

TESIS

**DESAIN PELEDAKAN DENGAN METODE
SIGNATURE HOLE PADA AREA DEKAT
PEMUKIMAN**

*Blasting Design Using Signature Hole Method
in Area Near the Settlement*

**RUSADI APRIANSYAH
D112 21 1007**



**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK PERTAMBANGAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2024**



Optimized using
trial version
www.balesio.com

THESIS

***BLASTING DESIGN USING SIGNATURE HOLE
METHOD IN AREA NEAR THE SETTLEMENT***

**Desain Peledakan dengan Metode *Signature Hole* pada
Area Dekat Pemukiman**

**RUSADI APRIANSYAH
D112 21 1007**



**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK PERTAMBANGAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2024**



Optimized using
trial version
www.balesio.com

TESIS
DESAIN PELEDAKAN DENGAN METODE
***SIGNATURE HOLE* PADA AREA DEKAT**
PEMUKIMAN

RUSADI APRIANSYAH
D112211007

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian Tesis yang dibentuk dalam rangka penyelesaian studi pada Program Magister Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
Pada tanggal 02 Februari 2024
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama



Dr. Eng. Purwanto, ST., MT.
NIP. 197111282005011002

Pembimbing Pendamping



Dr. Eng. Ir. Muhammad Ramli, MT.
NIP. 196807181993091001

Dekan Fakultas Teknik
Universitas Hasanuddin



Prof. Dr. Eng. Ir. Muhammad Isran Ramli,
., MT., IPM., ASEAN Eng.
P. 197309262000121002

Ketua Program Studi
Magister Teknik Pertambangan



Dr. Ir. Irzal Nur, MT.
NIP. 196604091997031002



PERNYATAAN KEASLIAN TESIS DAN PERLIMPAHAN HAK CIPTA

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Rusadi Apriansyah
NIM : D112211007
Program Studi : S2 – Teknik Pertambangan

Dengan ini menyatakan bahwa tesis berjudul “Desain Peledakan dengan Metode Signature Hole pada Area Dekat Pemukiman” adalah benar karya saya dengan arahan dari komisi pembimbing utama Dr. Eng. Purwanto, ST., MT dan pembimbing pendamping Dr. Eng. Ir Muhammad Ramli, MT. Karya ilmiah ini belum diajukan dan tidak sedang diajukan dalam bentuk apapun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam daftar pustaka tesis ini. Sebagian dari isi tesis ini telah dipublikasikan di Jurnal/Prosiding (IOP Conference Series : Earth and Environmental Science, Vol 1272 (2023) 01236, DOI : 10.1088/1755-1315/1272/1/012018 sebagai artikel dengan judul : “*Uniaxial Compressive Strength (UCS) Correlation Analysis On Ground Vibration in Blasting Activities*”.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya berupa tesis ini kepada Universitas Hasanuddin.

Gowa, 06 Januari 2024
Yang Menyatakan



Rusadi Apriansyah



KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmanirrahim - Alhamdulillah Rabillalamin - Astaghfirullah Wa Atubu Ilaih, tiada kata yang patut penulis ucapkan selain puji syukur serta kata ampun kehadapan Allah SWT atas nikmat dan ampunanNya. Selanjutnya salam dan shalawat kepada Rasulullah Muhammad SAW sebagai panutan penulis dan umat dalam menjalani kehidupan.

Melalui kesempatan ini, penulis menyampaikan ucapan terima kasih dan penghargaan yang sebesar-besarnya kepada Bapak Dr. Eng. Purwanto, ST., MT selaku Pembimbing I dan Dr. Eng. Ir Muhammad Ramli, MT selaku Pembimbing II atas dukungan dan bimbingannya sehingga penulis dapat menyelesaikan karya tulis ini, semoga selalu diberikan ganjaran amal Jariah yang terbaik Amin. Salam Hormat dan Terima Kasih penulis kepada Bapak – Ibu Dosen yang selalu saya hormati, Ibu – ibu staff administrasi, Serta rekan-rekan seperjuangan Program Magister Teknik Pertambangan Universitas Hasanuddin angkatan 2021 yang selalu saling mendukung meski terpisah jarak.

Terima kasih atas dukungan dan kesempatan yang diberikan oleh PT. Berau Coal, perusahaan pertambangan batubara yang menyediakan data-data yang digunakan oleh penulis serta kesempatan penelitian. Terima kasih kepada team Coal atas supportnya yang selalu siap sedia disegala kondisi dan cuaca.

Tak lupa ucapan terima kasih atas restu/doa ibunda Farida Natjo dan Almh. Syarifah Zahra serta ayahanda Rustan Asaf dan Muh. Tahir B, sungguh semuanya tidak bisa ananda balas. “Jannah Syauqiah - umma Ayu”, hidup bersamamu sudah membuatku cukup. Teruslah belajar dan membumi untuk ananda tercinta Aca dan Ucu’, Insha Allah selalu diberikan kekuatan iman, pengetahuan, dan limpahan kebaikan.

Penulis menyadari bahwa Tesis ini jauh dari sempurna, semoga Tesis ini dapat bermanfaat untuk pembaca serta bernilai amal untuk kita semua Amin. Wassalam.

Gowa, 16 Januari 2024
Rusadi Apriansyah



ABSTRAK

RUSADI APRIANSYAH. Desain Peledakan Dengan Metode *Signature Hole* Pada Area Dekat Pemukiman (dibimbing oleh **Purwanto dan Muhammad Ramli**)

Arah penambangan Pit C2 PT. Berau Coal Site Sambarata Mining Operation (SMO) semakin mendekati pemukiman, hingga pada jarak 150 meter dari pemukiman. Kegiatan peledakan pada operasional penambangan Pit C2 Site SMO, tentunya akan menghasilkan dampak terhadap pemukiman sekitar seperti ledakan udara, *flyrock*, dan getaran tanah. Berdasarkan hasil pengambilan data di lapangan, diketahui nilai getaran tanah melebihi nilai ambang batas yang diperbolehkan pada Standar Nasional Indonesia (SNI) 7571 : 2010 (3,0 mm/s). Metode regresi linear merupakan metode yang saat ini digunakan untuk menganalisis dan memodelkan getaran tanah, namun masih ditemukan adanya deviasi maksimum antara getaran tanah hasil analisis dan aktual sebesar -29%. Tingginya nilai deviasi pada metode regresi linear akan berdampak pada rendahnya akurasi prediksi nilai getaran tanah, sehingga getaran tanah yang dihasilkan melebihi nilai ambang batas yang diperbolehkan pada SNI 7571 : 2010. Metode *signature hole* adalah salah satu metode dalam menganalisis, memodelkan, dan interpretasi gelombang berdasarkan atas teori dan sistem sinyal serta memperhitungkan faktor batuan. Desain peledakan dan analisis getaran tanah menggunakan metode *signature hole* terbukti dapat mengurangi deviasi antara nilai hasil analisis dan aktual getaran tanah menjadi -8%. Penurunan deviasi analisis getaran tanah berdampak pada peningkatan akurasi desain peledakan, sehingga getaran tanah tidak melebihi nilai ambang batas yang diperbolehkan pada SNI 7571 : 2010.

Kata Kunci : Peledakan, Getaran tanah, Desain peledakan, Regresi linear, *Signature Hole*



ABSTRACT

RUSADI APRIANSYAH. Blasting Design Using Signature Hole Method in Area Near the Settlement (Supervised by **Purwanto dan Muhammad Ramli**)

Pit C2 mining direction PT. Berau Coal Site Sambarata Mining Operation (SMO) is getting closer to the settlement, up to a distance of 150 meters. Blasting activities in Pit C2 mining operations at SMO Site, resulting in impacts on surrounding settlements such as air blast, flyrock, and ground vibration. Based on the results of data collection in the field, it is known that the value of ground vibration exceeds the threshold value allowed in Indonesian National Standards (SNI) 7571: 2010 (3.0 mm/s). Linear regression method is the method currently used to analyze and modeling ground vibration, but there is still a maximum deviation between analytical and actual ground vibration of -29%. The high deviation value in the linear regression method will have an impact on the low accuracy of predicting ground vibration values, so that the resulting ground vibrations exceed the threshold value allowed in SNI 7571: 2010 (3.0 mm/s). The signature hole method is one of the methods in analyzing, modeling, and interpreting waves based on theory and signal systems and taking into rock factors. Blasting design and ground vibration analysis using the signature hole method are proven to reduce the deviation between the analyzed and actual values of ground vibration to -8%. The decrease in the deviation of ground vibration analysis has an impact on improving the accuracy of blasting design, so that the resulting ground vibration does not exceed the allowable threshold value in SNI 7571 : 2010.

Keywords: Blasting, Ground Vibration, Blasting design, Linear Regression, Signature Hole



DAFTAR ISI

| | |
|---|------------|
| HALAMAN JUDUL | i |
| HALAMAN PENGESAHAN | ii |
| KATA PENGANTAR..... | iii |
| ABSTRAK | iv |
| ABSTRACT | v |
| DAFTAR ISI | i |
| DAFTAR TABEL | iii |
| DAFTAR GAMBAR..... | iv |
| DAFTAR LAMPIRAN | vi |
| PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah..... | 2 |
| 1.3 Tujuan Penelitian | 2 |
| 1.4 Manfaat Penelitian | 3 |
| 1.5 Ruang Lingkup..... | 3 |
| TINJAUAN PUSTAKA | 4 |
| 2.1 Kondisi Geologi | 4 |
| 2.2 Getaran Peledakan..... | 7 |
| 2.3 Gelombang Seismik | 8 |
| 2.4 Alat Pengukuran Getaran Tanah | 10 |
| 2.5 Scaled Distance | 11 |
| 2.6 Metode Signature Hole | 12 |
| 2.7 Model Regresi Linear | 15 |
| 2.8 Faktor yang Mempengaruhi Tingkat Getaran Tanah | 17 |
| 2.9 SNI 7571 :2010..... | 21 |
| 2.10 Peneliti Terdahulu..... | 22 |
| METODE PENELITIAN | 24 |
| 3.1 Lokasi Penelitian | 24 |
| 3.2 Pengambilan Data | 25 |
| Pengolahan dan Analisis Data | 26 |
| Waktu dan Diagram Alir Penelitian | 28 |
| AN PEMBAHASAN | 30 |



| | | |
|-----------------------------------|--|-----------|
| 4.1 | Metode Peledakan Saat Ini | 30 |
| 4.2 | Metode Analisis <i>Signature Hole</i> | 40 |
| 4.3 | Desain Peledakan dari Hasil Analisis <i>Signature Hole</i> | 45 |
| 4.4 | Validasi Desain Peledakan | 51 |
| 4.5 | Pembahasan | 56 |
| KESIMPULAN DAN SARAN | | 60 |
| 5.1 | Kesimpulan | 60 |
| 5.2 | Saran..... | 61 |
| DAFTAR PUSTAKA | | 62 |



DAFTAR TABEL

| Nomor | Halaman |
|--|---------|
| Tabel 1 Stratigrafi batuan | 6 |
| Tabel 2 Komparasi scatter time pada beberapa waktu tunda | 18 |
| Tabel 3 Kelas dan jenis bangunan serta batas maksimal peak vektor sum | 21 |
| Tabel 4 Perhitungan analisis getaran tanah dengan metode regresi linear..... | 37 |
| Tabel 5 Hasil pengukuran getaran peledakan signature hole | 41 |
| Tabel 6 Perhitungan persamaan regresi berpangkat data signature hole | 42 |
| Tabel 7 Rekomendasi berat bahan peledak dan geometri berdasarkan radius | 46 |
| Tabel 8 Rekomendasi konfigurasi waktu tunda Pit C2 | 50 |



DAFTAR GAMBAR

| Nomor | Halaman |
|---|---------|
| Gambar 1 Peta wilayah cekungan Berau (Sumber : Tossin dan Kadir. 1996)..... | 4 |
| Gambar 2 Peta geologi daerah Berau, Kalimantan Timur (Sumber: Situmorang dan Burhan. 1995) | 5 |
| Gambar 3 Peta lapisan batuan Pit C2 PT. Berau Coal..... | 7 |
| Gambar 4 Gelombang tekan (atas) dan gelombang geser (bawah) (Sumber : Drill and Blast of Rock. 1995)..... | 8 |
| Gambar 5 Gelombang love (Sumber : Modern Global Seismology. 1998)..... | 9 |
| Gambar 6 Gelombang rayleigh (Sumber : Modern Global Seismology. 1998) | 9 |
| Gambar 7 Anatomi gelombang (Sumber : Modern Global Seismology. 1998) | 10 |
| Gambar 8 Blastmate (Sumber : Blastware Operator Manual Handbook - InstanTel Inc., 2010) | 10 |
| Gambar 9 Mekanisme pengukuran gelombang oleh blasmate (Sumber : Blastware Operator Manual Handbook - InstanTel Inc., 2010) | 11 |
| Gambar 10 Skema pengujian signature hole analysis (Sumber : Maharjono, 2015)..... | 14 |
| Gambar 11 Konsep superposisi pada dua lubang ledak dan pengaruhnya terhadap getaran tanah (Sumber : Arbi dkk, 2019) | 15 |
| Gambar 12 Hubungan powder factor dan getaran tanah | 18 |
| Gambar 13 Pengaruh waktu tunda terhadap getaran tanah | 20 |
| Gambar 14 Geometri peledakan..... | 21 |
| Gambar 15 Area operasi lokasi penelitian | 24 |
| Gambar 16 Diagram alir penelitian | 29 |
| Gambar 17 Peta layout Pit C2 | 30 |
| Gambar 18 Bangunan pada sekitar area penambangan (bangunan kelas 3) | 31 |
| Gambar 19 Grafik hasil pengukuran getaran tanah pada jarak 0-500 meter..... | 31 |
| Gambar 20 Scale distance getaran peledakan | 32 |
| Gambar 21 Desain peledakan metode inisiasi non-elektrik | 33 |
| Gambar 22 Nonelectric detonator | 34 |
| Gambar 23 Analisis waktu tunda menggunakan perangkat lunak Viewshot 3D pada rangkaian peledakan semi boxcut nonel pada waktu tunda 109–67 ms | 34 |
| Gambar 24 Analisis distribusi energi bahan peledak pada metode peledakan saat ini.... | 35 |
| Gambar 25 Hasil fragmentasi dan waktu gali peledakan | 36 |
| Gambar 26 Perbandingan hasil analisis regresi linear terhadap aktual getaran tanah | 39 |
| Gambar 27 Skema analisis signature hole | 41 |
| Gambar 28 Grafik regresi linear data signature hole | 43 |
| Gambar 29 Persentase deviasi nilai getaran tanah pada metode signature hole | 44 |
| Gambar 30 Pembagian radius jarak peledakan (500-400, 400-300, dan dibawah 300 meter)..... | 46 |
| Gambar 31 Analisis distribusi energi bahan peledak pada radius 500-400, 400-300, 300-150 meter dari pemukiman (atas-bawah)..... | 48 |
| 32 Konsep superposisi pada dua lubang ledak dan pengaruhnya terhadap nah (Sumber : Pradatma, Pradasara, dan Nurdiansyah. 2019)..... | 49 |



| | |
|--|----|
| Gambar 33 Rangkaian peledakan menggunakan metode inisiasi eletronik delay dengan kombinasi waktu tunda 28 - 71 ms | 50 |
| Gambar 34 Desain peledakan sebelum dan setelah penerapan metode signature hole analisis pada masing-masing radius dari lokasi peledakan | 51 |
| Gambar 35 Grafik perbandingan getaran peledakan hasil analisis regresi linear, signature hole, dan aktual..... | 52 |
| Gambar 36 Grafik deviasi persentase metode peledakan yang baru pada jarak kurang dari 500 meter..... | 53 |
| Gambar 37 Analisis fragmentasi pada radius 500-400 (kanan-bawah), 400-300 (kiri bawah) , 300-200 (kanan-atas), dan 200-150 (kiri-atas) meter dari pemukiman | 54 |
| Gambar 38 Waktu gali aktual, rata-rata, dan maksimal untuk lapisan material peledakan lapisan pertama | 55 |
| Gambar 39 Waktu gali aktual, rata-rata, dan maksimal untuk lapisan material peledakan lapisan kedua | 56 |



DAFTAR LAMPIRAN

| Nomor | Halaman |
|---|---------|
| Lampiran 1 Hasil pengukuran dampak peledakan pada jarak kurang dari 500 meter dari lokasi peledakan | 65 |
| Lampiran 2 Karakteristik batuan pit c2 | 66 |
| Lampiran 3 Perbandingan nilai analisis getaran tanah aktual dan metode regresi linear pada jarak lebih dari 500 meter..... | 67 |
| Lampiran 4 Pengukuran hasil analisis getaran peledakan dengan metode signature hole dan aktual pada jarak lebih dari 500 meter | 68 |
| Lampiran 5 Detail perhitungan gataran tanah per radius | 69 |
| Lampiran 6 Perhitungan geometri menggunakan metode RL Ash..... | 70 |
| Lampiran 7 Pivot diagram waktu tunda peledakan | 71 |
| Lampiran 8 Pengukuran hasil analisis getaran peledakan dengan metode signature hole, regresi linear, dan aktual | 72 |
| Lampiran 9 Hasil pengukuran getaran peledakan dengan metode yang baru pada jarak 500 – 150 meter | 73 |
| Lampiran 10 Waktu gali unit | 74 |
| Lampiran 11 Perlengkapan peledakan non elektrik | 76 |
| Lampiran 12 Perlengkapan peledakan elektronik | 78 |



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Desain tambang/arah penambangan Pit C2 PT. Berau Coal Samarata *Mining Operation* (SMO) semakin mendekati pemukiman/fasilitas umum (dengan jarak kurang dari 500 meter) serta menerapkan kegiatan peledakan yang bertujuan memberai batuan penutup (*overburden*) pada kegiatan penambangan batubara. Yin *et al* (2018) menyebutkan bahwa kegiatan peledakan tentunya akan menimbulkan beberapa dampak terhadap lingkungan atau pemukiman sekitar seperti *vibrasi* (getaran tanah), *airblast* (suara ledakan/kebisingan), dan *flyrock* (batu terbang), sehingga dampak peledakan menjadi hal yang sangat diperhatikan dalam kegiatan operasional peledakan di Pit C2.

Hasil pengukuran getaran tanah Pit C2 PT. Berau Coal pada jarak kurang dari 500 meter melebihi nilai ambang batas yang ditetapkan dalam SNI 7571 : 2010 (3,0 mm/s), sedangkan untuk hasil pengukuran ledakan udara dan *flyrock* pada jarak kurang dari 500 meter dari lokasi peledakan (Lampiran I) masih berada pada nilai ambang batas yang ditetapkan (ledakan udara < 110 db dan *flyrock* < 50 meter).

Metode regresi linear merupakan metode yang digunakan saat ini untuk menganalisis dan memodelkan getaran tanah, metode ini tidak mempertimbangkan faktor batuan dalam proses analisis getaran tanah. Apriansyah dkk., (2022) menyebutkan bahwa peningkatan nilai *Uniaxial Compressive Strenght* (UCS) berpengaruh terhadap peningkatan deviasi hasil analisis getaran tanah, sehingga dilakukan studi terhadap metode lain yang mempertimbangkan faktor batuan dalam menganalisis dan memprediksi getaran tanah.

Metode *signature hole* adalah metode yang dapat digunakan untuk menganalisis dan memprediksi getaran tanah, metode ini mempertimbangkan faktor perambatan gelombang di dalam batuan. Hasil analisis dari metode *Signature*

ah rekomendasi waktu tunda dan berat isian lubang ledak peledakan yang sesuai, Pernyataan tersebut tampaknya sesuai dengan pendapat Anderson & Kerhof (2008) ; Li and Castro (2019).



KEPMEN No.1827/K/30/MEM/2018 Hal 79 sub point 9 tentang pengupasan tanah penutup juga mempersyaratkan adanya kajian teknis apabila kegiatan peledakan akan dilakukan pada jarak kurang dari 500 meter dari manusia. Berdasarkan pemaparan di atas, maka perlu dilakukan perubahan metode desain peledakan dan kajian teknis terkait kegiatan peledakan pada Pit C2 Sambarata PT. Berau Coal – SMO agar getaran tanah sesuai dengan nilai ambang batas (SNI 7571 : 2010) dan pemenuhan terhadap regulasi pemerintah (KEPMEN No.1827/K/30/MEM/2018).

1.2 Rumusan Masalah

Hasil pengukuran dampak peledakan pada jarak 272-300 meter dengan metode pengukuran mendekati unit *micromate* terhadap lokasi peledakan, menunjukkan nilai getaran tanah melebihi nilai ambang batas yang diperbolehkan pada SNI 7571 : 2010 yakni 3,0 mm/s. Penelitian ini akan berfokus pada rumusan masalah berikut ini :

1. Seberapa besar getaran tanah menggunakan metode regresi linear pada area peledakan dekat pemukiman.
2. Bagaimana nilai getaran tanah pada area peledakan dekat pemukiman menggunakan metode *signature hole*.
3. Bagaimana desain peledakan yang sesuai dengan SNI 7571 : 2010 menggunakan metode *signature hole*.
4. Bagaimana kualitas material hasil peledakan dengan metode *signature hole*.

1.3 Tujuan Penelitian

Desain peledakan pada area kritis merupakan salah satu upaya dalam pelaksanaan kegiatan pertambangan yang ramah lingkungan/pemukiman sekitar, taat regulasi, dan optimal secara pelaksanaan teknis. Secara khusus tujuan penelitian ini adalah:

1. Melakukan analisis getaran peledakan menggunakan metode regresi linear area peledakan dekat pemukiman.
2. Melakukan analisis getaran peledakan menggunakan metode *signature hole* peledakan dekat pemukiman.



3. Menentukan desain peledakan berupa berat bahan peledak dan kombinasi waktu tunda pada area dekat pemukiman yang sesuai dengan SNI 7571 : 2010 menggunakan metode *signature hole*.
4. Menganalisis fragmentasi dan waktu gali material peledakan hasil rancangan metode *signature hole*.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan mampu memberikan kontribusi penting bagi lokasi penelitian seperti

1. Sebagai acuan dalam desain peledakan yang menghasilkan getaran tanah sesuai nilai ambang batas SNI 7571 : 2010 pada area peledakan yang dekat dengan pemukiman Pit C2 SMO PT. Berau Coal.
2. Sebagai bahan pertimbangan dalam kajian teknis peledakan pada jarak kurang dari 500 meter dari pemukiman/manusia sesuai KEPMEN No.1827/K/30/MEM/2018 Hal 79 Sub Point. ix tentang pengupasan tanah penutup.

1.5 Ruang Lingkup

Dalam penelitian ini penulis mengambil lokasi penelitian di Pit C2 Sambarata Mining Operation PT. Berau Coal. Ruang lingkup penelitian ini hanya pada variabel-variabel yang berkaitan dengan metode analisis dan desain peledakan menggunakan metode *signature hole* yang berkaitan dengan hal – hal teknis dan tidak membahas terkait hal non teknis seperti dampak kondisi sosial budaya sekitar serta sisi ekonomi/biaya. Parameter ambang batas getaran tanah yang digunakan adalah parameter kuantitatif yang merujuk pada SNI 7571 : 2010.



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kondisi Geologi

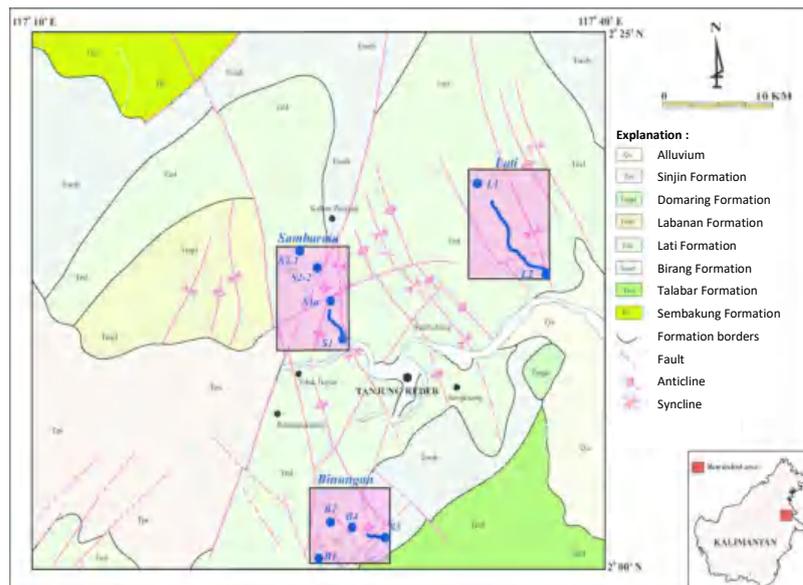
2.1.1 Geologi regional

Secara regional, daerah Sub Cekungan Berau merupakan bagian dari Cekungan Tarakan dan tersusun oleh batuan sedimen, batuan vulkanik, dan batuan beku dengan kisaran umur dari Tersier sampai Kwartar. Daerah Sambarata termasuk dalam cekungan Berau yang terletak dibagian selatan cekungan Tarakan, daerah Sambarata berada diatas formasi Lati. Penyebaran batubara di daerah Sambarata diperkirakan dari Barat Laut menuju Tenggara dan kemiringan batubaranya relatif landai. Stratigrafi batuan di daerah Sambarata tersusun dari *mudstone*, *sandstone* dan *claystone*. Gambaran mengenai stratigrafi regional Berau, dapat dilihat pada gambar 1 dan 2 berikut.



Gambar 1 Peta wilayah cekungan Berau (Sumber : Tossin dan Kadir. 1996)





Gambar 2 Peta geologi daerah Berau, Kalimantan Timur (Sumber: Situmorang dan Burhan. 1995)

Formasi yang menyusun stratigrafi lokasi penelitian terdiri dari 4 (empat) formasi utama yang persebarannya dapat dilihat pada gambar 2. Urutan dari yang tertua yaitu Formasi Birang, Formasi Lati (Formasi Batubara Berau), Formasi Labanan, dan Formasi Sinjin (Tabel 1).

- Formasi Birang

Formasi birang tersusun dari batuan yang terdiri dari napal, batugamping dan tuf di bagian atas dan perselingan napal, rijang, konglomerat, batupasir kuarsa dan batugamping di bagian bawah dengan kisaran umur Oligo sampai Miosen.

- Formasi Lati

Formasi Lati tersusun dari batuan batupasir kuarsa, batulempung, batulanau, dan batubara di bagian atas, bersisipan serpih pasir dan batugamping di bagian bawah. Lapisan batubara (tebal 0,3-5,5 meter), berwarna hitam sampai coklat yang terendapkan dalam lingkungan delta, estuarin dan laut dangkal. Ketebalan formasi Lati mencapai 800 meter. Umur dari formasi Lati adalah Miosen Awal sampai Miosen Tengah.

Formasi Labanan

Formasi Labanan tersusun dari perselingan batuan konglomerat, batupasir, batulanau, batulempung disisipi batugamping dan batubara. Lapisan



batubara mempunyai ketebalan 20-150 cm, berwarna hitam sampai coklat. Ketebalan Formasi Labanan mencapai 450 meter, sedangkan umur Formasi Labanan Antara Miosen Akhir sampai Pliosen yang diendapkan pada lingkungan vluviatil.

- Formasi Sinjin

Formasi Sinjin tersusun dari perselingan tuf, aglomerat, lapili, lava andesit piroksen, batulempung tufan dan kaolin, mengandung lignit, kuarsa, felspar dan mineral hitam. Umur Fomasi Sinjin adalah Pliosen. 19 Satuan batuan termuda adalah alluvium, bahan pembentuknya tergantung batuan sekitar. Kadalaman Formasi Sinjin adalah 500 m.

Tabel 1 Stratigrafi batuan

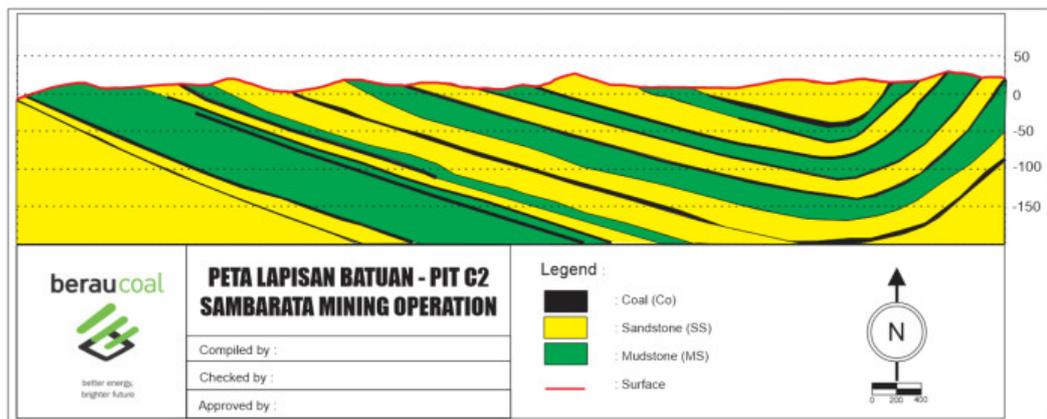
| Umur | Formasi Batuan | Litologi | Tebal (meter) |
|---------------|-----------------|---|---------------|
| Holosen | Alluvium | Batupasir, batulanau, batulempung dan lanau | 40 |
| Plio-pliosten | Formasi Sinjin | Tuf, aglomerat, lava dan batulempung | 500 m |
| | Formasi Labanan | Konglomerat, batupasir, batulanau, batulempung, batugamping, batubara | 450 m |
| Milosen | Formasi Lati | Batupasir, batulempung, batulanau, batubara dan batugamping | 800 m |
| | Formasi Birang | Napal, batugamping, tuf, rijang, konglomerat, batupasir dan batulempung | 1000 m |
| Oligosen | | | |

2.1.2 Geologi Lokal

Batuan penyusun pada pit C2 terdiri batu pasir, batu lempung, dan batu bara, dengan kemiringan perlapisan antara 30 – 60°. Jumlah lapisan batubara (*seam*) pada lokasi penelitian sebanyak 18 *seam* dengan ketebalan lapisan antara 2 – 18 meter. Lipatan batuan pit C2 berupa sinklin, menjadi indikasi adanya pengaruh struktur geologi yang besar pada proses pembentukan batuan. Nilai *Uniaxial Compressive*

(UCS) pada pit C2 diketahui sebesar 14,67 Mpa, gambaran terait litologi pisan batuan pada pit C2 dapat dilihat pada gambar 3 berikut.





Sumber : PT. Berau Coal, 2020

Gambar 3 Peta lapisan batuan Pit C2 PT. Berau Coal

2.2 Getaran Peledakan

Getaran tanah akibat ledakan adalah fenomena kompleks dan dikendalikan oleh banyak variabel seperti parameter desain ledakan (jarak, *burden*, kedalaman lubang, diameter lubang, dll.), kondisi geologi setempat, karakteristik batuan, isian bahan peledak, jarak dari lokasi peledakan, waktu tunda peledakan, dan sistem inisiasi (Kahrman, 2004).

Parameter getaran adalah sifat-sifat dasar dari gerakan digunakan untuk menguraikan karakter dari gerakan tanah. Parameter tersebut adalah: perpindahan, kecepatan dan percepatan. Apabila gelombang seismik melalui batuan, maka partikel batuan bergetar atau berpindah dari posisi rest position semula (rest position). Hal ini disebut perpindahan. Apabila partikel dipindahkan dan bergerak maka mempunyai kecepatan dan menggunakan gaya yang besarnya sebanding dengan percepatan partikel. Parameter dasar getaran dapat didefinisikan sebagai berikut (Hustrulid, 1999):

- Perpindahan adalah jarak dimana partikel batuan bergerak dari posisi semula, satuannya dalam mm
- Kecepatan adalah kecepatan dimana partikel batuan bergerak, ketika meninggalkan posisi semula. Mulai dari nol, meningkat ke maximum dan kembali ke nol. Satuan dalam mm per detik



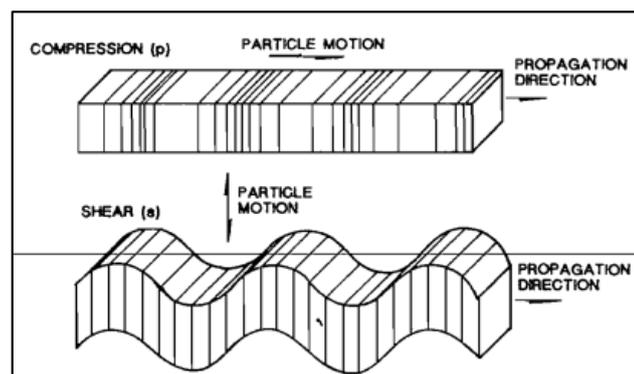
Percepatan adalah percepatan pada perubahan kecepatan partikel. Gaya yang digunakan oleh getaran partikel adalah sebanding dengan percepatan

partikel. Percepatan diukur dalam persekian g (*acceleration of gravity*, $g = 32.2$ ft/detik) dengan satuan mm/s^2

- Frekuensi adalah Jumlah gerak bolak balik partikel dalam satu detik (Hz).

2.3 Gelombang Seismik

Getaran tanah merupakan gelombang/energi seismik, Gelombang seismik adalah gelombang yang menjalar melalui bumi. gelombang ini menggambarkan penyebaran energi/gelombang melalui bumi yang padat. Penyebaran gelombang yang lain adalah gelombang suara, gelombang cahaya dan lain sebagainya. Gelombang seismik dibagi menjadi dua, gelombang badan (*body wave*) dan gelombang permukaan (*surface wave*). Gelombang badan merambat melalui masa batuan, menembus kebawah kedalam bagian dalam dari masa batuan. Dua macam gelombang badan, yaitu: gelombang tekan (*compressional waves*) dan gelombang geser (*shear waves*). Gelombang tekan adalah jenis gelombang tekan-tarik yang akan menghasilkan pemadatan (kompresi) dan pemuaiian (dilatasi) pada arah sama dengan arah perambatan gelombang. Gelombang geser adalah gelombang transversal (melintang) yang bergetar tegak lurus pada arah dari perambatan gelombang. Sedangkan gelombang permukaan adalah gelombang yang merambat diatas permukaan tetapi tidak merambat menembus kedalam batuan.

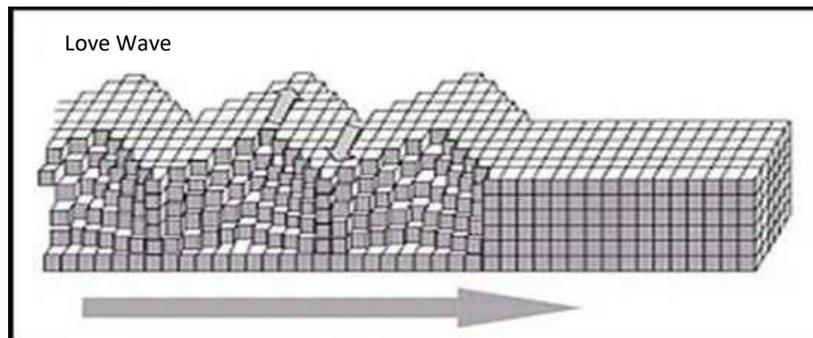


Gambar 4 Gelombang tekan (atas) dan gelombang geser (bawah) (Sumber : Drill and Blast of Rock. 1995)

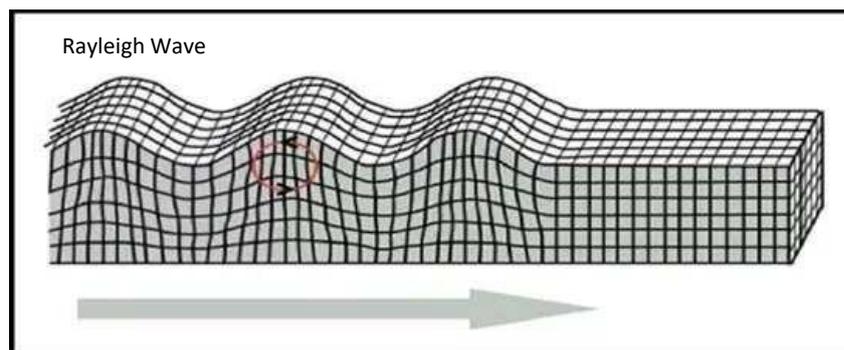


Gelombang permukaan dihasilkan oleh gelombang badan yang tertahan oleh isik dan geometris dalam perjalanan gelombang menuju kebagian dalam uan. Gelombang permukaan mempunyai dua macam yakni gelombang dan gelombang *love*. Gelombang *Rayleigh* (*vertical waves*) seperti yang

dapat dilihat pada Gambar 6 adalah gelombang yang mempunyai gerakan partikel berputar mundur dan vertikal terhadap arah perambatan gelombang. Sedangkan gelombang *love* sebagaimana pada Gambar 5 yaitu gelombang yang mempunyai gerakan seperti gelombang transversal yang terpolarisasi secara horizontal (Jimeno. etc, 1995).



Gambar 5 Gelombang *love* (Sumber : Modern Global Seismology. 1998)



Gambar 6 Gelombang rayleigh (Sumber : Modern Global Seismology. 1998)

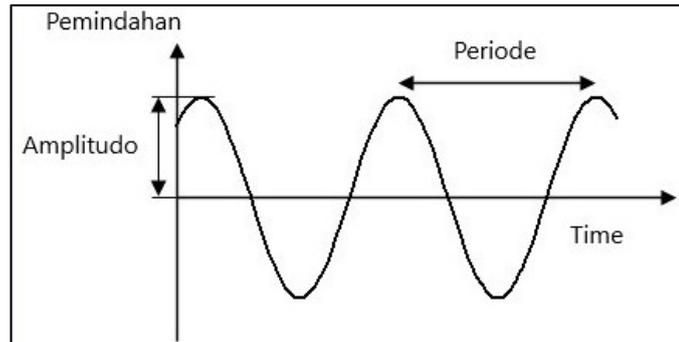
Sifat-sifat dasar yang menguraikan gerakan gelombang, dimana parameter gelombang dan dapat dinyatakan dalam persamaan berikut :

$$y = A \sin (\omega x t) \quad (1)$$

$$t = \frac{1}{f} \quad (2)$$

y menunjukkan simpangan (perpindahan) pada seberang waktu, t dalam waktu, A dalam amplitude, ω merupakan persamaan $2 \pi r$, t dalam periode, dan f dalam . Jika digambarkan dalam bentuk grafik, maka gelombang dapat disajikan pada gambar 7 berikut :





Gambar 7 Anatomi gelombang (Sumber : Modern Global Seismology. 1998)

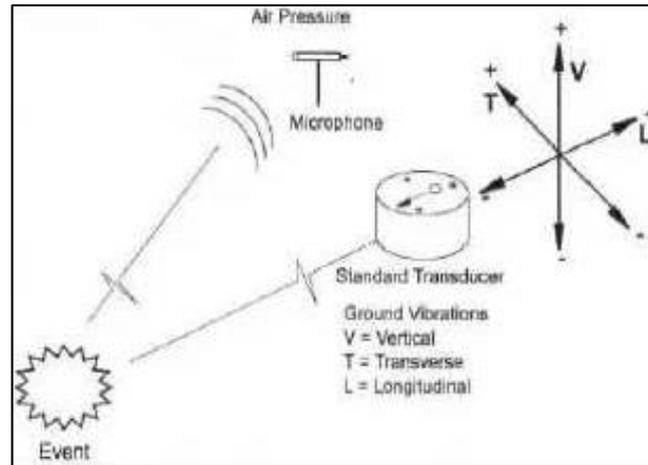
2.4 Alat Pengukuran Getaran Tanah

Pemantauan getaran yaitu alat yang digunakan untuk mengukur getaran yang ditimbulkan oleh suatu operasi peledakan. Alat ini biasanya disiapkan di lokasi penduduk atau fasilitas umum lainnya untuk mengukur getaran yang ditimbulkan peledakan. Dengan menggunakan perangkat lunak *Blastware* (gambar 7), data yang diperoleh kemudian dianalisis dan hasilnya dibandingkan dengan ambang batas gangguan getaran pada manusia, lereng maupun bangunan. Alat pemantau getaran dapat pula merekam suara peledakan (*air blast*) dan ditulis pada kertas perekam. Prinsip kerja alat ini adalah mengubah masukan yang berupa getaran tanah menjadi gaya pegas/sinyal listrik sehingga diperoleh keluaran sebagai angka (gambar 9).



Gambar 8 *Blastmate* (Sumber : Blastware Operator Manual Handbook - Instantel Inc., 2010)





Gambar 9 Mekanisme pengukuran gelombang oleh *blastmate* (Sumber : Blastware Operator Manual Handbook - InstanTel Inc., 2010)

Blastmate didesain untuk mengukur dan mencatat getaran tanah dengan tepat. Peralatan ini disebut dengan seismograf dan terdiri dari dua bagian penting, yaitu sensor dan *recorder*. Seismograf getaran biasanya mengukur kecepatan partikel karena kerusakan baku didasarkan pada kecepatan partikel. Disamping itu ada *displacement seismograph*, *acceleration seismograph* dan *velocity seismograph*. Kotak sensor mempunyai tiga unit *independent sensor* yang letaknya saling tegak lurus antara satu unit dengan unit lain. Dua unit terletak horizontal dan saling tegak lurus dan unit yang lain dipasang secara vertikal. Ketiga sensor tersebut mencatat tiga arah komponen getaran peledakan yaitu longitudinal, transversal, dan vertikal (InstanTel, 2010)

2.5 Scaled Distance

Teori untuk mempelajari gelombang seismik dapat dijelaskan dengan konsep *Scaled Distance* (SD). *Scaled Distance* adalah hubungan antara jarak sumber getaran dan titik pengamatan dibandingkan dengan akar dari massa bahan peledak yang dianggap meledak dalam waktu yang dianggap bersamaan. Persamaan tersebut dapat dinyatakan sebagai berikut (Hustrulid, 1999):

$$SD = \frac{D}{\sqrt{W}} \quad (3)$$

- = Jarak dari tempat peledakan ke lokasi pengukuran (feet)
- = Muatan maksimum bahan peledak per *delay* (Pound)



Parameter *peak particle velocity* (PPV) biasanya digunakan untuk menja di kriteria kerusakan struktur. Analisis dilakukan terhadap hubungan antara *log peak particle velocity* dengan *log square root scaling (Scaled Distance)* yaitu dengan penggambaran grafik regresi *power* dalam skala log, hal ini dilakukan untuk mengetahui penyebaran data dan kecenderungan arah data. Berikut ini merupakan persamaan PPV menurut Hustrulid (1999):

$$PPV = Kv \left(\frac{R}{\sqrt{Q}} \right)^{-Bv} \quad (4)$$

dimana :

- PPV : Kecepatan partikel puncak (mm/s)
- D : Jarak lokasi peledakan terhadap lokasi pengamatan (m)
- W : Muatan bahan peledak per waktu tunda (kg)
- Kv : Konstanta batuan terkait berat bahan peledak
- Bv : Konstanta batuan terkait jarak terhadap lokasi peledakan

Faktor Kv dan Bv (*site constant*) adalah sangat spesifik dan di tiap-tiap area akan menunjukkan angka yang berbeda. Untuk mendapatkan besaran angka yang cukup akurat maka dilakukan pengujian *signature hole analysis* yang kemudian datanya diolah dengan metode *scaled distance*.

2.6 Metode *Signature Hole*

Teknik ini didasari pada teori dan sistem sinyal sehingga dengan metode ini memungkinkan untuk memodelkan bentuk gelombang secara keseluruhan dari kegiatan peledakan pada lokasi kritis yang tentunya memerlukan pemantauan/kontrol getaran. Dalam metode *signature hole*, sinyal seismik dari satu lubang ledakan (*signature waveform*) direkam pada lokasi penelitian kemudian dimodelkan secara matematis untuk menggambarkan bentuk gelombang yang dihasilkan dari kegiatan peledakan. Output dari metode ini adalah rekomendasi waktu tunda dalam rangka mencapai tingkat getaran yang diinginkan (biasanya tingkat getaran minimum untuk ledakan produksi). Oleh karena itu, teknik ini menjadi semakin populer dalam penanganan getaran peledakan yang kemudian asikan dengan penggunaan detonator elektronik karena penggunaannya akan keleluasaan dalam hal pemilihan/penentuan waktu tunda (Blair, 2009).



Prinsip dasar dari metode *signature hole* adalah bahwa setiap lubang ledak akan menghasilkan getaran yang sama pada lokasi tertentu. Dengan demikian dapat diasumsikan bahwa (Anderson dan Brickerhoff, 2008) :

- Semua lubang ledak diledakkan pada lokasi yang sama, sehingga jalur yang dilalui gelombang getaran identik.
- Semua lubang ledak menggunakan jenis bahan peledak dan isian yang sama.
- Semua lubang ledak menghasilkan gelombang getaran yang serupa karena memiliki interaksi yang sama terhadap batuan.

2.6.1 Tahapan pengujian analisis *signature hole*

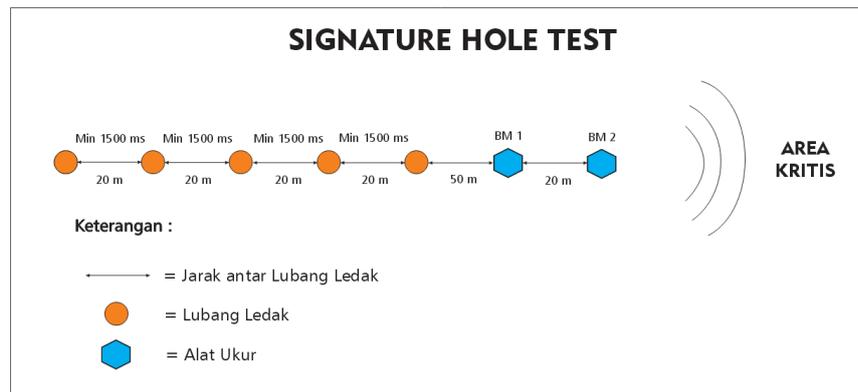
Pengujian analisis *signature hole* menggunakan 3 sampai 5 lubang sejajar yang arah inisiasinya mengarah ke titik pengukuran (area kritis), hal tersebut bertujuan agar data yang dapat merepresentasikan karakteristik geologi yang berada di antara lokasi pengujian *signature hole* dengan area kritis. Untuk pengukuran getaran menggunakan alat ukur getaran tanah dan kebisingan yang ditempatkan sejajar dengan titik pengukuran dalam cakupan jarak 100 - 500 m terhadap lubang ledak/ lubang *signature hole* terakhir (lihat pada Gambar 10). Jumlah lubang ledak dan alat ukur yang memadai sangat diperlukan agar jumlah data minimum yang dibutuhkan untuk *scaled distance analysis* dapat terpenuhi.

Kedalaman lubang ledak, jumlah isian, dan jenis bahan peledak yang digunakan *signature hole* tersebut harus sama dan sesuai dengan desain yang digunakan pada peledakan biasanya di lokasi tersebut. Posisi dari kelima lubang tersebut dan alat ukur getaran harus diukur dengan akurat menggunakan *survey*.

Peledakan antar lubang *signature* menggunakan waktu tunda (*delay time*) yang cukup panjang guna memperoleh grafik gelombang getaran yang terlihat jelas pada masing - masing lubang ledak dan tidak terjadi kekusutan gelombang (*convolution*). Oleh karena itu, waktu tunda yang direkomendasikan antar lubang minimal sebesar 1500 ms. Penggunaan waktu tunda nonel pada pengujian *signature hole* akan beresiko terjadinya *cut off* dan *missfire*, oleh karena itu

aan detonator elektronik sangat disarankan dalam pengujian ini (no, 2015). Skema pengujian *signature hole* dapat dilihat pada gambar 10.





Gambar 10 Skema pengujian *signature hole analysis* (Sumber : Maharjono, 2015)

2.6.2 Hasil pengujian *signature hole*

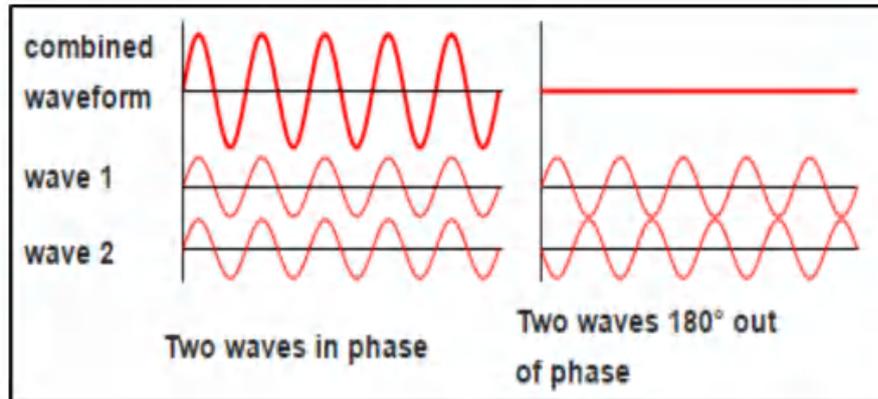
Ada dua output yang dihasilkan dalam analisis ini, yaitu : *record "background" vibration* (informasi terkait gambaran media rambat getaran sekitar) yang berupa *site constant* (konstanta K_v & B_v) dan analisis gelombang (*wave analysis*) yang berupa rekomendasi *interval delay optimum*. Dengan menggabungkan pola dan periode gelombang maka dapat dilakukan pendekatan/perhitungan superposisi gelombang untuk memprediksi dan mengendalikan gelombang peledakan (Evans and Richard, 1988).

Hasil dari perekaman "background" vibration didapatkan dari analisis scaled distance berdasarkan data pengujian signature hole. Analisis scaled distance tersebut merupakan grafik persamaan linear antara scaled distance dengan kecepatan partikel puncak (PPV) yang didapat dari pengujian signature hole. Poin penting dari metodologi ini adalah gelombang getaran yang dihasilkan dari ledakan signature hole akan mewakili kompleksitas geologi di daerah antara sumber ledakan dengan area kritis. Oleh karena itu metode ini tidak memerlukan model atau asumsi geologi. Sehingga nilai konstanta batuan yang dihasilkan dari pengujian signature hole tersebut mewakili karakteristik geologi di daerah terkait.

Analisis gelombang (*wave analysis*) merupakan analisis lanjutan dari gelombang getaran yang dihasilkan dari tiap lubang ledak pada pengujian *signature hole* (*signature wave*). Analisis ini bertujuan untuk menentukan waktu tunda yang optimal antar lubang ledak dengan memanfaatkan konsep superposisi gelombang (*linear superposition*) seperti pada Gambar 11. Interval delay optimum



tersebut merupakan waktu tunda yang dapat menciptakan interferensi *destruktif* pada frekuensi getaran antar lubang ledak sehingga efek getaran yang dihasilkan dapat berkurang (Dhion dkk, 2019)



Gambar 11 Konsep superposisi pada dua lubang ledak dan pengaruhnya terhadap getaran tanah (Sumber : Arbi dkk, 2019)

2.7 Model Regresi Linear

Bentuk umum model regresi linier sederhana adalah berupa garis lurus dengan bentuk persamaan sebagai berikut :

$$Y = aX + b \quad (5)$$

dimana :

Y : persamaan garis lurus Y atas X

a : koefisien regresi merupakan koefisien arah dari garis regresi

b : koefisien titik potong dari regresi dengan sumbu tegak X (=var. bebas)

Parameter teoritik yang dapat digunakan untuk mengukur hubungan linier antara variabel X dan Y adalah koefisien korelasi Pearson (R). Koefisien korelasi tersebut didefinisikan sebagai berikut:

$$R = \frac{\sum (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{[\sum (X_i - \bar{X})^2][\sum (Y_i - \bar{Y})^2]}} \quad (6)$$



Nilai residu adalah merupakan ukuran perbedaan antara nilai pengukuran dengan persamaan regresi Y atas X. Simpangan baku dari nilai residu dapat dengan rumus :

$$s_x = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{(n-1)}} \quad (7)$$

$$s_y = \sqrt{\frac{\sum (Y_i - \bar{Y})^2}{(n-1)}} \quad (8)$$

Perhitungan koefisien regresi a dapat ditentukan berdasarkan nilai koefisien korelasi R dengan persamaan sebagai berikut :

$$a = R (\sigma_y / \sigma_x) \quad (9)$$

Sehingga persamaan garis lurus Y pada X , yaitu persamaan untuk meramal Y jika X diketahui, menjadi :

$$\hat{Y} = \bar{Y} + R (\sigma_y / \sigma_x) (X - \bar{X}) \quad (10)$$

Apabila nilai koefisien korelasi tidak sama dengan $+1$ atau -1 , maka perkiraan nilai Y jika X diketahui akan dapat berbeda dengan nilai yang terukur. Besarnya perbedaan atau kesalahan tersebut dinyatakan sebagai nilai kesalahan baku perkiraan (*standard error of estimate*). Nilai ini dapat digunakan untuk memperkirakan atau meramal Y jika nilai X diketahui (Hasanipannah. Etc, 2017). Nilai kesalahan baku perkiraan ini dapat dihitung dengan persamaan :

$$SEY = \sigma_y \cdot \sqrt{(1 - R^2)} \quad (11)$$

Bentuk umum model persamaan regresi berpangkat adalah :

$$Y = b X^a \quad (12)$$

Persamaan (12) dapat ditransformasikan kedalam bentuk persamaan linier fungsi logaritma akan menjadi :

$$\begin{aligned} \log Y &= \log b X^a \\ \log Y &= \log b + \log X^a \\ \log Y &= \log b + a \log X \end{aligned} \quad (13)$$

dengan $Y_i > 0$ dan $X_i > 0$.

ya persamaan (11) dapat ditransformasikan ke dalam bentuk persamaan linier sederhana berikut:



$$P = AQ + B \quad (14)$$

dimana :

$$P = \log Y$$

$$A = a$$

$$B = \log b$$

$$Q = \log X.$$

Persamaan (14) identik dengan persamaan (5), maka untuk perhitungan persamaan regresinya dapat digunakan persamaan (6) sampai (11)

2.8 Faktor yang Mempengaruhi Tingkat Getaran Tanah

Parameter yang mempengaruhi getaran peledakan dapat diklasifikasikan dalam dua kelompok, yakni parameter terkendali dan tidak terkendali. Geologi dan geomekanika batuan di sekitarnya juga memiliki pengaruh besar terhadap getaran tanah yang dihasilkan dari kegiatan peledakan. Pada batuan yang homogen dan keras getaran tanah disebarkan ke segala arah, tapi pada batuan yang memiliki struktur geologi, perambatan gelombang dapat merambat ke segala arah dan dapat memberikan redaman serta getaran yang berbeda juga sesuai hukum propagasi. Besarnya getaran berkurang seiring dengan jarak yang bertambah. Pada lokasi pengamatan/pengukuran yang dekat dengan ledakan, karakteristik dari getaran dipengaruhi oleh faktor desain ledakan dan geometri peledakan sedangkan pada jarak yang jauh dari lokasi peledakan kurang dipengaruhi oleh desain kurang kritis namun sangat dipengaruhi oleh type batuan dan karakteristik gelombang. Berikut faktor – faktor Yang Mempengaruhi Tingkat Getaran Tanah (*Ground Vibration*) :

2.8.1 Muatan bahan peledak maksimum per waktu tunda

Nilai getaran tanah dan udara pada lokasi peledakan bergantung pada muatan bahan peledak yang diledakkan dan jarak dari lokasi peledakan tersebut, dimana muatan yang dimaksud disini adalah muatan bahan peledak pada interval peledakan/waktu tunda (diluar *scatter time*) bukan berat bahan peledak secara keseluruhan. Dalam menghitung/menentukan muatan bahan peledak per waktu tunda wajib memperhitungkan *scatter time* atau koreksi waktu tunda antara label awal waktu tunda. Sehingga faktor tersebut penting untuk diperhitungkan dalam penentuan waktu tunda. Nilai *scatter time* dapat dilihat pada Tabel 2.



Tabel 2 Komparasi *scatter time* pada beberapa waktu tunda

| Detonator | Nomer Periode | Waktu tunda (ms) | Scatter (ms) | Faktor Reduksi |
|-------------|---------------|------------------|--------------|----------------|
| VA-MS/Nonel | 1-10 | 25 | 5-10 | 1/2 |
| VA-MS/Nonel | 11-20 | 50 | 10-20 | 1/3 |
| VA-MS/Nonel | 24-80 | 100 | 20-50 | 1/4 |
| VA-MS | 1-12 | 500 | 100-200 | 1/6 |

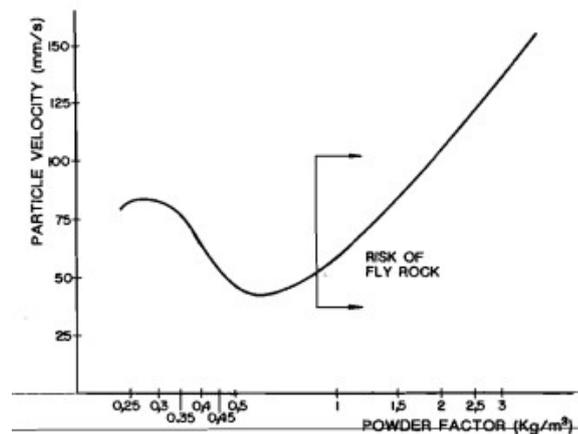
Sumber : Holmberg & Persson, 1980

2.8.1. Jarak dari titik peledakan ke lokasi pengukuran

Seperti halnya dengan dengan muatan per waktu tunda, jarak juga memiliki pengaruh besar terhadap nilai getaran. Pengaruh jarak dan isian bahan peledak terhadap vibrasi peledakan yang dihasilkan dapat dituliskan dalam persamaan 4 sebelumnya.

2.8.2. Powder factor

Faktor lain yang dapat mempengaruhi getaran peledakan yakni *powder factor* (PF), beberapa ahli peledakan menganjurkan untuk menurunkan PF tetapi tidak pada kondisi tertentu. Penurunan PF sebesar 20% berhasil menurunkan nilai getaran tanah, namun pada sisi lain juga akan mengurangi *movement* serta energi bahan peledak (gambar 12).



Gambar 12 Hubungan *powder factor* dan getaran tanah



2.8.3. Jenis bahan peledak

Terdapat hubungan antara getaran tanah dan regangan yang terinduksi pada batuan, dan hal tersebut mengarah pada proporsionalitas antara impedansi dan media batuan/lubang, dimana dapat ditarik kesimpulan bahwa tekanan bahan peledak yang rendah pada lubang ledak juga akan menghasilkan tingkat getaran yang lebih rendah. Tekanan bahan peledak (Velocity of Detonation) akan berbanding lurus dengan desitas bahan peledak, oleh karena itu bahan peledak dengan densitas yang lebih rendah seperti ANFO akan menghasilkan getaran tanah yang lebih rendah juga apabila di bandingkan dengan bahan peledak yang densitasnya lebih besar pada jumlah yang sama, maka densitas yang dihasilkan akan lebih kecil juga. (Hagan and Kennedy, 1981)

2.8.4. Waktu tunda

Waktu tunda antara lubang ledak dapat dibagi menjadi waktu tunda nominal atau waktu tunda efektif. Waktu tunda nominal adalah waktu tunda yang terpampang pada detonator yang digunakan sedangkan untuk waktu tunda efektif adalah waktu tunda actual yang telah dikoreksi terhadap faktor jarak atau dapat diformulasikan pada persamaan berikut :

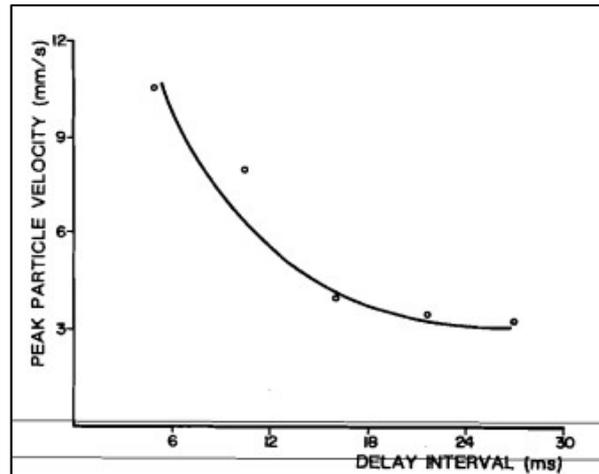
$$t_e = t_n - \frac{S \times \cos \theta}{VC} \quad (15)$$

Dimana :

- t_e = Waktu tunda efektif (ms)
- t_n = Waktu tunda nominal (ms)
- S = Spacing antara lubang (meter)
- VC = Propagasi Velositas dari gelombang seismik
- Q = sudut antar lubang ($^{\circ}$)

Jika mengacu pada waktu tunda minimum agar tidak ada interferensi konstruktif antar gelombang lubang ledak maka disarankan untuk memberi interval antar waktu tunda lubang ledak minimal 8 dan 9 ms (Duvall and Fogelson, 1962).





Gambar 13 Pengaruh waktu tunda terhadap getaran tanah

2.8.1. Geometri peledakan

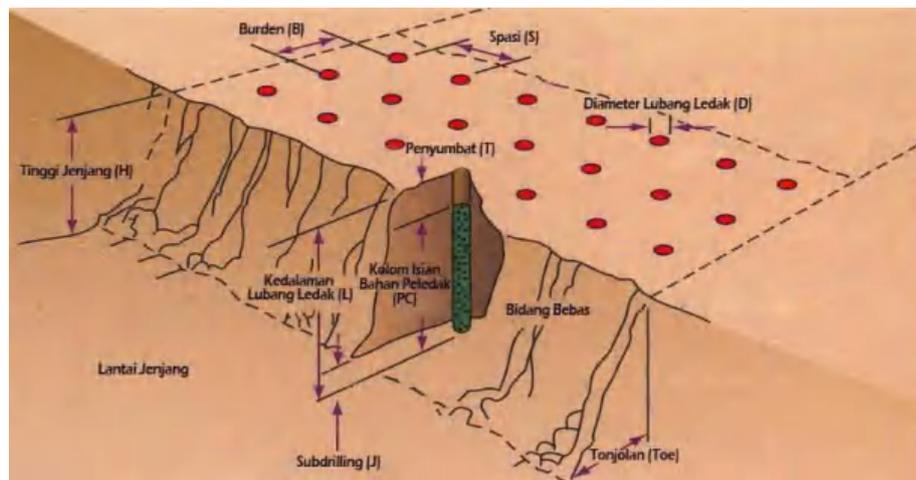
Beberapa parameter desain geometri peledakan memiliki pengaruh yang cukup besar pada getaran yang dihasilkan oleh ledakan. Diantara lain :

- Diameter pengeboran. Peningkatan diameter pengeboran akan meningkatkan getaran peledakan sebab peningkatan diameter lubang ledak akan meningkatkan berat bahan peledak pada tinggi kolom isian yang sama
- Tinggi Jenjang. Hubungan $H/B > 2$ seharusnya dipertahankan, bila memungkinkan dalam rangka menjaga kualitas ukuran butir, mengatasi masalah fragmentasi yang kurang baik pada area *toe*, serta mengurangi efek getaran tanah
- *Burden* dan *Spacing*. Jika *burden* terlalu besar, maka gas dari bahan peledak tidak akan menemukan bidang lemah sehingga energi yang dihasilkan dari bahan peledak tidak terkonversi dengan baik menjadi *movement* namun akan terkonversi menjadi gelombang seismik. Jika *Burden* terlalu kecil maka energi dari bahan peledak akan berubah menjadi suara ledakan. Hal yang sama juga terjadi pada *Spacing* namun pada arah yang berbeda.
- *Subdrilling*, jika subdrilling lebih dalam/tinggi dari biasanya maka energi bahan peledak akan lebih terdistribusi kebawah dan terkonversi menjadi getaran tanah



- *Stemming*, Jika kolom stemming lebih tinggi/tebal maka energi akan lebih terkungkung dan terkonversi menjadi getaran tanah.
- Sudut lubang ledak. Sudut lubang ledak yang baik akan memberikan sumbangsih positif terhadap getaran.

Geometri peledakan dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 14 Geometri peledakan

2.9 SNI 7571 :2010

Standar Nasional Indonesia (SNI) 7571:2010, Baku tingkat getaran peledakan pada kegiatan tambang terbuka dirumuskan dengan tujuan keselamatan dan kesehatan kerja geologi dan pertambangan. Standar ini telah disepakati oleh pihak yang berkepentingan dan terkait, yaitu perusahaan tambang, perguruan tinggi/lembaga penelitian dan instansi teknis, dan pusat Bahasa Departemen Pendidikan Nasional. Berikut tingkat getaran peledakan pada tambang terbuka terhadap bangunan :

Tabel 3 Kelas dan jenis bangunan serta batas maksimal *peak vektor sum*

| Kelas | Jenis Bangunan | Peak Vector Sum (mm/detik) |
|-------|---|----------------------------|
| 1 | Bangunan kuno yang dilindungi undang-undang benda cagar budaya (UU No. 6 tahun 1992) | 2 |
| | Bangunan dengan pondasi, pasangan bata, dan adukan semen saja, termasuk bangunan dengan pondasi dari kayu dan lantainya diberi adukan semen | 3 |



| Kelas | Jenis Bangunan | Peak Vector Sum (mm/detik) |
|-------|---|----------------------------|
| 3 | Bangunan dengan pondasi, pasangan bata dan adukan semen diikat dengan slope beton | 5 |
| 4 | Bangunan dengan pondasi, pasangan bata dan adukan semen slope beton, kolom dan rangka diikat dengan ring balk | 7-20 |
| 5 | Bangunan dengan pondasi, pasangan bata dan adukan semen, slope beton, kolom dan diikat dengan baja | 12-40 |

Sumber : SNI 7571 : 2010, 2010

2.10 Peneliti Terdahulu

Penelitian mengenai getaran peledakan sudah dilakukan oleh beberapa peneliti sebelumnya, adapun beberapa hasil penelitian yang telah dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Singh C, Agrawal H, and Mishra A (2020) dalam penelitiannya “*A study on influence of blast-induced ground vibration in dragline bench blasting using signature hole analysis. Arabian Journal of Geosciences. 13*” menjelaskan bahwa penentuan waktu tunda lubang ledak dengan metode *signature hole*, Nilai PPV dapat dikurangi hingga 48%. Selain itu terjadi peningkatan akurasi prediksi nilai getaran tanah terhadap getaran tanah aktoal (pada pola rangkaian *echelon* deviasi sebesar ± 3.48 mm/s dan pada pola *straight line* ± 2.73 mm/s).
2. Agrawal H, and Mishra (2020) dalam penelitiannya “*An innovative technique of simplified signature hole analysis for prediction of blast-induced ground vibration of multi-hole/production blast: an empirical analysis*” memaparkan bahwa modifikasi metode prediksi nilai PPV dengan menggunakan metode *simpel signature hole* (SSHA) secara hasil akan menghasilkan nilai yang lebih besar 15 % daripada teknik *signature hole* analisis. Hasil ini ini tentunya akan meningkatkan faktor koreksi dari prediksi nilai PPV yang dihasilkan, Selain itu metode SSHA sangat mudah dalam pengaplikasiannya dilapangan dalam penentuan/prediksi nilai getaran tanah.



idhar B, Armaghani D, dan Mohamad E (2020) dalam penelitiannya “*Intelligence Prediction of Some Selected Environmental Issues of Blasting. Open Construction and Building Technology Journal, 2020, Volume 14*”:

Terkait dengan efek kegiatan peledakan yang menghasilkan dampak pada lingkungan sekitar seperti *flyrock*, getaran tanah, dan ledakan udara sehingga menjadi hal yang perlu untuk diprediksi. Prediksi/perhitungan nilai dampak lingkungan tersebut ternyata dapat dimodelkan menggunakan metode algoritma dengan nilai R hasil pengolahan data / prediksi yakni sebesar 0,9 hingga 0,99.

4. Yin Z., Hu Z., Wei Z., Zhao G., Feng M., Zhang Z., and Feng R (2018) dalam penelitiannya "*Assessment of Blasting-Induced Ground Vibration in an Open-Pit Mine under Different Rock Properties*" bahwa setiap batuan memberikan nilai getaran pada yang berbeda dari parameter teknis peledakan yang sama. Nilai ini kemudian di kalkulasi dan diberikan faktor koreksinya secara matematis.
5. Apriansyah R, Purwanto, Ramli M. (2022) dalam penelitiannya "*Uniaxial Compressive Strength (UCS) Correlation Analysis On Ground Vibration in Blasting Activities*" menyatakan bahwa terdapat kenaikan nilai getaran peledakan seiring dengan kenaikan nilai *Uniaxial Compressive Strength (UCS)* dari batuan pada lokasi peledakan yang dinyatakan dengan persamaan $y = 27,142x + 19,876$ dimana nilai $R = 0,725$.

