN tersebut termasuk ke dalam kelas 5, maka PPV maksimum yang diizinkan adalah 40 mm/det. Hasil pengukuran dengan menggunakan alat BlastMate III, terdapat kejadian peledakan yang berbahaya terhadap struktur pondasi menara SUTET PLN, yaitu peledakan yang terletak pada lokasi koordinat $S0^{\circ}22,408$, $E117^{\circ}0,543$ yang jaraknya hanya 69 meter dari lokasi menara.
- Hasil simulasi menggunakan metode matematis Holmberg-Persson dengan bantuan perangkat lunak MatLab versi 2010, diperoleh jarak aman untuk muatan bahan peledak sebesar 1200 kg per-waktu tunda harus lebih besar dari 176 meter.

DAFTAR PUSTAKA

Arora, S., and Dey, K., 2010. Estimation of near-field peak particle velocity: A mathematical model, *Journal of Geology and Mining Research Vol. 2(4)*, p. 68-73.

Badan Standardisasi Nasional, 2010. SNI 7571: 2010, Baku tingkat getaran peledakan pada kegiatan tambang terbuka terhadap bangunan.

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

Direktorat Jenderal Mineral Batubara dan Panasbumi, Departemen Energi dan Sumberdaya Mineral, Jakarta. *Laporan Tahunan 2011*.

Holmberg, R. and Persson, P.A., 1979. Swedish approach to contour blasting, *Proceedings of Fourth Conference on explosive and blasting techniques*, p. 113-127.

Lusk, B., Silva, J., Eltschlager, K., Hoffman, J., 2010. Acoustic response of structures to blasting analyzed against comfort levels of residents near surface coal operations, *OSM Report*, University of Kentucky Mining and Minerals Resources Building, Lexington, KY., p. 24-38.

Liu, E.L., 2010. *Deformation and breakage properties of crushable blocky material*, rock mechanics rock engineering, DOI 10,1007/s00603-010-0117-3, p. 1-5.

Monjezi, M., Rezaei, M., Yazdian, A., 2009. Prediction of backbreak in open-pit blasting using fuzzy set theory, *Expert Systems with Applications 37*, 2637-2643, Elsevier Ltd.

Monjezi, M., & Dehghani, H., 2008. Evaluation of effect of blasting pattern parameters on backbreak using neural networks, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences-45*, 1446-1453,

Saiang, D., 2008. Damage Rock Zone Study - A progress report, Technical Report, Lulea University of Technology, Department of Civil, Mining and Environmental Engineering, division of rock mechanics, p. 13 - 23.

- Simangunsong, G.M., Yulianto, E., Kramadibrata, S., Matsui, K., Shimada, H., Kubota, S. dan Ogata, Y., 2004. Field investigation of blast-induced damage of the sedimentary strata rock mass at PT Kaltim Prima Coal-Indonesia, *First International Symposium on Explosion, Shock Wave and Hypervelocity Phenomena (1st ESHP Symposium)*, Kumamoto University, Japan, March 15-17.
- Singh, P.K., 2002. Blast vibration damage to underground coal mines from adjacent open pit blasting, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, p. 959-973.
- 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, p. 149 – 186.
- Waldron, M.J., 2006. Residential Crack Response to Vibrations from Underground Mining, a *Master Theses Field of Civil Engineering*, NorthWestern University, Evanston, IL., p. 57 – 86.
- Warneke, J., Dwyer, J.G. and Orr, T., 2007. Use of a 3 D scanning laser to quantify dift geometry and over-break due to blast damage in underground manned entries, In: E, Eberhardt, D, Stead and T, Morrison (Editors), *Rock Mechanics: Meeting Societys Challenges and Demands*, Taylor & Francis Group, London, Vancouver, Canada, p. 93-100.