

**Vol. 6 No. 2**  
**Oktober 2022**

**ISSN 2579-5821**  
**e-ISSN 2579-5546**



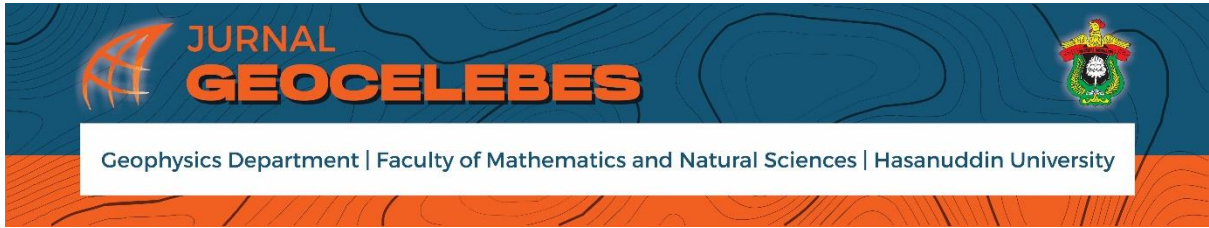
**S3**  
**sinta**  
Science and Technology Index

# **Jurnal**

# **Geocelebes**



**Diterbitkan oleh:**  
**Departemen Geofisika**  
**Universitas Hasanuddin**  
**Makassar**



## **Volume 6 Nomor 2, Oktober 2022**

P-ISSN: 2579-5821

E-ISSN: 2579-5546

**Diterbitkan oleh:  
Departemen Geofisika, FMIPA  
Universitas Hasanuddin**

# JURNAL GEOCELEBES

**Volume 6 Nomor 2, Oktober 2022**

ISSN: 2579 – 5821 (Cetak)

ISSN: 2579 – 5546 (Online)

Alamat URL: <http://journal.unhas.ac.id/index.php/geocelebes>

Diterbitkan berkala dua kali setahun oleh/ **Published periodically two times annually by**  
Dept. Geofisika Universitas Hasanuddin/ **Geophysics Dept., Hasanuddin University**

## Dewan Redaksi/ Editor Board

Editor Kepala (Chief Editor) : Muh. Altin Massinai / Universitas Hasanuddin

Redaksi yang bertugas pada Volume 6

### Dewan Editor / Editorial Board:

- Ayusari Wahyuni / UIN Alauddin – National Taipei University of Technology, Taiwan
- Muhammad Fawzy Ismullah M. / Universitas Hasanuddin
- Sakka / Universitas Hasanuddin
- Muhammad Altin Massinai / Universitas Hasanuddin

### Mitra Bestari/ Reviewer

- Rahmat Catur Wibowo / Universitas Lampung
- Okto Ivansyah / Politeknik Negeri Pontianak
- Fahrul Indrajaya / Universitas Palangka Raya
- Rahmi Mulyasari / Universitas Lampung
- Hari Wiki Utama / Universitas Jambi
- Sadewa Purba Sejati / Universitas Amikom Yogyakarta
- Ajimas Pascaning Setiahadwibowo / UPN "Veteran" Yogyakarta
- Muh Karnoen / BMKG
- Obed Patiung / Politeknik Amamapare Timika
- Rachmat Heryanto / Pusat Survei Geologi
- Wahyudi Widyatmoko Parnadi / Institut Teknologi Bandung
- Ilham Dani / Universitas Lampung
- Muhammad Ramli / Universitas Hasanuddin
- Arif Wijaya / Universitas Muhammadiyah Mataram
- Heryanto / Universitas Hasanuddin
- Nanang Sugianto / Universitas Bengkulu
- Rizka / Institut Teknologi Sumatera
- Juventa / Universitas Jambi
- Koeshadi Sasmito / Universitas Mulawarman
- Virman / Universitas Cendrawasih
- Gerald Tamuntuan / Universitas Sam Ratulangi
- Aswar Syafnur / Universitas Hasanuddin
- Richard Lewerissa / Universitas Papua
- Rismaneswati / Universitas Hasanuddin
- Muhammad Zakir / Universitas Hasanuddin
- Muhammad Amin Syam / Universitas Mulawarman
- Sukardan Tawil / Universitas Tadulako
- Jamaluddin/ Sekolah Tinggi Teknologi Migas Balikpapan – University of Vienna, Austria

### Sekretariat/ Secretariat:

Departemen Geofisika, FMIPA Universitas Hasanuddin

Gedung MIPA, Kampus Unhas Tamalanrea - Jalan Perintis Kemerdekaan, Makassar, Sulawesi Selatan, 90245.

E-mail: [geocelebes@sci.unhas.ac.id](mailto:geocelebes@sci.unhas.ac.id)

Jurnal Gecelebes adalah jurnal ilmiah yang diterbitkan oleh Departemen Geofisika Universitas Hasanuddin. Jurnal ini diperuntukkan sebagai sarana publikasi ilmiah di bidang geofisika mulai topik teoritik hingga topik aplikasi geofisika di berbagai bidang. Artikel yang dimuat merupakan hasil penelitian yang orisinal, tinjauan (*review*) tentang kemajuan terkini dari suatu topik tertentu, studi kasus aplikasi geofisika ataupun resensi tentang perangkat lunak yang berkaitan dengan geofisika. Makalah dapat dikirimkan ke alamat email redaksi dalam bentuk *softcopy* dengan menggunakan template yang telah disediakan. Setiap makalah yang diterima akan ditinjau kelayakannya melalui proses *reviewing* yang ketat oleh Dewan Redaksi.

# DAFTAR ISI

## JURNAL GEOCELEBES

Volume 6, Nomor 2, Oktober 2022

ISSN: 2579 – 5821 (Cetak)

ISSN: 2579 – 5546 (Online)

Alamat URL: <http://journal.unhas.ac.id/index.php/geocelebes>

Halaman Judul .....	i
Dewan Redaksi .....	ii
Daftar Isi .....	iii
Kata Pengantar .....	v
<b>Analisis Kelongsoran dengan Metode Geolistrik Konfigurasi Wenner-Schlumberger dan Wenner-Alpha di Jalan Raya Suban Bandar Lampung</b> .....	108
<i>Rafi Rilo Pambudi, Muhammad Nurul, Winona Putri Prihadita, Rahmi Mulyasari</i>	
<b>Analisis Stabilitas Lereng Tambang Batubara dengan menggunakan Metode Limit Equilibrium pada PT. Kalimantan Prima Nusantara</b> .....	117
<i>Andi Al'Faizah Ma'rief, Hediando Hediando, Nur Okviyani, Enni Tri Mahyuni, Abdul Affan</i>	
<b>Analisis Lapisan Batuan Bawah Permukaan Menggunakan Metode Multichannel Analysis of Surface Waves di Manimbahoi Kabupaten Gowa</b> .....	126
<i>Muhammad Ikram Ramadhan, Muhammad Altin Massinai</i>	
<b>Reinterpretasi Genesa Pembentukan Granitoid Lampung Berumur Kapur-Paleogen dan Implikasi Tektoniknya</b> .....	135
<i>Angga Jati Widiatama, Rezki Naufan Hendrawan</i>	
<b>Forward Modelling pada Anomali Gayaberat Model Fault Menggunakan Matlab Mathworks</b> .....	145
<i>Alika Tabriza Adhani, Mega Anggitarizka, Zahrah Meidina, Rahmat Catur Wibowo</i>	
<b>Investigating Seasonal Variations of Soil Thermal Properties (STPs) Under Different Land Use Patterns in Abeokuta,</b>	

<b>Southwest Nigeria</b> -----	152
<i>Saheed Adekunle Gainiyu, Oluwafemi Ayomide Shobowale, Yaya Korede Sikiru</i>	
<b>Desain Tyre Drop Structure untuk Penanganan Erosi pada Area Rehabilitasi Tambang</b> -----	166
<i>Nuzul Hidayat, Muhammad Ramli, Purwanto</i>	
<b>Analisis Sinkronisasi Produktivitas Alat Angkut Tongkang dan Alat Muat Crane pada Kegiatan Pengapalan Nickel Ore di PT. Antam UBP Nikel Maluku Utara</b> -----	179
<i>Fitria Dwi Ningsi Haya, Aliyusro Jolo, Yanny Yanny</i>	
<b>Studi Pendahuluan; Alterasi Hidrotermal pada Endapan Tembaga Supergen di Daerah Tonra Kabupaten Bone Provinsi Sulawesi Selatan</b> -----	187
<i>Tri Andriyani HS Kandora, Irzal Nur, Ulva Ria Irfan</i>	
<b>Analisis Profil Bawah Permukaan untuk Identifikasi Lapisan Pembawa Air</b> -----	194
<i>Syarifullah Bundang, Muhammad Fawzy Ismullah Massinai, Firman Firman, Wahyu Hidayat</i>	
<b>Analisis Getaran Tanah untuk Mengurangi Kerusakan Akibat Peledakan pada Tambang Terbuka</b> -----	203
<i>Tohirin, Andy Erwin Wijaya, Rizqi Prastowo</i>	

## KATA PENGANTAR

Jurnal Geocelebes yang dikelola oleh Departemen Geofisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin Makassar telah memasuki tahun ke-lima. Dewan Redaksi mengucapkan syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas pencapaian ini serta ungkapan terima kasih atas komitmen Tim Pengelola, Tim Editor Isi dan Layout, dalam menjalankan amanah ini. Secara khusus Dewan Redaksi mengucapkan terima kasih dan penghargaan setinggi-tingginya kepada seluruh penulis yang telah memasukkan karya ilmiahnya dan kepada Tim Mitra Bestari yang telah bersedia meluangkan waktu untuk memberikan saran dan koreksi yang membangun pada setiap artikel di setiap terbitan Jurnal Geocelebes.

Pada edisi Volume 6 Nomor 2 Oktober 2022 terdapat sebelas artikel. Artikel yang diterbitkan yang secara umum membahas implementasi peran geosains khususnya geofisika dalam eksplorasi sumber daya alam dan bidang lainnya yang sesuai dengan fokus dan cakupan bidang yang diterbitkan oleh Jurnal Geocelebes. Salah satu diantaranya ditulis oleh penulis dari Nigeria yang menunjukkan Jurnal Geocelebes layak menjadi jurnal internasional ke depannya. Jurnal Geocelebes menerima partisipasi dari akademisi, peneliti, praktisi industri, mahasiswa dan lainnya di bidang geosains baik dalam perspektif teoretik maupun aplikasi, baik yang berkaitan tentang bawah permukaan (litosfer) maupun atas permukaan (atmosfer), yang tentunya akan melalui serangkaian proses yaitu *submitting*, *editing*, dan *reviewing*.

Dewan Redaksi Jurnal Geocelebes membuka diri atas saran dan kritikan yang membangun demi perbaikan ke depan. Segala saran dan kritikan dapat dikirimkan melalui email [geocelebes@sci.unhas.ac.id](mailto:geocelebes@sci.unhas.ac.id)

Makassar, Oktober 2022

Dewan Redaksi Jurnal Geocelebes

## ANALISIS KELONGSORAN DENGAN METODE GEOLISTRIK KONFIGURASI *WENNER-SCHLUMBERGER* DAN *WENNER-ALPHA* DI JALAN RAYA SUBAN BANDAR LAMPUNG

Rafi Rilo Pambudi\*, Muhammad Nurul, Winona Putri Prihadita, Rahmi Mulyasari

Jurusan Teknik Geofisika, Fakultas Teknik, Universitas Lampung, Indonesia

\*Corresponding author. Email: rafirilo284@gmail.com

Manuscript received: 2 September 2021; Received in revised form: 5 April 2022; Accepted: 22 April 2022

### Abstrak

Jalan Raya Suban Bandar Lampung terletak pada fisiografi Bukit Barisan yang dipengaruhi oleh pergerakan Sesar Sumatera sehingga tercermin dari kondisi morfologi berupa perbukitan dan kelerengan yang curam. Kondisi ini dapat memicu timbulnya bencana salah satunya ialah tanah longsor. Pada penelitian ini dilakukan identifikasi litologi batuan bawah permukaan dan bidang gelincir zona rawan longsor dengan memanfaatkan metode geolistrik konfigurasi *Wenner-Schlumberger* dan *Wenner-Alpha*. Konfigurasi *Wenner-Schlumberger* ini memiliki penetrasi yang lebih dalam tetapi gambaran penampang bawah permukaannya beresolusi rendah, sedangkan konfigurasi *Wenner-Alpha* memiliki penetrasi yang tidak terlalu dalam tetapi gambaran penampang bawah permukaannya beresolusi di bawah resolusi tinggi. Penggunaan kedua konfigurasi ini untuk memanfaatkan kelebihan dan mengurangi kelemahan dari masing-masing konfigurasi pada analisis kelongsoran. Hasil pengukuran pada konfigurasi *Wenner-Schlumberger* dan *Wenner-Alpha* diidentifikasi lapisan atas terdiri dari batuan lapuk yang berasosiasi dengan tuff lempungan dan tuff pasir dengan resistivitas 1  $\Omega\text{m}$  – 95,6  $\Omega\text{m}$ , lapisan kedua berupa pasir lempungan dari Formasi Campang dengan nilai resistivitas 95,6  $\Omega\text{m}$  – 250  $\Omega\text{m}$  dan lapisan ketiga perpaduan breksi dan batuan beku dari Formasi Tarahan dengan nilai resistivitas lebih dari 250  $\Omega\text{m}$ . Lapisan pasir lempungan diidentifikasi sebagai bidang gelincir pada area penelitian.

**Kata Kunci:** bidang gelincir; litologi; metode geolistrik; resistivitas.

### Abstract

Jalan Raya Suban Bandar Lampung is located on the physiography of Bukit Barisan which is influenced by the movement of the Sumatran Fault, causing morphological conditions in the form of hills and steep slopes. This condition triggers the occurrence of disasters, one of which is landslides. In this study, the lithology of subsurface rocks and slides in the landslide-prone zone was examined using the *Wenner-Schlumberger* and *Wenner-Alpha* configuration geoelectrics. The *Wenner-Schlumberger* configuration has deeper penetration but lower resolution subsurface images, while the *Wenner-Alpha* configuration has less deep penetration but lower resolution surface images. The use of these two configurations is to take advantage of the advantages and reduce the disadvantages of each configuration in landslide analysis. The measurement results in the *Wenner-Schlumberger* and *Wenner-Alpha* configurations identified that the upper layer consists of weathered rock associated with clay tuff and sandy tuff with a resistivity of 1 m – 95.6 m, the second layer is clay sand from the Campang Formation with a resistivity value of 95.6 m – 250 m and the third layer is a mixture of breccia and igneous rock from the Tarahan Formation with a resistivity value of more than 250 m. The clay-sand layer was identified as the slip plane in the study area.



**Keywords:** geoelectric method; lithology; resistivity; slip surface.

## Pendahuluan

Kota Bandar Lampung adalah kota yang berada di ujung Pulau Sumatra yang di dominasi oleh dataran tinggi dan dataran rendah. Pada Peta Geologi Lembar Tanjungkarang (Mangga dkk., 1993), menggambarkan kondisi geologi Kota Bandar Lampung bagian tenggara dan barat secara fisiografis berada pada fisiografi Bukit Barisan dan berada pada pengaruh Sesar Lampung-Panjang. Keberadaan sesar tersebut terlihat dari kondisi morfologinya berupa perbukitan dengan kelerengan yang cukup curam. Litologi pada daerah ini didominasi oleh dua kategori, yaitu endapan sungai dan pantai yang tersebar di sekitar Teluk Lampung dan tanah pelapukan hasil kegiatan gunungapi muda di sekitar Tanjungkarang (Dani dkk., 2020). Berdasarkan data curah hujan dari BMKG tahun 2021 Bandar Lampung masuk kedalam daerah yang memiliki curah hujan yang termasuk tinggi. Beberapa kondisi ini ialah penyebab wilayah Kota Bandar Lampung mempunyai resiko kebencanaan yang cukup tinggi, salah satunya ialah bencana tanah longsor. Tanah longsor adalah peristiwa gerakan massa tanah atau batuan, ataupun percampuran dari keduanya yang menuruni atau keluar lereng akibat terganggunya kestabilan tanah atau batuan penyusun lereng (Agustina, 2020).

Berdasarkan laporan Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi (2019), salah satu daerah pada Kota Bandar Lampung yang mempunyai potensi tanah longsor pada tingkatan menengah sampai tinggi adalah Kecamatan Panjang. Jalan Raya Suban yang terletak di Kecamatan Panjang adalah daerah yang menjadi perhatian karena berada di tepi tebing Bukit Suban yang memiliki kondisi batuan yang tidak kompak dan mudah terdegradasi sehingga sangat rawan terjadi bencana tanah longsor. Tercatat, hampir setiap tahun terjadi longsor di daerah ini, yang

mengakibatkan kerugian dan menutup akses jalan.

Faktor yang mempengaruhi terjadinya tanah longsor yaitu hujan, getaran gempa, pengikisan/ erosi, tanah yang kurang padat dan tebal, batuan yang kurang kuat, lereng terjal, jenis tata lahan, susut muka air danau atau bendungan, dan adanya beban tambahan (Nandi, 2007). Lapisan yang rawan longsor biasanya dicirikan dengan adanya lapisan yang *impermeable* berada di bawah lapisan *permeabel*. Pada lapisan *impermeabel* tersebut akan bertindak sebagai bidang gelincir yang kemudian menarik material tanah yang berada di atasnya dengan mengikuti bentuk dari bidang gelincir tersebut. Faktor lain yang menjadi penyebab longsor yang sangat berpengaruh adalah keberadaan bidang geser (*shear surface*) atau bidang gelincir (*slip surface*). Umumnya tanah yang mengalami longsor akan bergerak di atas bidang gelincir tersebut (Sugito dkk., 2012).

Jenis litologi bawah permukaan yang dapat berpotensi longsor dan bidang gelincir dapat diketahui dengan memanfaatkan metode geofisika. Salah satu metode geofisika yang dapat digunakan dan dimanfaatkan ialah metode geolistrik resistivitas. Metode geolistrik memiliki sifat yang tidak merusak lingkungan, memiliki biaya relatif murah juga mampu mendeteksi perlapisan tanah sampai kedalaman beberapa meter di bawah permukaan tanah berdasarkan sifat resistivitas tanah ataupun batuan di wilayah tersebut. Metode geolistrik ini dapat dimanfaatkan untuk menemukan letak dari bidang gelincir (*slip surface*) yang terdapat pada lokasi penelitian (Romadon, 2016). Menurut Sutasoma dkk. (2017), menjelaskan bahwa persebaran nilai resistivitas di bawah permukaan merupakan hasil dari kemampuan batuan untuk menghantarkan arus listrik. Oleh karena itu

metode geolistrik dipilih dikarenakan dapat digunakan untuk survei daerah rawan longsor terkhusus untuk menentukan ketebalan suatu lapisan yang kemungkinan berpotensi longsor dan dapat mengetahui litologi dari perlapisan batuan bawah permukaan (Sugito dkk., 2012).

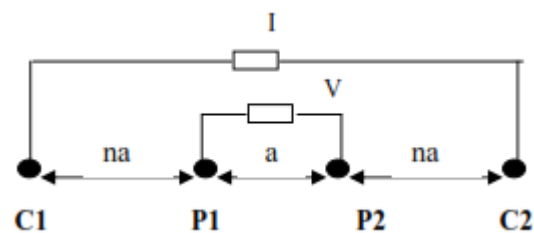
Penelitian yang berkaitan dengan geolistrik dan kelongsoran yang telah dilakukan oleh beberapa peneliti terdahulu. Tunena dkk. (2018), telah melakukan penelitian kelongsoran dengan menggunakan metode geolistrik dengan konfigurasi *Wenner-Alpha* dan dapat menemukan struktur lapisan bawah permukaan juga bidang gelincir pada bencana tanah longsor di Desa Tinoor. Mulyasari dkk. (2020; 2021), telah melakukan penelitian dengan mengidentifikasi kondisi litologi juga bidang gelincir pada daerah yang rawan longsor di Kecamatan Panjang dengan memanfaatkan metode geolistrik konfigurasi *Wenner-Schlumberger*.

Penelitian ini memiliki tujuan untuk dapat mengetahui litologi bawah permukaan serta mengetahui bidang gelincir di daerah penelitian dengan memanfaatkan konfigurasi *Wenner-Schlumberger* dan *Wenner-Alpha*. Kedua konfigurasi ini digunakan dengan kelebihan dan juga mengurangi kelemahan dari masing-masing konfigurasi yang digunakan pada analisis kelongsoran di daerah penelitian. Pengkombinasian antara kedua konfigurasi ini diharapkan dapat menjabarkan lebih dalam untuk mengetahui bidang gelincir serta litologi bawah permukaan yang lebih akurat dan dapat dijadikan sebagai informasi awal dalam upaya mitigasi dan mengurangi kerugian yang diakibatkan oleh tanah longsor.

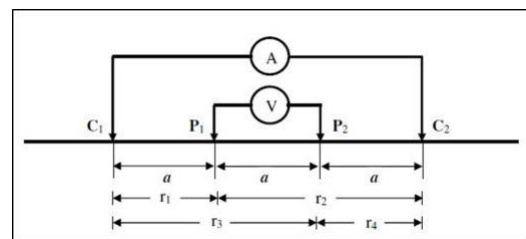
### Metode Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Jalan Raya Suban, Kelurahan Pidada, Kecamatan Panjang, Kota Bandar Lampung. Metode yang digunakan ialah metode geolistrik

resistivitas dengan menggunakan dua konfigurasi yakni konfigurasi *Wenner-Schlumberger* dan konfigurasi *Wenner-Alpha*. Konfigurasi *Wenner-Schlumberger* memiliki karakteristik yang tidak terlalu sensitif pada perubahan horizontal tetapi mempunyai penetrasi arus yang cukup dalam. Pada konfigurasi ini memiliki resolusi yang kurang baik oleh karena itu sebaiknya digunakan untuk survei kedalaman tidak dengan pemetaan/*mapping*. Konfigurasi ini biasanya digunakan dalam beberapa pengukuran seperti survei bidang gelincir, sungai bawah tanah dan geoteknik (Telford dkk., 1990). Konfigurasi *Wenner-Schlumberger* mempunyai jarak antar elektroda arus (C1-C2) dan elektroda potensial (P1-P2) berbeda seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.



**Gambar 1.** Susunan elektroda pada konfigurasi *Wenner-Schlumberger* (Kanata dan Zubaidah, 2013).



**Gambar 2.** Susunan elektroda pada konfigurasi *Wenner-Alpha* (Taib, 2004).

Konfigurasi *Wenner-Alpha* memiliki karakteristik yang sensitif terhadap perubahan lateral dan dangkal. Resolusi yang dihasilkan dari konfigurasi ini cukup tinggi tetapi kurang sensitif pada perubahan horizontal sehingga konfigurasi ini sangat baik untuk *survey mapping vertical* (Taib, 2004). Konfigurasi *Wenner-Alpha* mempunyai jarak antar elektroda arus (C1-C2) dan elektroda potensial (P1-P2) sama seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.

*Persiapan*

Persiapan dalam penelitian dilakukan dengan studi pustaka mengenai geologi pada daerah penelitian baik secara regional maupun lokal, peta geomorfologi, peta topografi, peta zonasi potensi area longsor, serta data sejarah longsor di zona rawan longsor. Selanjutnya dilakukan pula survei

pendahuluan untuk mendapatkan gambaran umum serta informasi lengkap pada lokasi daerah penelitian sebagai acuan untuk membuat desain survei di lokasi seperti penentuan arah dan panjang lintasan yang ditunjukkan pada Gambar 3. Letak posisi *main unit* dan panjang lintasan akan sangat menentukan jarak tiap elektroda dan posisi penempatan peralatan survei.



**Gambar 3.** Peta Desain Survei Daerah Penelitian Jalan Raya Suban Bandar Lampung.

*Akuisisi*

Akuisisi pengukuran geolistrik resistivitas 2D dengan menggunakan alat GF *Instrument ARES 3000* (Gambar 4). Topografi didapatkan dari data elevasi dari GPS Garmin 78S yang digunakan sebagai acuan dan juga pengukuran manual per titik dengan *Jacob Staff*. Posisi lintasan pengukuran ini terletak pada tepi Jalan Raya Suban dengan arah melintang ke arah timur laut pada koordinat E 535719 – E 535816 dan N 9396475 – N 9396510 dengan panjang lintasan 115 m dengan spasi elektroda 5 meter. Data pengukuran lapangan berupa data tahanan jenis yang

tersimpan otomatis di GF *Instrument ARES 3000*.



**Gambar 4.** Pengukuran geolistrik resistivitas 2D menggunakan alat GF *Instrument ARES 3000*.

*Pengolahan*

Data sekunder hasil dari pengukuran tersebut kemudian diolah menggunakan *Microsoft Excel* guna mendapatkan nilai resistivitas semu kemudian data dipindah ke *notepad*. Format yang digunakan sebagai masukan adalah \*.txt. Selanjutnya dilakukan pemodelan data penelitian dengan gambaran 2D dengan prinsip *least square inversion* menggunakan *software Res2DInv*.

*Interpretasi*

Tahapan interpretasi dengan melihat nilai resistivitas sebenarnya yang diperoleh dari pengolahan data yang dibandingkan dengan nilai resistivitas menurut tabel resistivitas Telford dkk. (1990). Serta melihat pada peta geologi regional wilayah penelitian yang berada pada lembar Tanjung Karang serta penelitian sebelumnya tentang daerah Jalan Raya Suban Bandar Lampung.

**Hasil dan Pembahasan**

*Data Pengamatan*

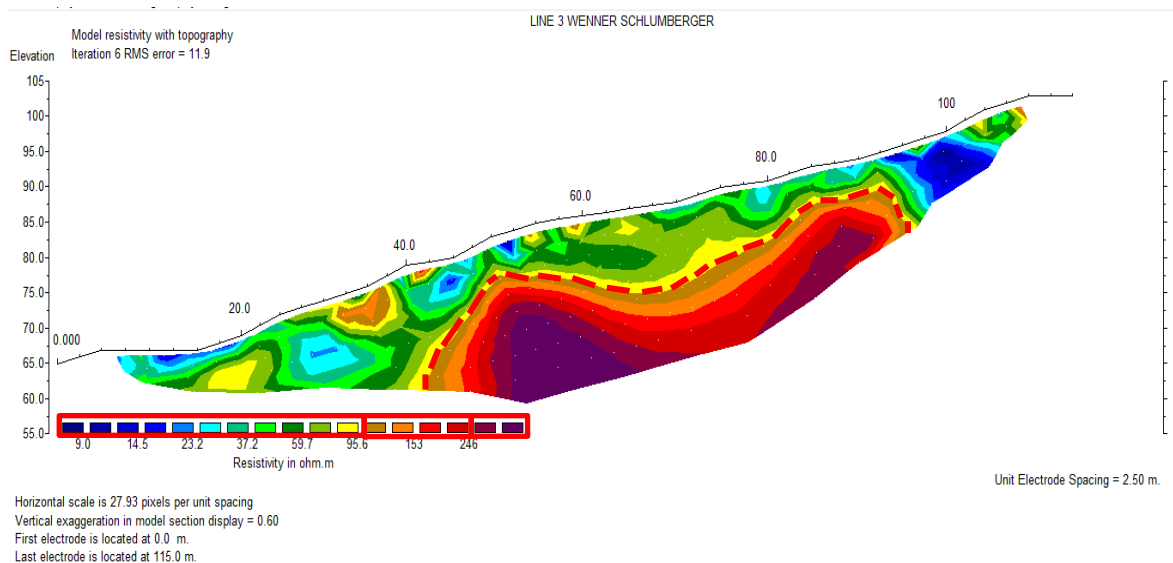
Data penelitian ini adalah data sekunder geolistrik yang berdasarkan pada data penelitian lapangan. Diperoleh 2 data pada

1 lintasan dengan konfigurasi yang berbeda panjang. Tiap lintasan 115 meter dan spasi elektroda 5 meter. Diperoleh jumlah 116 *datum point* (dp) pada konfigurasi *Wenner-Schlumberger* dan berjumlah 81 *datum point* (dp) pada konfigurasi *Wenner-Alpha* pada daerah yang rawan longsor di Jalan Raya Suban, Kecamatan Panjang, Bandar Lampung.

*Pembahasan*

1. Litologi Lapisan Konfigurasi *Wenner-Schlumberger*

Hasil konfigurasi *Wenner-Schlumberger* didapatkan dengan mengubah iterasi beberapa kali sehingga didapatkan interpretasi yang mendekati kondisi lapangan sesungguhnya. Pada lintasan ini dilakukan iterasi sampai ke 6 dengan nilai *RMS error* sebesar 11,9%. Dengan kedalaman maksimal yang diperoleh dari hasil inversi yaitu 21,5 m. Berdasarkan hasil pengolahan data pada Gambar 5 dari proses akuisisi geolistrik menggunakan konfigurasi *Wenner-Schlumberger* dapat diketahui klasifikasi nilai resistivitas pada lapisan di daerah penelitian yang ditunjukkan oleh Tabel 1.



**Gambar 5.** Penampang 2D konfigurasi *Wenner-Schlumberger* hasil inversi dengan topografi.

**Tabel 1.** Klasifikasi nilai resistivitas konfigurasi *Wenner-Schlumberger*

No	Nilai Resistivitas ( $\Omega\text{m}$ )	Indikator Warna	Jenis Lapisan	Jarak (m)	Ketebalan Lapisan (m)
1	1 – 95,6	Biru tua - Kuning	Batuan resistivitas rendah berasosiasi tufa lempungan dan tufa pasiran	7,5 – 109	2 – 12
2	95,6 – 250	Cokelat - Merah tua	Pasir lempungan	15 – 22 27 – 37 35 – 91	4 8,4 14,5
3	> 250	Ungu - Ungu tua	Perpaduan breksi dan batuan beku	42,5 – 65 72 – 87,5	12,5 3

Berdasarkan Tabel Resistivitas Telford dkk. (1990) dan Peta Geologi Regional Tanjung Karang, nilai resistivitas 1  $\Omega\text{m}$  – 95,6  $\Omega\text{m}$  yang ditunjukkan oleh indikator warna biru tua-kuning diduga merupakan batuan yang lapuk dan sebagai zona rawan longsor. Zona ini dapat tersaturasi air dengan resistivitas yang rendah kemungkinan dapat berasosiasi dengan batuan yang didominasi tufa lempungan dan tufa pasiran (sedimen tufa) yang berasal dari produk gunung api Formasi Tarahan dengan karakteristik mudah mengalami longsor. Material ini terletak di kedalaman 0,94 m – 15 m. Pada jarak 7,5 m – 105 lapisan ini mempunyai ketebalan bervariasi antara 2 m – 12 m.

Nilai resistivitas 95,6  $\Omega\text{m}$  – 250  $\Omega\text{m}$  yang ditunjukkan oleh indikator berwarna cokelat – merah tua diperkirakan merupakan material pasir lempungan dari Formasi Campang. Material ini berada pada kedalaman 2,3 m – 21,5 m dengan ketebalan yang bervariasi antara 2 m – 13,5 m. Pada jarak 15 m - 22 m lapisan ini memiliki ketebalan 4 m. Pada jarak 27 m – 37 m memiliki ketebalan 8,4 m. Sedangkan pada jarak 35 m – 91 m memiliki ketebalan 14,5 m.

Dalam geolistrik bidang gelincir dapat diidentifikasi dengan cara melihat terdapatnya kontras resistivitas antar dua batuan yang berdekatan. Lapisan kedap air akan mempunyai nilai tahanan jenis besar yang biasanya berada di antara lapisan yang

memiliki tahanan jenis yang lebih kecil. Pasir lempungan mempunyai sifat *impermeable/* kedap air. Jika memiliki kandungan air pada lapisan tersebut maka pasir lempungan akan menjadi licin dan menjadi bidang gelincir. Pada keadaan ini akan menggelincirkan semua material yang berada di atasnya sehingga terjadi longoran dan amblesan tanah. Bidang gelincir di lintasan pengukuran (ditandai oleh garis putus-putus berwarna merah) dapat diindikasikan berada di antara lapisan sedimen tufa dan pasir lempungan pada kedalaman 4,6 m – 15 m dari permukaan tanah.

Lintasan ini pula terdapat nilai resistivitas lebih dari 250  $\Omega\text{m}$  yang ditunjukkan oleh indikator berwarna ungu - ungu tua yang diduga merupakan lapisan keras yang memiliki nilai porositas yang buruk dan tidak dapat menyimpan air di antara pori batuan yang diduga merupakan perpaduan breksi dan batuan beku yang berasal dari Formasi Tarahan. Material ini berada pada kedalaman 9,3 m – 21,5 m dengan ketebalan mencapai 12,5 m. Pada jarak 42,5 m – 65 m lapisan ini mempunyai ketebalan 12,5 m. Sedangkan pada jarak 72 m – 87,5 m mempunyai ketebalan 3 m.

Berdasarkan hasil pemodelan lapisan dapat diidentifikasi lapisan batuan lapuk yang berasosiasi dengan tuff pasiran (sedimen tufa) dan tufa lempungan pada panjang lintasan sekitar 7,5 m – 105 m, yang di bagian bawah lintasan terdapat zona

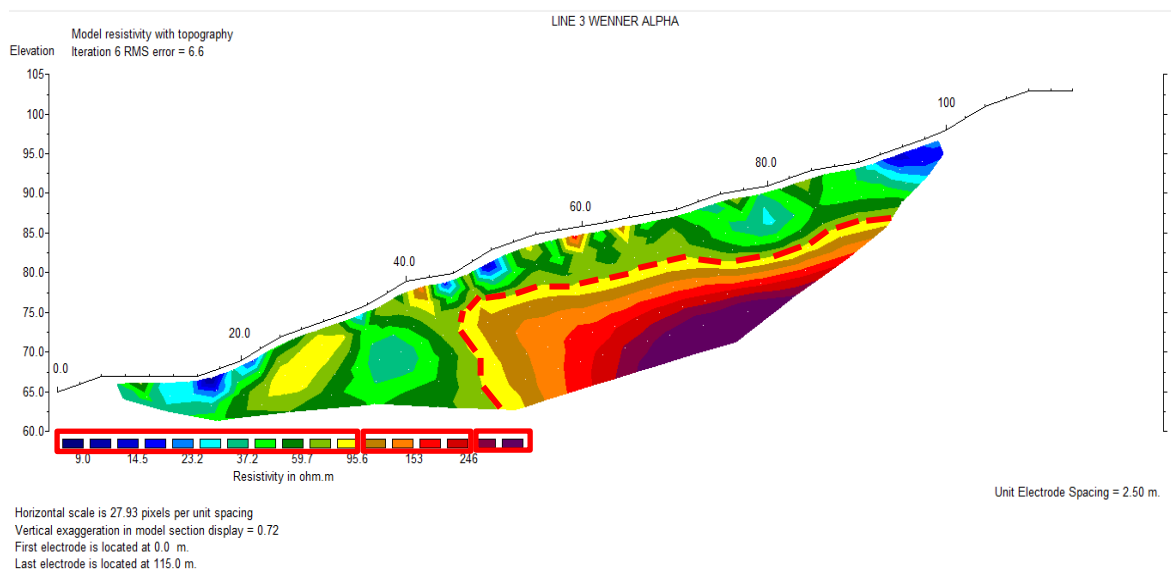
tersaturasi air dan memiliki struktur bawah tanah berupa pasir lempungan dan sedimen tufa yang dominan dengan ketebalan sedimen yang diperkirakan mencapai hingga 12 m dan kemiringan lereng >30° sehingga mempunyai risiko longsor yang tinggi.

## 2. Litologi Lapisan Konfigurasi Wenner-Alpha

Hasil interpretasi konfigurasi Wenner-Alpha didapatkan dengan proses iterasi beberapa kali sehingga diperoleh interpretasi yang mendekati kondisi sesungguhnya. Pada lintasan ini dilakukan proses iterasi hingga ke 6 dan diperoleh nilai RMS error sebesar 6,6%. Kedalaman maksimal didapatkan dari hasil inversi yakni 18 m. Berdasarkan hasil pengolahan data pada Gambar 6 dari proses akuisisi geolistrik dapat diidentifikasi klasifikasi

nilai resistivitas pada lapisan yang ditunjukkan oleh Tabel 3.

Berdasarkan Tabel Resistivitas Telford dkk. (1990) dan Peta Geologi Regional Tanjung Karang, nilai resistivitas 1 Ωm – 95,6 Ωm yang ditunjukkan oleh warna biru tua - kuning diduga merupakan batuan resistivitas rendah yang diidentifikasi sebagai zona rawan longsor/ batuan lapuk. Zona ini mempunyai zona yang tersaturasi air dan kemungkinan berasosiasi dengan litologi tufa pasiran (sedimen tufa) dan tufa lempungan yang berasal dari produk gunung api Formasi Tarahan dengan karakteristik mudah mengalami longsor. Material tufa pasiran (sedimen tufa) dan tufa lempungan berada pada kedalaman 0,93 m – 18 m. Pada jarak 7,5 m – 98,7 m material ini memiliki ketebalan yang bervariasi antara 2 m – 17 m.



Gambar 6. Penampang 2D konfigurasi Wenner-Alpha hasil inversi dengan topografi.

Tabel 3. Klasifikasi nilai resistivitas konfigurasi Wenner-Alpha.

No	Nilai Resistivitas (Ωm)	Indikator Warna	Jenis Lapisan	Jarak (m)	Ketebalan Lapisan (m)
1	1 – 95,6	Biru tua - Kuning	Batuan resistivitas rendah berasosiasi tufa lempungan dan tufa pasiran	7,5 – 98,7	2 – 17
2	95,6 – 250	Cokelat - Merah tua	Pasir lempungan	20 – 32 45 – 90	8 15
3	> 250	Ungu - Ungu tua	Perpaduan breksi dan batuan beku	57,5 – 80	6

Nilai resistivitas  $95,6 \Omega\text{m} - 250 \Omega\text{m}$  yang ditunjukkan oleh indikator berwarna coklat – merah tua diperkirakan merupakan material pasir lempungan dari Formasi Campang. Material ini berada di kedalaman  $1,25 \text{ m} - 19,8 \text{ m}$ . Pada jarak  $20 \text{ m} - 32 \text{ m}$  lapisan ini mempunyai ketebalan  $8 \text{ m}$ . Sedangkan pada jarak  $45 \text{ m} - 90 \text{ m}$  lapisan ini mempunyai ketebalan mencapai  $15 \text{ m}$ . Hasil pemodelan lapisan konfigurasi *Wenner-Alpha* letak bidang gelincir ini diindikasikan terletak di antara lapisan sedimen tuff dan pasir lempungan pada kedalaman  $4,5 \text{ m}$  sampai  $18 \text{ m}$ . Pada lintasan ini terdapat nilai resistivitas lebih dari  $250 \Omega\text{m}$  yang ditunjukkan oleh indikator berwarna ungu tua yang diduga merupakan lapisan keras yang mempunyai porositas yang buruk dan tidak dapat menyimpan air diantara pori batuan yang diperkirakan perpaduan breksi dan batuan beku yang berasal dari Formasi Tarahan. Material ini berada pada kedalaman  $12 \text{ m} - 18 \text{ m}$ . Pada jarak  $57,5 \text{ m} - 80 \text{ m}$  lapisan ini ketebalan yang relatif tipis hanya  $6 \text{ m}$ .

Berdasarkan hasil pemodelan, dapat diidentifikasi lapisan batuan lapuk yang berasosiasi dengan tufa pasiran (sedimen tufa) dan tufa lempungan pada panjang lintasan sekitar  $7,5 \text{ m} - 98,7 \text{ m}$ . Di bagian bawah lintasan tersebut terdapat zona tersaturasi air dan mempunyai struktur bawah tanah berupa pasir lempungan dan sedimen tufa yang dominan yang memiliki ketebalan sedimen mencapai  $17 \text{ m}$  dan kemiringan lereng  $>30^\circ$  sehingga memiliki risiko tanah longsor yang tinggi.

### Kesimpulan

Pada daerah penelitian, bidang gelincir berada pasir lempungan dan sedimen tufa yang terletak pada kedalaman  $4,5 \text{ m} - 18 \text{ m}$  dari permukaan tanah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa litologi batuan pada tebing Bukit Suban terdiri dari batuan lapuk yang berasosiasi dengan tufa lempungan dan tufa pasiran dengan nilai resistivitas  $1 \Omega\text{m} - 95,6 \Omega\text{m}$ . Lapisan kedua diduga pasir

lempungan dari Formasi Campang dengan resistivitas  $95,6 \Omega\text{m} - 250 \Omega\text{m}$ . Lapisan ketiga diduga perpaduan breksi dan batuan beku dari Formasi Tarahan dengan nilai resistivitas lebih dari  $250 \Omega\text{m}$ .

### Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Lembaga Pemerintah Daerah Kecamatan Panjang yang telah memberikan izin bagi berlangsungnya penelitian ini.

### Daftar Pustaka

- Agustina, L.K., Harbowo, D.G. dan Al Farishi, B. 2020. *Identifikasi Kawasan Rawan Longsor Berdasarkan Karakteristik Batuan Penyusun di Kota Bandar Lampung*. Elipsoida: Jurnal Geodesi dan Geomatika. 3(01), pp.30-37.  
<https://ejournal2.undip.ac.id/index.php/elipsoida/article/view/7769>
- Dani, I., Erfani, S., Yogi, I B S. dan Syah, A. 2020. *Identifikasi Bidang Gelincir Dan Edukasi Upaya Mitigasi Bencana Tanah Longsor Di Kelurahan Pidada*. In: Seminar Nasional Pengabdian Masyarakat Teknologi dan Inovasi (SENAPATI) 2020. Bandar Lampung.
- Kanata, B. dan Zubaidah, T. 2013. *Aplikasi Metode Geolistrik Tahanan Jenis Konfigurasi Wenner-Schlumberger untuk Survey Pipa Bawah Permukaan*. Majalah Ilmiah Teknologi Elektro. 7(2), pp.84-91.  
<https://ojs.unud.ac.id/index.php/JTE/article/view/5571>
- Mangga, S.A., Amirudin, T., Suwarti, S., Gafoer, dan Sidarto. 1993. *Peta Geologi Lembar Tanjungkarang, Sumatera*. Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.

- Mulyasari, R., Darmawan, I.G.B., Effendi D,S., Saputro S.P., Hesti, Hidayatika, A. dan Haerudin, N. 2020. *Aplikasi Metode Geolistrik Resistivitas untuk Analisis Bidang Gelincir dan Studi Karakteristik Longsoran di Jalan Raya Suban Bandar Lampung*. Jurnal Geofisika Eksplorasi. 6(1), pp.66-76. <https://doi.org/10.23960/jge.v6i1.61>
- Mulyasari, R., Darmawan, I.G.B. dan Haerudin, N. 2021. *Perbandingan Konfigurasi Elektroda Metode Geolistrik Resistivitas untuk Identifikasi Litologi dan Bidang Gelincir di Kelurahan Pidada Bandar Lampung*. Journal Online of Physics. 6(2), pp.16-23. <https://online-journal.unja.ac.id/jop/article/view/12973/11334>
- Nandi. 2007. *Longsor*. Bandung: Jurusan Pendidikan Geografi FPIPS UPL.
- Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi. 2019. *Wilayah Potensi Gerakan Tanah Di Provinsi Lampung Bulan Januari 2019*. Bandung.
- Romadon, I., Darsono, D. dan Koesuma, S. 2016. *Identifikasi Bidang Gelincir di Dusun Dukuh, Desa Koripan, Kecamatan Matesih, Kabupaten Karanganyar Menggunakan Metode Geolistrik Resistivitas Konfigurasi Wenner Alfa*. Indonesian Journal of Applied Physics. 6(2), pp.88-96. <https://doi.org/10.13057/ijap.v6i02.1892>
- Sugito, S., Irayani, Z. dan Jati, I.P. 2012. *Investigasi Bidang Gelincir Tanah Longsor Menggunakan Metode Geolistrik Tahanan Jenis di Desa Kebarongan Kec. Kemranjen Kab. Banyumas*. Berkala Fisika. 13(2), pp.49-54. [https://ejournal.undip.ac.id/index.php/berkala\\_fisika/article/view/2704](https://ejournal.undip.ac.id/index.php/berkala_fisika/article/view/2704)
- Taib, M.I.T. 2004. *Eksplorasi Geolistrik Diktat Kuliah Metoda Geolistrik*. Bandung: Departemen Teknik Geofisika, ITB.
- Telford, W M, Geldart, L.P., Sheriff, R.E. dan Keys, D.A. 1990. *Applied Geophysics, 2<sup>nd</sup> ed.* New York: Cambridge University Press.
- Tunena, M., As'ari, A. dan Tamuntuan, G.H. 2018. *Identifikasi Bidang Gelincir Dengan Eksplorasi Geolistrik Dalam Upaya Mitigasi Bencana Alam Tanah Longsor Di Desa Tinoor*. Jurnal MIPA. 7(2), pp.1-5. <https://doi.org/10.35799/jm.7.2.2018.20616>
- Sutasoma, M., Susilo, A. dan Suryo, E.A. 2017. *Penyelidikan Zona Longsor dengan Metode Resistivitas dan Analisis Stabilitas Lereng untuk Mitigasi Bencana Tanah Longsor (Studi Kasus di Dusun Jawar, Desa Sri Mulyo, Kecamatan Dampit, Kabupaten Malang, Provinsi Jawa Timur)*. Indonesian Journal of Applied Physics. 7(1), pp.36-45. <https://doi.org/10.13057/ijap.v7i1.8784>



## ANALISIS STABILITAS LERENG TAMBANG BATUBARA DENGAN MENGGUNAKAN METODE LIMIT EQUILIBRIUM PADA PT. KALIMANTAN PRIMA NUSANTARA

Andi Al'Faizah Ma'rief<sup>1\*</sup>, Hediando<sup>1</sup>, Nur Okviyani<sup>2</sup>, Enni Tri Mahyuni<sup>1</sup>, Abdul Affan<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Bosowa, Jl. Urip Sumoharjo, Sinrijala, Kec. Panakkukang, Kota Makassar, Sulawesi Selatan, Indonesia

<sup>2</sup>Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sulawesi Barat, Jl. Prof. Dr. Baharuddin Lopa, Baurung, Kec. Banggae, Kab. Majene, Sulawesi Barat, Indonesia

<sup>3</sup>Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Veteran Republik, Indonesia, Jl. Raya Baruga No. Raya, Antang, Kec. Manggala, Kota Makassar, Sulawesi Selatan, Indonesia

\*Corresponding author. Email: [alfaizah.marief@universitasbosowa.ac.id](mailto:alfaizah.marief@universitasbosowa.ac.id)

Manuscript received: 1 February 2022; Received in revised form: 10 April 2022; Accepted: 31 Mei 2022

### Abstrak

Berbagai permasalahan pada suatu lereng dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya yakni geometri lereng dan juga nilai propertis dari batuan lereng tersebut. Polemik mengenai stabilitas lereng dilakukan pada area izin usaha pertambangan PT. Kalimantan Prima Nusantara yang memiliki luas sebesar 1500 hektar. PT. Kalimantan Prima Nusantara terdapat merupakan salah satu perusahaan tambang batubara yang berlokasi Kabupaten Kapuas, Kalimantan Tengah. Kondisi lereng pada area penambangan tersebut membutuhkan perhatian mengenai kestabilan lerengnya. Pada litologi daerah penelitian ditemukan jenis batuan sedimen yang ditinjau dari segi geologi tekniknya atau *rock mass weathering grade* masuk kategori *highly weathering rock – completely weathering rock*. Tujuan penelitian ini yakni menganalisis kestabilan lereng tambang pada GT-01 – GT-02 (*South Block Pit*) GT-03 – GT-04 (*Central Block Pit*), GT-05 – GT-06 (*North Block Pit*). Metode yang digunakan adalah metode *limit equilibrium* atau metode *Bishop* untuk melihat kuat geser batuan pada lereng (*shear strength*) apakah memiliki nilai faktor keamanan yang tinggi atau rendah. Hal ini berdasarkan analisa kinetik dengan mengandalkan parameter masukan yakni kohesi, berat isi, dan sudut geser dalam. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kondisi lapisan batuan pada lereng didominasi oleh material sedimen seperti *soil claystone*, *siltstone* dan *sandstone*. Pada *single slope* menunjukkan sudut kemiringan lereng 35°-50° dan berdasarkan hasil analisa kinetik atau analisa analitik kondisi lereng pada GT-01 hingga GT-06 menunjukkan keadaan stabil dengan nilai rata-rata faktor keamanan yakni  $FK \Rightarrow 2$ .

**Kata Kunci:** faktor keamanan; geometri lereng; kohesi; *limit equilibrium*; stabilitas lereng.

### Abstract

Various problems on a slope can be influenced by several factors such as slope geometry and also the property value of the slope. The polemic regarding the exhibition conducted on the mining business license of PT. Kalimantan Prima Nusantara which has an area of 1500 hectares. PT. Kalimantan Prima Nusantara, there is a coal mining company located in Kapuas Regency, Central Kalimantan. The slope conditions in the mining area require attention to the stability of the slopes due to the lithological conditions of the research area found types of sedimentary rocks in terms of engineering geology or rock mass weathering class into the rock category. highly weathered – rock that is completely weathered. The purpose of this study is to analyze the mine slopes at GT-01 – GT-02 (South block pit) GT-03 – GT-04 (Central block pit), GT-05 – GT-06 (North block pit). The research used the balance

limit method or the Bishop's method to see whether the shear strength on a slope (shear strength) has a high or low safety value. This is based on kinetic analysis by relying on inputs such as cohesion, bulk density, and internal shear angle. The results of this study indicate that the condition of the rock layers on the slopes are dominated by sedimentary materials such as claystone, siltstone and sandstone. The overall slope shows a slope angle of  $35^{\circ}$ - $50^{\circ}$  and based on the results of the analysis of the condition of the slopes on GT-01 to GT-06 it shows a stable condition with an average factor value of  $FK \Rightarrow 2$ .

**Keywords:** cohesion; equilibrium limit; safety factor; slope geometry; slope stability.

## Pendahuluan

PT. Kalimantan Prima Nusantara merupakan perusahaan yang bergerak di bidang pertambangan batubara yang terletak di Desa Baronang, Kecamatan Kapuas tengah, Kabupaten Kapuas, Provinsi Kalimantan Tengah. Kegiatan penambangan dilakukan pada lahan dengan IUP eksplorasi seluas 1500 hektar (Batuah, Isjudarto, and Sidiq, 2020). Sebelum melakukan kegiatan eksplorasi, perusahaan pertambangan memerlukan sebuah kajian untuk menilai kelayakan cadangan yang ditemukan untuk dilakukan penambangan. Salah satu kajian teknis yang harus dilakukan perusahaan dalam mendukung desain penambangan adalah kajian geoteknik. Yaitu sebuah kajian untuk menentukan desain (kemiringan dan tinggi lereng) yang diperkirakan akan stabil sampai kegiatan penambangan selesai (Syafar, Djamaluddin, and Anshariah, 2017).

Kasus longsor pada lereng tambang menjadi perhatian khusus pada kegiatan penambangan di Indonesia. Selain dapat merugikan perusahaan secara materil yang cukup besar kasus kelongsoran lereng tambang dapat menghambat operasional penambangan berakibat fatal pada lingkup keamanan pekerjaan yang dilaksanakan di lapangan (Ye, Wu, and Wang, 2011). Penyelidikan geoteknik mutlak diperlukan untuk mengurangi resiko tersebut. Kemantapan lereng dalam kepentingan tambang terbuka membutuhkan parameter geometri lereng, yaitu sudut dan tinggi lereng. Salah satu masalah yang dihadapi pada kegiatan operasional di pertambangan yakni pemotongan sudut dari lereng agar

mendapatkan material yang lebih besar namun hal ini memicu ketidakstabilan pada lereng (Amrullah et al., 2019).

Faktor utama penentu geometri lereng adalah struktur geologi, sifat fisik dan mekanik batuan, serta kondisi air tanah. Sedangkan kemampu-galian material dipengaruhi oleh sifat fisik dan mekanik material antara lain dari kuat tekan uniaksial, *point load index*, dan *sonic velocity* (Syam et al., 2018).

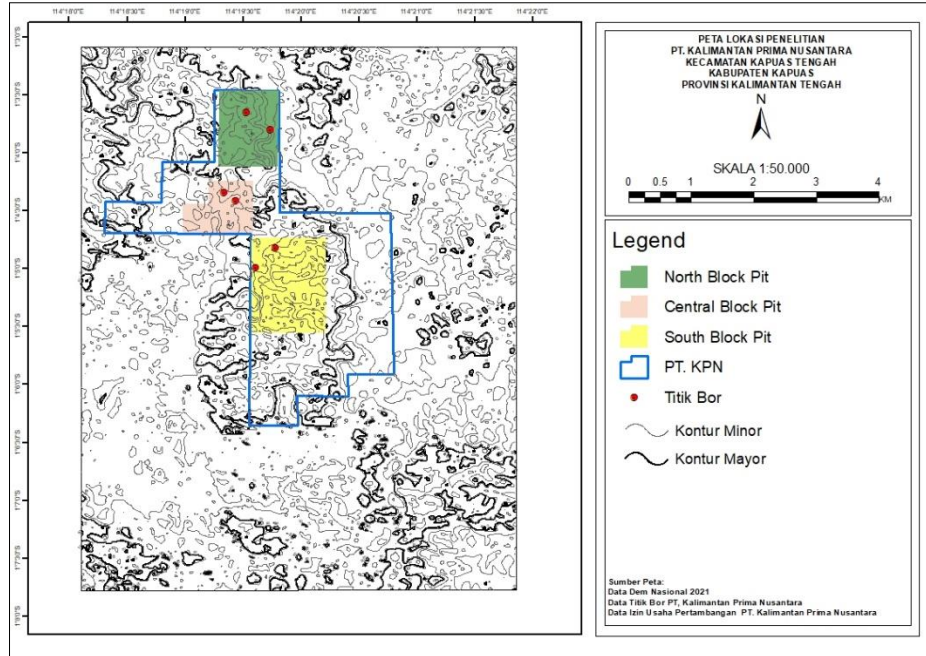
Tujuan analisis kestabilan lereng yakni untuk mendapatkan nilai faktor keamanan dari suatu bentuk lereng tertentu. Nilai faktor keamanan dapat memberikan informasi apakah lereng tersebut stabil atau tidak dan memudahkan pekerjaan pembentukan atau perkuatan lereng. Bertambahnya tingkat kepastian untuk memprediksi ancaman longsor dapat bermanfaat untuk memahami perkembangan dan bentuk dari lereng alam dan proses yang menyebabkan terjadinya bentuk-bentuk alam yang berbeda, dan menilai kemungkinan terjadinya kelongsoran yang melibatkan lereng alam atau lereng buatan, serta untuk dapat mendisain ulang lereng yang gagal serta perencanaan dan disain pencegahannya, serta pengukuran ulang (Hidayah, Paharuddin, and Massinai, 2017).

## Metode Penelitian

Lokasi penelitian terletak di Desa Barunang, Kecamatan Kapuas Tengah, Kabupaten Kapuas, Provinsi Kalimantan Tengah (Gambar 1). Alat yang digunakan dalam pengambilan sampel batuan

menggunakan mesin bor jacro 200 dengan kemampuan penetrasi hingga 200 meter. Adapun alat yang digunakan dalam pengujian sampel di laboratorium yakni uji kuat geser langsung untuk mendapatkan

parameter mekanik batuan sedangkan untuk mendapatkan parameter fisik batuan alat yang digunakan yakni desikator, vakum, timbangan digital dan *furnace*.



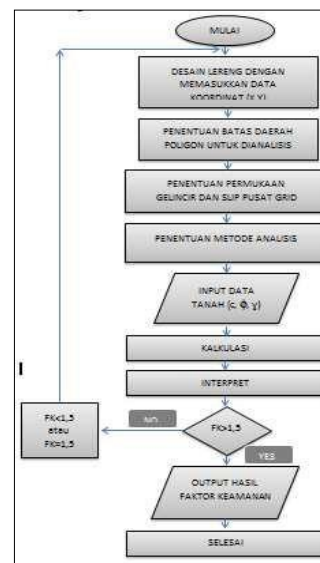
Gambar 1. Peta lokasi penelitian.

Metode penelitian ini bersifat kuantitatif dengan menggunakan data primer dan data pendukung yakni data sekunder, untuk menganalisis kestabilan lereng pada pit penambangan PT. Kalimantan Prima Nusantara. Adapun data-data yang diperlukan pada kajian ini yakni:

1. Data primer berasal dari pengambilan data langsung di lapangan berupa data-data geologi yakni litologi yang terdapat pada area penambangan atau permukaan yang dikorelasikan kembali dari hasil pemboran. Serta sampel batuan yang menjadi objek atau data yang akan di uji sifat fisik dan mekaniknya yang kemudian dijadikan parameter masukan dalam analisis kestabilan lereng ini.
2. Data sekunder berasal dari perusahaan yakni data profil perusahaan dan laporan terdahulu yang mengkaji mengenai kestabilan lereng tambang.

Adapun teknik pengumpulan data yakni observasi lapangan meliputi melihat, mengamati dan menyusun informasi data

yang dibutuhkan seperti data geologi, data geometri, dan data analisa hasil laboratorium uji sifat fisik dan uji sifat mekanik batuan. Data penelitian kemudian diolah menggunakan sebuah *software* khusus untuk analisis kestabilan lereng dengan konsep kesetimbangan batas (*limit equilibrium*) Metode Bishop (Gambar 2).



Gambar 2. Langkah-langkah analisis data di *software*

*Metode Bishop*

Metode Bishop adalah metode yang diperkenalkan oleh A.W. Bishop menggunakan cara potongan. Gaya-gaya yang bekerja pada tiap potongan ditunjukkan seperti pada Gambar 3. Metode Bishop dipakai untuk menganalisis permukaan gelincir (*slip surface*) yang berbentuk setengah lingkaran (Azizi et al., 2018). Pada metode ini diasumsikan bahwa gaya-gaya normal total berada/ bekerja di pusat alas potongan dan bisa ditentukan dengan menguraikan gaya-gaya pada potongan secara vertikal atau normal (Pasole, Patanduk, and Wong, 2020). Persyaratan keseimbangan dipakai pada potongan-potongan yang membentuk lereng tersebut. Metode Bishop menganggap bahwa gaya-gaya yang bekerja pada irisan mempunyai resultan nol pada arah vertikal (Metriani, Anaperta, and Saldy, 2019). Lereng yang dibagi menjadi  $n$  buah *slice* (iris) seperti pada Tabel 1 dan 2.

**Tabel 1.** Persamaan yang diketahui pada Metode Bishop (Anderson and Richards, 1987).

No	Persamaan yang ada	Jumlah
1	Keseimbangan normal	$n$
2	Keseimbangan tangensial	$n$
3	Keseimbangan momen	$n$
	Total	$3n$

**Tabel 2.** Persamaan yang tidak diketahui pada Metode Bishop (Anderson and Richards, 1987).

No	Persamaan yang tidak diketahui	Jumlah
1	Faktor keamanan	
2	Gaya-gaya normal total (P) pada dasar <i>slice</i>	$n$
3	Posisi gaya P	$n$
4	Gaya-gaya horisontal antar <i>slice</i>	$n-1$
5	Gaya-gaya vertikal antar <i>slice</i>	$n-1$
6	Tinggi gaya-gaya antar <i>slice</i>	$n-1$
	Total	$5n-3$

Maka diperlukan asumsi sebanyak  $(2n-2)$  agar masalah bisa diselesaikan secara statis tertentu.

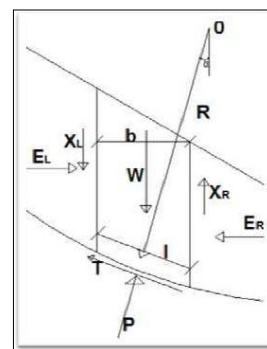
**Tabel 3.** Asumsi Umum Persamaan pada Persamaan Bishop (Rajagukguk, Turangan and Monintja, 2014).

No	Asumsi Umum	Jumlah
1	Posisi gaya normal pada pusat <i>slice</i>	$n$
2	Gaya antar <i>slice</i> vertikal adalah nol	$n-1$
	Total	$2n-1$

Secara umum ada tiga macam asumsi yang dapat dibuat pertama asumsi mengenai distribusi tegangan normal sepanjang permukaan gelincir. Kedua asumsi mengenai inklinasi dari gaya-gaya antar potongan. Ketiga asumsi mengenai posisi garis resultan gaya-gaya antar potongan (Rajagukguk, Turangan and Monintja, 2014).

Pada sebagian besar metode analisis, gaya normal diasumsi bekerja di pusat alas dari tiap potongan, sebab potongan tipis. Ini diterapkan pada sejumlah asumsi. Metode Bishop ini menggunakan asumsi sebanyak  $(2n - 1)$  seperti pada Tabel 3. Prinsip dasarnya yakni kekuatan geser didefinisikan dengan menggunakan hubungan linier Mohr- Coulomb, dan Menggunakan keseimbangan normal, keseimbangan tangensial, dan menggunakan keseimbangan momen (Herman and Permanasari, 2019).

*Rumus Metode Bishop*



**Gambar 3.** Gaya-gaya yang bekerja pada suatu potongan. W: berat total pada irisan; EL, ER: gaya antar irisan yang bekerja secara horisontal pada penampang kiri dan kanan; XL, XR: gaya antar irisan yang bekerja secara vertikal pada penampang kiri dan kanan; P: Gaya normal total pada irisan; T: gaya geser pada dasar irisan; b: lebar dari irisan; l: panjang dari irisan;  $\alpha$ : sudut kemiringan lereng (Rajagukguk, Turangan and Monintja, 2014).

Seluruh kesetimbangan gaya diperhitungkan sehingga rumus untuk faktor keamanan (Fk) metode Bishop diperoleh sebagai berikut (Anderson and Richards, 1987):

$$FK = \frac{[c' + P - ul] \tan \phi}{w \sin \alpha} \quad (1)$$

*Faktor Keamanan*

Faktor keamanan terhadap longsoran didefinisikan sebagai perbandingan kekuatan geser maksimum yang dimiliki tanah di bidang longsor yang diandaikan (s) dengan tahanan geser yang diperlukan untuk keseimbangan (τ) (Aprianti et al., 2021).

$$FK = \frac{s}{\tau} \quad (2)$$

Secara teoritis tingkat faktor keamanan diperlihatkan oleh Tabel 4.

**Tabel 4.** Tingkat nilai FK teoritis (Arif, 2016).

Fk	Keterangan
>1	Stabil
=1	Kritis
<1	Labil

Menurut Arif (2016) dalam praktiknya tingkat nilai faktor keamanan dapat dilihat pada Tabel 5.

**Tabel 5.** Tingkat nilai FK dalam praktek (Arif, 2016).

Fk	Keterangan
>1,5	Stabil
1,07 < Fk < 1,5	Kritis
<1,07	Labil

Penyelidikan geoteknik dilakukan untuk mendapatkan rekomendasi geometri lereng yang aman dan cara penggalian dengan mensimulasikan desain lereng untuk mengetahui faktor keamanan yang paling ideal dan aman (Widijanto, 2019). Hasil dari kajian ini diharapkan dapat memberikan solusi terhadap beberapa permasalahan yang dihadapi berkaitan dengan masalah geoteknik dalam rencana kegiatan penambangan, tidak hanya pada industri pertambangan namun juga pada bidang yang khususnya pada bidang kebencanaan.

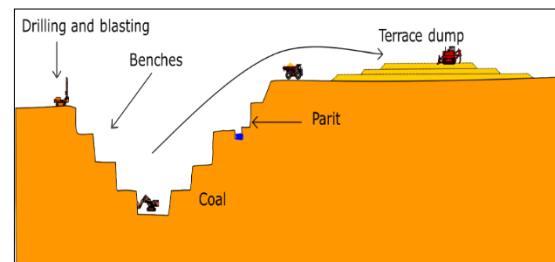
**Hasil dan Pembahasan**

*Kondisi geologi daerah penelitian*

Berdasarkan data geologi regional (Gambar 4) terdapat tiga formasi batuan yaitu Formasi Berai (Tomb) yang dijumpai batugamping berlapis dengan batulempung, napal dan batubara, sebagian bersilikakan dan mengandung limolit. Lalu Formasi Montalat (Tomm) terdapat batupasir kuarsa putih berstruktur silang siur. Sebagian gampingan, bersisipan batulanau/serpih dan batubara serta terdapat fosil foram kecil. Berumur Oligosen. Lalu yang terakhir yakni Formasi Tanjong (Tet). Formasi ini bagian bawah perselingan antara batupasir, serpih, dan batu lanau (Supriatna and Sudradjat, 1992).



**Gambar 4.** Peta regional daerah penyelidikan (Supriatna and Sudradjat, 1992).



**Gambar 5.** Ilustrasi pembuatan pit penambangan (Bargawa, 2018).

Analisis kestabilan lereng dilakukan di tiga *block pit* berbeda yakni *South Block Pit*, *Central Block Pit*, dan *North Block Pit* untuk mengetahui nilai faktor keamanan berdasarkan nilai masukan yakni nilai sifat fisik dan mekanik batuan. Metode penambangan *open cut* adalah dengan membuat lereng memotong kedudukan dip dari tubuh batuan (Gambar 5).

Melihat kenyataan ini maka kemungkinan longsoran yang dapat terjadi pada lapisan penutup tersebut mempunyai bentuk bidang gelincir berupa busur lingkaran (longsoran busur). Parameter geoteknik yang diperlukan adalah sifat fisik dan mekanik batuan yang menyusun material penutup *overburden*, dan *interburden*. Adapun

parameter geoteknik yang dibutuhkan pada analisis kestabilan lereng sifat fisik, seperti berat isi dari material, sifat mekanik yakni data kekuatan batuan berupa sudut geser dalam dan kohesi dari batuan.

Adapun pendekatan analisis yang digunakan juga memilih kriteria pada lereng yang diamati yakni (Rajagukguk, Turangan and Monintja, 2014):

1. Pada analisis lereng tunggal ini material dalam satu perlapisan dianggap homogen dan mempunyai kekuatan geser ( $\rho$ ).
2. Nilai kohesi ( $c$ ) berat isi, dan sudut geser dalam ( $\rho$ ) yang digunakan dalam analisis kemantapan lereng diambil berdasarkan analisis.

**Tabel 6.** Hasil analisis kestabilan lereng.

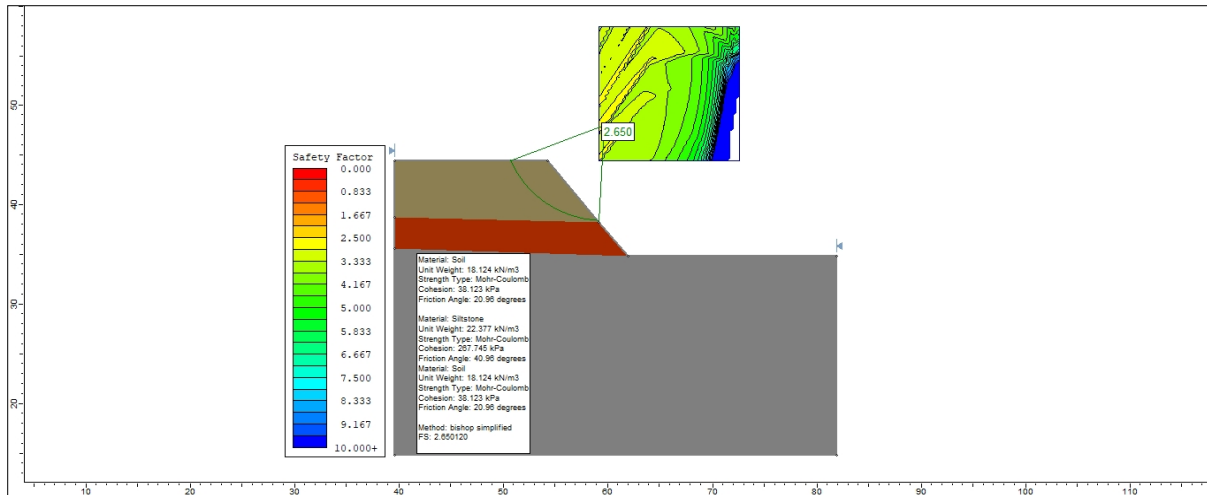
No	Block	FK
1	GT-01	3.9
2	GT-02	2.6
3	GT-03	3.7
4	GT-04	4.3
5	GT-05	3.6
6	GT-06	3.8

**Tabel 7.** Data geometri lereng dan litologi.

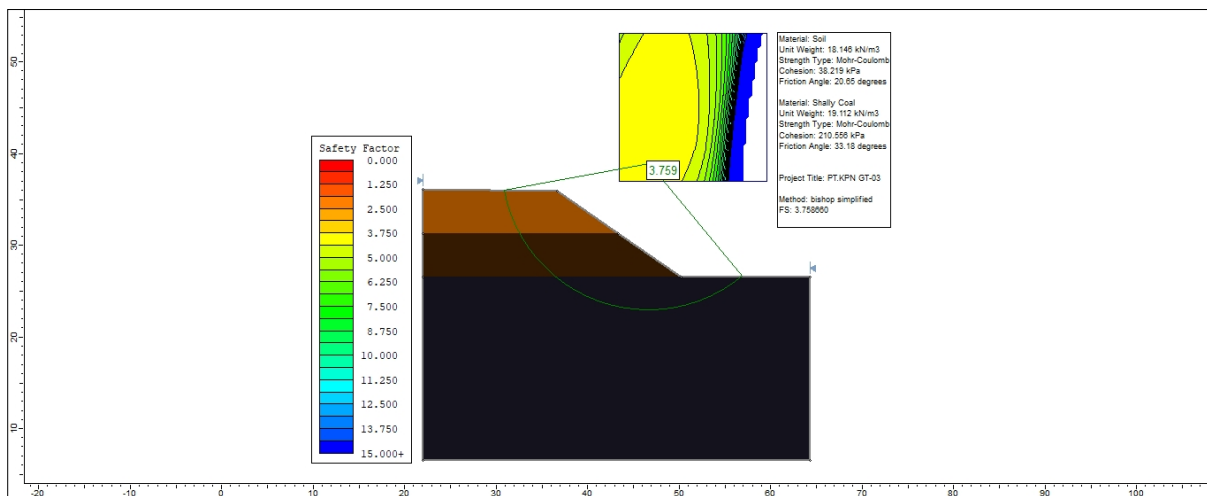
No	Block	Litologi	Sudut kemiringan lereng	Tinggi lereng	Koordinat	
					Latitude	Longitude
1	GT – 01	Claystone; Siltstone	43°	9,35 m	114,3297018°	-1,08029334°
2	GT – 02	Soil; Siltstone	51°	9,55 m	114,3268237°	-1,083197371°
3	GT – 03	Soil; Shally Coal	35°	9,43 m	114,3289722°	-1,063254231°
4	GT – 04	Claystone; Siltstone	55°	9,33 m	114,3223102°	-1,072308927°
5	GT – 05	Soil; Claystone	40°	9,50 m	114,3289722°	-1,063254231°
6	GT – 06	Claystone; Sandstone	35°	9,45 m	114,3254796°	-1,060838535°

**Tabel 8.** Hasil pengujian laboratorium mekanika tanah dan batuan.

Block	Material	Unit weight Kn/ M <sup>3</sup>	cohesion		Angle intr. fraction	
			peak	residu	peak	residu
GT – 01	Claystone	22,343	267,739	173,021	40,88	30,63
	Siltstone	19,043	210,686	127,647	33,13	22,32
GT – 02	Soil	18,124	38,123	22,898	20,96	12,22
	Siltstone	22,377	267,745	173,039	40,96	30,72
GT – 03	Soil	18,146	38,219	22,654	20,65	12,42
	Shally Coal	19,112	210,556	127,451	33,18	22,19
GT – 04	Claystone	19,198	210,432	127,443	33,49	22,21
	Siltstone	21,534	332,451	214,412	40,61	28,33
GT – 05	Soil	18,268	38,137	22,843	20,97	12,83
	Claystone	19,117	210,443	127,387	33,66	22,44
GT – 06	Claystone	19,729	69,804	22,843	28,07	12,83
	Sandstone	23,765	242,331	127,387	45,28	22,44



Gambar 6. Hasil analisis kinetik pada blok GT-02.



Gambar 7. Hasil analisis kinetik pada blok GT-03.

*Hasil analisis data*

Hasil kalkulasi pada perangkat lunak (*software*) dilakukan pada semua *block pit* tambang. Analisis yang dilakukan menggunakan metode *limit equilibrium* dengan menggunakan satu variabel masukan yang menghasilkan nilai faktor keamanan. Parameter masukan tersebut berupa nilai rata-rata dari data yang ada karena dianggap mewakili keseluruhan data yang ada (Azizi and Handayani, 2011). Metode bishop dalam menghitung nilai faktor keamanan, yakni rasio antar gaya yang mempertahankan kondisi normal dengan gaya yang memberikan beban pada lereng sehingga terjadi gerakan tanah. Jika *driving force* lebih besar dari pada *resisting force* maka akan terjadi longsor namun jika sebaliknya *resisting force* lebih besar dari

*driving force* maka lereng dalam keadaan stabil (Anazakia and Kopa, 2021).

Hasil analisis stabilitas lereng yang dilakukan pada *block* GT-01 hingga GT-06 menunjukkan hasil yang positif. Seperti pada Tabel 6, seluruh nilai FK menunjukkan lereng dalam keadaan stabil. Hal ini didukung oleh nilai dari kekuatan batuan atau sifat fisik dan mekanik batuan dari sampel yang diamati memiliki nilai *engineering properties* yang tinggi menyebabkan lereng batuan menjadi stabil Tabel 7-8. Hasil analisis yang dilakukan terdapat perbedaan nilai faktor keamanan di atas  $FK > 2$ . Sebagai contoh dapat dilihat pada Gambar 6-7 yang memiliki nilai faktor keamanan lereng pada blok GT-02 yakni  $FK=2,650$  dan pada blok GT-03 yakni  $FK=3,759$

## Kesimpulan

Analisis kestabilan lereng yang dilakukan pada 6 titik di tiga *block pit* tambang PT. Kalimantan Prima Nusantara, yakni *North Block Pit* (GT-06,GT-05), *Central Block Pit* (GTG-03,GT-04), dan *South Block Pit* (GT-01,GT-02). Pada lokasi penelitian ditemukan beberapa jenis batuan sedimen yang membentuk lereng seperti *claystone*, *siltstone*, *shally stone*, *sandstone*, dan *coal*. Analisis kestabilan lereng yang dilakukan diperoleh nilai faktor keamanan atau FK >2, yang dianggap bahwa lereng tersebut stabil. Salah satu faktor penyebab tingginya nilai faktor keamanan lereng karena dipengaruhi oleh nilai propertis batumannya seperti nilai kohesi, sudut geser dalam dan berat isi dari batuan tersebut yang rata-rata memiliki nilai yang tinggi.

## Daftar Pustaka

- Amrullah, M.F., Zakaria, Z., Sophian, R.I. and Tunggal, J. 2019. *Optimisasi Kestabilan Lereng Tunggal Lapisan Overburden Rencana Tambang Mahayung dengan Pendekatan Probabilistik*. Padjadjaran Geoscience Journal. 3(6), pp. 480–488.  
<http://jurnal.unpad.ac.id/geoscience/article/view/26337>
- Anazakia, R. and Kopa, R. 2021. *Analisis Kestabilan Lereng BT 02 Jalan Masuk Tambang Bawah Tanah PT. Nusa Alam Lestari di Desa Salak, Kecamatan Talawi Kota Sawahlunto*. Jurnal Bina Tambang. 6(3), pp. 101–111.  
<http://ejournal.unp.ac.id/index.php/mining/article/view/112577>
- Anderson, M.G. and Richards, K.S. 1987 *Slope Stability: Geotechnical Engineering and Geomorphology*. UK: John Wiley and Sons.
- Aprianti, E., Pujiastuti, H., Isfanari, I. and Rahmawati, E. 2021. *Faktor Keamanan Lereng Jalan Raya Pusuk Kecamatan Pemenang Kabupaten Lombok Utara Menggunakan Metode Fellenius dan Bishop*. Spektrum Sipil. 8(1), pp.55 - 62.  
<https://doi.org/10.29303/spektrum.v8i1.201>
- Arif, I. 2016. *Geoteknik Tambang*. Bandung: PT. Gramedia Pustaka Utama.
- Azizi, M.A., Marwanza, I., Amala, S.A. and Hartanti, N.A. 2018. *Three dimensional slope stability analysis of open pit limestone mine in Rembang District, Central Java*. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 212(012035), pp.1-5.  
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/212/1/012035>
- Azizi, M.A. and Handayani, R.H.E. 2011. *Karakterisasi Parameter Masukan untuk Analisis Tambang Batubara Bukit Asam Tbk. Tanjung Enim*. In: Prosiding Seminar Nasional AVoER ke-3. Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya, Palembang, pp. 328-341.
- Batuah, T., Isjudarto, A. and Sidiq, H. 2020. *Kajian Teknis Produksi Alat Gali Muat PC400lc-8 dan Alat Angkut Actros 3939k Maharu Provinsi Kalimantan Tengah*. Mining Insight. 1(2), pp. 177–184.  
<https://journal.itny.ac.id/index.php/mining/article/view/2258>
- Herman, S. and Permanasari, I.N.P. 2019. *Analisis Kestabilan Lereng Menggunakan Metode Bishop dan Software Stable 9.03 di Jalur Wisata Pantai Kabupaten Pesawaran*. [Online]. Available from:  
[https://repo.itera.ac.id/assets/file\\_upload/SB2009090008/11116059\\_20\\_110237.pdf](https://repo.itera.ac.id/assets/file_upload/SB2009090008/11116059_20_110237.pdf)
- Hidayah, A., Paharuddin, P. and Massinai, M.A. 2017. *Analisis Rawan Bencana Lonsor Menggunakan Metode AHP (Analitical Hierarchy Process) Di Kabupaten Toraja*



- Utara. Jurnal Gecelebes. 1(1), pp. 1.  
<https://doi.org/10.20956/gecelebes.v1i1.1772>
- Metriani, R., Anaperta, Y.M. and Saldy, T.G. 2019. *Analisis Balik Kestabilan Lereng dengan Menggunakan Metode Bishop yang Disederhanakan pada Front II Existing Tambang Quarry PT. Semen Padang, Sumatera Barat*. Jurnal Bina Tambang. 4(4), pp. 49–58.  
<http://ejournal.unp.ac.id/index.php/mining/article/view/106741>
- Pasole, D., Patanduk, J. and Wong, I.L.K. 2020. *Analisis Stabilitas Lereng Disposal Menggunakan Metode Bishop, Janbu, dan Ordinary*. Paulus Civil Engineering Journal. 2(3), pp. 144–153.  
<https://doi.org/10.52722/pcej.v2i3.148>
- Rajagukguk, O.C.P., Turangan, A.E. and Monintja, S. 2014. *Analisis Kestabilan Lereng dengan Metode Bishop (Studi Kasus: Kawasan Citraland sta.1000m)*. Jurnal Sipil Statik. 2(3), pp. 139–147.  
<https://ejournal.unsrat.ac.id/index.php/jss/article/view/4762>
- Supriatna, S. and Sudradjat, A. 1992. *Peta Geologi Permulaan Lembar Muara Teweh, Kalimantan*. Bandung: Pusat Penelitian Dan Pengembangan Geologi.
- Syafar, Z., Djamaluddin, D. and Anshariah. 2017. *Analisis Kestabilan Lereng dengan Metode Bishop pada Penambangan Nikel*. Jurnal Geomine. 4(3), pp. 90–93.  
<https://doi.org/10.33536/jg.v4i3.70>
- Syam, M.A., Heryanto, H., Trides, T., Pasiakan, L.P. and Amalia, D. 2018. *Analisis Kestabilan Lereng Berdasarkan Nilai Slope Mass Rating di Desa Sukamaju, Tenggara Seberang, Kutai Kartanegara, Kalimantan Timur*. Jurnal Gecelebes. 2(2), pp. 53-63.  
<https://doi.org/10.20956/gecelebes.v2i2.5158>
- Bargawa, W.S. 2018. *Perencanaan Tambang*, 8<sup>th</sup> Ed. Yogyakarta: Penerbit Kilau.
- Widijanto, E. 2019. *Analisis Komprehensif Kestabilan Lereng Pada Transisi Tambang Terbuka-Tambang Bawah Tanah Metode Ambrukan*. PhD dissertation, Institut Teknologi Bandung.
- Ye, H.W., Wu, K. and Wang, J. 2011. *Stability Analysis about Slope of Open Pit Mine Based on Fuzzy Synthetic Evaluation*. Advanced Materials Research. 396–398, pp. 2370–2374).  
<https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amr.396-398.2370>

## ANALISIS LAPISAN BATUAN BAWAH PERMUKAAN MENGUNAKAN METODE *MULTICHANNEL ANALYSIS OF SURFACE WAVES* DI MANIMBAHOI KABUPATEN GOWA

Muhammad Ikram Ramadhan, Muhammad Altin Massinai\*

Departemen Geofisika Universitas Hasanuddin, Kampus Tamalanrea 90254, Indonesia.

\*Corresponding author. Email: [altin@science.unhas.ac.id](mailto:altin@science.unhas.ac.id)

Manuscript received: 4 April 2022; Received in revised form: 17 August 2022; Accepted: 16 October 2022

### Abstrak

Penelitian ini mengenai struktur lapisan tanah di lokasi penelitian di Manimbahoi, Kecamatan Parigi, Kabupaten Gowa. Penelitian ini sangatlah penting mengingat pada lokasi tersebut pernah mengalami bencana mega longsor yang mengakibatkan beberapa warga tidak ditemukan. Penelitian ini bertujuan memberikan gambaran lapisan tanah yang dangkal pada lokasi bencana longsor. Penelitian ini menggunakan salah satu metode geofisika yaitu Metode *Multichannel Analysis of Surface Waves* (MASW) dengan lintasan sebanyak 4 pada titik pada lokasi longsor. Berdasarkan hasil penelitian diperoleh kecepatan gelombang Vs30 di setiap lintasan. Lintasan pertama kecepatan Vs30 sebesar 303,5 m/s dan lintasan kedua kecepatan Vs30 sebesar 284,1 m/s. Lintasan ketiga kecepatan Vs30 sebesar 309,0 m/s dan Pada lintasan keempat kecepatan Vs30 sebesar yaitu 256,1 m/s. Berdasarkan klasifikasi tanah dengan kecepatan Vs30 dapat ditentukan yaitu jenis tanah pada lokasi penelitian adalah tanah sedang (*Sand*). Tanah sedang merupakan sedimen yang tidak terkonsolidasi, dideskripsikan sebagai tanah tersusun dari mineral-mineral yang tidak kompak.

**Kata Kunci:** kecepatan Vs30; MASW; mineral; sedimen tidak terkonsolidasi.

### Abstract

This research is about the structure of the soil layer at the research site in Manimbahoi, Parigi District, Gowa Regency. This research is very important considering that the location has experienced a mega landslide which resulted in some residents being not found. This study aims to provide an overview of the shallow soil layer at the landslide disaster location. This study uses one of the geophysical methods, Multichannel Analysis of Surface Waves (MASW) method, with 4 lines at points at the landslide location. Based on the results of the study, the velocity of the Vs30 wave was obtained in each line. On the first line the velocity of Vs30 is 303.5 m/s. On the second line the velocity of Vs30 is 284.1 m/s. On the third line the velocity of Vs30 is 309.0 m/s. On the fourth line the velocity of Vs30 is 256.1 m/s. Based on the soil classification by looking at the Vs30 velocity, it can be determined that the type of soil at the research location is medium soil (sand). Medium soil is unconsolidated sediment, described as soil composed of minerals that are not compact.

**Keywords:** MASW; mineral; unconsolidated sediment; velocity of Vs30.

### Pendahuluan

Pada tanggal 26 Maret 2004 tepatnya di kaki Gunung Bawakaraeng, di

Manimbahoi, Kecamatan Parigi, Kabupaten Gowa terjadi musibah tanah longsor. Peristiwa ini mengakibatkan puluhan warga meninggal dan lainnya

cedera. Selain itu beberapa warga belum ditemukan, serta rumah warga dan satu sekolah dasar tertimbun oleh banjir lumpur (Solle and Ahmad, 2016).

Bencana longsor ini menurut Solle and Ahmad (2016) disebabkan karena salah satu faktornya adalah dinding kaldera. Dinding kaldera pada Gunung Bawakaraeng tersebut runtuh serta diikuti oleh aliran debris. Pada kasus seperti ini dapat menghasilkan volume longsor sekitar 233 juta m<sup>3</sup> (Hasnawir and Kubota, 2011).

Tanah longsor adalah salah satu bagian dari gerakan tanah yang merupakan gejala atau peristiwa yang menyebabkan perubahan – perubahan yang dialami muka bumi karena dipengaruhi oleh gaya tarik bumi. Tanah longsor merupakan proses alamiah yang biasa terjadi di bumi, tetapi dengan adanya aktivitas manusia maka dapat berubah menjadi suatu bencana alam (Massinai et al., 2010).

Proses perpindahan massa tanah yang arah gerakannya mengarah ke bawah mengikuti pola lereng. Kecuraman lereng sangat berbanding lurus dengan kecepatan gerakan tanah, artinya semakin curam lereng maka semakin cepat gerakan berpindahnya massa tanah. Hal ini dapat mengakibatkan lereng menjadi tidak stabil. Hal ini disebabkan karena tegangan geser sebagai gaya pendorong mempengaruhi peningkatan terjadinya longsor (Bollschweiler et al., 2007; Li and Mo, 2019).

Penyebab perpindahan tanah dari satu area ke area lain antara lain gravitasi, arus air dan tekanan eksternal. Pergerakan tanah berupa pergerakan material dapat membentuk lereng (Varnes, 1978; García-Soriano et al., 2020).

Metode gelombang seismik merupakan salah satu metode eksplorasi yang sering digunakan dalam bidang geofisika. Metode ini merupakan pengukuran gelombang

suara dalam hal ini seismik. Dalam penerapannya dibutuhkan suara atau getaran seismik yang berasal dari palu godam yang dihantamkan pada lempeng atau plat besi. Hal ini mengakibatkan munculnya gelombang melalui medium tanah. Metode *Multi-channel analysis of surface wave* (MASW) merupakan salah satu teknik pengukuran gelombang seismik yang cukup baru dan selalu digunakan dalam menganalisis geoteknik dan dinamika tanah.

Metode ini memiliki banyak kelebihan dibanding dengan metode yang ada sebelumnya yaitu *Spectrum Analysis of surface wave* (SASW). Kelebihan dari metode ini yaitu dalam persoalan menginvestasi profil kekakuan tanah secara simultan. Metode ini juga dapat menentukan modulus elastis di lokasi tanah serta perkerasan yang diuji (Heisey et al., 1982).

Metoda MASW dalam penerapannya memanfaatkan parameter kecepatan gelombang geser (Vs) yang diukur dari permukaan tanah. Selain berguna menentukan jenis batuan, metode ini juga dapat mendeskripsikan penggolongan lokasi berdasarkan kedalaman kecepatan gelombang geser (Vs) dari lapisan batuan yang berada di permukaan (Park et al., 2002).

Kecepatan gelombang geser ditentukan berdasarkan kecepatan gelombang Rayleigh yang terukur. Kecepatan gelombang geser terdiri dari 92% kecepatan fase gelombang Rayleigh (Stokoe et al., 1994).

### Metode Penelitian

Pengambilan data ini dilakukan secara langsung di Manimbahoi Kabupaten Gowa. Jumlah lintasan sebanyak 4 dan panjang tiap lintasan 63 meter.

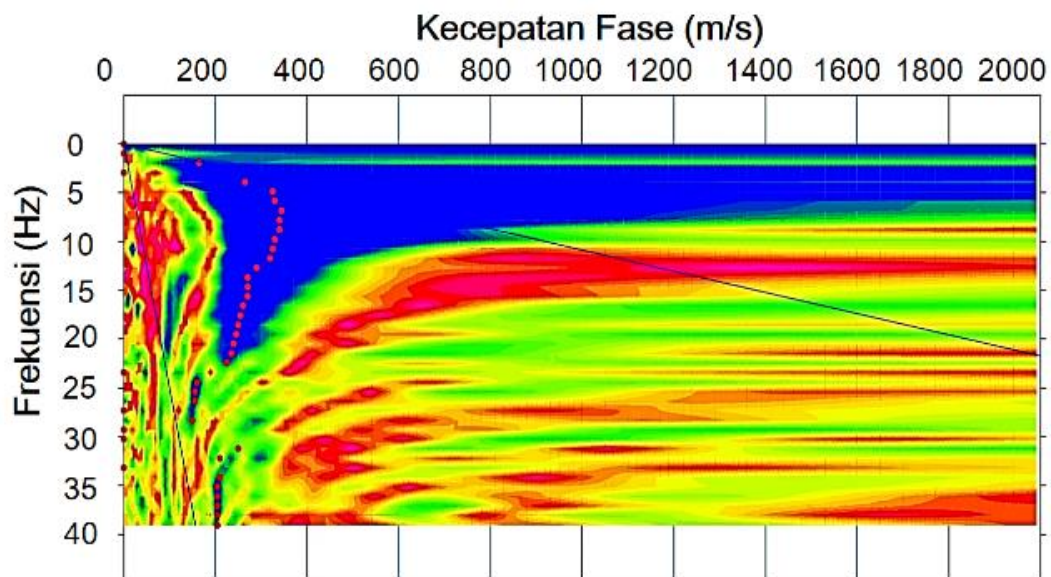
Proses pengambilan data dilakukan dengan menggunakan alat *seismograph* 24 saluran konektor, sensor *geophone* untuk merekam dan menangkap gelombang. Kemudian dibutuhkan palu dan plat besi sebagai sumber gelombang seismik. Selain itu diperlukan kabel *trigger*, GPS, meteran dan kompas. Selanjutnya data lapangan yang diperoleh kemudian diolah menggunakan *Software SeisImager/SW*.

### Hasil dan Pembahasan

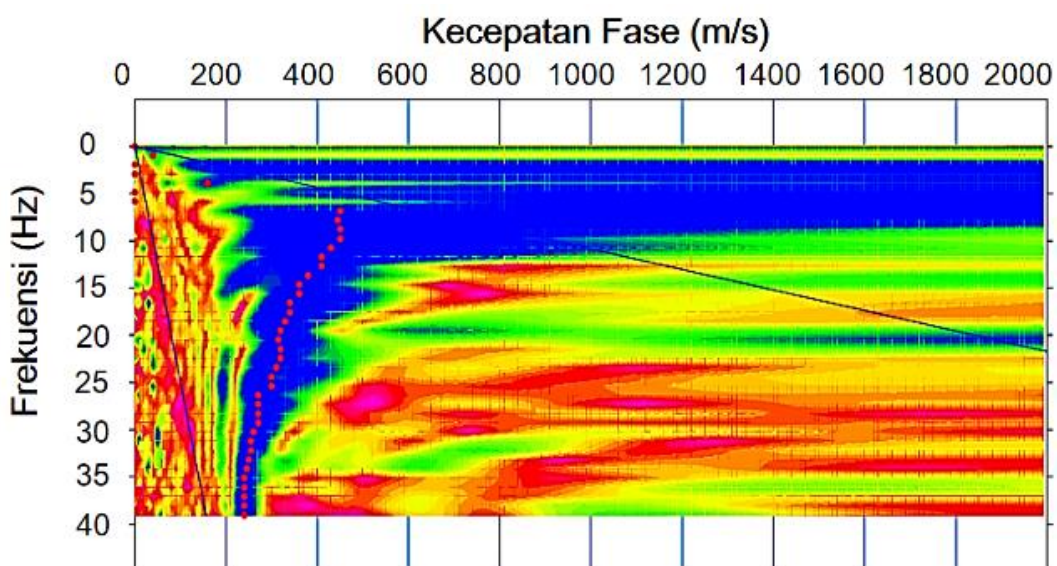
Hasil pengolahan data MASW menggambarkan kecepatan rambat

gelombang berbeda-beda pada setiap kedalaman. Hasil pengolahan data didapatkan gambaran model kecepatan (*velocity*) tiap lintasan seperti pada Gambar 1 – 4 di bawah ini.

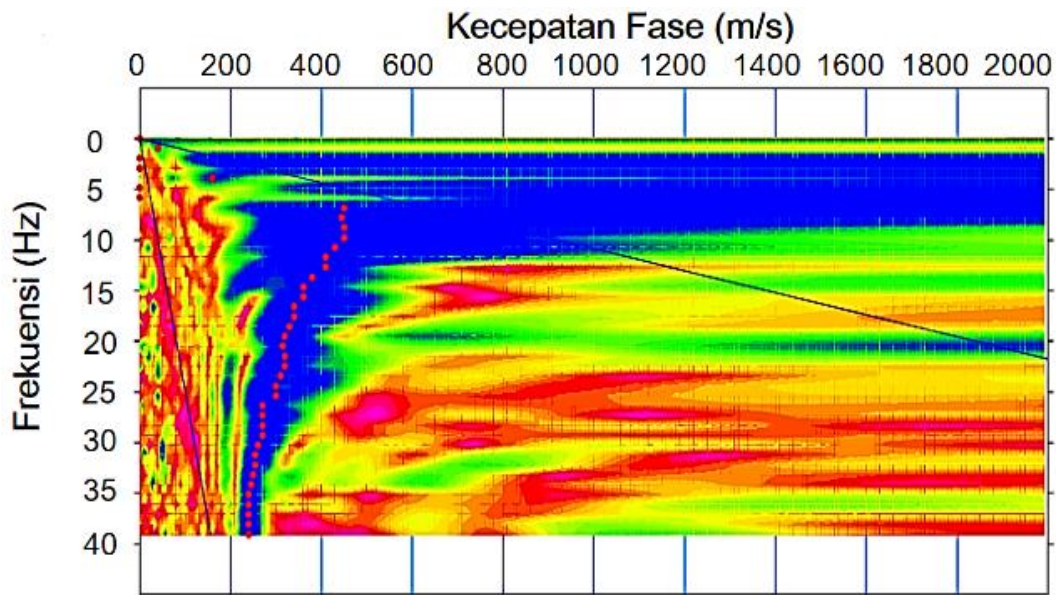
Pada Gambar 1 – 4 merupakan proses *picking first break energy* pada tiap lintasan. Variabel yang di-*picking* adalah besaran frekuensi. Hasil *picking* yang baik sangat berbanding lurus terhadap besar frekuensi. Semakin besar frekuensi maka hasil *picking* yang diperoleh akan sangat baik.



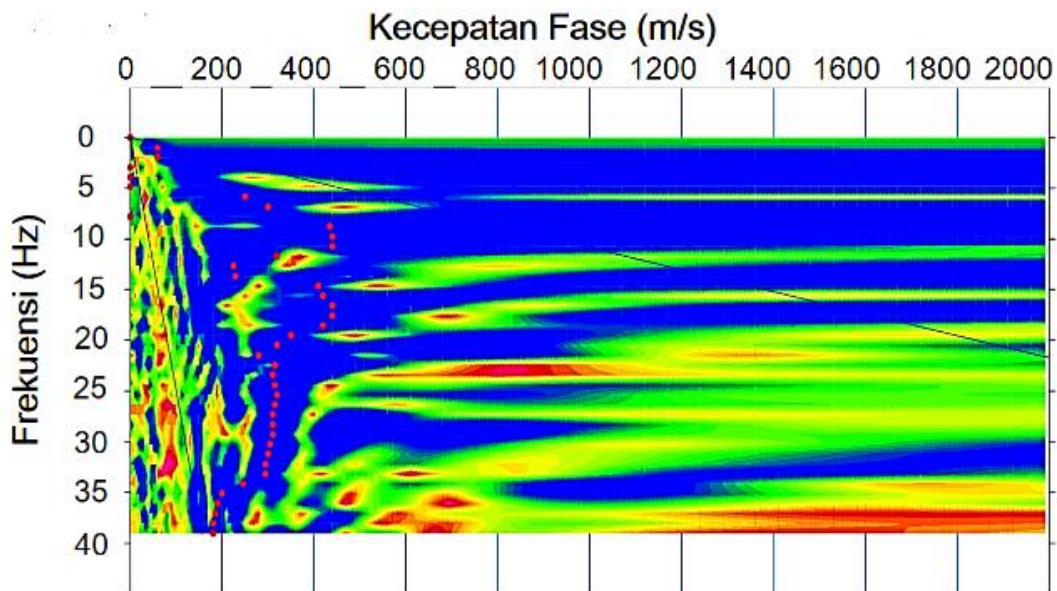
Gambar 1. *Picking velocity* lintasan 1.



Gambar 2. *Picking velocity* lintasan 2.



Gambar 3. Picking velocity lintasan 3.



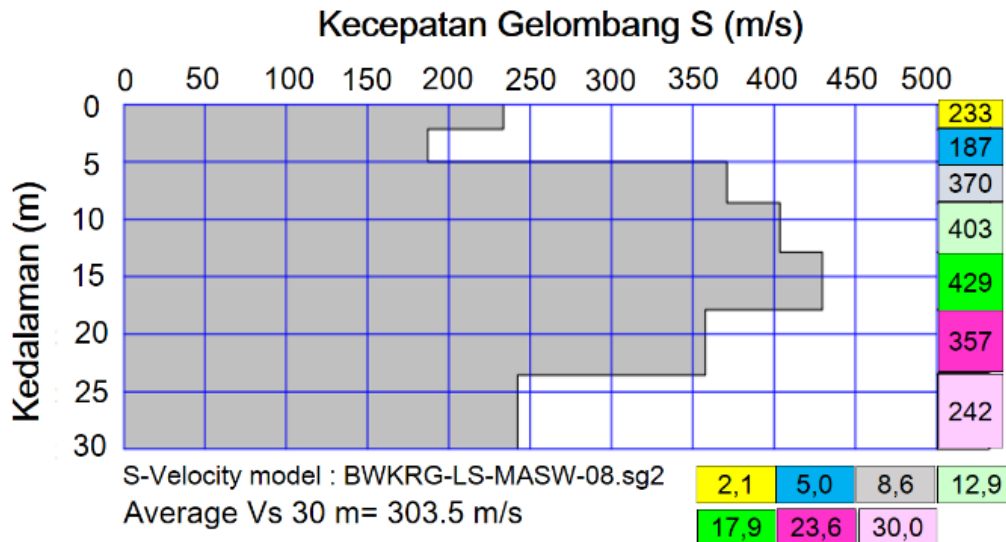
Gambar 4. Picking velocity lintasan 4.

Pada Gambar 1 – 4 terlihat hasil *picking* berada pada lapisan penampang yang berwarna biru. Lapisan tersebut memiliki tingkat energi yang besar. Hal ini dapat dilihat berdasarkan cepat rambat gelombang. Cepat rambat gelombang berbanding lurus dengan frekuensi serta frekuensi berbanding lurus terhadap energi berdasarkan persamaan di bawah ini:

$$V = \lambda \cdot f \quad (1)$$

$$E = 2\pi m f^2 A^2 \quad (2)$$

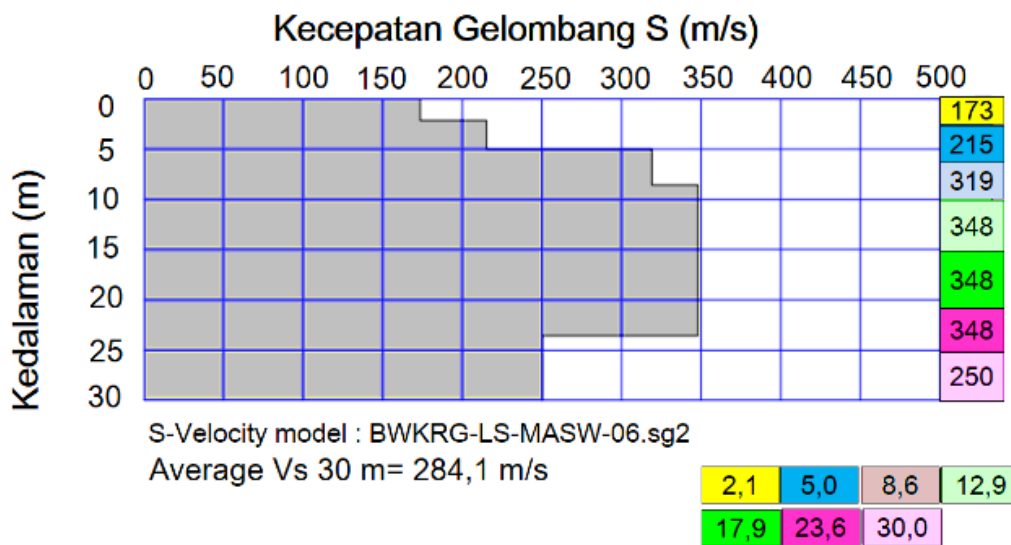
Hal inilah yang membuat hasil *picking* selalu pada daerah dengan penampang berwarna biru. Selanjutnya setelah diperoleh hasil *picking velocity* maka dilanjutkan dengan visualisasi penampang 1D serta melakukan iterasi sebanyak 5 kali. Hasil penampang 1D seperti yang terlihat pada Gambar 5 – 8:



**Gambar 5.** Profil 1D kecepatan gelombang S lintasan 1.

Pada Gambar 5 terlihat data kecepatan gelombang S dengan kedalaman pada masing-masing lintasan. Setiap lapisan atau kedalaman memiliki kecepatan gelombang S yang berbeda-beda (Massinai et al., 2019). Kecepatan gelombang S yang merambat pada tiap kedalaman yaitu antara 187 m/s – 429 m/s. Berdasarkan klasifikasi nilai Vs30 standar UBC Tabel 2 (UBC, 1997) diperoleh kelas tanah pada lintasan 1 termasuk kelas C ( $350 < V_s \leq 750$  m/s). Kelas tanah C terdiri dari tanah sangat padat serta batuan yang lunak. Jenis tanah ini terdapat pada kedalaman 8,6 – 17,9 m. Karakteristik tanah ini memadat dan mengeras. Hal ini disebabkan karena di

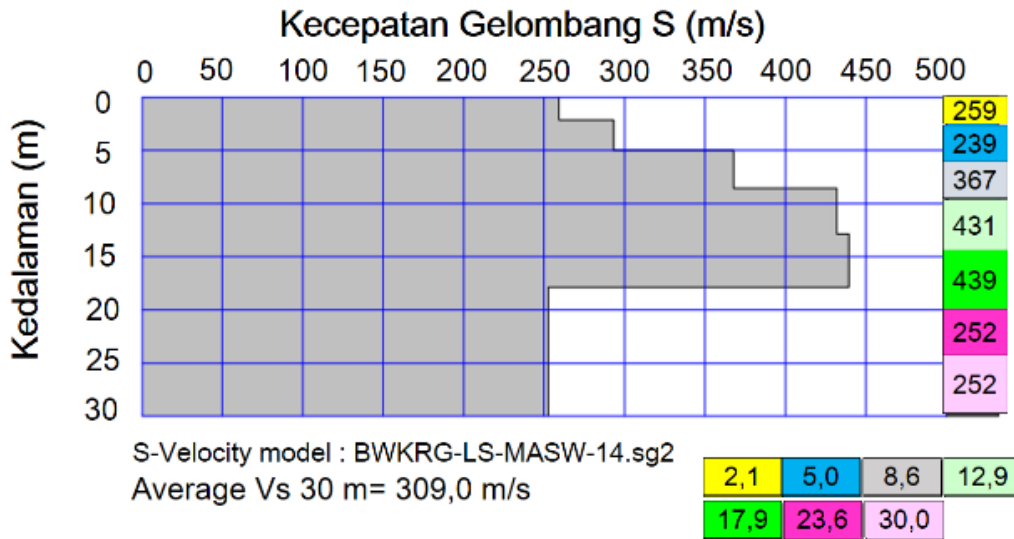
dalam mineral tanah dikeluarkan oleh air yang terdapat pada lapisan tanah di kedalaman 5 m. Sehingga lapisan ini hanya tanah tanpa kandungan di dalamnya. Pada lapisan tanah ini hanya berupa lapukan dari batuan induk. Batulempung merupakan batuan lunak juga terdapat pada lintasan ini. Sifat fisik dari batulempung yaitu mudah patah dan runtuh. Hal ini disebabkan karena sifat dari batumannya liat dan plastis. Lintasan ini dapat diklasifikasikan pada kelas tanah D ( $175 < V_s \leq 350$  m/s) yang termasuk tanah sedang (*sand*). Lapisan tanah ini terdapat pada kedalaman 2 – 5 m dan kedalaman 23,6 – 30,0 m.



**Gambar 6.** Profil 1D kecepatan gelombang S lintasan 2.

Lintasan ke 2 diperoleh kecepatan Gelombang S yang merambat pada setiap kedalaman yaitu antara 173 – 348 m/s (Gambar 6). Berdasarkan klasifikasi pembagian tanah sesuai standar UBC (1997), maka lintasan ini termasuk kelas tanah D dan E. Pada kategori kelas tanah E gelombang merambat melalui medium tanah dengan kecepatan 173 m/s di

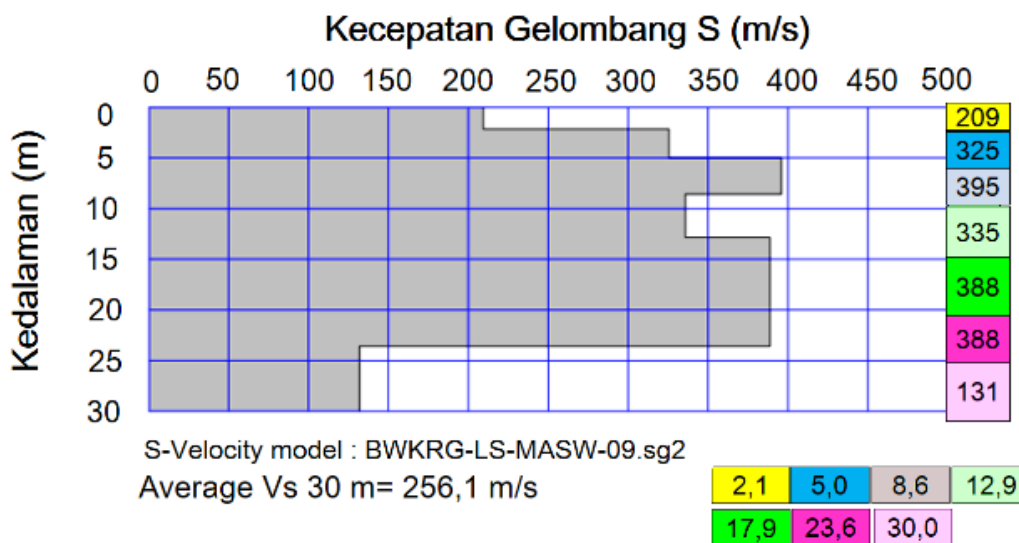
kedalaman 2,1 m. Jenis tanah pada kedalaman ini adalah tanah lunak. Tanah lunak merupakan jenis tanah dengan tingkat kadar air yang sangat tinggi. Umumnya tanah ini terdiri dari gambut dan lempung. Tanah ini bersifat lemah. Selanjutnya di kedalaman 5 meter dan 30 meter dapat diklasifikasikan kategori tanah kelas D yaitu tanah sedang (*sand*).



**Gambar 7.** Profil 1D kecepatan gelombang S lintasan 3.

Berdasarkan Gambar 7 kecepatan gelombang S yang merambat pada medium tanah antara 239 – 439 m/s. Berdasarkan klasifikasi kelas tanah menurut standar UBC (1997) maka di lintasan ini tersusun oleh 2 kategori kelas tanah. Pertama kelas tanah C yang merupakan tanah sangat padat

dan batuan lunak. Jenis tanah ini terdapat pada lapisan di kedalaman 8,6 – 17,9 m. Kedalaman ini terdapat batulempung. Kelas tanah D terdapat pada kedalaman 2,1 – 5 m dan kedalaman 23,6 – 30 m. Jenis tanah pada kedalaman ini adalah tanah sedang (*sand*).



**Gambar 8.** Profil 1D kecepatan gelombang S lintasan 4.

Lintasan ke 4 pada Gambar 8 memperlihatkan gelombang S yang merambat pada medium tanah memiliki kecepatan antara 131 – 388 m/s. Lintasan ini diklasifikasikan ke dalam kategori Kelas Tanah yaitu C, D dan E. Kelas tanah C terdapat pada lapisan tanah dengan kedalaman antara 17,9 – 23,6 m dan kedalaman 8,6 m. Jenis tanah pada lapisan ini adalah tanah padat dan batulempung. Kelas tanah D terdapat pada lapisan tanah dengan kedalaman 2,1 – 5 m dan 12,9 m. Jenis tanah pada lapisan ini adalah tanah sedang (*sand*). Kelas tanah E terdapat pada lapisan dengan kedalaman 30 m. Pada lapisan ini terdiri dari jenis tanah lunak seperti gambut dan lempung lunak.

Berdasarkan hasil pengukuran Gelombang S yang merambat pada kedalaman tertentu, dapat diperoleh kecepatan gelombang rata-rata di masing-masing lintasan. Adapun kecepatan rata-rata gelombang S pada Tabel 1 berikut:

**Tabel 1** Nilai Vs30 hasil pengolahan.

Line	Vs30 (m/s)
1	303,5
2	284,1
3	309,0
4	256,1

UBC (1997) mengklasifikasi 5 kelas tanah berdasarkan nilai Vs30 seperti pada Tabel 2 berikut:

**Tabel 2** Klasifikasi tanah berdasarkan nilai Vs30 (UBC, 1997)

Kelas Tanah	Deskripsi Umum	Vs30 (m/s)
A	Batuan Keras ( <i>Granit, Gneiss</i> )	> 1500
B	Batuan Sedang ( <i>Sandstone, Schist</i> )	760 – 1500
C	Tanah keras dan batuan lunak ( <i>Moraine</i> )	360 – 760
D	Tanah Sedang ( <i>Sand</i> )	180 – 360
E	Tanah Lunak ( <i>Gravel</i> )	< 180

Menurut Tabel 2, dapat diklasifikasikan kelas tanah pada lokasi penelitian. Kecepatan gelombang yang merambat di lokasi penelitian adalah 256,1 – 303,5 m. Klasifikasi kelas tanah pada lokasi

penelitian adalah kategori kelas D. Jenis tanah pada lokasi ini adalah tanah sedang (*sand*).

Tanah sedang (*sand*) memiliki tekstur tanah berlempung. Jenis tanah ini merupakan sedimen yang tidak terkonsolidasi (*unconsolidated sediment*), yaitu tanah yang tersusun dari mineral-mineral yang tidak kompak. Jenis tanah ini tidak akan membentuk batuan. Tanah sedang terdiri dari tanah lempung yaitu jenis tanah yang terbentuk dari hasil pelapukan batuan silika oleh asam karbonat. Tanah lempung tersusun dari campuran pasir dan debu. Menurut Blatz et al. (2004), berdasarkan *unified system* jenis tanah ini termasuk tanah yang berbutir halus. Jenis tanah ini kurang padat. Apabila disertai dengan hujan maka potensi longsor terjadi sangat besar. Hal ini dikarenakan struktur tanah akan menjadi sangat lembek jika terkena air maka rentan terjadinya pergerakan tanah.

Selain itu struktur tanah pada lokasi penelitian juga terdiri dari tanah berpasir. Jenis tanah ini terjadi dikarenakan pelapukan batuan baik secara fisika dan kimia. Proses pelapukan ini disebut disintegrasi batuan. Proses pelapukan ini terjadi di bawah tanah dengan begitu cepat. Hal ini disebabkan karena lingkungan di bawah tanah yang sangat lembab. Beberapa jenis batuan yang melapuk membentuk tanah pasir yaitu seperti batuan granit, andesit dan tufa. Ketiga batuan tersebut dikategorikan sebagai batuan yang mudah mengalami pelapukan yang sempurna. Batuan andesit merupakan batuan yang kedap terhadap air. Hal ini membuat batuan andesit mampu menampung air. Namun akibatnya batuan andesit akan mudah terkikis sehingga menjadi licin. Dampaknya dapat mengakibatkan lapisan tanah yang terletak di atasnya tergelincir.

Jenis tanah berpasir dengan sedikit lempung juga terdapat pada lokasi ini. Berdasarkan kandungan yang dimilikinya sangat berpotensi untuk terjadinya longsor.



Hal ini dapat terjadi pada kemiringan lereng yang tertentu. Proses terjadinya longsor dari jenis tanah ini yaitu ketika terjadi hujan. Air akan membuka rongga partikel pasir serta mengisi rongga tersebut. Hal ini mengakibatkan pasir akan mengembang dan air akan menambah berat massa tanah dan membuat tanah meluncur ke bawah (Massinai et al., 2010).

Secara umum lokasi penelitian merupakan dataran yang terdenudasional. Seluruh material yang terdapat di permukaan pada lokasi ini terlepas, terangkat serta bergerak. Hal ini disebabkan oleh faktor geologi. Faktor yang dimaksud seperti pelapukan, erosi, gerakan massa batuan serta pengendapan. Pelapukan merupakan proses berubahnya batuan menjadi tanah secara alamiah yang berlangsung dalam rentang waktu yang lama karena beberapa faktor. Di daerah sekitar kaki Gunung Bawakaraeng terdiri dari material sisa magma gunung berapi mengalami proses pelapukan. Hasil dari pelapukannya menghasilkan lapisan tanah pasir berlempung. Maka potensi tanah longsor akan terjadi pada lokasi ini karena faktor alamiah.

### Kesimpulan

Nilai Vs30 rata-rata pada lintasan 1 sebesar 303,5 m/s, lintasan 2 sebesar 284,1 m/s, lintasan 3 sebesar 309,0 m/s dan lintasan 4 sebesar 256,1 m/s. Nilai Vs30 rata-rata untuk semua lintasan antara 256,1 – 309,0 m/s. Mengacu pada klasifikasi tanah menurut UBC (1997), kelas tanah pada lokasi penelitian termasuk kategori kelas D yaitu tanah sedang (*sand*). Tanah sedang (*sand*) memiliki tekstur tanah berlempung. Jenis tanah tidak terkonsolidasi. Tanah ini tersusun dari mineral-mineral yang tidak kompak. Dengan demikian potensi terjadinya longsor sangat besar. Lokasi penelitian merupakan dataran yang terdenudasional. Seluruh material yang terdapat di permukaan terlepas, terangkat serta bergerak. Hal ini disebabkan oleh

faktor geologi. Faktor yang dimaksud seperti pelapukan, erosi, gerakan massa batuan serta pengendapan.

### Ucapan Terima Kasih

Terima kasih kepada Departemen Geofisika Universitas Hasanuddin. Terima kasih juga kepada Himpunan Ahli Geofisika Indonesia (HAGI) dan teman-teman yang membantu dalam penelitian lapangan.

### Daftar Pustaka

- Blatz, J.A., Ferreira, N.J. and Graham, J. 2004. *Effects of near-surface environmental conditions on instability of an unsaturated soil slope*. Canadian Geotechnical Journal. 41(6), pp.1111 – 1126. <https://doi.org/10.1139/t04-058>
- Bollschweiler, M., Stoffel, M., Ehmisch, M., Mombaron, M. 2007. *Reconstruction Spatio-Temporal Patterns of Debris-Flow Activity Using Dendrogeomorphological Methods*. Geomorphology. 87(4), pp.337 – 351. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2006.10.002>
- García-Soriano D., Quesada-Román, A. and Zamorano-Orozco, J.J. 2020. *Geomorphological hazards susceptibility in high-density urban areas: A case study of Mexico City*. Journal of South American Earth Sciences. 102, pp.102667. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2020.102667>
- Hasnawir. and Kubota, T. 2011. *Landslide susceptibility evaluation by 3-D slope stability analysis*. International Journal of Ecology and Development. 19(S11), pp.1-14. <http://www.ceser.in/ceserp/index.php/ijed/article/view/1718/0>
- Heisey, J.S., Stokoe, K.H.II., Hudson, W.R. and Meyer, A.H. 1982. *Determination of In Situ Shear Wave*

- Velocity from Spectral Analysis of Surface Waves*. Summary Report 256-2(s). Austin: Center for Transportation Research, Bureau of Engineering Research, The University of Texas. <https://library.ctr.utexas.edu/digitize/d/texasarchive/phase2/256-2-summary-ctr.pdf>
- Li, Y. and Mo, P. 2019. *A unified Landslide classification system for loess slope: a critical review*. *Geomorphology*. 340(2019), pp.67 – 83. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2019.04.020>
- Park, C. B., Miller, R. D., Miura, H. 2002. *Optimum Field Parameters of an MASW Survey*. [Online]. Available from: <http://www.masw.com/files/PAR-02-03.pdf>
- Massinai, M.A., Sudrajat, A., Hirnawan, F., Syafri, I., Hasanuddin. and Tahir, M.I. 2010. *Gerakan Tanah Pada Daerah Rawan Longsor di DAS Jeneberang Bagian Barat Gunung Bawakaraeng Sulawesi Selatan*. *Buletin Geologi Tata Lingkungan*. 20(2), pp.93 – 102.
- Massinai, M.A., Harimei, B., Agustawati, A. and Massinai, M.F.I. 2019. *Seismicity Analysis Sulawesi North Arm based on B-values*. *Journal of Physics: Conference Series*. 1341(8), pp.082032. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1341/8/082032>
- Solle, M.S. and Ahmad, A. 2016. *Landslide Intensity on River Morphology of Jeneberang Wathershed after Collapse of Caldera Wall at Mt. Bawakaraeng*. *Research Journal of Applied Sciences*. 11(9), pp.874 – 878. <https://medwelljournals.com/abstract/?doi=rjasci.2016.874.878>
- Stokoe, K.H.II., Wright, S.G., Bay, J. and Rössset, J.M. 1994. *Characterization of geotechnical sites by SASW method*. In RD. Woods (ed.). *Geophysical Characterization of Sites: 15-25*. New Delhi: Oxford Publisher.
- UBC. 1997. *Uniform Building Code*. [Online]. Available from: <http://site.iugaza.edu.ps/ssihada/files/2012/02/UBC-1997.pdf>
- Varnes, D.J. 1978. *Slope Movement Types and Processes*. In: Schuster, R.L. and Krizek, R.J., Eds., *Landslides, Analysis and Control*, Transportation Research Board, Special Report No. 176, National Academy of Sciences, 11-33. <https://onlinepubs.trb.org/Onlinepubs/sr/sr176/176-002.pdf>

# REINTEPRETASI GENESA PEMBENTUKAN GRANITOID LAMPUNG BERUMUR KAPUR-PALEOGEN DAN IMPLIKASI TEKTONIKNYA

Angga Jati Widiatama<sup>1,2,\*</sup>, Rezki Naufan Hendrawan<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Geologi, Institut Teknologi Sumatra, Indonesia

<sup>2</sup>Pusat Riset dan Inovasi Teknologi Mineral dan Kebumihan, Institut Teknologi Sumatra, Indonesia

\*Corresponding author. Email: [angga.widiatama@gl.itera.ac.id](mailto:angga.widiatama@gl.itera.ac.id)

Manuscript received: 14 January 2022; Received in revised form: 15 April 2022; Accepted: 16 Agustus 2022

## Abstrak

Granit di Provinsi Lampung banyak tersingkap, namun belum banyak yang membahas sehingga masih menimbulkan perdebatan terutama dalam konteks episode tektonik pembentukannya. Penelitian ini bertujuan menjelaskan pembentukan granitoid Lampung dalam kerangka tektonostratigrafi. Penelitian dilaksanakan dengan melakukan pemetaan lapangan di empat tempat yaitu Tanjungbintang, Branti, Padean dan Tarahan. Genesa pembentukan granitoid dijelaskan dengan pendekatan tektonik berdasarkan urutan umur batuan. Penelitian ini menunjukkan bahwa granitoid Lampung dapat dibagi menjadi tiga tektonostratigrafi berbeda yaitu granitoid hasil subduksi, granitoid hasil kolisi-delaminasi, dan granitoid hasil pascapembentukan pegunungan. Granitoid hasil subduksi dicirikan dengan litologi granitoid hingga tonalit yang menerobos batuan metamorf. Granitoid yang berasosiasi dengan kolisi-delaminasi dicirikan dengan migmatit hingga leukogranit serta granodiorit terfoliasi. Granitoid hasil hancuran pascapembentukan pegunungan dicirikan dengan mikrogranit yang berasosiasi dengan batuan mafik-intremidiet berupa basalt, diabas, dan andesit.

**Kata Kunci:** Granitoid; tektonostratigrafi; Woyla-Sumatra Barat; Lampung.

## Abstract

Granite in Lampung Province is widely exposed but not much has been discussed so that it is still causing debate, especially in the context of the tectonic episode of its formation. This study aims to reconstructed formation of the Lampung granitoid in a tektonostratigraphic framework. The research was carried out by mapping the field in four places, Tanjung Bintang, Branti, Padean, and Tarahan to reconstructed genesis of granitoid formation using a tectonic approach based on the order of rock age. This study shows that the Lampung granitoids can be divided into three different tektono-stratigraphy, are subduction related granitoids, collision-delamination granitoids, and post-orogenic granitoids. Subduction related granitoids characterized by granitoid to tonalite lithology that cross cutting metamorphic rocks. Collision-delamination related granitoids are characterized by migmatite to leucogranite and foliated granodiorite. Post-orogenic collapse granitoids characterized by microgranite associated with mafic-intermediet rock such as basalt, diabase, and andesite.

**Keywords:** Granitoid; tektonostratigraphy; Woyla-West Sumatra; Lampung.

## Pendahuluan

Geologi wilayah Lampung merupakan tinggian batuan alas sehingga litologi penyusunnya didominasi batuan kristalin (Crow, 2005; Milsom dan Walker, 2005; Wilson, 2005). Salah satu penyusun batuan kristalin di Lampung adalah granitoid yang terbentuk dari pluton yang tersingkap ke permukaan (Gasparon dan Varne, 1995; McCourt dkk., 1996; Cobbing, 2005). Aksesibilitas dan kondisi vegetasi yang didominasi hutan serta tingginya intensitas pelapukan menyebabkan singkapan batuan relatif sukar dijumpai sehingga penyelidikan geologi Lampung relatif minim (Mangga dkk., 1994; Barber dkk., 2005).

Granitoid merupakan istilah umum untuk kategori beragam batuan beku berukuran kristal kasar dengan komposisi dominan berupa kuarsa, plagioklas, dan alkali feldspar (Streckeisen, 1974). Lampung menyingkap granitoid dengan umur yang beragam (McCourt dkk., 1996; Bellon dkk., 2004) sehingga diperkirakan terbentuk akibat proses yang berbeda. Penelitian terhadap granitoid Lampung relatif terbatas dan belum memberikan model tektonik yang sesuai dengan penelitian tektonik terbaru (misalnya Barber dan Crow, 2009; Hutchison, 2014; Zahirovic dkk., 2014; Advokaat dkk., 2018). Pada model tektonik penelitian terbaru terdapat kondisi tatanan tektonik yang berbeda dan menghasilkan karakteristik batuan berbeda dan tentunya setiap kondisi tektonik memiliki penciri yang khas dan jelas perbedaannya.

Pemahaman kerangka tektonik Pulau Sumatra dalam dua puluh tahun kebelakang telah mengalami perubahan yang cukup signifikan. Hal ini juga berpengaruh terhadap tatanan tektonik Lampung dan sekitarnya. Mangga dkk. (1994) serta Amin dkk. (1994) melakukan pemetaan geologi wilayah Lampung dan sekitarnya menyandingkan batuan alas di Lampung yang berupa batuan metamorf Kompleks Gunungkasih dengan Kelompok Tapanuli

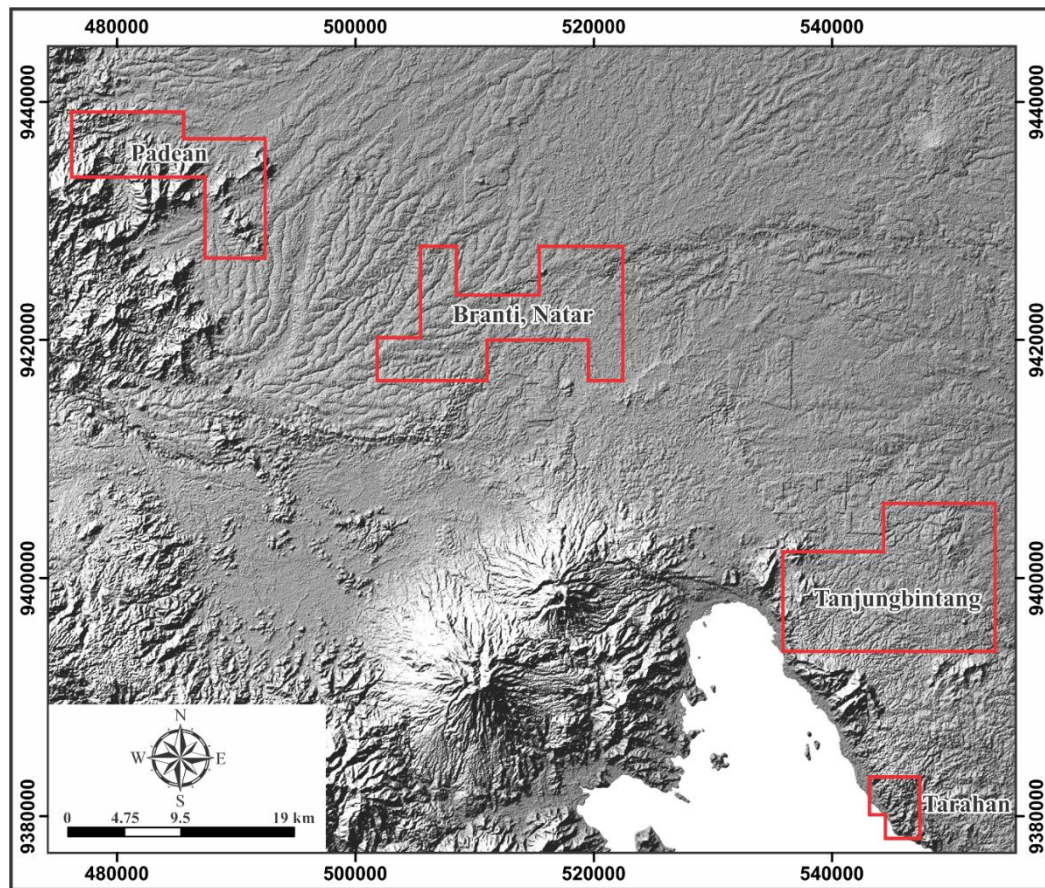
di Sumatra Utara. Kelompok Tapanuli merupakan batuan yang berasosiasi dengan *terrain* Sibumasu (Hutchison, 1994; 2014; Barber dan Crow, 2003; 2009; Barber dkk., 2005; Wakita dan Metcalfe, 2005) sehingga dapat dikatakan bahwa kesebandingan batuan berumur Paleozoikum dan Mesozoikum tidak relevan lagi dengan penelitian terbaru. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui genesa pembentukan granitoid Lampung dengan pendekatan tektonostratigrafi.

## Metode Penelitian

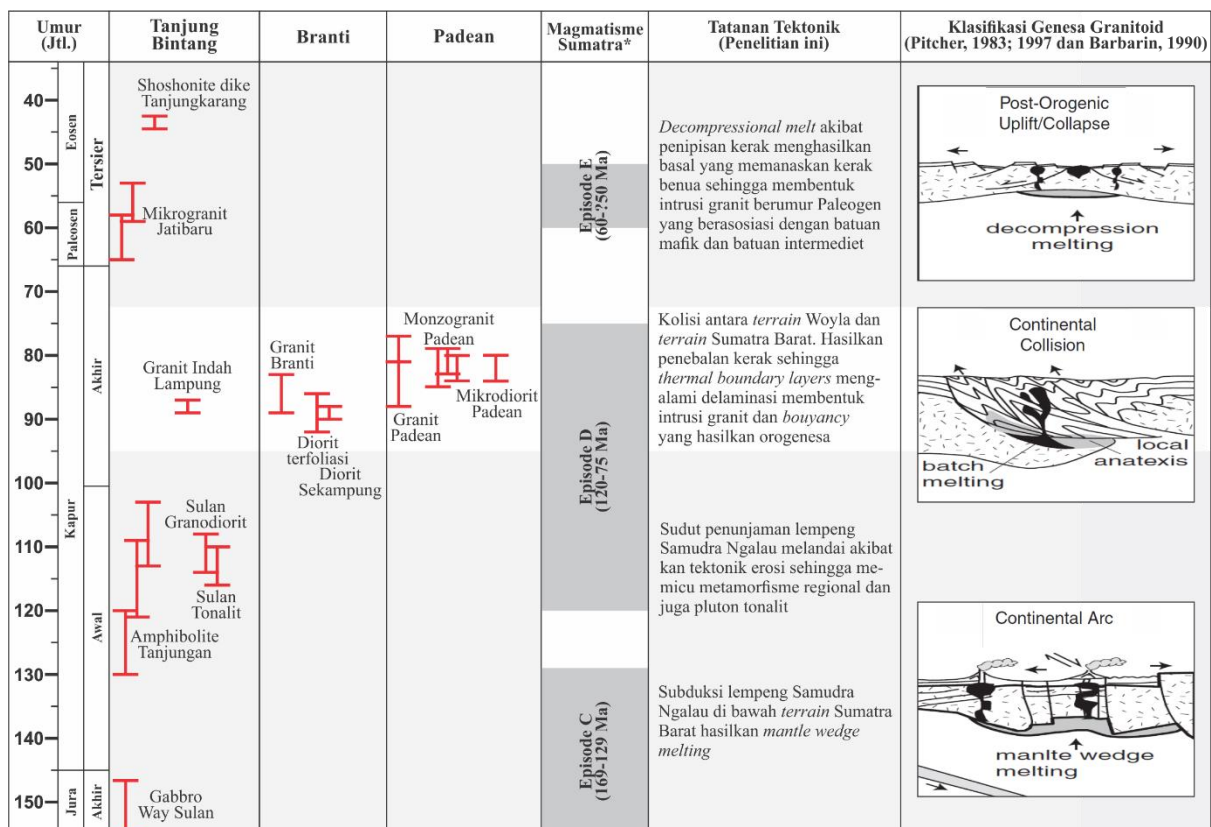
Lokasi penelitian terletak di Kabupaten Lampung Selatan hingga Kabupaten Lampung Tengah yang meliputi empat daerah berbeda yaitu di Tanjungbintang, Branti, Padean, dan Tarahan (Gambar 1). Metode penelitian dilakukan dengan observasi singkapan batuan untuk mengidentifikasi struktur, tekstur, dan komposisi mineral penyusun batuan. Nama batuan diambil berdasarkan modal komposisi mineral penyusun yang diplot pada diagram diskriminan batuan beku fanerik Streckeisen (1974). Umur batuan pada daerah penelitian diambil dari beberapa penelitian yaitu satu sampel umur gabbro dari Katili (1973); McCourt dan Cobbing (1993); tiga sampel batuan metamorf diambil dari Mangga dkk. (1994) yang dilakukan plot pada tabel umur absolut untuk mendapatkan pola sebaran umur batuan (Gambar 2). Data asosiasi jenis batuan, hubungan di lapangan, dan umur batuan selanjutnya dianalisis dengan pendekatan tektonostratigrafi.

## Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan observasi di lapangan pada daerah penelitian dijumpai enam jenis granitoid yaitu: monzogranit, granodiorit, granit, tonalit, migmatit, dan riolit. Batuan tertua yang berhasil dilakukan pengukuran umur absolut di Lampung adalah Gabro Way Sulan (McCourt dan Cobbing, 1993) yang dijumpai di sekitar Tanjungbintang.



Gambar 1. Lokasi penelitian granitoid Lampung.



Gambar 2. Diagram umur absolut granitoid Lampung dan intepretasi tatanan tektonik pembentuknya. Magmatisme Sumtra berdasarkan McCourt dkk. (1996), Klasifikasi granitoid berdasarkan posisi tektonik merujuk kepada Pitcher (1983; 1997) dan Barbarin (1990).

*Granitoid Kapur Awal*

Granitoid berumur Kapur Awal tersingkap di Way Sulan, Tanjungbintang, Lampung Selatan yang terdiri dari granodiorit, monzogranit, dan tonalit. Memiliki struktur masif, tektur fanerik, ukuran kristal sedang (1-5 mm) hingga kasar (5-7 cm). Granitoid dijumpai tidak homogen namun bergradasi dari granodiorit menjadi tonalit atau monzogranit (Gambar 3A). Ketiga granitoid tersebut menerobos sekis hijau yang ditunjukkan dengan adanya *xenolith* berupa sekis hijau didalam tubuh granodiorit-tonalit (Gambar 3B). Selain itu granitoid berumur Kapur Awal juga dijumpai menerobos sekis kuarsa-muscovit-garnet yang tersebar dari Tanjungbintang hingga Tarahan.

*Granitoid Kapur Akhir*

Granitoid berumur Kapur Akhir banyak tersingkap di Branti, Lampung Selatan hingga Padean Lampung Tengah yang terdiri dari migmatit, granodiorit, granodiorit terfoliasi, granit, monzogranit, dan leukogranit. Batas antar jenis granitoid relatif sukar diamati dan cenderung bergradasi dari satu jenis granitoid ke granitoid yang lain. Granitoid umumnya memiliki struktur batuan masif, ukuran kristal dari halus (kurang dari 10 mm) hingga sedang (1-5 mm). Di Bendung Argoguru, Branti dijumpai granitoid yang memiliki struktur penjajaran butir kristal penyusunnya (Gambar 3C) sedangkan pada migmatit dijumpai leukogranit yang merupakan hasil pelelehan sebagian (*partial melting*) dari mineral felsik yang ada pada granodiorit. Pelelehan hanya terjadi pada mineral felsik sedangkan mineral mafik seperti hornblend dan piroksen menunjukkan penjajaran namun tidak mengalami pelelehan sebagian (Gambar 3D).

*Granitoid Paleogen*

Granitoid umur Paleogen di Lampung juga berasosiasi dengan diorit, andesit, basal, diabas, riolit, dan tufa padu yang dapat

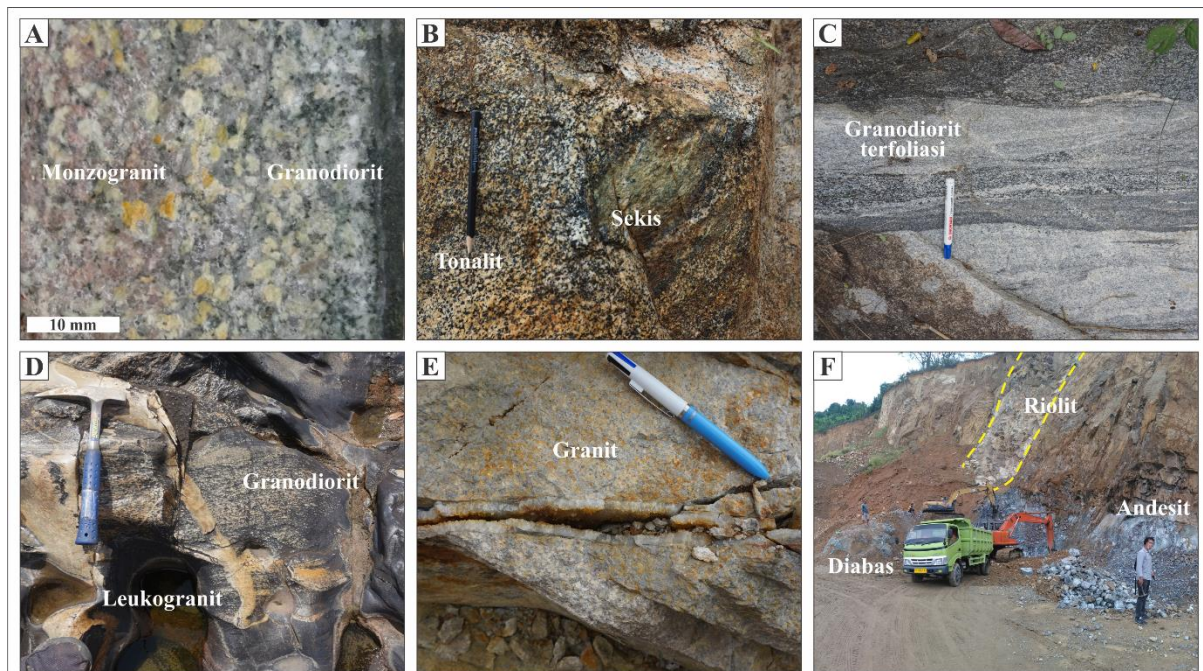
dijumpai di sekitar Tanjungbintang hingga Tarahan. Granitoid berumur Paleogen tersingkap di sekitar Tanjungbintang, Lampung Selatan yang dijumpai sebagai mikrogranit dan juga riolit (Gambar 3E). Mikrogranit memiliki struktur masif, dengan testur ukuran kristal halus (kurang dari satu mm). Riolit dijumpai memiliki bentuk intrusi diskordan sebagai korok yang memotong andesit dan diabas (Gambar 3F). Granit diinterpretasikan terbentuk sebagai pluton yang membentuk batolit sedangkan riolit terbentuk pada kedalaman yang lebih dangkal dan relatif mendekati permukaan. Diorit dijumpai hadir sebagai batuan pluton yang menerobos sekis, sedangkan andesit dan basalt dijumpai sebagai intrusi dan aliran yang menunjukkan struktur vesikuler hingga amygdaloidal, kekar berlembar dan afanit. Aliran basal dijumpai pada bagian dasar sungai yang ditindih oleh tufa padu.

*Tektonostratigrafi Lampung*

Pada umur Kapur Awal bagian akhir mulai terjadi tabrakan antara busur gunungapi Woyla dengan *terrain* Sumatra Barat (Barber, 2000; Barber dan Crow, 2003; 2009; Advokaat dkk., 2018). Sekis kuarsa-muscovit-garnet diinterpretasikan merupakan produk subuksi lempeng samudra Ngalau di bawah *terrain* Sumatra Barat (Gambar 4). Subduksi lempeng Samudra Ngalau yang terjadi secara diakronus (Advokaat dkk., 2018) menyebabkan terjadinya sesar mendatar sehingga membentuk batuan metamorf yang berasosiasi dengan lingkungan dengan *stress* tinggi yang ditunjukkan dengan keberadaan mylonit yang tersingkap di Girirejo, Tanjungbintang. Mylonit terbentuk pada zona *plastic deformation* yang berada pada kedalaman lebih dari lima belas kilometer dari permukaan (Fossen, 2010). Bidang lemah akibat sesar dapat menyebabkan naiknya magma dan membentuk batuan beku disepanjang bidang sesar (Allen dan Allen, 2013; Hennig dkk., 2017). Hal ini sejalan dengan asosiasi batuan yang tersingkap di

Tanjungbintang dan Tarahan yang terdiri dari batuan metamorf sekis hijau yang

diintrusi tonalit dan berasosiasi dengan milonit.



**Gambar 3.** (A) Monzogranit yang bergradasi menjadi granodiorit di Tanjungbintang, (B) Intrusi granitoid yang menunjukkan *xenolit* sekis hijau pada tonalit di Girirejo, Tanjungbintang, (C) Granodiorit terfoliasi yang tersingkap di Branti, (D) Migmatit Branti, (E) Mikrogranit Jatibaru (F) Intrusi riolit memotong andesit dan diabas di Gunungsahal, Tanjungbintang.

Salah satu alternatif mekanisme tonalit adalah akibat tektonik erosi yang menyebabkan peleburan kembali (*remelting*) kerak benua yang berasosiasi subduksi yang melandai sehingga membentuk kantong gabro (Cobbing dan Pitcher, 1983). Selain itu pada studi eksperimental menunjukkan bahwa tonalit dapat terbentuk oleh fusi parsial batuan basaltik-andesitik dalam kondisi hidrous (Wyllie, 1988; Johannes dan Holtz, 1996). Dijumpainya batuan metamorf amphibolit oleh Mangga dkk. (1994) di Tanjungan, Tanjungbintang diperkirakan merupakan bagian kerak benua yang lebih dalam sehingga memiliki kondisi fasies yang lebih tinggi dibandingkan sekis hijau yang dijumpai di Sulan, Tanjungbintang dan Tarahan. Tektonostratigrafi granitoid berumur Kapur Awal bagian akhir ditafsirkan terbentuk pada lingkungan subduksi antara lempeng Samudra Ngalau yang melandai dibawah *terrain* Sumatra Barat (Gambar 4).

Pada umur Kapur Akhir bagian Awal lempeng Samudra Ngalau habis tersubduksi dibawah *terrain* Sumatra barat sehingga menyebabkan tabrakan antara busur gunungapi Woyla dengan tepi *terrain* Sumatra Barat (Barber dan Crow, 2009; Advokaat dkk., 2018). Tabrakan ini menyebabkan penebalan kerak sehingga tekanan akibat tabrakan menyebabkan terjadinya pelelehan sebagian material kerak bumi (*partial melting of recycled crustal material*) yang berkomposisi dominan mineral kuarsa dan alkali feldspar. Hal ini memicu pembentukan migmatit dan leukogranit (Pitcher, 1983; 1997) di daerah Branti dan juga Jundeng (Sagara, 2016) sedangkan dijumpainya granodiorit yang mineral mafik dan felsiknya tersegregasi dan juga mengalami foliasi ditafsirkan akibat kontrol struktur yang menyebabkan penjajaran mineral pada granodiorit. Granitoid umur Kapur Akhir di Lampung dijumpai terpisah-pisah seperti di Branti dan Padean. Hal ini

ditafsirkan merupakan bagian dari batolit yang mengalami erosi dan pengangkatan dari kerak yang menebal sehingga menyingkap pluton.

Tektonostratigrafi granitoid berumur Kapur Akhir bagian awal ini ditafsirkan terbentuk dari penebalan kerak akibat tabrakan antara busur gunungapi Woyla dengan *terrain* Sumatra Barat (Gambar 4). Saat kondisi kerak telah menjadi stabil akan menghasilkan dua kemungkinan kondisi yang dapat terjadi yaitu kompresi berhenti atau lapisan batas termal (*thermal boundary layer*) yang tebal dan padat akan hilang akibat delaminasi yang akan diikuti runtuhnya kerak, penipisan litosfer, dan astenosfer yang naik (Winter, 2014). Magmatisme pascaorogenik biasanya terkait dengan *extensional collapse* dari suatu pegunungan. Hal ini akan memicu pelelehan akibat kehilangan tekanan (*decompressional melt*) dari astenosfer yang menghasilkan bimodal magmatisme pascaorogenik dengan dua jenis magma yang berbeda yaitu magma mafik yang berasal dari mantel dan juga magma felsik akibat pelelehan kerak (Winter, 2014).

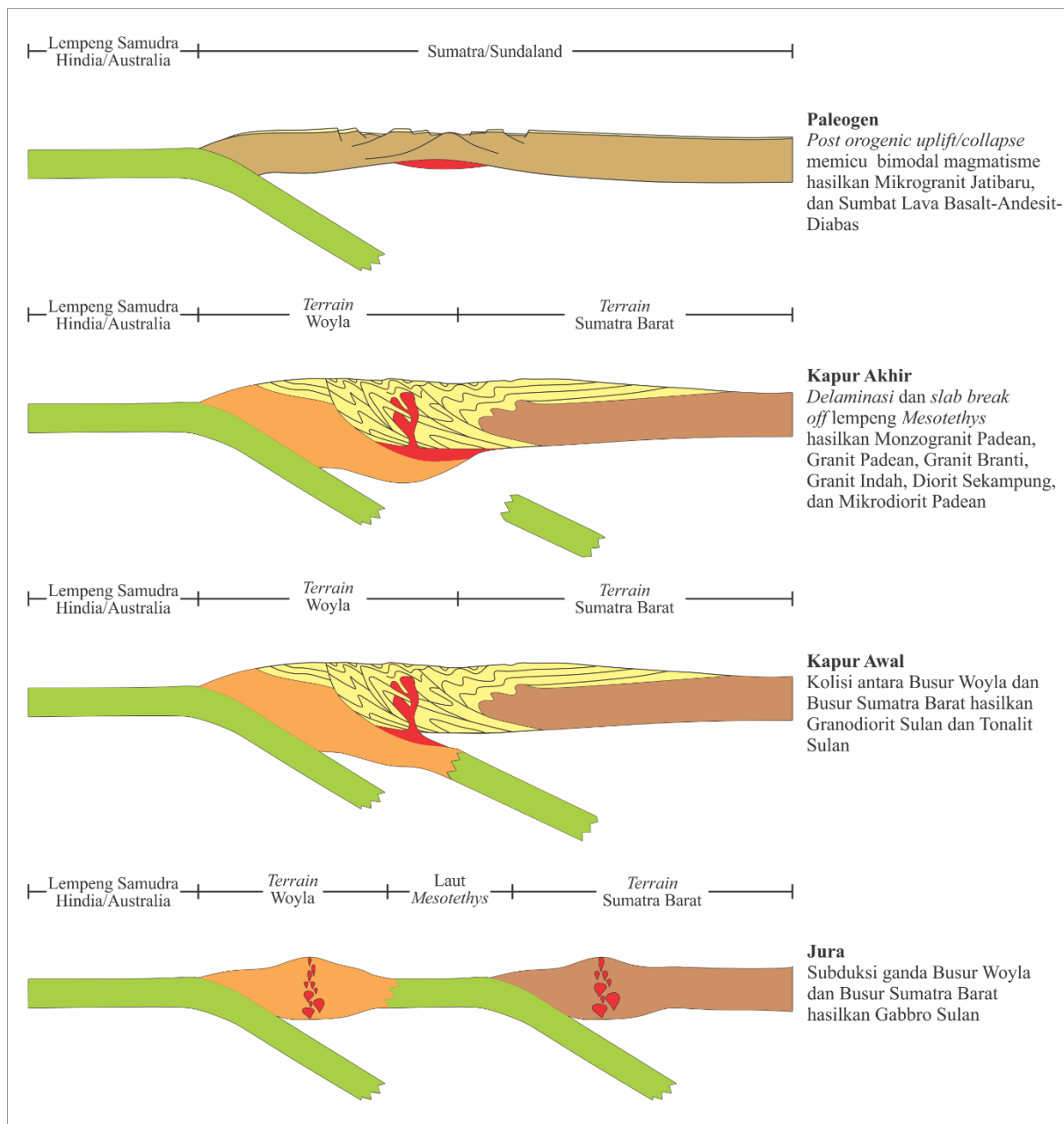
Batuan beku berumur Paleogen di Lampung terdiri dari batuan beku bersifat mafik hingga felsik baik yang terbentuk secara plutonik maupun vulkanik yang terdiri dari granit, riolit, diorite, andesit, basal, diabas, riolit, dan tufa padu (Gambar 4). Munculnya batuan plutonik berupa granit berumur Paleogen di Tanjungbintang yang berasosiasi dengan diorite, basal, diabas, dan riolit berumur Paleogen mengindikasikan fenomena bimodal vulkanisme yang terjadi pasca-pembentukan pegunungan (*post orogeny collapse*). Pitcher (1997) serta Winter (2014) menjelaskan bahwa granit berasal dari kerak kontinen namun penipisan kerak dapat memicu naiknya astenosfer (magma mafik) sehingga panas yang ada menyebabkan pencairan dekompresi kerak kontinen dan membentuk granitoid. Hal ini

merupakan mekanisme yang menjadi pembentuk granitoid berumur Paleogen di Lampung.

Batuan beku mafik di Lampung dijumpai berupa basal, andesit, hingga diabas yang mengindikasikan batuan vulkanik hingga intrusi dangkal. Bellon dkk. (2004) mengidentifikasi sifat geokimia intrusi dan lava ini shoshonitik atau tinggi unsur alkali yang menandakan telah mengalami asimilasi dengan kerak kontinen. Selain itu lava berumur Paleogen di Lampung diinterpretasi terbentuk dari tipe *orogenic* (dapat berupa subduksi atau kolisi) yang ditunjukkan dengan tingginya unsur tanah jarang ringan (LREE), tingginya *large ion lithophile element* (LILE), anomali rendahnya niobium, serta anomali unsur Ti yang rendah. Winter (2014) menjelaskan bahwa magma bersifat mafik yang berasal dari mantel bumi bergerak menuju ke permukaan melalui patahan normal yang menyertai proses ekstensi hal ini menjadi penjelasan alasan *post-orogenic* magmatisme umumnya memiliki bimodal magma. Hal tersebut sesuai dengan karakteristik magmatisme berumur Paleogen Lampung yang menunjukkan asosiasi granitoid dengan batuan beku mafik hingga intermediet yang cenderung mengalami asimilasi akibat pergerakan magma yang lambat.

Mangga dkk. (1994) serta Amin dkk. (1994) mengkaitkan magmatisme umur Paleogen Lampung dengan Formasi Kikim di Sumatra Selatan (Gafoer dkk., 1993) dan juga *Old Andesite Formation* pada busur Sunda yang merupakan busur gunungapi yang terbentuk akibat penunjaman lempeng Samudra Hindia di bawah Sundaland (Soeria-Atmadja dkk., 1994; Soeria-Atmadja dan Noeradi, 2005). Hal ini hendaknya harus dikaji lebih lanjut karena asosiasi batuan penyerta dan konteks tektonostratigrafinya berbeda jika dikaitkan dengan periode genesa pembentukan granitoid di Lampung.





**Gambar 4.** Model tektonik pembentukan granitoid di daerah Lampung dan sekitarnya.

### Kesimpulan

Penelitian ini menunjukkan bahwa granitoid Lampung dapat dikelompokkan menjadi tiga tektonostratigrafi berbeda yaitu: (1) Granitoid berumur Kapur Awal terbentuk akibat proses subduksi dan tektonik erosi yang mengintrusi batuan metamorf; (2) Granitoid berumur Kapur Akhir terbentuk akibat proses kolisi-delaminasi yang dicirikan dengan keberadaan migmatit hingga leukogranit; (3) Granitoid berumur Paleogen terbentuk akibat hasil runtunan pasca-pembentukan

pegunungan (*post collisional collapse*) dicirikan dengan mikrogranit yang berasosiasi dengan batuan mafik-intermediet berupa basal, diabas, dan andesit.

### Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih ditujukan kepada seluruh pihak yang telah membantu penelitian ini, Rinaldi Ikhran, Rikza Nur Faqih An Nahar, Sandi, Ruben, dan Mario yang telah membantu pengambilan data

lapangan dan pembuatan peta serta para reviewer yang memberikan saran konstruktif terhadap tulisan ini sehingga menjadi lebih baik.

### Daftar Pustaka

- Advokaat, E.L., Bongers, M.L., Rudyawan, A., BouDagher-Fadel, M.K., Langereis, C.G. dan van Hinsbergen, D.J. 2018. *Early Cretaceous origin of the Woyla arc (Sumatra, Indonesia) on the Australian plate*. Earth and Planetary Science Letters. 498, pp.348-361.  
<https://doi.org/10.1016/j.epsl.2018.07.001>
- Allen, P.A. dan Allen, J.R., 2013. *Basin analysis: Principles and application to petroleum play assessment*. John Wiley & Sons. (ISBN: 978-0-470-67377-5).
- Amin, T.C., Sidarto., Santosa, S. dan Gunawan, W. 1994. *Geologi Lembar Kotaagung, Sumatera Skala 1: 250.000*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- Barbarin, B. 1990. *Granitoids: main petrogenetic classifications in relation to origin and tectonic setting*. Geological Journal. 25(3-4), pp.227-238.  
<https://doi.org/10.1002/gj.3350250306>
- Barber, A.J. 2000. *The origin of the Woyla Terranes in Sumatra and the Late Mesozoic evolution of the Sundaland margin*. Journal of Asian Earth Sciences. 18(6), pp.713-738.  
[https://doi.org/10.1016/S1367-9120\(00\)00024-9](https://doi.org/10.1016/S1367-9120(00)00024-9)
- Barber, A.J. dan Crow, M.J. 2003. *An evaluation of plate tectonic models for the development of Sumatra*. Gondwana Research. 6(1), pp.1-28.  
[https://doi.org/10.1016/S1342-937X\(05\)70642-0](https://doi.org/10.1016/S1342-937X(05)70642-0)
- Barber, A.J. dan Crow, M.J. 2009. *Structure of Sumatra and its implications for the tectonic assembly of Southeast Asia and the destruction of Paleotethys*. Island Arc. 18(1), pp.3-20.  
<https://doi.org/10.1111/j.1440-1738.2008.00631.x>
- Barber, A.J., Crow, M.J. dan De Smet, M.E.M. 2005. *Tectonic evolution*. Geological Society, London, Memoirs. 31(1), pp.234-259.  
<https://doi.org/10.1144/GSL.MEM.2005.031.01.14>
- Bellon, H., Maury, R.C., Soeria-Atmadja, R., Cotten, J. dan Polvé, M. 2004. *65 my-long magmatic activity in Sumatra (Indonesia), from Paleocene to Present*. Bulletin de la Société géologique de France. 175(1), pp.61-72.  
<https://doi.org/10.2113/175.1.61>
- Cobbing, E.J. dan Pitcher, W.S. 1983. *Andean plutonism in Peru and its relationship to volcanism and metallogenesis at a segmented plate edge*. Geological Society of America Memoir. 159, pp.277-291.  
<https://doi.org/10.1130/MEM159-p277>
- Cobbing, E.J. 2005. *Granites*. Geological Society, London, Memoirs. 31(1), pp.54-62.  
<https://doi.org/10.1144/GSL.MEM.2005.031.01.05>
- Crow, M.J. 2005. *Pre-Tertiary volcanic rocks*. Geological Society, London, Memoirs. 31(1), pp.63-85.  
<https://doi.org/10.1144/GSL.MEM.2005.031.01.06>
- Fossen, H. 2010. *Extensional tectonics in the North Atlantic Caledonides: a regional view*. Geological Society, London, Special Publications 335, no. 1, pp.767-793.  
<https://doi.org/10.1144/SP335.31>
- Gafoer, S., Amin, T.C. dan Pardede, R. 1993. *Peta Geologi Lembar Baturaja Sumatera, skala 1:*

- 250.000. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- Gasparon, M. dan Varne, R. 1995. *Sumatran granitoids and their relationship to Southeast Asian terranes*. Tectonophysics. 251(1-4), pp.277-299.  
[https://doi.org/10.1016/0040-1951\(95\)00083-6](https://doi.org/10.1016/0040-1951(95)00083-6)
- Hennig, J., Hall, R., Forster, M.A., Kohn, B.P. dan Lister, G.S. 2017. *Rapid cooling and exhumation as a consequence of extension and crustal thinning: Inferences from the Late Miocene to Pliocene Palu Metamorphic Complex, Sulawesi, Indonesia*. Tectonophysics. 712, pp.600-622.  
<https://doi.org/10.1016/j.tecto.2017.06.025>
- Hutchison, C.S. 1994. *Gondwana and Cathaysian blocks, Palaeotethys sutures and Cenozoic tectonics in South-east Asia*. In *Active Continental Margins—Present and Past* (pp. 388-405). Springer, Berlin, Heidelberg.  
<https://doi.org/10.1007/BF00210553>
- Hutchison, C.S. 2014. *Tectonic evolution of Southeast Asia*. Bulletin of the Geological Society of Malaysia. 60, pp.1-18.  
<https://doi.org/10.7186/bgsm60201401>
- Johannes, W. dan Holtz, F. 1996. *Formation of granitic magmas by dehydration melting*. In *Petrogenesis and Experimental Petrology of Granitic Rocks* (pp. 264-301). Springer, Berlin, Heidelberg.  
<https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2019.102982>
- Katili, J.A. 1973. *Geochronology of West Indonesia and its implication on plate tectonics*. Tectonophysics. 19(3), pp.195-212.  
[https://doi.org/10.1016/0040-1951\(73\)90019-X](https://doi.org/10.1016/0040-1951(73)90019-X)
- Mangga, S.A., Amiruddin, Suwarti, T., dan Sidarto. 1994. *Geologi Lembar Tanjungkarang, Sumatera 1: 250,000*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- McCourt, W.J. dan Cobbing, E.J. 1993. *The geochemistry, geochronology and tectonic setting of granitoid rocks from southern Sumatra, western Indonesia*. Southern Sumatra geological and mineral exploration project, directorate of mineral resources/ geological research and development center, Bandung, Indonesia.
- McCourt, W.J., Crow, M.J., Cobbing, E.J. dan Amin, T.C. 1996. *Mesozoic and Cenozoic plutonic evolution of SE Asia: evidence from Sumatra, Indonesia*. Geological Society, London, Special Publications, 106(1), pp.321-335.  
<https://doi.org/10.1144/GSL.SP.1996.106.01.21>
- Milsom, J. dan Walker, A. 2005. *The gravity field*. Geological Society, London, Memoirs. 31(1), pp.16-23.  
<https://doi.org/10.1144/GSL.MEM.2005.031.01.03>
- Pitcher, W.S. 1983. *Granite type and tectonic environment*. In *Symposium on mountain building* (pp. 19-40).
- Pitcher, W.S. 1997. *The nature and origin of granite*. Springer Science & Business Media. (ISBN: 978-94-011-5832-9).
- Sagara, M.G. 2016. *Morfologi, petrografi, dan kimia mineral migmatit jundeng lampung*. Master thesis, ITB. Tidak dipublikasikan
- Soeria-Atmadja, R., Maury, R.C., Bellon, H., Pringgoprawiro, H., Polve, M. and Priadi, B. 1994. *Tertiary magmatic belts in Java*. Journal of Southeast Asian Earth Sciences. 9(1-2), pp.13-27.  
[https://doi.org/10.1016/0743-9547\(94\)90062-0](https://doi.org/10.1016/0743-9547(94)90062-0)

- Soeria-Atmadja, R. dan Noeradi, D. 2005. *Distribution of Early Tertiary volcanic rocks in south Sumatra and west Java*. *Island Arc*, 14(4), pp.679-686.  
<https://doi.org/10.1111/j.1440-1738.2005.00476.x>
- Streckeisen, A. 1974. *Classification and nomenclature of plutonic rocks recommendations of the IUGS subcommission on the systematics of igneous rocks*. *Geologische Rundschau*. 63(2), pp.773-786.  
<https://doi.org/10.1007/BF01820841>
- Wakita, K. dan Metcalfe, I. 2005. *Ocean plate stratigraphy in East and Southeast Asia*. *Journal of Asian Earth Sciences*, 24(6), pp.679-702.  
<https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2004.04.004>
- Wilson, M. 2005. *Modeling the Sumatra-Andaman Earthquake Reveals a Complex, Nonuniform Rupture*. *Journal of Geological Society of India* (Online archive from Vol 1 to Vol 78). 66(4), pp.499-503.  
<https://doi.org/10.1063/1.1996463>
- Winter, J.D. 2014. *Principles of igneous and metamorphic petrology* (Vol. 2). Harlow, UK: Pearson education. (ISBN: 1292034769).
- Wyllie, P.J. 1988. *Magma genesis, plate tectonics, and chemical differentiation of the Earth*. *Reviews of Geophysics*. 26(3), pp.370-404.  
<https://doi.org/10.1029/RG026i003p00370>
- Zahirovic, S., Seton, M. and Müller, R.D. 2014. *The cretaceous and cenozoic tectonic evolution of Southeast Asia*. *Solid Earth*. 5(1), pp.227-273.  
<https://doi.org/10.5194/se-5-227-2014>

## ***FORWARD MODELLING PADA ANOMALI GAYABERAT MODEL FAULT MENGGUNAKAN MATLAB MATHWORKS***

Alika Tabriza Adhani, Mega Anggitarizka\*, Zahrah Meidina, Rahmat Catur Wibowo

Teknik Geofisika, Universitas Lampung, Jl. Prof. Sumatri Brojonegoro No. 1, Lampung 35145, Indonesia.

\*Corresponding author. Email: [megaanggitarizka@gmail.com](mailto:megaanggitarizka@gmail.com)

Manuscript received: 15 December 2021; Received in revised form: 14 August 2022; Accepted: 15 Oktober 2022

### **Abstrak**

Metode gayaberat yakni sebuah metode geofisika yang diterapkan saat mengetahui kondisi di bawah permukaan bumi dari perbedaan rapat massa batuan di bawah permukaan. Eksplorasi gayaberat membutuhkan gambaran awal sebagai acuan dari pengukuran. Pemodelan sintesis yang dilakukan kali ini merupakan pemodelan ke depan anomali *fault* yang dilakukan dengan bantuan *software* Grav2dc dan Matlab Mathworks. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan hasil pemodelan sintesis menggunakan *software* Grav2dc dan Matlab Mathworks sekaligus menguji program yang dibangun mampu berjalan secara optimal maupun tidak. Parameter model yang digunakan yaitu nilai massa jenis sebesar  $1 \text{ kg/m}^3$  dengan kedalaman plat dalam 50 m, kedalaman plat dangkal 150 m dan letak sesar pada kedalaman 150 m dengan ketebalan 40 m. Pengolahan data pada penelitian ini menggunakan dua buah *software* yaitu: Grav2dc dan Matlab MathWorks untuk membandingkan sekaligus menguji apakah hasil pengolahan menggunakan *software* Matlab MathWorks sesuai dengan model sintesis hasil pengolahan menggunakan *software* Grav2dc. Hasil yang didapatkan dari penelitian ini yaitu model *fault* yang diperoleh dari pengolahan menggunakan *software* Matlab MathWorks dan Grav2dc dengan parameter model berupa densitas dan kedalaman, dengan densitas dan kedalaman berperan saat membentuk nilai perubahan gayaberat.

**Kata Kunci:** *forward modelling*; metode gayaberat; *fault*.

### **Abstract**

The gravity method is one of the geophysical methods utilized to determine the subsurface conditions of the earth according to differences in rock mass density below the surface. In the exploration of gravity requires an initial description as a reference for measurement. The synthetic modelling carried out this time is a forward modelling of fault anomalies carried out with the help of Grav2dc and Matlab Mathworks software. This study aims to compare the results of synthetic modelling using Grav2dc software and Matlab Mathworks as well as to test whether the program built can run well or not. The model parameters utilized are the density value of  $1 \text{ kg/m}^3$  with a deep plate depth of 50 m, a shallow plate depth of 150 m and the location of the fault at a depth of 150 m with a thickness of 40 m. The data processing in this study used two pieces of software, are Grav2dc and Matlab MathWorks to compare and test whether the processing results using Matlab MathWorks software were in accordance with the synthetic model processed using Grav2dc software. The results obtained from this study are the fault model obtained from processing using Matlab MathWorks and Grav2dc software with model parameters in the form of density and depth, where density and depth have a role in shaping the value of the change in gravity.

**Keywords:** forward modelling; gravity method; faults.

## Pendahuluan

Gravitasi merupakan metode geofisika yang biasa dipakai saat mengidentifikasi struktur yang ditemukan pada bagian bawah permukaan bumi. Pengukuran gravitasi ini mampu dilatarbelakangi oleh perubahan medan gravitasi pada bumi oleh perbedaan densitas secara lateral. Gravitasi ini sering dikaitkan dengan hukum gravitasi Newton atau gaya tarik-menarik yang melibatkan dua benda yang sebanding massa benda tersebut serta berbanding terbalik dengan jarak pusat gravitasi kuadrat. Gravitasi dimanfaatkan untuk memberikan informasi struktur geologi yang ditemukan di permukaan tanah yang bisa diamati ataupun tertutup oleh Tanah. (Frifita et al., 2016; Panjaitan & Subagio, 2015; Stagpoole et al., 2016; Oruç et al., 2013).

Dalam mempelajari bentuk serta struktur berupa cekungan regional, digunakan gravimetri yang merupakan gravitasi untuk penyelidikan air tanah di lingkungan granit. Dengan data penelitian berupa bentuk anomali gaya berat, dapat diselidiki perbedaan antara batuan beku lapuk dan tidak lapuk serta mana lapisan yang merupakan akuifer. Gravitasi juga dapat digunakan untuk mengukur gaya relatif dan absolut. Adapun pengolahan data gravitasi dilakukan untuk mereduksi data percepatan medan dengan menggunakan beberapa koreksi untuk memberikan *data bouguer* yang lengkap. Data gravitasi dapat dipengaruhi oleh efek lintang pada bumi. Selain itu juga dipengaruhi oleh perbedaan gravitasi bumi yang beragam di satu lokasi dengan lokasi lainnya oleh bentuk bumi yang tidak sepenuhnya berbentuk bulat. Efek udara bebas pun berpengaruh dalam data gravitasi (Kirsch, 2009).

Dalam pengolahan gravitasi dikenal dengan pemodelan ke depan atau yang biasa disebut *forward modeling* bekerja dengan sistematis menghitung data secara teoritis di permukaan bumi untuk menduga atau

mendekati bentuk dari *subsurface anomaly* berdasarkan data yang dimiliki. Apabila terdapat respon yang tidak sesuai atau tidak cocok dengan data maka model yang dipakai dapat mewakili suatu kondisi yang terdapat di bawah permukaan pada lokasi pengukuran (Makhrani, 2013). Contohnya yaitu keterdapatannya suatu intrusi di bawah permukaan bumi berupa balok padat mempunyai nilai kedalaman dan densitas tertentu, maka dengan adanya pengukuran serta perhitungan akan didapat nilai gravitasi yang kemudian diolah menjadi suatu grafik. Adapun pemodelan kedepan dapat diaplikasikan menggunakan *software* Matlab MathWorks dengan mengintegrasikan matematika, visualisasi, dan pemrograman ke dalam model yang mudah digunakan untuk memecahkan masalah yang dinyatakan dalam notasi matematika umum. Teknis dari pemodelan ke depan diawali dengan menyiapkan model geologi yang diperoleh dari daerah penelitian yang model tersebut didapat dari berbagai data yang tersedia di lapangan, data ini dapat berupa data lubang bor, data seismik, data sekunder dari literatur atau data langsung dari lapangan. Densitas pada data tersebut diasumsikan memiliki nilai yang konstan di bawah diskontinuitas. Gravitasi dapat berkaitan dengan adanya distribusi massa di titik dangkal yaitu kerak bumi. Kemudian gravitasi diperhitungkan menggunakan algoritma tertentu lalu dibandingkan dengan gravitasi observasi. Adapun model harus diperbaiki jika terdapat perbedaan nilai antar keduanya dengan cara mengubah densitas maupun lapisannya. Hal ini dapat mengurangi adanya ketidakrelevan data.

Pemodelan ke depan yang dilakukan adalah pemodelan data *gravity* sintesis dengan model anomali berupa *fault*. *Fault* merupakan zona rekahan yang tercipta pada dua blok batuan. Rekahan tersebut tercipta oleh pergerakan atau dinamika lempeng bumi. Penelitian ini dimaksudkan untuk menguji keakuratan pengolahan yang

dilakukan sehingga ke depannya dapat dijadikan pedoman yang baik.

### Metode Penelitian

Penelitian ini memakai laptop yang berspesifikasi prosesor *core i3* yang memiliki 4 GB RAM serta diterapkan pada bahasa pemrograman Matlab Mathworks yakni *software open source* guna melaksanakan komputasi program. Di samping itu, parameter model sintetik dalam bentuk harga densitas batuan serta kedalaman anomali menerapkan metode gayaberat. Di penelitian ini juga dilaksanakan dengan *forward modelling*, hal tersebut disebabkan karena data yang dipakai adalah data sintetik. Kajian ini sangat penting dilaksanakan sebab guna mengetahui percepatan nilai gaya berat.

Gravimetri yakni sebuah metode geofisika yang mengkaji keadaan di bawah permukaan bumi dari perbedaan kerapatan batuan di bawah permukaan bumi, dan mengkaji perbedaan medan gravitasi dari sebuah titik pengamatan dengan titik pengamatan yang lain. Konsep anomali gayaberat lebih menitikberatkan terhadap aspek perbedaan gayaberat yang diukur dari nilai gayaberat acuan. Perbedaan gravitasi membuktikan variasi kepadatan massa di daerah dengan garis horizontal maupun vertikal. Besaran kedalaman dan arah anomali densitas diperoleh dengan perhitungan, rekonstruksi, serta interpretasi model gaya berat terukur. Nilai gravitasi yang diukur adalah gaya total yang diterapkan oleh titik-titik oleh sumber yang berbeda. Berbagai sumber yang dapat berpengaruh terhadap pengukuran adalah:

1. Efek medan.

2. Perbedaan garis lintang di permukaan bumi.
3. Perbedaan ketinggian permukaan bumi (elevasi).
4. Perubahan kerapatan massa di lokasi.
5. Posisi bumi dalam pergerakan tata surya (efek pasang surut).

Beberapa modifikasi dan pengurangan dilakukan guna mencegah efek gravitasi dari komponen yang tidak diinginkan.

*Forward modelling* di metode gayaberat berdasarkan perhitungan medan gayaberat oleh berbagai distribusi massa maupun topografi, pada domain spasial sehingga penelitian ini amat berperan terhadap dunia teknik. Nilai gayaberat yang berubah di masing-masing titik permukaan bumi mampu dimanfaatkan guna melaksanakan interpolasi serta prediksi di bidang konstruksi (Hirt and Kuhn, 2014).

*Forward modelling* membuktikan kalkulasi hasil medan gayaberat dari berbagai distribusi massa sumber. Pondasi *forward modelling* yakni hukum gayaberat universal Newton (1687) berkata bahwasannya gaya tarik  $F$  yang melibatkan 2 buah benda akan berbanding lurus dengan produk massa  $m$ ,  $M$ , sekaligus berbanding terbalik terhadap kuadrat jarak  $r$ :

$$F = G \frac{mM}{r^2} \quad (1)$$

dengan:

$F$  = Gaya gravitasi (N)

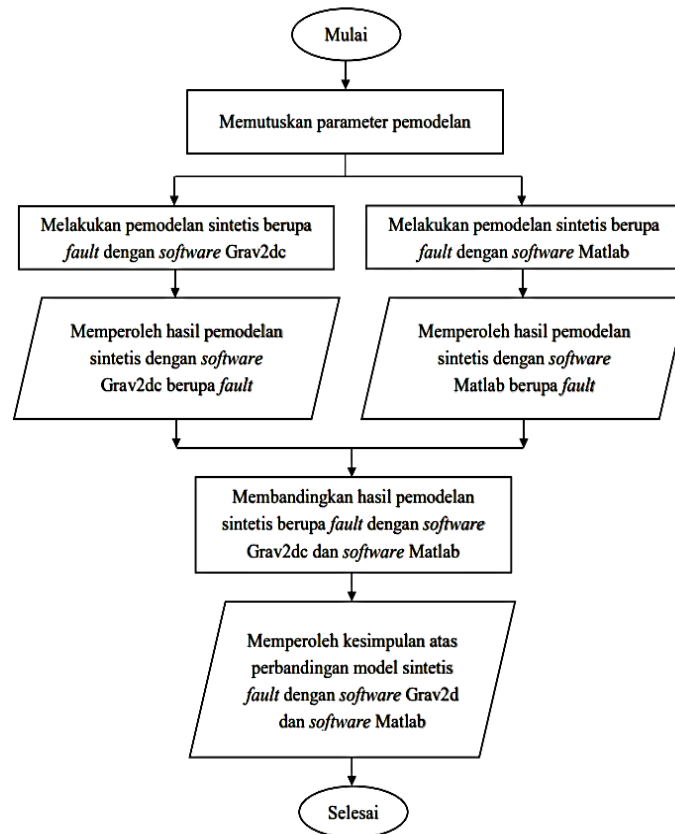
$G$  = Konstanta gravitasi ( $6,67384 \times 10^{-11} \text{ m}^3\text{kg}^{-1}\text{s}^{-2}$ )

$m$  = Massa benda 1 (kg)

$M$  = Massa benda 2 (kg)

$r$  = Jarak pusat kedua benda (m)

Gambar 1 adalah *flow chart* yang dilakukan dalam penelitian ini.

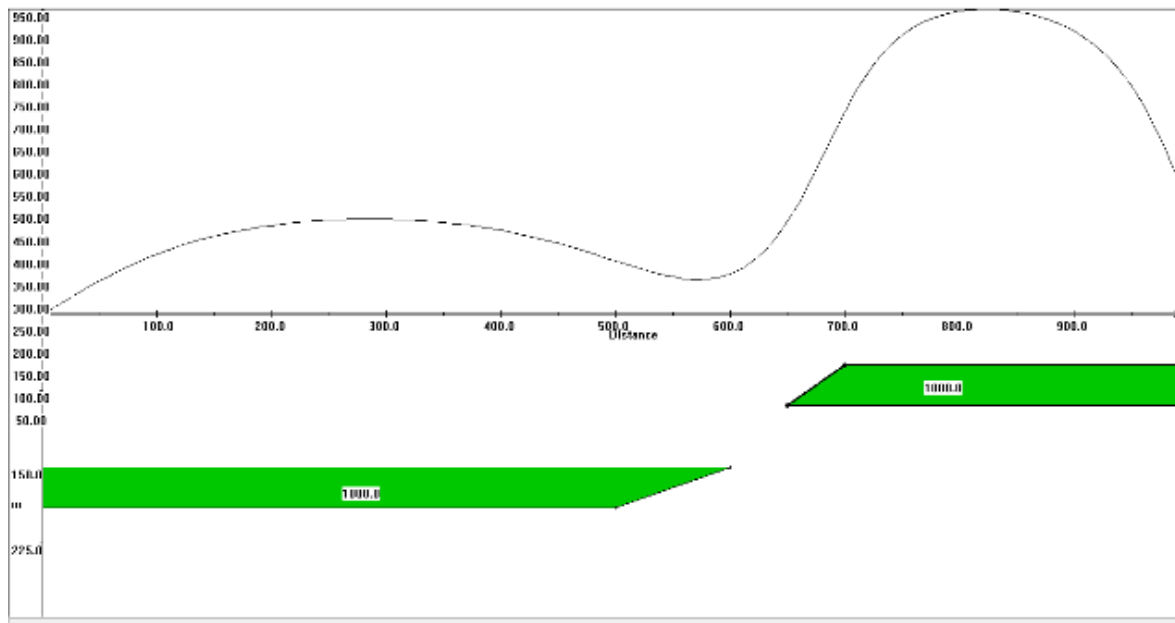


Gambar 1. Flowchart penelitian.

### Hasil dan Pembahasan

Pemodelan *gravity* yang berbentuk model anomali *fault* dilakukan dengan bantuan *software* Matlab MathWorks. Penggunaan data parameter model nilai massa jenis serta

kedalaman di pemodelan *fault* dimaksudkan guna membuktikan apakah program yang dibuat mampu berjalan serta menggambarkan anomali *gravity* model *fault* bawah permukaan dengan baik.

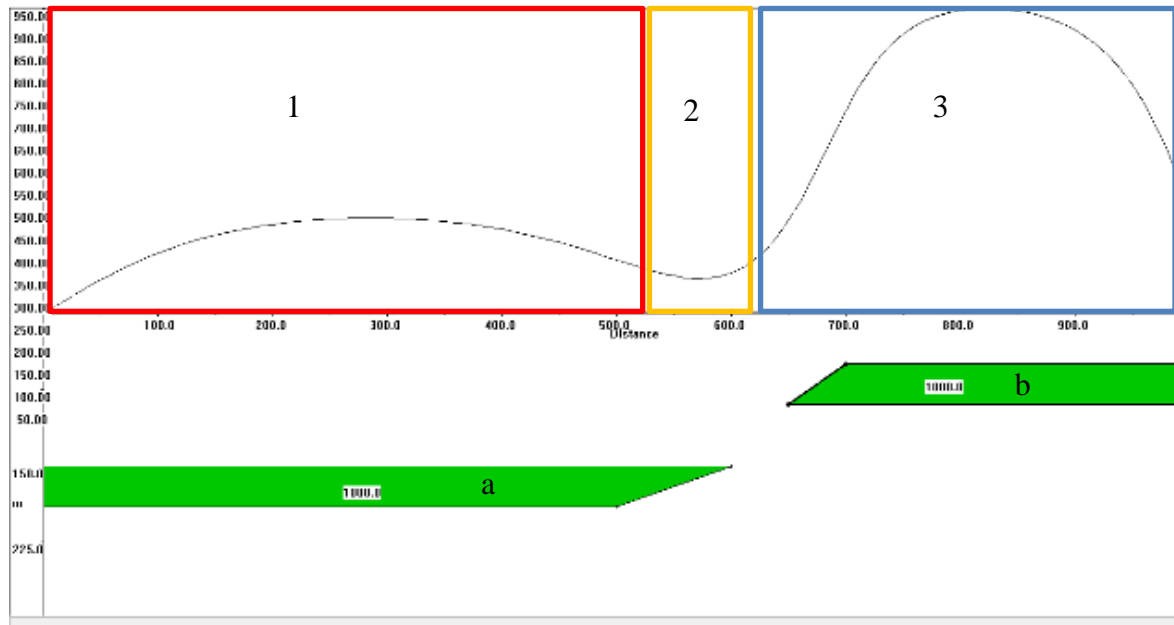


Gambar 2. Respon model anomali *gravity* pada Grav2dc.



Gambar 2 merupakan respon pemodelan anomali *gravity* sintetik yang dilakukan dengan bantuan *software* Grav2dc. Adapun nilai massa jenis yang digunakan sebesar 1 kg/m<sup>3</sup> dengan kedalaman plat dalam 50 m,

kedalaman plat dangkal 150 m, dengan letak patahan pada kedalaman 150 m setebal 40 m. Parameter ini dipilih hanya sebagai contoh model sintetik.



**Gambar 3.** Analisis respon model anomali *gravity* pada Grav2dc.

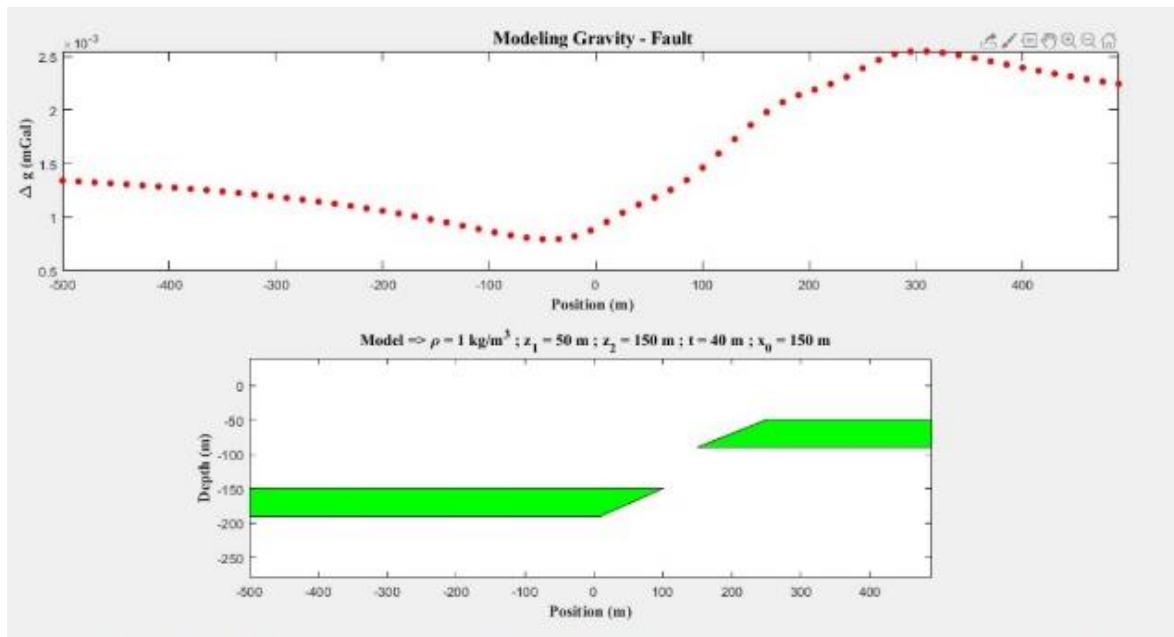
Model *fault* yang diperoleh merupakan jenis *reverse fault* yang dicirikan dengan *hanging wall* (a) berada di bawah *foot wall* (b).

Pada gambar 3 terdapat model *fault* yang menunjukkan respon anomali dengan dua buah puncak (ditandai dengan nomor 1 dan 3) dan satu buah lembah (ditandai dengan nomor 2).

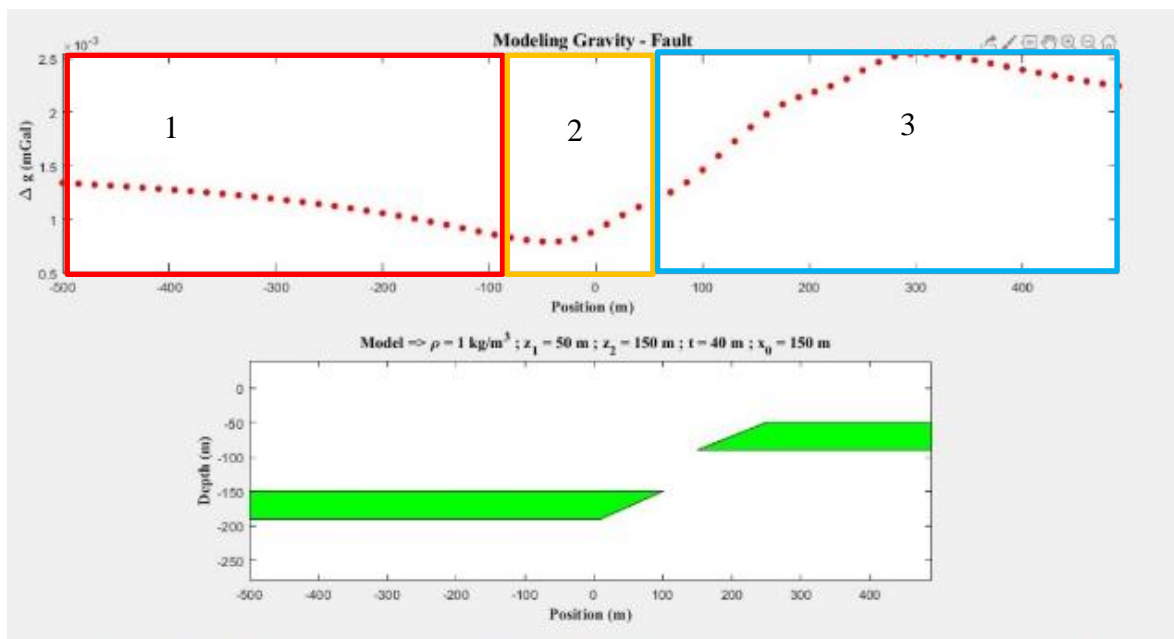
Gambar 3 merupakan hasil pengolahan model *fault* sintetik yang dilakukan dengan *software* Grav2dc. Daerah yang diberi tanda kotak merah (nomor 1) merupakan gelombang yang ditimbulkan oleh anomali a. Puncak gelombang tampak lebih landai dikarenakan posisi anomali yang dalam dan jauh dari permukaan. Daerah yang diberi tanda kotak biru (nomor 3) merupakan gelombang yang ditimbulkan oleh anomali b. Puncak gelombang tampak lebih menunggal dikarenakan posisi anomali

yang lebih dangkal dan dekat dengan permukaan. Sedangkan pada kotak orange (nomor 2) merupakan daerah tempat *fault* terjadi, yang diindikasikan dengan respon kurva yang menurun secara drastis.

Pemodelan pada gambar 4 merupakan pemodelan yang dilakukan dengan bantuan *software* Matlab Mathworks dengan parameter yang sama dengan pemodelan yang dilakukan pada gambar 2. Hasil profil pemodelan sintetik pada gambar 5 membuktikan bahwasannya perubahan arah kurva anomali *fault* secara signifikan yang menandai ditemukannya *fault*. Hasil pemodelan serta kurva di atas mempunyai respon yang mirip dengan pemodelan dan hasil kurva yang dilakukan dengan bantuan *software* Grav2Dc. Dari hal tersebut, program mampu berjalan secara optimal serta berhasil.



Gambar 4. Pemodelan dengan *software* Matlab MathWorks.



Gambar 5. Analisis respon model anomali *gravity* pada Matlab MathWorks.

Di kedua model, diperoleh bahwasannya parameter model yaitu densitas dengan kedalaman berperan yang amat penting saat membentuk nilai perubahan gayaberat, seperti yang sudah dijelaskan di Katrinavia et al. (2015). Di kedua model, diperoleh perbedaan nilai percepatan gayaberat sebagaimana persamaan percepatan gayaberat sama dengan perkalian konstanta gayaberat dengan massa bumi dibagi jari-jari bumi, pada hal ini diasumsikan

kedalaman. Kemudian diperoleh pemodelan *fault* mempunyai nilai yang melampaui pemodelan intrusi sebab kedalaman pemodelan *fault* lebih dangkal dari pemodelan intrusi. Program pemodelan tersebut jika menerapkan model geometri yang beragam, diharapkan menerapkan formula yang dicocokkan dengan model geometri tersebut.

## Kesimpulan

Pemodelan sintetik yang menunjukkan perubahan kurva anomali secara signifikan menandakan adanya *fault*. Kedua hasil pemodelan sintesis yang dilakukan, baik yang diolah menggunakan *software* Grav2dc dan *software* Matlab Mathworks menunjukkan respon anomali yang hampir sama. Hasil kedua model tersebut juga memperlihatkan bahwasannya parameter model yaitu densitas serta kedalaman berperan penting saat membentuk perubahan gayaberat. Maka dari itu dapat disimpulkan bahwasannya program yang dirancang dan dijalankan dengan *software* Matlab Mathworks sukses dan dapat menggambarkan respon *subsurface anomaly* dengan baik.

## Ucapan Terima Kasih

Rasa terima kasih peneliti haturkan terhadap para dosen yang membimbing di penulisan dan penyempurnaan jurnal ini hingga mampu terselesaikan dengan baik, serta para teman-teman dan seluruh pihak yang sudah berkontribusi di penulisan jurnal ini.

## Daftar Pustaka

- Frifita, N., Arfaoui, M.S., and Zargouni, F. 2016. *Relationship Between Surface and Subsurface Structures of the Northern Atlas Foreland of Tunisia Deduced from Regional Gravity Analysis*. Journal of Geophysics and Engineering. 13(4), pp.634 – 645. <https://doi.org/10.1088/1742-2132/13/4/634>
- Hirt, C. and Kuhn, M. 2014. *Band-limited topographic mass distribution generates full-spectrum gravity field: Gravity forward modeling in the spectral and spatial domains revisited*. Journal of Geophysical Research: Solid Earth. 119, 3646 – 3661. <https://doi.org/10.1002/2013JB010900>
- Katrinavia, Y.P., Setyawan, A. Dan Supriyadi. 2015. *Pemodelan Anomali Gaya Berat Akibat Curah Hujan dan Dinamika Air Tanah di Daerah Semarang*. Jurnal Fisika Indonesia. 19(56), pp. 42 – 44. <https://doi.org/10.22146/jfi.24358>
- Kirsch, R. 2009. *Groundwater Geophysics, 2nd Ed.* Springer, Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-88405-7>
- Makhrani. 2013. *Optimalisasi Desain Parameter Sekunder Untuk Data Resistivitas Pseudo 3D*. Positron: Berkala Ilmiah Fisika. 3(1), pp. 24 – 33. <http://dx.doi.org/10.26418/positron.v3i1.5416>
- Oruç, B., Sertçelik, I., Kafadar, Ö. and Selim, H.H. 2013. *Structural Interpretation of The Erzurum Basin, Eastern Turkey, Using Curvature Gravity Gradient Tensor and Gravity Inversion of Basement Relief*. Journal of Applied Geophysics. 88, pp. 105 – 113. <https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2012.10.006>
- Panjaitan, S. and Subagio. 2015. *Prospek Sumber Daya Energi Berdasarkan Analisis Pola Anomali Gaya Berat di Daerah Biak dan Sekitarnya, Papua*. Jurnal Geologi Kelautan. 13(2), pp. 87-97. <http://dx.doi.org/10.32693/jgk.13.2.2015.264>
- Stagpoole, V., Tontini, F.C., Barretto, J., Davy, B. and Edbrooke, S.W. 2016. *Inversion of magnetic and gravity data reveals subsurface igneous bodies in Northland, New Zealand*. New Zealand Journal of Geology and Geophysics. 59(3) pp. 416 – 425. <https://doi.org/10.1080/00288306.2016.1162178>

# INVESTIGATING SEASONAL VARIATIONS OF SOIL THERMAL PROPERTIES (STPs) UNDER DIFFERENT LAND USE PATTERNS IN ABEOKUTA, SOUTHWEST NIGERIA

Saheed Adekunle Ganiyu\*, Oluwafemi Ayomide Shobowale, Yaya Korede Sikiru

Department of Physics, Federal University of Agriculture, Abeokuta, Ogun State, Nigeria

\*Corresponding author. Email: [ganiyusa@funaab.edu.ng](mailto:ganiyusa@funaab.edu.ng)

Manuscript received: 25 July 2022; Received in revised form: 25 August 2022; Accepted: 26 September 2022

## Abstract

Soil thermal properties (STPs) command the storage and transfer of thermal energy through the soil matrix, which can be changed by land use systems and seasonal changes. Depiction of STPs based on land uses and seasonal changes eases better understanding of trend of periodic disparity of soil heat flux across varied land use practices. This study assesses the seasonal and land use prompted variability of STPs such as thermal conductivity ( $\lambda_s$ ), thermal resistivity (TR), specific heat capacity ( $C_s$ ), thermal diffusivity (TD) and temperature of sandy loam topsoils under different land uses: Dumpsite (DS), block-making site (BMS), abattoir site (ABS), and grassland (GL). Seasonal changeability of the STPs was determined by two reiterations of aforementioned STPs measurements during the wet (April/May, 2019) and dry (January/February, 2020) seasons. The STPs were measured in situ utilizing KD2 Pro Thermal Analyzer. The research discloses that STPs are impacted by land use substantially. All the observed STPs were not differ significantly among the studied land uses during the wet season. However, statistically substantial variations in  $C_s$  and TD of topsoils under all investigated land uses were recognized during the dry season. Moreover, no significant alteration in the mean soil temperature was observed among the sampling land uses during the dry season. The result of the present study inspires more studying the seasonal changeability of STPs based on a more agricultural and economically related land uses as well as broad sampling design to account for their spatial changeability. The findings of this study will assist land users to make best choice of appropriate land management practices for viable agriculture and environmental management.

**Keywords:** land uses; soil thermal properties; wet and dry seasons thermal conductivity; seasonal variation.

## Introduction

Land can be used for agricultural, economic and developmental purposes all over the world (Ritchie and Roser, 2013; Bjornlund et al., 2020). In most developing countries, lately, most available land has been used intensively for various developmental and economical activities resulting in loss of productive land that could have been put into agricultural use (Tesfahunegn and Gebru, 2020). Different land-use systems

impact soil quality variables distinctively, therefore the capacity of particular land to perform ideally may be persistent, enhanced or waned according to the degree of the alteration of soil quality variables in regards to land use practices (Szoboszlay et al., 2017; Ganiyu, 2018).

Heat flow into/from the soil medium can occur through transport mechanism of conduction, radiation, and convection processes (Zhang et al., 2017). However,

the bulk of heat transfer in soil matrix occurred through conduction process (Alrtimi et al., 2016; Zhang et al., 2017). The conduction of heat in the soil, assuming uniform and constant soil medium can be described by one dimensional Fourier's law (Zhu et al., 2019). Thermal properties of soil include  $\lambda_s$ , TR,  $C_s$ , thermal diffusivity (TD) and soil temperature. However,  $\lambda_s$  is one of the most important thermal properties related to the heat exchange at the ground surface (Zhang and He, 2016; Bertermann and Schwarz, 2017). It has been reported by several researchers that the  $\lambda_s$  of soils depends on soil factors such as soil texture, moisture content, bulk density, temperature, organic matter content, mineralogical content, volumetric proportions of the soil constituents, and grain size distribution (Alrtimi et al., 2016; Zhang et al., 2017; Rasimeng, 2020).

Thermal conductivity ( $\lambda_s$ ) is defined as the amount of heat flow due to unit temperature gradient in unit time under steady conditions in a direction normal to the unit surface area (Faitli et al., 2015). The  $C_s$  represents the amount of heat needed to raise the temperature of a unit volume of soil by one degree Celsius (Haruna et al., 2017; Wang et al., 2019). The TD is the ratio of thermal conductivity to its volumetric heat capacity (Hetnarski and Eslami, 2009; Fuchs et al., 2015; Rasimeng, 2020).

The detailed information about soil thermal properties found useful applications in designing of energy piles, ground source heat pump, buried power/telecommunication cables, irrigation, agricultural meteorology and earthquake precursors amongst others (Roxy et al., 2014; Amaludin et al., 2016; Liu et al., 2018). A number of scientists have investigated the impacts of various land-use patterns on soil physico-chemical properties and soil nutrient availability (Spurgeon et al., 2013; Chandel et al., 2018; Nanganoa et al., 2019; Maini et al., 2020).

Scientists have also reported that soil thermal properties (STPs) can be altered by agricultural related land-use systems (Adhikari et al., 2014; Haruna et al., 2017; Shen et al., 2018). Seasonal variation of soil physico-chemical properties on land uses was also well cited (Sacco et al., 2012; Patel et al., 2015; Olatunji et al., 2016; Netha et al., 2020). Ganiyu et al. (2021a,b) assessed the impact of land use and land abandonment on STPs of dumpsite and block making site in Abeokuta, southwest, Nigeria. There appears to be inadequate information on seasonal variability of STPs based on different land-use patterns. This is worth considering as we believe that characterization of thermal properties of a particular land-use pattern on seasonal basis is important in estimating the trend of periodic variations in heat flow and heat storage potentials of the site (Faitli et al., 2015).

The present study was carried out during dry and wet seasons in Nigeria from four different land uses for better understanding of spatial and seasonal variability of soil thermal properties. The objectives include evaluation of levels of STPs in selected land uses during wet and dry seasons; assessment of the seasonal variations of STPs based on land use patterns and application of statistical analysis to study the significances of the variations of measured STPs among sampling sites based on wet and dry seasons.

## Methods

### *Study Area*

The research was carried out in Abeokuta city of Ogun state, southwest part of Nigeria. Abeokuta is bordered by latitudes 7°10' and 7°15'N and longitudes 3°17' and 3°25'E (Ufoegbune et al., 2009; Ganiyu et al., 2021a,b). It has an estimated size of about 40.63 km<sup>2</sup> (Ufoegbune et al., 2010). Abeokuta, located in the southern part of the country is within moist tropical region

climate, average annual rainfall and temperature of 1238 mm and 27.1°C, correspondingly (Ganiyu, 2018). The rainy season in the study area commences from March and ends in October, while the dry season starts from November and ends in February under the influences of north-easterly winds from Sahara deserts (Badmus and Olatinsu, 2010; Balarabe et al., 2015). The amount of rainfall during wet season in Nigeria varies from one place to another. Froidurot and Diedhiou (2017) and Shiru et al. (2020) reported that yearly mean rainfall during wet season diverges from <500 mm in the northern dry region to more than 2000 mm in the southern part of the country. The threshold value of < 1 mm was used by Odekunle (2006) and Froidurot and Diedhiou (2017). Yearly rainfall amount in Abeokuta and its environs varies between 1400 and 1500 mm (Akinyemi et al., 2011; Akinse and Gbadebo, 2016). The

average daily temperatures in Abeokuta metropolis are maximum in March at about 29.1°C while the coolest month is August with average temperature of 26.7°C on average (Ganiyu et al., 2021a,b).

The four land uses considered in the study includes Block-making site (BMS), Dumpsite (DS), Abattoir site (ABS), and grassland (GL) (as control). The DS is a facility designed for effective disposal of solid wastes, BMS is the workplace where soil-cement blocks used in the construction of buildings are being produced while ABS is a facility where animals are slaughtered to provide meat for human consumption. The grassland (GL) has been existing since early 1990s, the BMS has been in operation since 2010, the ABS has been under continuous use since 1999 while the DS has been in existence since 2005. Figure 1 shows the location map of the study area.

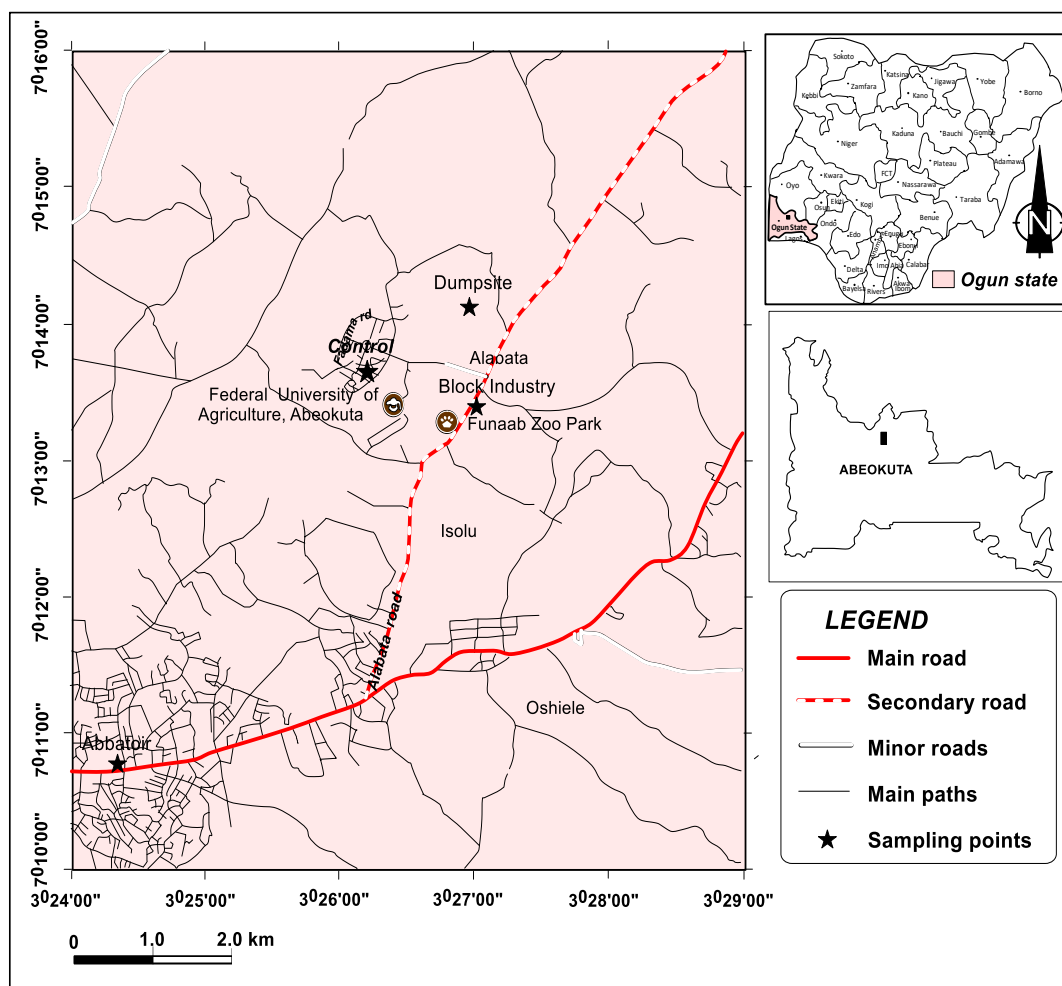


Figure 1. Location map of the study area.

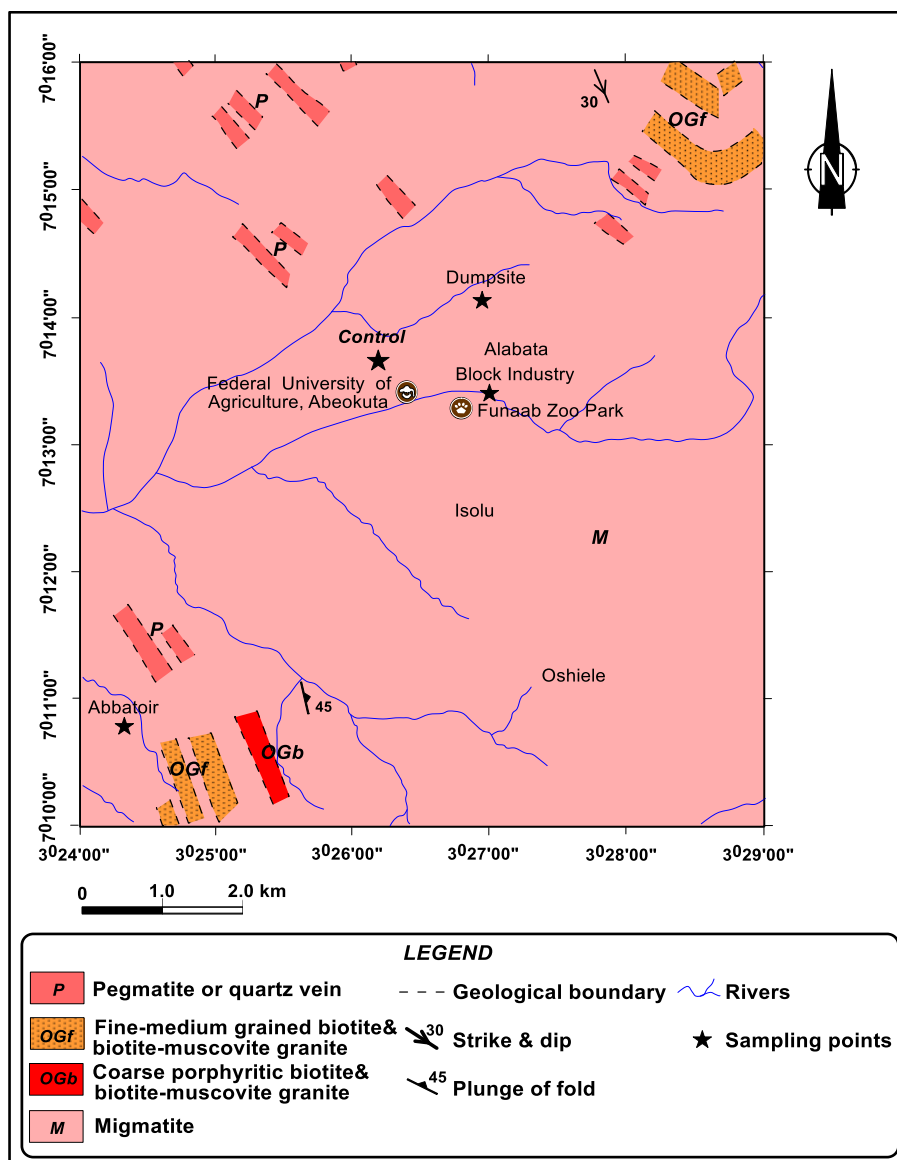


Figure 2. Geological map of the study area manifesting the land-use system.

### Geology of the Study Area

Abeokuta falls within the Basement complex formation of southwest Nigeria. The northern part of Abeokuta is described by pegmatitic veins underlain by granite whereas the southern part arrives the transition region with the sedimentary formation of the eastern Dahomey basin. The western part of Abeokuta is categorized by granite gneiss of fewer permeable nature as well as several quartzite intrusions (Bolarinwa, 2018; Ganiyu et al., 2020). At the southwest and southeast parts of Abeokuta is the anomaly of the Ise formation of Abeokuta group which composed of conglomerates and

grits at base and in turn overlain by granular medium grained loose sand (Aladejana and Talabi, 2013). The main rock type in the study area as exemplify in Figure 2 is migmatite gneiss.

### Measurement of Soil Thermal Properties

At every studied land use system, a 100 m by 50 m was recognized with the use of a tape measure. This was then distributed into five sampling points. The in situ thermophysical properties at each point ( $\lambda_s$ ,  $C_s$ , TR, TD, and temperature) were measured by KD2 Pro Thermal Properties Analyzer (Decagon Devices Inc, Pullman, USA) with the attached SH-1 dual probe

sensor. The STPs measurements on each land use were taken twice (April and May, 2019, for wet season and in the months of January and February, 2020 for dry season). The mean values of assessed STPs from selected land uses are presented in the study.

The KD2 Pro Thermal analyzer utilizes the transient-line heat source technique to measure the STPs (Zheng et al., 2017; Oyeyemi et al., 2018). The SH-1 probe sensor consists of two 30 mm parallel needle probes with 6 mm spacing and 1.3 mm diameter. Before the measurements were taken at each sampling point, the top surface of the ground was scooped in order to allow for firm positioning of the sensor on the ground. The measurements of STPs were made by inserting the KD2 probe sensor into the scooped ground surface. The KD2 Pro Thermal properties Analyzer connected with the sensor was then turned on to take the measurements. After the first reading, about 20 minutes waiting was granted before the taking of the next reading (Oyeyemi et al., 2018; Tong et al., 2019). In situ soil temperature was measured at surface soil layer (0 – 30 cm) depth.

The sixth parameter (thermal admittance ( $\mu_s$ )), which is a measure of the capacity of soil surface to accept or release heat to the immediate surrounding (Roxy et al., 2014) was calculated through the expression:

$$\mu_s = C_s \lambda_s^{-1/2} \quad (1)$$

where  $C_s$  is the specific heat capacity (in MJ/m<sup>3</sup>K) and  $\lambda_s$  is the thermal conductivity (in W/mK).

### Statistical Analysis

Descriptive statistical analysis was applied to the soil thermal data for each season. Analysis of variance (ANOVA) was used on the soil thermal measurements to assess and compare the effects of wet and dry seasons on STPs in investigated land uses. All the statistical analyses were done with

the SPSS statistical software package version 20.0.

## Results and Discussion

The results of mean values of in situ and calculated  $\mu_s$  in the four investigated land-use systems during wet and dry seasons are presented in Tables 1 and 2. During wet season, the mean  $\lambda_s$  ranged from 1.23 to 1.89 W/mK in all studied land uses with highest mean  $\lambda_s$  (1.89 W/mK) found in soils under GL while least  $\lambda_s$  (1.23 W/mK) was observed in ABS. However, in dry season, lowest value of mean  $\lambda_s$  (0.37 W/mK) was obtained in GL while DS had highest mean  $\lambda_s$  (1.53 W/mK). Generally, the values of  $\lambda_s$  were above 1.00 W/mK during wet season while its values during dry season were below 1.00 W/mK in all studied land uses except DS. Moreover, the mean  $\lambda_s$  in each of studied land uses except DS during wet season was greater than its corresponding value in the dry season. This is in agreement with similar trend of variation of  $\lambda_s$  in wet season as reported by Li et al. (2012) and Curado et al. (2013). However, the mean  $\lambda_s$  of soils under DS during wet season was lower than its value in the dry season, the cause for this occurrence could not be understood. The lowest value of average  $\lambda_s$  in GL soils during dry season was probably due to increase in soil organic carbon (SOC) in dry season as a result of reduced soil respiration (Rohr et al., 2013). In addition, highest  $\lambda_s$  (1.89 W/mK) in GL during wet season was due to reduction in SOC during wet season. Low SOC during wet season may be due to more of heterotrophic respiration (Rohr et al., 2013; Hewins et al., 2018).

It has been reported by Yun et al. (2013) that the mean  $\lambda_s$  of light weight concrete (LWC) ranges from 0.2 to 1.9 W/mK and from 0.6 to 3.3 W/mK for normal weight concrete (NWC). Our results of mean  $\lambda_s$  at BMS during both seasons lie within the aforementioned range of  $\lambda_s$  in both LWC and NWC. The mean  $\lambda_s$  of near surface soils



under BMS in wet season was higher (almost twice) than its value in the dry season. This observation concurs with previous study that revealed similar higher  $\lambda_s$  value of cement-based materials in wet/saturated condition than in the dry condition as reported by Asadi et al. (2018). However, the less than 0.65 W/mK for average  $\lambda_s$  in GL during dry season indicated that GL is not suitable for dissipating heat from buried cable (Campbell and Bristow, 2014).

The mean TRs in investigated sites during wet and dry seasons ranged from 61.67 - 93.01°C-cm/W and from 69.06 – 274.46°C-cm/W, respectively. The mean TR values during wet season in all visited sites except DS fall within the safe value 90°C-cm/W recommended for cable engineering practices (Campbell and Bristow, 2007). However, in dry season, the topsoils of GL, BMS, and ABS had TR values > 90°C-cm/W while mean TR value of DS lies below 90°C-cm/W. It was also noticed that GL had highest value of mean TR (> 200°C-cm/W) during dry season but had least TR (61.67°C-cm/W) during wet season.

The mean TD values of studied land uses during wet and dry seasons ranged from 0.38 to 0.63 mm<sup>2</sup>/s, and from 0.21 to 0.53 mm<sup>2</sup>/s, respectively. During wet season, the maximum and minimum TD values were recorded in GL and ABS, respectively. However, the maximum and minimum values of mean TD in dry season (Table 2) were recorded in BMS and GL, respectively. The values of volumetric heat

capacity in investigated land uses during wet and dry seasons ranged from 2.28 to 3.38 MJ/m<sup>3</sup>K, and from 1.49 to 3.93 MJ/m<sup>3</sup>K, respectively. In wet season, highest value of means  $C_s$  was found in ABS while the lowest mean  $C_s$  (2.28 MJ/m<sup>3</sup>K) was recorded in DS. Furthermore, during wet season, topsoil under ABS was characterized by highest value of mean  $C_s$  (3.38 MJ/m<sup>3</sup>K) coupled with least values of  $\lambda_s$  and TD. The variations of  $\lambda_s$ ,  $C_s$ , and TD under ABS topsoil are in line with reported similar increase in  $C_s$  but with decrease in  $\lambda_s$  and TD on soil amended with chicken manure by Chishala et al. (2019). In this study, the STPs were measured in section of ABS where animal wastes such as cow dungs and bones were being kept. The mean  $C_s$  in dry season ranged from 1.49 to 3.93 MJ/m<sup>3</sup>K, with maximum and minimum values observed in DS and BMS, respectively.

During wet season, mean  $\mu_s$  values ranged from 2.07 to 3.13 W/m<sup>2</sup>K while it ranged from 1.71 to 3.19 W/m<sup>2</sup>K in dry season. In wet season, highest mean  $\mu_s$  (3.13 W/m<sup>2</sup>K) was found in GL while lowest  $\mu_s$  (2.07 W/m<sup>2</sup>K) was noticed in topsoil under DS. However, it was noticed that during dry season, highest mean  $\mu_s$  was recorded for soil under DS whereas lowest  $\mu_s$  was observed in topsoil of BMS. The mean temperature during wet season ranged from 29.37 to 31.28°C while it ranged from 31.95 to 40.86°C in dry season. Specifically; the lowest soil temperature during each season was recorded in DS land use pattern.

**Table 1.** Mean values of STPs in land-use systems during wet season.

Land-use system	$\lambda_s$ (W/mK)	TR °C-cm/W	TD (mm <sup>2</sup> /s)	$C_s$ (MJ/m <sup>3</sup> K)	$\mu_s$ (W/m <sup>2</sup> K)	Temperature (°C)
Grassland (GL)	1.89	61.67	0.63	2.99	3.13	29.83
Block-Making site (BMS)	1.48	69.84	0.62	2.54	2.12	30.47
Abattoir site (ABS)	1.23	84.87	0.38	3.38	3.06	31.28
Dumpsite (DS)	1.27	93.01	0.57	2.28	2.07	29.37

**Table 2.** Mean values of STPs in land use systems during dry season.

Land-use system	$\lambda_s$ (W/mK)	TR °C-cm/W	TD (mm <sup>2</sup> /s)	$C_s$ (MJ/m <sup>3</sup> K)	$\mu_s$ (W/m <sup>2</sup> K)	Temperature (°C)
Grassland (GL)	0.37	274.46	0.21	1.77	2.91	39.22
Block-making site (BMS)	0.79	137.84	0.53	1.49	1.71	40.86
Abattoir site (ABS)	0.79	150.74	0.30	2.57	3.06	36.84
Dumpsite (DS)	1.53	69.06	0.39	3.93	3.19	31.95

**Table 3.** Descriptive statistics of analyzed STPs during wet season.

Parameters	Locations	Mean	Std. Deviation	Std. Error	Coefficient of Variation (%)
TR	Grassland	61.67	31.7205	14.1858	51.4
	Block Making Site	69.84	14.3308	6.4089	20.5
	Abattoir Site	84.87	19.8978	8.8986	23.4
	Dumpsite	93.01	42.8425	19.1597	46.1
$\lambda_s$	Grassland	1.90	0.7195	0.3218	37.9
	Block Making Site	1.48	0.3228	0.1444	21.8
	Abattoir Site	1.23	0.2996	0.1340	24.3
	Dumpsite	1.27	0.5640	0.2522	44.5
TD	Grassland	0.63	0.1217	0.0544	19.5
	Block Making Site	0.62	0.2146	0.0960	34.7
	Abattoir Site	0.38	0.1160	0.0519	30.2
	Dumpsite	0.57	0.2175	0.0973	37.9
$C_s$	Grassland	3.00	0.9787	0.4377	32.7
	Block Making Site	2.54	0.5864	0.2623	23.1
	Abattoir Site	3.38	1.0696	0.4784	31.6
	Dumpsite	2.28	0.7874	0.3521	34.5
$\mu_s$	Grassland	3.13	2.1384	0.9563	68.3
	Block Making Site	2.12	0.5976	0.2672	28.2
	Abattoir Site	3.06	0.8754	0.3915	28.6
	Dumpsite	2.08	0.6433	0.2877	31.0
Temperature	Grassland	29.84	1.0717	0.4793	3.6
	Block Making Site	30.47	1.3599	0.6081	4.5
	Abattoir Site	31.28	5.6160	2.5116	18.0
	Dumpsite	29.37	1.4738	0.6591	5.0

### Results of Statistical Analyses

The descriptive statistics of observed STPs in wet and dry seasons are listed in Tables 3 and 4 while Tables 5 and 6 display the outcomes of ANOVA of measured STPs during wet and dry seasons, respectively.

### Results of ANOVA

Table 5 revealed that all observed STPs ( $\lambda_s$ ,  $C_s$ , TR, TD,  $\mu_s$ , and temperature) during the wet season did not differ significantly among the four land-use systems. However, the results of ANOVA in Table 6 for dry season revealed that significant variation at 5% ( $p < 0.05$ ) occurred in measured  $\lambda_s$  and TR among the locations with the exception

of those of BMS and ABS that did not differ significantly at 5% level ( $p < 0.05$ ).

Table 6 further reveals that there were significant variations in the mean values of  $C_s$  and TD of the topsoil under investigated land-use systems at 5% level ( $p < 0.05$ ). From Table 6, the mean thermal admittance ( $\mu_s$ ) of topsoil under BMS was significantly lower than those of the other three land-use systems (i.e GL, DS, and ABS). Table 6 further revealed that there was no significant variation in the mean temperature of near-surface soils among the sampling land-uses.

**Table 4.** Descriptive statistics of analyzed STPs during dry season.

Parameters	Locations	Mean	Std. Deviation	Std. Error	Coefficient of Variation (%)
TR	Grassland	274.46	30.5621	13.6678	11.1
	Block Making Site	137.84	54.0743	24.1828	39.2
	Abattoir Site	150.74	68.0006	30.4108	45.1
	Dumpsite	69.06	17.8947	8.0027	25.9
$\lambda_s$	Grassland	0.37	0.0426	0.0190	11.6
	Block Making Site	0.79	0.2127	0.0951	26.9
	Abattoir Site	0.79	0.3527	0.1577	44.8
	Dumpsite	1.53	0.4201	0.1879	27.4
TD	Grassland	0.21	0.0214	0.0096	10.2
	Block Making Site	0.53	0.1374	0.0614	25.8
	Abattoir Site	0.30	0.1243	0.0556	41.0
	Dumpsite	0.39	0.0587	0.0262	15.1
$C_s$	Grassland	1.77	0.3112	0.1392	17.6
	Block Making Site	1.49	0.1955	0.0874	13.1
	Abattoir Site	2.57	0.2551	0.1141	9.9
	Dumpsite	3.93	0.6913	0.3092	17.6
$\mu_s$	Grassland	2.91	0.3675	0.1644	12.6
	Block Making Site	1.71	0.2582	0.1155	15.1
	Abattoir Site	3.06	0.6241	0.2791	20.4
	Dumpsite	3.19	0.3076	0.1375	9.6
Temperature	Grassland	39.22	6.1808	2.7642	15.8
	Block Making Site	40.86	4.4882	2.0072	11.0
	Abattoir Site	36.84	7.3097	3.2690	19.8
	Dumpsite	31.95	0.7331	0.3279	2.3

**Table 5.** ANOVA result of measured STPs in wet season.

Parameters	Grassland	Block Making Site	Abattoir Site	Dumpsite
Resistivity	61.67 ± 31.7205 <sup>a</sup>	69.84 ± 14.3308 <sup>a</sup>	84.87 ± 19.8978 <sup>a</sup>	93.01 ± 42.8425 <sup>a</sup>
Conductivity	1.90 ± 0.7195 <sup>a</sup>	1.48 ± 0.3228 <sup>a</sup>	1.23 ± 0.2996 <sup>a</sup>	1.27 ± 0.5640 <sup>a</sup>
Diffusivity	0.63 ± 0.1217 <sup>a</sup>	0.62 ± 0.2146 <sup>a</sup>	0.38 ± 0.1160 <sup>a</sup>	0.57 ± 0.2175 <sup>a</sup>
Specific Heat Capacity	3.00 ± 0.9787 <sup>a</sup>	2.54 ± 0.5864 <sup>a</sup>	3.38 ± 1.0696 <sup>a</sup>	2.28 ± 0.7874 <sup>a</sup>
Admittance	3.13 ± 2.1384 <sup>a</sup>	2.12 ± 0.5976 <sup>a</sup>	3.06 ± 0.8754 <sup>a</sup>	2.08 ± 0.6433 <sup>a</sup>
Temperature	29.84 ± 1.0717 <sup>a</sup>	30.47 ± 1.3599 <sup>a</sup>	31.28 ± 5.6160 <sup>a</sup>	29.37 ± 1.4738 <sup>a</sup>

Values show mean ± standard deviation. Values along the same row with different superscripts are significantly different at 5% ( $p < 0.05$ ) level.

**Table 6.** ANOVA result of measured STPs in dry season.

Parameters	Grassland	Block Making Site	Abattoir Site	Dumpsite
Resistivity	274.46 ± 30.5621 <sup>a</sup>	137.84 ± 54.0743 <sup>b</sup>	150.74 ± 68.0006 <sup>b</sup>	69.06 ± 17.8947 <sup>c</sup>
Conductivity	0.37 ± 0.0426 <sup>a</sup>	0.79 ± 0.2127 <sup>b</sup>	0.79 ± 0.3527 <sup>b</sup>	1.53 ± 0.4201 <sup>c</sup>
Diffusivity	0.21 ± 0.0214 <sup>a</sup>	0.53 ± 0.1374 <sup>c</sup>	0.30 ± 0.1243 <sup>ab</sup>	0.39 ± 0.0587 <sup>b</sup>
Specific Heat Capacity	1.77 ± 0.3112 <sup>a</sup>	1.49 ± 0.1955 <sup>a</sup>	2.57 ± 0.2551 <sup>b</sup>	3.93 ± 0.6913 <sup>c</sup>
Admittance	2.91 ± 0.3675 <sup>a</sup>	1.71 ± 0.2582 <sup>b</sup>	3.06 ± 0.6241 <sup>a</sup>	3.19 ± 0.3076 <sup>a</sup>
Temperature	39.22 ± 6.1808 <sup>a</sup>	40.86 ± 4.4882 <sup>a</sup>	36.84 ± 7.3097 <sup>a</sup>	31.95 ± 0.7331 <sup>a</sup>

Values show mean ± standard deviation. Values along the same row with different superscripts are significantly different at 5% ( $p < 0.05$ ) level.

## Conclusions

There were seasonal variations of examined STPs in the study area based on different land-uses. The thermal conductivity values in the wet season were higher than in the dry season for most of studied land-uses

except DS. Comparatively, the top soils of GL and DS had highest values of  $\lambda_s$  during wet and dry seasons, respectively. On seasonal basis, a relatively highest value of mean  $C_s$  during wet season was noticed in ABS while maximum  $C_s$  (3.93 MJ/m<sup>3</sup>K) was recorded in DS during dry season. The

ANOVA results show that the mean values of measured STPs did not differ significantly as 5% level ( $p < 0.05$ ) among the land uses during the wet season, Soil temperature is the only thermal property that did not vary significantly among the sampling land uses during dry season. Further assessment of STPs under more agricultural and economically related land uses on seasonal basis is highly suggested. The outcomes of this study will help land users to make best choice of suitable land management practices for sustainable agriculture and environmental management.

## References

- Adhikari, P., Udawatta, R.P. and Anderson, S.H. 2014. *Soil thermal properties under Prairies, conservation buffers and corn-soyabean land-use systems*. Soil Science Society American Journal. 78, pp.1977 – 1986.  
<https://doi.org/10.2136/sssaj2014.02.0074>
- Akinse, A.G. and Gbadebo, A.M. 2016. *Geological mapping of Abeokuta metropolis, Southwestern Nigeria*. International Journal of Science and Engineering Research. 7(8), pp.979 – 983.  
<https://www.ijser.org/researchpaper/Geologic-Mapping-of-Abeokuta-Metropolis-Southwestern-Nigeria.pdf>
- Akinyemi, O.D., Bello, R., Ayodeji, A.T., Akanbi, D.E., Ibine, M.M. and Popoola, J.A. 2011. *Evaluation of water quality in Abeokuta, Southwest Nigeria*. International Journal of Water Resources and Environmental Engineering. 3(13), pp.341 – 369.  
<http://dx.doi.org/10.5897/IJWREE11.099>
- Aladejana, J.A. and Talabi, A.O. 2013. *Assessment of groundwater quality in Abeokuta, southwestern Nigeria*. *Research Inventory*. International Journal of Engineering and Science. 2(6), pp.21 – 31.  
<http://www.researchinventory.com/papers/v2i6/E026021031.pdf>
- Alrtimi, A., Rouainia, M. and Haigh, S. 2016. *Thermal conductivity of a sandy soil*. Applied Thermal Engineering, 106, pp.551 – 560.  
<https://dx.doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2016.06.012>
- Amaludin, A., Marto, A., Satar, M.H.M., Amaludin, I.T. and Dullah, S. 2016. *Thermal properties of Malaysian cohesive soils*. Jurnal Teknologi. 78(8-5), pp.53 – 58.  
<https://doi.org/10.11113/jt.v78.9623>
- Asadi, I., Shafiqh, P., Abu Hassan, Z.D. and Mahyaddin, N.B. 2018. *Thermal conductivity of concrete – A review*. Journal of Building Engineering. 20, pp.81 – 93.  
<https://doi.org/10.1016/j.jobee.2018.07.002>
- Badmus, B.S. and Olatinsu, O.B. 2010. *Aquifer characteristics and groundwater recharge pattern in a typical basement complex, southwestern Nigeria*. African Journal of Environmental Science and Technology. 4(6), pp.328 – 342.  
<http://dx.doi.org/10.5897/AJEST09214>
- Balarabe, M., Abdullah, K. and Nawawi, M. 2015. Long-term trend and seasoned variability of horizontal visibility in Nigerian Troposphere. Atmosphere. 6(10), pp.1462 – 1486.  
<https://doi.org/10.3390/atmos6101462>
- Bertermann, D. and Schwarz, H. 2017. *Laboratory device to analyze the impact of soil properties on electrical and thermal conductivity*. International Agrophysics. 31(2), pp.157 – 166.  
<https://doi.org/10.1515/intag-2016-0048>

- Bjornlund, V., Bjornlund, H. and van Rooyen, A.F. 2020. *Why agricultural production in sub-saharan Africa remains low compared to the rest of the world- a historical perspective*. International Journal of Water Resources and Development. 36(sup1), pp.S20 – S53.  
<https://doi.org/10.1080/07900627.2020.1739512>
- Bolarinwa, A.T. 2018. *Seasonal variations of groundwater chemistry in the Basement and Sedimentary rocks of Ibadan and Lagos areas, southwestern Nigeria*. Earth Science Research. 7(1), pp.55 – 66.  
<https://doi.org/10.5539/esr.v7n1p55>
- Campbell, G.S. and Bristow, K.L. 2007. *Underground Power Cable Installations: Soil Thermal Resistivity*. Application Note: Thermal Decagon Devices.  
<http://www.monitoring-mena.com/pdf/Case%20%20Underground%20Power%20Cable%20Installations%20Soil%20Thermal%20Resistivity.pdf>
- Campbell, G.S. and Bristow, K.L. 2014. *The effect of soil thermal resistivity (RHO) on underground power cable installations*. Application Note: Thermal Decagon Devices.  
[http://library.metergroup.com/Application%20Notes/13943\\_Effect%20of%20Soil%20Thermal%20Resistivity%20on%20Underground%20Cable%20Installation\\_Print.pdf](http://library.metergroup.com/Application%20Notes/13943_Effect%20of%20Soil%20Thermal%20Resistivity%20on%20Underground%20Cable%20Installation_Print.pdf)
- Chandel, S., Hadda, M.S. and Mahal, A.K. 2018. *Soil quality assessment through minimum dataset under different land uses of Submontane Punjab*. Communications in Soil Science and Plant Analysis. 49(6), 658-674.  
<https://doi.org/10.1080/00103624.2018.1425424>
- Chishala, M.W., Phiri, E. and Chabala, L.M. 2019. *Influence of chicken manure amendment on the thermal properties of selected benchmark soils in Zambia*. Open Journal of Soil Science. 9(2), pp.35 – 46.  
<https://doi.org/10.4236/ojss.2019.92002>
- Curado, L.F.M., Rodrigues, T.R., de Oliveira, A.G., Novais, J.W.Z., de Paulo, I.J.C., Biudes, M.S. and Nogueira, J.S. 2013. *Analysis of thermal conductivity in a seasonal flooded forest in the northern Pantanal*. Revista Brasileira de Meteorologia. 28(2), pp.125 – 128.  
<https://doi.org/10.1590/S0102-77862013000200001>
- Faitli, J., Magyar, T., Erdélyi, A. and Murányi, A. 2015. *Characterization of thermal properties of municipal solid waste landfills*. Waste management. 36, pp.213 – 221.  
<https://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2014.10.028>
- Froidurot, S. and Diedhiou, A. 2017. *Characteristics of wet and dry spells in the West African monsoon system*. Atmospheric Science Letter. 18, pp.125 – 131.  
<https://doi.org/10.1002/asl.734>
- Fuchs, S., Balling, N., Förster, A. 2015. *Calculation of thermal conductivity, thermal diffusivity and specific heat capacity of sedimentary rocks using petrophysical well logs*. Geophysical Journal International. 203(3), pp.1977 – 2000.  
<https://doi.org/10.1093/gji/ggv403>
- Ganiyu, S.A. 2018. *Evaluation of soil hydraulic properties under different non-agricultural land use patterns in a basement complex area using multivariate statistical analysis*. Environmental Monitoring and Assessment. 190(10), pp.595.  
<https://doi.org/10.1007/s10661-018-6959-x>
- Ganiyu, S.A., Olurin, O.T., Oladunjoye, M.A. and Badmus, B.S. 2020. *Investigation of soil moisture content over a cultivated farmland*

- in Abeokuta Nigeria using electrical resistivity methods and Soil analysis*. Journal of King Saud University-Science. 32(1), pp.811 – 821.  
<https://doi.org/10.1016/j.jksus.2019.02.016>
- Ganiyu, S.A., Mabunmi, A.A., Olurin, O.T., Adeyemi, A.A. and Jegede, O.A. Okeh, A. 2021a. *Assessment of microbial and heavy metal contamination in shallow hand-dug wells bordering Ona River southwest Nigeria*. Environmental Monitoring and Assessment. 193(3), pp.126(1-22).  
<https://doi.org/10.1007/s10661-021-08910-9>
- Ganiyu, S.A., Olurin, O.T. and Shobowale, O.A. 2021b. *Assessing the impacts of land use and land abandonment on soil thermal properties: A case study of Dumpsite and Cement Block making site*. Journal of Mining & Geology. 57(2), pp.441 – 448. <https://nmgs-journal.org/wp-content/uploads/journal/published-paper/volume-57/issue-2/YNGn9GXl.pdf>
- Hetnarski, R.B. and Eslami, M.R. 2009. *Thermal Stresses -- Advanced Theory and Applications*. Springer Dordrecht.  
<https://doi.org/10.1007/978-1-4020-9247-3>
- Haruna, S.I., Anderson, S.H., Mkongolo, N.V. Reinbott, T. and Zaibon, S. 2017. *Soil thermal properties influenced by perennial biofuel and cover crop management*. Soil Science Society American Journal. 81(5), pp.1147 – 1156.  
<https://doi.org/10.2136/sssaj2016.1.0.0345>
- Hewins, D.B., Lyseng, M.P., Schoderbek, D.F., Alexander, M., Willms, W.D., Carlyle, C.N., Chang, S.X. and Bork, E.W. 2018. *Grazing and climatic effects on soil organic carbon concentration and particle size association in northern grasslands*. Scientific Report. 2018 8, pp.1336.  
<https://doi.org/10.1038/s41598-018-19785-1>
- Li, Y., Wu, C., Xing, X., Yue, M. and Shang, Y. 2012. *Testing and Analysis of the soil thermal conductivity in tropical desert and grassland of West Africa*. In: Proceedings of the 2012 9th International Pipeline Conference, IPC 2012. September 24-28, 2012. IPC 2012-90291, pp.149 – 157.  
<https://doi.org/10.1115/IPC2012-90291>
- Liu, Q., Du, Z. and Fan, Y. 2018. *Heat and mass transfer behavior prediction and thermal performance analysis of Earth to-Air Heat exchanger by finite volume methods*. Energies. 11(6), pp.1542.  
<https://doi.org/10.3390/en11061542>
- Maini, A., Sharma, V. and Sharma, S. 2020. *Assessment of soil carbon and biochemical indicators of soil quality under rain fed land use systems in northeastern region of Punjab India*. Carbon Management. 11(2), pp.169 – 182.  
<https://doi.org/10.1080/17583004.2020.1721976>
- Nanganoa, L.T., Okolle, J.N., Missi, V., Tueche, I.R., Levai, L.D. and Njukeng, J.N. 2019. *Impact of different land use systems on soil physico-chemicals properties and macro fauna abundance in the humid tropics of Cameroon*. Applied and Environmental Soil Science. 2019(5701278), pp.1 – 9.  
<https://doi.org/10.1155/2019/5701278>
- Netha, Bhople, B.S. and Sharma, S. 2020. *Seasonal variation of rhizospheric soil properties under different land use systems at lower Shivalik foothills of Punjab, India*.

- Agroforestry Systems. 94, pp.1959 – 1976.  
<https://doi.org/10.1007/s10457-020-00512-7>.
- Odekunle, T.O. 2006. *Determining rainy season on set and retreat over Nigeria from precipitation amount and number of rainy days*. Theoretical and Applied Climatology. 83, pp.193 – 201.  
<https://doi.org/10.1007/s00704-005-0166-8>
- Olatunji, O.A., Komolafe, E.T. and Oke, S.O. 2016. *Seasonal variation in physicochemical properties of soil within the vicinity of an iron smelting factory- Implication on standing vegetation*. Notulae Scientia Biologicae. 8(2), pp.220 – 225.  
<https://doi.org/10.15835/nsb829794>
- Oyeyemi, K.D., Sanuade, O.A., Oladunjoye, M.A., Aizebeokhai, A.P., Olajo, A.A., Fatoba, J.O., Olofinnade, O.M., Ayara, W.A. and Oladapo, O. 2018. *Data on the thermal properties of soil and its moisture content*. Data in Brief. 17, pp.900 – 906.  
<https://doi.org/10.1016/j.dib.2018.02.018>
- Patel, M.P., Gami, B. and Patel, B. 2015. *Seasonal impact on physical chemical properties of soil in North and South Gujarat*. IOSR Journal of Agriculture and Veterinary Science (IOSR-JAVS). 8(6), pp.26 – 36.  
<https://iosrjournals.org/iosr-javs/papers/vol8-issue6/Version-2/F08622636.pdf>
- Rasimeng, S. 2020. *Characterization of soil thermal properties for designs of underground cable routes at the wind farm power plant area, Panyipatan and Pelaihari, sub-district, south Kalimantan*. Jurnal Gecelebes. 4(1), pp.61 – 69.  
<https://doi.org/10.20956/gecelebes.v4i1.9599>
- Ritchie, H. and Roser, M. 2013. *Land Use*.  
<https://ourworldindata.org/land-use>
- Rohr, T., Manzoni, S., Feng, X., Menezes, R.S.C. and Porporato, A. (2013). *Effect of rainfall seasonality on carbon storage in tropical dry ecosystems*. Journal of Geophysical Research: Biogeosciences. 118(3), pp.1156 – 1167.  
<https://doi.org/10.1002/jgrg.20091>
- Roxy, M.S., Sumithranand, V.B. and Renuka, G. 2014. *Estimation of soil moisture and its effect on soil thermal characteristics at Astronomical Observatory, Thiruvananthapuram, South Kerala*. Journal of Earth System Science. 123(8), pp.1793 – 1807.  
<https://doi.org/10.1007/s12040-014-0509-x>
- Sacco, D., Cremon, C., Zavattaro, L. and Grignani, C. 2012. *Seasonal variation of soil physical properties under different water management in irrigated rice*. Soil and Tillage Research. 118, pp.22 – 31.  
<https://doi.org/10.1016/j.still.2011.10.011>
- Shen, Y., McLaughlin, N., Zhang, X., Xu, M. and Liang, A. 2018. *Effect of tillage and crop residue on soil temperature following planting for a black soil in northeast China*. Scientific Reports. 8(4500), pp.1 – 9.  
<https://doi.org/10.1038/s41598-018-22822-8>
- Shiru, M.S., Shahid, S., Dewan, A., Chung, E.-S., Alias, N., Ahmed, K. and Hassan, Q.K. 2020. *Projection of meteorological droughts in Nigeria during growing seasons under climate change scenarios*. Scientific Reports. 10(10107), pp.1 – 18.  
<https://doi.org/10.1038/s41598-020-67146-8>
- Spurgeon, D.J., Keith, A.M., Schmidt, O., Lammertsma, D.R. and Faber, J.H. 2013. *Land use and land management change: Relationships with earthworm and fungi*

- communities and soil structural properties*. BMC Ecology. 13(46), pp.1 – 12.  
<https://doi.org/10.1186/1472-6785-13-46>
- Szoboszlay, M., Dohrmann, A.B., Poeplau, C., Don, A. and Tebbe, C.S. 2017. *Impact of land-use change and soil organic carbon quality on microbial diversity in soils across Europe*. FEMS Microbiology Ecology. 93(12), pp.1 – 12.  
<https://doi.org/10.1093/femsec/fix146>
- Tesfahunegn, G.B. and Gebru, T.A. 2020. *Variation in soil properties under different cropping and other land use systems in Dura catchment, northern Ethiopia*. PLOS ONE 15(2), e0222476.  
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0222476>
- Tong, B., Kool, D., Heithman, J.L., Sauer, T.J., Gao, Z. and Horton, R. 2019. *Thermal property values of a control Iowa soil as a function of soil water content and bulk density or of soil air content*. European Journal of Soil Science. 71, pp.169 – 178.  
<https://doi.org/10.1111/ejss.12856>
- Ufoegbune, G.C., Lamidi, K.I., Awomeso, J.A., Eruola, A.O., Idowu, O.A. and Adeofun, C.O. 2009. *Hydrogeological characteristics and groundwater quality assessment in some selected communities of Abeokuta southwestern Nigeria*. Journal of Environmental Chemistry and Ecotoxicology. 1(1), pp.10 – 22.  
[https://academicjournals.org/article/article1379428050\\_Ufoegbune%20et%20al.pdf](https://academicjournals.org/article/article1379428050_Ufoegbune%20et%20al.pdf)
- Ufoegbune, G.C., Oyedepo, J., Awomeso, J.A. and Eruola, A.O. 2010. *Spatial analysis of municipal water supply in Abeokuta metropolis, southwestern Nigeria*. In: REAL CORP 2010. Proceedings/Tagungsband, Vienna, 18-20th May, 2010, pp.1267 – 1273.  
[https://www.corp.at/archive/CORP\\_2010\\_6.pdf](https://www.corp.at/archive/CORP_2010_6.pdf)
- Wang, Y., Lu, Y., Horton, R. and Ren, T. 2019. *Specific heat capacity of soil solids: Influences of clay content, organic matter, and highly bound water soil*. Soil Science Society of America Journal. 83, pp.1062 – 1066.  
<https://doi.org/10.2136/sssaj2018.11.0434>
- Yun, T.S., Jeong, Y.J., Han, T.-S. and Youm, K.-S. 2013. *Evaluation of thermal conductivity for thermally insulated concretes*. Energy and Buildings. 61, pp.125 – 132.  
<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.01.043>
- Zhang, N. and He, H.T. 2016. *Comparative performance of soil thermal conductivity prediction models for geothermal applications*. Geo-China 2016: Innovative and Sustainable Use of Geomaterials and Geosystems. GSP 263, ASCE pp.9 – 16.  
<https://doi.org/10.1061/9780784480069.002>
- Zhang, T., Cai, C., Liu, S. and Puppala, A.J. 2017. *Investigation on thermal characteristics and prediction models of soil*. International Journal of Heat and Mass Transfer. 106, pp.1074 – 1086.  
<https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2016.10.084>
- Zheng, L., Zhang, W. and Liang, F. 2017. *Experimental study on thermal conductivity of microcapsule phase change suspension applied to solar powered air conditioning cold storage system*. Procedia Engineering. 205, pp.1237 – 1244.  
<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.10.364>
- Zhu, D., Ciais, P., Krinner, G., Maignan, F., Puig, A.J. and Huguenin, G. 2019. *Controls of soil organic matter on*



*soil thermal dynamics in the northern high latitudes*. Nature communications. 10(3172), pp.1 – 9. <https://doi.org/10.1038/S41467-019-11103-1>

## **DESAIN TYRE DROP STRUCTURE UNTUK PENANGANAN EROSI PADA AREA REHABILITASI TAMBANG**

Nuzul Hidayat, Muhammad Ramli\*, Purwanto

Departemen Teknik Pertambangan, Universitas Hasanuddin, Makassar, Indonesia

\*Corresponding author. Email: [ramli@unhas.ac.id](mailto:ramli@unhas.ac.id)

Manuscript received: 30 May 2022; Received in revised form: 18 August 2022; Accepted: 28 September 2022

### **Abstrak**

Kegiatan penambangan membutuhkan area kerja luas yang berpotensi menyebabkan masalah lingkungan. Salah satu dampak yang dapat ditimbulkan yaitu peningkatan laju erosi yang dapat menurunkan fungsi lahan khususnya di lokasi rencana area rehabilitasi tambang. Potensi erosi yang terbentuk harus di prediksi untuk mempersiapkan metode pencegahannya. Estimasi potensi erosi dilakukan di Tiung AB Dump PT. Kaltim Prima Coal menggunakan metode RUSLE (*Revised Unified Soil Loss Equation*) yang mempertimbangkan erosivitas hujan, erodibilitas material, faktor kemiringan lereng, faktor vegetasi dan faktor konservasi. Berdasarkan hasil penelitian didapatkan rata-rata laju erosi sebesar 292,4 ton/ha/bulan dengan luas tangkapan air sebesar 0,674 km<sup>2</sup>. Pengurangan erosi menggunakan teknik konservasi metode terasering yang didukung dengan konstruksi saluran terbuka untuk mengalirkan debit hujan yang masuk dalam tangkapan area. Curah hujan menggunakan data 15 tahun terakhir dengan curah hujan tertinggi di bulan Januari sebesar 231,9 mm/bulan dan terendah dibulan September 118,3 mm/bulan. Kala ulang 10 tahunan curah hujan hari tertinggi yaitu 121,49 mm/hari. Debit hujan puncak aliran permukaan yaitu 13,22 m<sup>3</sup>/s dengan debit infiltrasi yaitu 9,72 m<sup>3</sup>/s. Saluran terbuka yang didesain memiliki kemampuan debit aliran 21,09 m<sup>3</sup>/s dengan aliran yang superkritis. Penggunaan *tyre drop structure* maka dapat menurunkan kecepatan hingga 3,8 m/s yang masuk dalam kecepatan yang diperbolehkan berdasarkan jenis materialnya sehingga erosi dapat diturunkan hingga 11,7 ton/ha/bulan atau 96% dari laju erosi natural.

**Kata Kunci:** konservasi; terasering; superkritis; saluran; rehabilitasi.

### **Abstract**

Mining activities require large work areas that potentially cause environmental problems. One of the impacts that can be caused is an increase of erosion rate, which can reduce the function of the land, especially in the location that planned to be mine rehabilitation area. The potential for erosion formed must be predicted to prepare methods of prevention. Estimation of erosion potential was carried out at Tiung AB Dump PT. Kaltim Prima Coal uses the RUSLE (*Revised Unified Soil Loss Equation*) method which considers rain erosivity, material erodibility, slope factor, vegetation factor and conservation factor. Based on the results of the study, the average erosion rate was 292.4 tons/ha/month with a catchment area of 0.674 km<sup>2</sup>. Erosion reduction uses a conservation technique using the terracing method which is supported by the construction of an open channel to drain the rain discharge that enters the catchment area. Rainfall uses data from the last 15 years with the highest rainfall in January of 231.9 mm/month and the lowest in September of 118.3 mm/month. The 10-year return period of the highest rainfall is 121.49 mm/day. Peak runoff rainfall is 13.22 m<sup>3</sup>/s with infiltration discharge is 9.72 m<sup>3</sup>/s. The designed open channel has a flow rate of 21.09 m<sup>3</sup>/s with supercritical flow. The use of a tyre drop structure can reduce the speed up to 3.8 m/s which is within the permissible speed based on the type of material so that erosion can be reduced to 11.7 tons/ha/month or 96% of the natural erosion rate.

**Keywords:** conservation; terracing; supercritical; channel; rehabilitation.

## Pendahuluan

Kegiatan pemanfaatan batu bara tanpa disertai tindakan konservasi akan menimbulkan kerusakan lingkungan antara lain adanya bahaya erosi. Salah satu dampak dari erosi adalah menurunnya produktivitas tanah, sehingga memerlukan tindak lanjut berupa rehabilitasi hutan dan lahan, baik di dalam maupun di luar kawasan hutan (Wantzen dan Mol, 2013). Khususnya bagi perusahaan yang bergerak dalam kegiatan pertambangan batu bara diwajibkan untuk melakukan kegiatan reklamasi sesuai dengan UU no. 3 Tahun 2020 tentang pertambangan mineral dan batubara.

Erosi yang terjadi pada lahan yang sudah direklamasi merupakan masalah utama yang dihadapi, khususnya dalam upaya konservasi dan rehabilitasi lahan. Dampak dari erosi adalah menipisnya lapisan permukaan tanah bagian atas, yang menyebabkan menurunnya kemampuan lahan atau degradasi lahan (Molla dan Shiseber, 2016). Akibat lain dari erosi adalah menurunnya kemampuan tanah untuk meresapkan air dan merusak struktur tanah.

Penanganan erosi telah dilakukan dengan berbagai metode berupa penanaman vegetasi cepat tumbuh yang mampu mereduksi laju erosi (Hancock dkk., 2020). Penerapan reklamasi tambang juga dapat dilakukan dengan metode terasering. Namun metode ini harus didukung dengan perkuatan saluran karena terbentuknya saluran terbuka yang besar. Metode ini sebagai upaya penghijauan kembali area penimbunan tambang. Pembentukan konstruksi pengendali erosi dapat mencegah terjadinya erosi (Nabi dkk., 2017).

Berdasarkan permasalahan di atas maka akan dilakukan penelitian yang lebih mendalam mengenai penanganan erosi di lokasi tambang. Penelitian ini berfokus pada desain aliran yang mampu menurunkan laju erosi dan perkuatan saluran yang dapat mendukung saluran terbuka yang ada dalam metode terasering.

*Drop structure* bisa digunakan sebagai media bertingkat untuk mendisipasi energi pada aliran air. Metode ini bisa menjadi solusi untuk menangani erosi di lokasi rehabilitasi tambang (Hancock dkk., 2015). Menggunakan metode *Tyre drop structure* dapat digunakan sebagai bahan dasar peningkatan nilai guna dari *tyre* bekas di perusahaan dibandingkan dengan pembentukan konstruksi dengan konkrit yang membutuhkan biaya yang mahal.

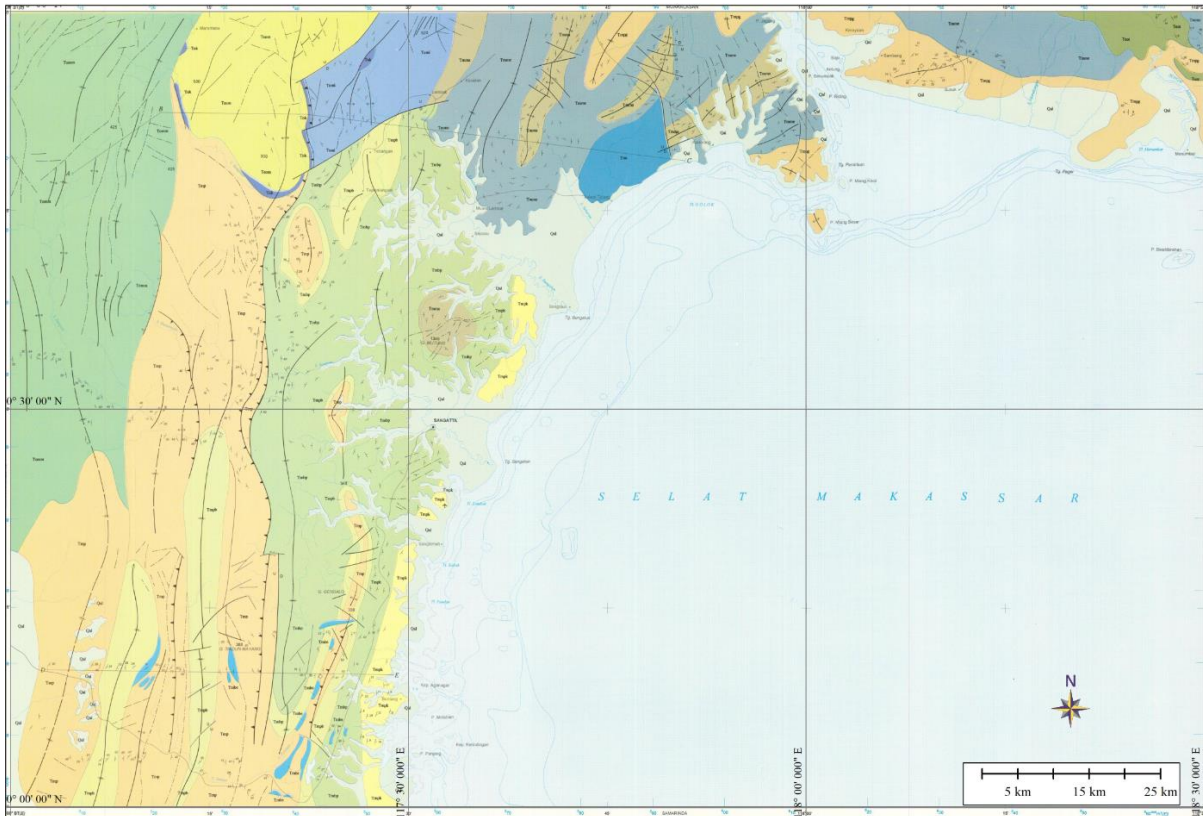
## Metode Penelitian

Penelitian dilakukan di PT. Kaltim Prima Coal yang secara geografis terletak pada 117°26'24"– 117°33'36" BT dan 0°14'24" – 0°22'48"LU. Secara administratif PT. Kaltim Prima Coal terletak di Sangatta, Kabupaten Kutai Timur, Provinsi Kalimantan Timur.

Area penelitian bernama Tiung-AB *Dump* yaitu *void* bekas tambang yang dihasilkan dari aktivitas penambangan sebelumnya (Gambar 1). Topografi lokasi ini memiliki tebing yang tinggi dengan kemiringan yang besar sehingga memiliki potensi erosi yang besar. Tiung-AB *Dump* masuk dalam tahapan awal perencanaan aktivitas reklamasi. Oleh karena itu, kondisi ini sangat sensitif terhadap proses erosi dan penting untuk dilakukan penelitian lebih lanjut terhadap potensi erosi dan pencegahannya.



**Gambar 1.** Kondisi aktual Tiung-AB Dump dengan pembentukan erosi.



**Gambar 2.** Peta Geologi Lembar sangatta Kab. Kutai Timur Prov Kalimantan Timur (Sukardi dkk., 1995).

Formasi Sangatta dan Bengalon di lokasi penelitian berasal dari Formasi Balikpapan Miosen. Formasi ini terbentuk di Cekungan Kutai yang memanjang dari sisi selatan Samarinda ke arah utara Sangkulirang (Gambar 2). Area Sangatta terdapat dua grup potensial batubara utama yaitu

endapan Pinang dan Melawan. Operasi penambangan batubara yang sementara dilakukan terdiri dari lapisan *overburden* dan lapisan batubara dengan tebal rata-rata 3 meter. Lapisan *overburden* terdiri dari material batupasir, batulanau dan batulempung. Namun material yang sudah

masuk di area *wastedump* telah bercampur dikarenakan material berpotensi berasal dari area galian yang berbeda-beda.

#### *Analisis dengan metode RUSLE untuk menghitung laju erosi*

Analisis yang diperlukan untuk mengetahui besarnya erosi yaitu dengan menghitung faktor-faktor erosi. Faktor penentu erosi adalah erosititas, indeks erodibilitas, indeks panjang dan kemiringan lereng, indeks penutupan vegetasi dan indeks pengelolaan lahan/tindakan konservasi tanah (Fadda dkk., 2010).

Perhitungan akan menggunakan metode RUSLE (*Revised Unified Soil Loss Equation*) yang dikembangkan oleh Renard dkk. (1997) dengan persamaan berikut:

$$A = R \times K \times LS \times C \times P \quad (1)$$

dengan:

A = banyaknya tanah tererosi dalam ton/ha/tahun (laju erosi)

R = faktor erosititas hujan

K = faktor erodibilitas tanah

LS = faktor panjang dan kemiringan lereng

C = faktor penutupan vegetasi dan pengelolaan tanaman

P = faktor pengelolaan lahan/tindakan konservasi

#### *Desain aliran terbuka dengan menggunakan tyre drop structure*

Penentuan desain aliran terbuka dengan metode *tyre drop structure* menggunakan beberapa parameter perhitungan yaitu:

##### a. Perhitungan Debit Puncak Menggunakan Metode Rasional

Parameter yang digunakan pada perhitungan debit limpasan menggunakan rumus rasional yaitu intensitas hujan, luas tangkapan area dan koefisien limpasan (Apriadi dkk., 2017). Intensitas hujan dihitung menggunakan persamaan Monobe sebagai berikut:

$$I = \left( \frac{R_{24}}{24} \right) \times \left( \frac{24}{t_c} \right)^{2/3} \quad (2)$$

dengan:

I = Intensitas hujan

R = Curah hujan maksimum

Curah harian maksimum didapat dari hasil perhitungan curah hujan menggunakan distribusi gumbel dengan periode ulang 25 tahun. Luas tangkapan area dapat dihitung dengan menggunakan *software* Minex 6.5.

##### b. Perhitungan Dimensi Saluran Terbuka

Perhitungan dimensi saluran terbuka dilakukan untuk mendapatkan debit tampungan, dimana nilai debit tampungan ini harus lebih besar daripada debit limpasan yang masuk. Berdasarkan perhitungan didapatkan geometri saluran terbuka berupa kedalaman, lebar dasar saluran, dan lebar permukaan saluran pada masing masing saluran baik di area dumping maupun saluran terbuka menuju kolam pengendapan lumpur.

##### c. Desain Saluran Menggunakan *Tyre Drop Structure*

*Tyre drop structure* adalah bangunan yang dibuat dari ban-ban bekas *dumprtruck* yang di tengahnya diisi dengan batuan berukuran >10 cm. Tujuan dibangunnya *tyre drop structure* adalah sebagai perkuatan saluran yang dapat memperlambat kecepatan aliran air. Spesifikasi ban yang digunakan pada penelitian ini yaitu ban *dumprtruck* Komatsu HD 785.

d. Estimasi efektivitas Pengendalian erosi  
Pengujian efektifitas pengendalian erosi dengan metode *tyre drop structure* akan disajikan untuk mengestimasi penurunan laju erosi secara kualitatif dan kuantitatif.

## **Hasil dan Pembahasan**

### *Estimasi laju erosi*

Berdasarkan hasil perhitungan laju erosi dengan metode RUSLE menggunakan parameter erosititas hujan, erodibilitas

tanah, faktor panjang dan kemiringan lereng, area tutupan tanaman serta dukungan konservasi. Rata-rata laju erosi sebesar 292,4 ton/ha/bulan. Laju erosi ini

masuk dalam kategori sangat berbahaya. Data tersebut dapat dilihat pada Tabel 1 di bawah ini.

**Tabel 1.** Perhitungan estimasi laju erosi.

	Keterangan	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
R	Faktor Erosivitas	97,0	97,5	98,8	96,4	95,8	94,6	94,4	94,3	89,9	96,1	96,7	97,2
K	Faktor Erodibilitas	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
LS	Faktor Lereng	11,4	11,4	11,4	11,4	11,4	11,4	11,4	11,4	11,4	11,4	11,4	11,4
C	Faktor tutupan	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
P	Faktor Konservasi	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
A	Laju Erosi (Ton/Ha/Bulan)	399,3	401,4	406,8	397,0	394,2	389,3	388,7	388,0	370,0	395,5	398,1	400,0

### Pemodelan Reklamasi Tambang

Prinsip reklamasi tambang dilaksanakan dengan melalui beberapa tahap, yaitu penataan lahan, penyebaran tanah pucuk dan pengaturan sistem drainase. Penataan lahan diawali dengan pembentukan kemiringan lereng sesuai dengan

perencanaan aliran dengan menggunakan unit dozer D375B (Gambar 3). Proses selanjutnya dalam tahapan reklamasi yaitu penyebaran tanah pucuk. Penyebaran tanah pucuk berfungsi sebagai sarana vegetasi agar dapat tumbuh dengan optimal. Tanah pucuk untuk reklamasi diambil dari tanah pucuk bekas lahan bukaan di area pit.



**Gambar 3.** Proses konturing area reklamasi tambang.

Pemodelan lahan reklamasi dalam rangka pengaturan sistem drainase menggunakan teknik terasering. Terasering merupakan salah satu teknik konservasi yang dapat menurunkan laju erosi dan mengalirkan air ke saluran air yang telah direncanakan.

Pemodelan teras akan menggunakan *Ridges Terrace* atau Teras Gulud karena efisien secara biaya dan efektif dibandingkan dengan teras bangku dan teras kredit. Proses pembentukan terasering dapat dilihat pada Gambar 4.

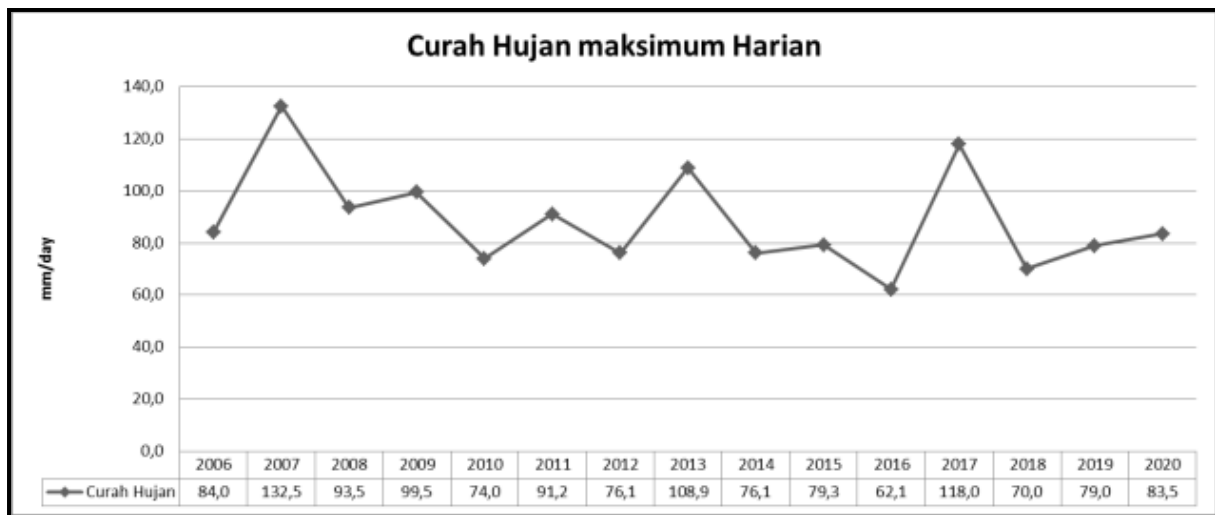


**Gambar 4.** Proses pembentukan terasering dengan metode teras gulud.

*Analisis curah hujan dengan menggunakan metode rasional*

Analisis curah hujan yang diterapkan untuk menentukan debit curah yaitu Metode Rasional. Parameter yang digunakan yaitu Intensitas hujan dan nilai koefisien *run-off*. Nilai akhir yang didapatkan dapat menunjukkan tingkat debit aliran yang harus ditampung di lokasi penelitian. Analisis curah hujan dapat dibagi menjadi beberapa perhitungan sebagai berikut:

- a. Perhitungan kala ulang hujan tahunan  
Perhitungan kala ulang hujan tahunan menggunakan Metode Gumbel. Metode ini menggunakan analisis statistik dari data curah hujan maksimum dari 15 tahun terakhir (Gambar 5), kemudian dari data tersebut ditentukan *possibility* curah hujan maksimum yang dapat terjadi dengan kala ulang 2,5,10 dan 25 tahun.



**Gambar 5.** Grafik curah hujan maksimum harian 15 tahun terakhir.

Perhitungan dengan Metode Gumbel dapat dilihat pada Tabel 2, Nilai curah hujan maksimum bulanan diambil selama 15 tahun terakhir kemudian diurutkan dari

yang terbesar ke yang terendah. Secara sederhana dapat dilihat bahwa semakin tinggi curah hujan, namun *possibility* terjadinya semakin rendah.

**Tabel 2.** Tabel perhitungan dengan Metode Gumbel.

No	Year	CHH max	P (%)	Ri-Rrata	(Ri-Rrata) <sup>2</sup>
1	2007	132,50	6,25	43,99	1.934,68
2	2017	118,00	12,50	29,49	869,37
3	2013	108,88	18,75	20,36	414,53
4	2009	99,50	25,00	10,99	120,67
5	2008	93,50	31,25	4,99	24,85
6	2011	91,17	37,50	2,65	7,03
7	2006	84,00	43,75	(4,52)	20,39
8	2020	83,50	50,00	(5,02)	25,15
9	2015	79,33	56,25	(9,18)	84,30
10	2019	79,00	62,50	(9,52)	90,54
11	2012	76,13	68,75	(12,39)	153,51
12	2014	76,13	75,00	(12,39)	153,51
13	2010	74,00	81,25	(14,52)	210,69
14	2018	70,00	87,50	(18,52)	342,81
15	2016	62,10	93,75	(26,42)	697,75
Total		1.327,73	750,00	-	5.149,77

Berdasarkan 15 total data yang telah di olah, nilai rata-rata curah hujan maksimum sebesar 88,52 mm dengan nilai standard deviasi 19,18 (Tabel 3). Nilai tersebut menunjukkan curah hujan rentang 60-100. mm adalah curah hujan dengan frekuensi yang cukup besar dan berpotensi paling sering terjadi. Namun tidak menutup kemungkinan curah hujan yang lebih besar juga dapat terjadi.

**Tabel 3.** Nilai standar deviasi.

No	Parameter	Nilai
1	Total Value (n)	15,00
2	Rr Rata-rata (mm)	88,52
3	Sr standar Deviasi	19,18

Perhitungan ini akan menggunakan kala ulang 10 tahun dengan mempertimbangkan konstruksi yang akan dibangun. Konstruksi didesain minimal dapat bertahan atau mengakomodir curah hujan maksimal yang terjadi dalam 10 tahun dengan potensi curah hujan maksimalnya yaitu 121,49 mm (Tabel 4). Nilai ini yang akan dijadikan acuan dalam perhitungan debit limpasan.

**Tabel 4.** Perhitungan kala ulang tahunan.

No	Kala Ulang (Tahun)	Yt	Kt	Rt (mm)
1	2	0,37	0,14	86,09
2	5	1,50	0,97	107,39
<b>3</b>	<b>10</b>	<b>2,25</b>	<b>1,70</b>	<b>121,49</b>
4	25	3,20	2,63	139,31
5	50	3,90	3,32	152,53
6	100	4,60	4,00	165,65

**b. Perhitungan debit limpasan**

Berdasarkan perhitungan waktu konsentrasi yang dibutuhkan untuk mencapai debit aliran tertinggi yaitu sebesar 0,24 jam. Ketinggian curah hujan yang terbentuk dapat mencapai hingga 108,58 mm/jam. Hasil perhitungan ini dapat dilihat pada Tabel 5 di bawah.

**Tabel 5.** Hasil perhitungan durasi waktu dan intensitas hujan.

Kala Ulang 10 Tahun	
Intensitas Hujan (I)	Durasi waktu (t)
108,58 mm/jam	0,24 jam

Air limpasan (*surface run off*) adalah bagian dari curah hujan yang mengalir di atas permukaan tanah menuju sungai, danau, atau lautan. Perhitungan debit limpasan menggunakan nilai koefisien limpasan (C) sebesar 0,65. Nilai C sama dengan 0,65 artinya area tersebut dalam kondisi selesai didumping (*final dump*) dan telah dilakukan penebaran tanah pucuk (*spreading topsoil*).

Nilai infiltrasi yang terbentuk dihitung berdasarkan jenis tanahnya. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Syukur (2009), laju infiltrasi dapat diklasifikasi berdasarkan jenis tanahnya pada Tabel 6. Jenis tanah pada lokasi penelitian yaitu tanah latosol dan litosol, maka dapat dihitung besaran debit air yang terinfiltrasi perdetik.



**Tabel 6.** Laju Infiltrasi beberapa jenis tanah (Syukur, 2009).

No	Jenis Tanah	Laju Infiltrasi Konstan	
		cm/jam	m <sup>3</sup> /jam/ha
1	Aluvial Kelabu	37	3709
2	Litosol	35,55	3551
3	Komplek Latosol-Litosol Asosiasi	5,21	519
4	Mediteran Merah-Litosol	4,18	418

Perhitungan debit infiltrasi dengan menggunakan luasan yang sama dengan area tangkapan dan laju infiltrasi 519 m<sup>3</sup>/jam/ha, didapatkan debit infiltrasi sebesar 9,72 m<sup>3</sup>/s. Hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 7.

**Tabel 7.** Perhitungan debit infiltrasi.

No	Parameter	Nilai	Unit
1	Laju infiltrasi	519	m <sup>3</sup> /jam/ha
2	Luas area tangkapan	0,674	km <sup>2</sup>
3	<b>Debit infiltrasi</b>	<b>9,72</b>	<b>m<sup>3</sup>/s</b>

Berdasarkan batas-batas aliran air dengan menggunakan aplikasi Minex maka dapat ditentukan besar daerah tangkapan air sebesar 0,674 km<sup>2</sup>. Hasil perhitungan didapatkan debit curah hujan maksimum sebesar 13,22 m<sup>3</sup>/s (Tabel 8).

**Tabel 8.** Hasil perhitungan debit curah hujan kala ulang 10 tahunan.

No	Parameter	Unit	Hasil
1	Elevasi tertinggi	RL	150
2	Elevasi terendah	RL	90
3	Panjang Aliran	km	1,2
4	Waktu konsentrasi	hr	0,24
5	Curah hujan kala ulang 10 tahun	mm	121,49
6	Intensitas Hujan	mm/hr	108,58
7	Tangkapan area	km <sup>2</sup>	0,674
8	Koefisien aliran permukaan		0,65
9	<b>Discharge (Qrunoff)</b>	<b>m<sup>3</sup>/s</b>	<b>13,22</b>

*Desain aliran saluran terbuka*

a. Perhitungan dimensi dan debit saluran terbuka

Pembuatan saluran terbuka di Tiung AB-Dump akan dimulai dari titik tangkapan air pada elevasi timbunan yang paling tinggi hingga paling rendah pada elevasi RL 150 hingga elevasi terendah yaitu RL 90 yang kemudian outletnya akan keluar ke AB Void sebagai kolam pengendapan sementara.

Hasil akhir dari perhitungan dimensi saluran ini adalah mendapatkan debit air tampungan sesuai dengan rumus manning sesuai dengan Tabel 9. Nilai debit air tampungan harus lebih besar dari debit air limpasan yang masuk untuk menghindari banjir atau *overtopping*.

**Tabel 9** Hasil perhitungan kapasitas debit saluran.

No	Parameter	Simbol	Nilai	Satuan
1	Lebar saluran permukaan	CW	5,60	m
2	Lebar saluran basah	W	5,00	m
3	Tinggi saluran	H	1,30	m
4	Luas penampang basah	A	4,00	m <sup>2</sup>
5	Luas penampang total	O	5,83	m
6	Jari-jari hidrolis	R	0,69	m
7	Kecepatan maksimum	V	5,27	m/s
8	<b>Kapasitas debit Saluran</b>	<b>Q</b>	<b>21,1</b>	<b>m<sup>3</sup>/s</b>

Berdasarkan perhitungan dimensi saluran, didapatkan debit tampungan lebih besar dari debit yang masuk. Nilai debit tampungan yang didapatkan sebesar 21,09 m<sup>3</sup>/detik. Nilai *safety factor* didapatkan dengan membagi debit tampungan dengan debit limpasan sebesar 1,6. Nilai tersebut menunjukkan geometri saluran pada perhitungan tersebut dapat digunakan.

b. Pola aliran

Penentuan pola aliran ditentukan oleh kecepatan aliran yang terbentuk pada jalur drainase. Pola aliran berpotensi akan membentuk gerusan yang dapat merusak saluran. Klasifikasi pola aliran dari pemodelan sebelumnya dapat ditentukan dengan melihat bilangan *froud*. Nilai tersebut menunjukkan arus aliran yang bersifat sub kritis, kritis dan superkritis.

**Tabel 10.** Tabel perhitungan *Froud Number*

No	Parameter	Nilai	Unit
1	Kecepatan Aliran	5,27	m/s
2	Luas Basah	4,00	m <sup>2</sup>
3	Lebar Puncak	5,00	m
<b>4</b>	<b><i>Froud Number</i></b>	<b>1,88</b>	<b>Aliran Super-Kritis</b>

Hasil perhitungan pada Tabel 10 menunjukkan bahwa aliran air yang terbentuk berpotensi menunjukkan arus aliran superkritis dengan nilai  $F > 1$ . Hasil ini menunjukkan bahwa lokasi tersebut membutuhkan perkuatan untuk menghindari gerusan pada saluran terbuka yang telah direncanakan.

c. Desain drainase menggunakan *tyre drop structure*

Saluran dengan kategori superkritis harus dilakukan perkuatan pada saluran terbuka yang direncanakan. Saluran ini bagian paling penting untuk mendukung teknik konservasi air di area rehabilitasi tambang.

**Tabel 11.** Tabel perhitungan *Tyre drop structure*

No	Parameter	Koefisien	Nilai	Satuan
1	Panjang Horisontal	Lt =	230	m
2	Tinggi Vertikal	Ht =	50	m
3	Kemiringan slope		0,015	
4	Tinggi drop yang layak	$\Delta H$ =	3,45	m
5	Total ketinggian drop structure yang harus diterima	$\sum h_s$ =	46,55	m
6	Masing-masing tinggi drop	hd =	0,75	m
7	Jumlah <i>drop structure</i>	N =	62	Drops
8	Jarak antar <i>drop structure</i>	L =	3,7	m
<b>9</b>	<b>Kecepatan aliran di TDS</b>	<b>V =</b>	<b>3,8</b>	<b>m/s</b>

Konstruksi *tyre drop structure* menggunakan ban bekas yang sudah aus dan tidak bisa digunakan lagi. Ban bekas yang dibutuhkan cukup banyak namun biaya yang dibutuhkan tidak terlalu besar karena biaya yang diperlukan hanya biaya pemindahan. Di sisi lain, barang bekas ini termasuk salah satu limbah tambang namun dapat dipergunakan sebagai salah satu aspek pendukung reklamasi tambang.

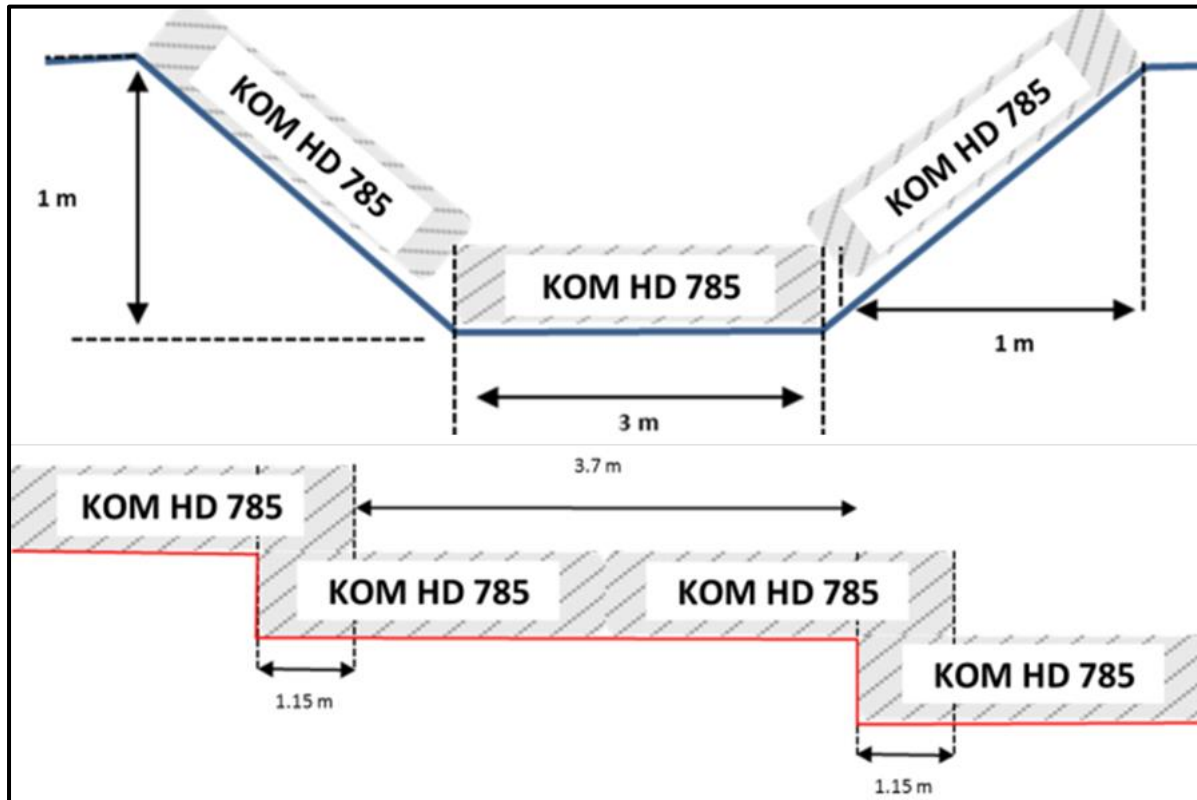
d. Estimasi efektivitas reduksi laju erosi

Perkuatan yang diajukan yaitu dengan menggunakan Ban bekas unit Kom HD 785 dengan spesifikasi ban tinggi 0,75 m dan lebar 3 meter.

Ban bekas kemudian disusun dengan bentuk *drop structure* menyesuaikan dengan desain saluran terbuka yang telah dihitung sebelumnya. Terjadinya disipasi energi pada setiap tingkatan *drop structure* dapat menurunkan laju kecepatan aliran yang sebelumnya sebesar 5,27 m/s turun ke 3,8 m/s sesuai dengan perhitungan pada Tabel 11.

Penyusunan *drop structure* membutuhkan sebanyak 62 drop dengan jarak antar *drop structure* adalah 3,7 meter, untuk menghasilkan desain yang sesuai maka ukuran *tyre* yang ditumpuk secara vertikal sebesar 1,1 meter dengan 2 *tyre drop structure* yang disusun secara horizontal (Gambar 6). Susunan ini membutuhkan jumlah ban sebanyak sekitar 370 ban dengan kemiringan *slope* 1,5%.

Penentuan efektivitas dari penggunaan *tyre drop structure* dibagi menjadi dua yaitu dilihat dari sisi kualitas dan kuantitas. Secara kualitas mempertimbangkan keberlangsungan saluran terbuka sesuai dengan yang direncanakan yaitu bertahan hingga minimal 10 tahun dan dari sisi kuantitas adalah jumlah penurunan laju erosi yang didapatkan setelah menerapkan teknik konservasi air terasering yang didukung dengan saluran *tyre drop structure*.



Gambar 6. Susunan TDS yang direncanakan.

Tabel 12. Kecepatan aliran maksimum (USDA, 2007).

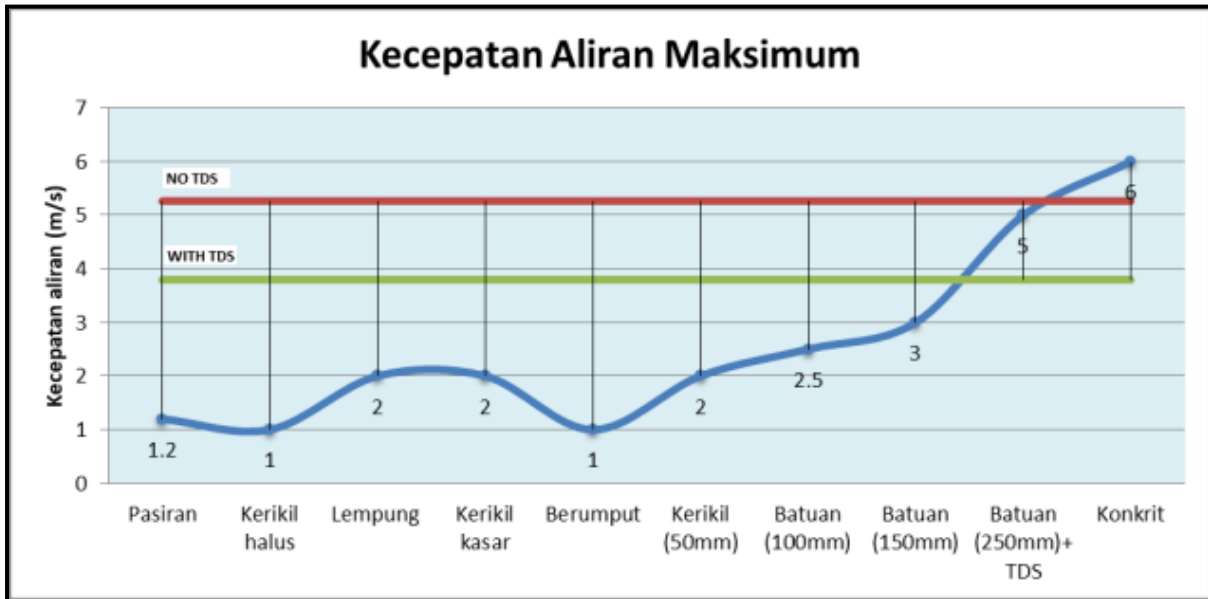
Kecepatan Maksimum		
No	Kondisi aliran	V (m/s)
1	Pasir/lanau lempung	0.5 - 1.2
2	kerikil halus	1
3	Lempung keras	1 - 2
4	Kerikil kasar	1 - 2
5	Berumput	1
6	Kerikil (50mm)	2
7	Bebatuan (100mm)	2.5
8	Bebatuan (150mm)	3
9	<b>Bebatuan (250mm min)</b>	<b>5</b>
10	Konkrit (semen)	6

Kualitas dari aliran dipengaruhi oleh kecepatan aliran yang akan melalui saluran dan maksimum yang diperbolehkan. Kecepatan aliran tidak boleh lebih besar dari kecepatan yang diperbolehkan karena dapat menyebabkan gerusan pada saluran terbuka. Rangkuman kelayakan aliran pada saluran terbuka dapat dilihat dengan menggunakan acuan kecepatan aliran maksimum dari USDA (2007) seperti pada Tabel 12.

Hasil rangkuman menunjukkan kondisi aliran orisinil, kerikil dan fragmen batuan masuk dalam kondisi tidak layak. Kondisi aliran yang layak yaitu dengan konkrit namun potensi biaya sangat tinggi. Oleh karena itu, penggunaan *tyre drop structure* menurunkan kecepatan aliran dan masuk dalam kecepatan yang diperbolehkan dengan TDS ditambahkan dengan fragmen batuan dengan biaya yang lebih rendah karena menggunakan ban bekas yang sudah tidak digunakan (Gambar 7).

e. Efektivitas secara kuantitas

Efektivitas secara kuantitatif yaitu dengan membandingkan nilai laju erosi sebelum dan sesudah dilakukan teknik konservasi. Potensi penurunan laju erosi dilakukan estimasi dengan melakukan perhitungan laju erosi menggunakan metode RUSLE. Parameter yang berubah setelah penerapan *tyre drop structure* adalah nilai faktor P. Oleh karena itu dapat disimulasikan perhitungan laju erosi menggunakan nilai P berdasarkan Tabel 13.



Gambar 7. Grafik kecepatan maksimum aliran yang diperbolehkan.

Tabel 13. Rangkuman kelayakan aliran pada saluran terbuka.

No	Kondisi	Kecepatan aliran	Kecepatan yang diperbolehkan	Status
1	Orisinil	5,27	1-2	Tidak layak
2	Kerikil	5,27	2-2,5	Tidak layak
3	Bebatuan (1.5cm)	5,27	3	Tidak layak
4	<b>TDS + Bebatuan (2.5 cm)</b>	<b>3,8</b>	<b>4-5</b>	<b>Layak</b>
5	Konkrit	5,27	6	Layak, namun biaya tinggi

Tabel 14. Tabel estimasi penurunan laju erosi dengan konservasi.

No	Tindakan konservasi	Faktor P	Potensial Laju Erosi (ton/ha/bulan)	Persentase penurunan
1	Tanpa tindakan konservasi	1	292,36	0%
2	Pengolahan tanah kemiringan >20%	0,9	263,13	10%
3	Pengolahan tanah kemiringan 9-20%	0,75	219,27	25%
4	Pengolahan tanah kemiringan 0-8%	0,5	146,18	50%
5	Strip tanaman rumput (padang rumput)	0,4	116,95	60%
6	Teras traditional baik	0,4	116,95	60%
7	Teras kurang baik	0,35	102,33	65%
8	Teras konstruksi sedang	0,15	43,85	85%
9	Teras Konstruksi Baik	0,04	11,69	96%

Berdasarkan hasil pengolahan data pada Tabel 14 dan Gambar 8 tindakan konservasi memberikan nilai potensi laju erosi yang berbeda dan menunjukkan penurunan secara bertahap. Tanpa tindakan konservasi laju erosi sebesar 292,36 ton/ha/bulan. Pengolahan tanah dengan kemiringan >20% hingga <8% dapat menurunkan potensial laju erosi sebesar 50% atau sebesar 146,18 ton/ha/bulan. Penggunaan teknik terasering tradisional memiliki nilai yang sama dengan penanaman *strip* tanaman rumput dapat menurunkan laju

erosi sebesar 60% hingga ke 116,95 ton/ha/bulan. Kualitas konstruksi terasering sangat mempengaruhi laju erosi, dengan konstruksi kurang baik hingga sedang dapat menurunkan hingga 65 – 85%.

Tindakan konservasi terasering dengan penataan yang sesuai dengan perencanaan dapat menurunkan laju erosi sebesar 96% hingga ke 11,7 ton/ha/bulan sehingga masuk dalam kategori laju erosi yang tidak berbahaya.



Gambar 8. Persentase penurunan laju erosi terhadap tindakan konservasi.

## Kesimpulan

Pertama; tingkat laju erosi di area Tiung AB-Dump Departemen Hatari PT. Kaltim Prima Coal masuk dalam kategori tinggi. Laju erosi rata-rata perbulan adalah sebesar 292,4 ton/ha/bulan. Erosi paling rendah di bulan September yaitu 274.5 ton/ha/bulan dan erosi paling tinggi terbentuk di bulan Maret yaitu sebesar 301,8 ton/ha/bulan. Hal ini dipengaruhi oleh curah hujan yang secara umum dibagi dua, yaitu musim hujan dan kemarau. Kedua; berdasarkan perhitungan data curah hujan maksimum 15 tahun terakhir menggunakan Metode Gumbel, curah hujan maksimum yang berpotensi terjadi dengan kala ulang 10 tahun yaitu 121,49 mm/hari. Curah hujan harian tersebut masuk dalam kategori tinggi. Ketiga; pemodelan aliran air di Tiung-AB mengikuti teknik konservasi dengan menggunakan metode terasering. Debit air masuk dari hujan adalah sebesar 22,94 m<sup>3</sup>/s. Debit air yang mengalir di permukaan yaitu 13,22 m<sup>3</sup>/s dan debit air yang masuk kedalam tanah dalam bentuk infiltrasi sebesar 9,72 m<sup>3</sup>/s. Desain saluran terbuka yang didesain memiliki kemampuan debit sebesar 21,09 m<sup>3</sup>/s dengan kecepatan aliran 5,27 m/s. Keempat; pola aliran yang terbentuk

memiliki *froud number* > 1 menunjukkan aliran superkritis. Teknik konservasi dengan terasering yang baik dengan adanya perkuatan TDS di saluran terbuka secara kualitas menjadi layak karena dapat menurunkan kecepatan aliran hingga lebih rendah dari kecepatan yang diperbolehkan dan secara kuantitas nilai laju erosi dapat turun hingga 96% ke 11,7ton/ha/bulan.

## Ucapan terima kasih

Penulis ingin mengucapkan terima kasih ke PT. Kaltim Prima Coal untuk segala dukungan dan fasilitas yang disediakan saat penelitian. Kami juga ingin mengucapkan terima kasih kepada *editor* dan *reviewer* atas bantuan, *review* dan masukan atas tulisan ini.

## Daftar Pustaka

- Apriadi, D., Kurniawan, M., Sumarjono dan Tanzilullah. 2017. *Technical Mining Operation Division Handbook*. Sangatta: PT. Kaltim Prima Coal.
- Fadda, S., Fiori, M. and Matzuzzi, C. 2010. *Developing rehabilitation design for the abandoned mine excavations in Central Sardinia, Italy*.

- International Journal of Mining, Reclamation and Environment. 24(4), pp.286 – 306.  
<https://doi.org/10.1080/17480931003775607>
- Hancock, G.R., Duque, J.M. dan Willgoose, G.R. 2020. *Mining rehabilitation Using geomorphology to engineer ecologically sustainable landscapes for highly disturbed lands*. Ecological Engineering. 155(15), pp.105836.  
<https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2020.105836>
- Hancock, G.R., Lowry, J.C. dan Coulthard, T.J. 2015. *Catchment reconstruction – erosional stability at millennial time scales using landscape evolution models*. Geomorphology. 231, pp.15 – 27.  
<https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2014.10.034>
- Molla, T. dan Shiseber, M. 2016. *Estimating Soil Erosion Risk and Evaluating Erosion Control Measures for Soil Conservation Planning at Koga Watershed, Highlands of Ethiopia*. Solid Earth. 8(1), pp.13 – 25.  
<https://doi.org/10.5194/se-8-13-2017>
- Nabi, G., Hussain, F., Wu, R.-S., Nangia, V., Bibi, R. dan Majid, A. 2017. *Optimizing micro watershed management for soil erosion control under various slope gradient and vegetation cover conditions using SWAT modeling*. Hydrology and Earth System Sciences Discussions. Preprint.  
<https://doi.org/10.5194/hess-2017-532>
- Renard, K., Foster, G., Essies, G., McCool, D. dan Yoder, D. 1997. *Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)*. United States Government Printing.
- Sukardi, N., Sikumbang, I., Umar dan Sunaryo, R. 1995. *Peta Geologi Lembar Sangatta*. Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi.
- Syukur, S. (2009). *Laju infiltrasi dan peranannya terhadap pengelolaan daerah aliran sungai Allu-Bangkala*. Agroland. 16(3), pp.231 – 236.  
<http://jurnal.untad.ac.id/jurnal/index.php/AGROLAND/article/view/251>
- USDA. 2007. *Stream Restoration Design National Engineering Handbook*. Washington D.C: Natural Resources Conservation Service.
- Wantzen, K.M. dan Mol, J.H. 2013. *Soil Erosion from Agriculture and Mining: A Threat to Tropical Stream Ecosystems*. Agriculture. 3(4), pp.660 – 683.  
<https://doi.org/10.3390/agriculture3040660>

# ANALISIS SINKRONISASI PRODUKTIVITAS ALAT ANGKUT TONGKANG DAN ALAT MUAT *CRANE* PADA KEGIATAN PENGAPALAN *NICKEL ORE* DI PT. ANTAM UBP NIKEL MALUKU UTARA

Fitria Dwi Ningsi Haya, Aliyusro Jolo, Yanny\*

Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Maluku Utara, Jl. K.H. Ahmad Dahlan, Kel. Sasa, Kota Ternate, Maluku Utara, Indonesia

\*Corresponding author. Email: [yanny.st@gmail.com](mailto:yanny.st@gmail.com)

Manuscript received: 7 August 2022; Received in revised form: 2 September 2022; Accepted: 24 October 2022

## Abstrak

Kegiatan penambangan nikel di PT. ANTAM UBP Nikel Maluku Utara berhubungan erat dengan proses produksi dan pendistribusian. Untuk mencapai produksi yang optimal maka dilakukan pemuatan atau pengapalan *nickel ore* sesuai dengan target produksi perusahaan. Tujuan penelitian untuk menentukan nilai keserasian alat angkut tongkang dan alat muat *crane* pada proses pengapalan dan mengetahui faktor-faktor yang mempengaruhi produktivitas pengapalan *nickel ore*. Metode penelitian yang digunakan berupa metode kuantitatif deskriptif, yakni proses analisis berdasarkan data tabel distribusi, nilai rata-rata dan persentase. Penelitian ini dilaksanakan di *Site* Tanjung Buli pada proses pengapalan MV. Lumoso Karunia VIII. Pada pengapalan ini target *stowage plan* 55255 ton yang harus selesai dalam waktu maksimal 10 hari. Hasil perhitungan keserasian alat muat *crane* di MV. Lumoso Karunia VIII dan alat angkut tongkang memiliki nilai *match factor* 0,72 atau  $< 1$ . Faktor yang mempengaruhi menurunnya proses pengapalan yaitu waktu efisiensi kerja, nilai dari *match factor* dan waktu hujan. Dari hasil perhitungan, waktu efisiensi kerja diperoleh nilai 65,94% atau kurang efisien. Nilai dari *match factor* yang  $< 1$  dapat disimpulkan bahwa alat angkut sibuk sedangkan alat muat banyak waktu menganggurnya serta kendala hujan dengan jumlah rata-rata waktu hujan 206,6 menit atau 3,44 jam. Namun, proses pengapalan dapat mencapai target produksi dalam waktu 8 hari dengan kemampuan produktivitas alat muat mencapai 6997,95 ton/hari.

**Kata Kunci:** *match factor*; *nickel ore*; pengapalan; sinkronisasi.

## Abstract

Nickel mining activities at PT. ANTAM North Maluku Nickel UBP is closely related to the production and distribution process. To achieve optimal production, nickel ore is loaded or shipped in accordance with the company's production targets. The study aims to determine the compatibility value of barges and crane loading equipment in the shipping process and to determine the factors that affect the productivity of nickel ore shipments. The research method used is descriptive quantitative method, where the analysis process is based on distribution table data, average values, and percentages. This research was conducted at the Tanjung Buli Site in the MV. shipping process. Lumoso Karunia VIII. In this shipment, the *stowage plan* target is 55255 tons which must be completed within a maximum of 10 days. The results of the calculation of the compatibility of crane loading equipment in MV. Lumoso Karunia VIII and barge transportation have a *match factor* value of 0.72 or  $< 1$ . Factors that affect the decline in the shipping process are work efficiency time, the value of the *match factor* and rainy time. From the calculation results, the work efficiency time obtained is 65.94% or less efficient. The value of the *match factor*  $< 1$  can conclude that the transportation equipment is busy while the loading equipment

has a lot of idle time and rain constraints with an average amount of rain time of 206.6 minutes or 3.44 hours. However, the shipping process can reach the production target within 8 days with the capability of loading equipment productivity reaching 6997.95 tons/day.

**Keywords:** match factor; nickel ore; shipping; synchronization.

## Pendahuluan

### Latar belakang

Maluku Utara memiliki sumber daya alam nikel yang cukup besar. Salah satu perusahaan yang bergerak dalam industri pertambangan nikel di Maluku utara, yaitu PT. Antam UBP. Perusahaan ini menggunakan sistem tambang terbuka, yaitu pengambilan material tambang dengan terlebih dahulu memotong bagian sisi bukit dari puncak menuju ke bawah membentuk pit (Pranata dkk., 2017). Material tambang yang telah diproduksi selanjutnya didistribusikan ke konsumen. Pendistribusian ini memerlukan kesesuaian antara jumlah muatan hasil produksi tambang dengan kapasitas armada kapal, sehingga biaya transportasi lebih ekonomis (Setiawan dkk., 2018). Pada PT. ANTAM UBP Nikel Maluku Utara proses pengapalan *nickel ore* akan dikirim ke Pomalaa sebagai pusat pengolahan nikel di Sulawesi Tenggara.

Untuk mencapai produksi yang optimal maka dilakukan pemuatan atau pengapalan bijih nikel sesuai dengan target produksi yang telah ditetapkan oleh perusahaan serta ketetapan kecepatan pengiriman bijih nikel sesuai dengan permintaan pasar (Setiawan dkk., 2018). Pada proses penambangan, adanya ketersediaan alat muat akan menentukan keberlangsungan produksi yang berdampak pada produktivitas dan efisiensi. Alat muat yang dimaksud adalah alat yang akan digunakan untuk memuat *nickel ore* dari tongkang ke *vessel*. Dalam penelitian ini alat angkut yang digunakan untuk proses pengapalan *nickel ore* berupa tongkang (*barge*) dan kapal *bulk carrier* serta alat muat berupa *crane*. Penggunaan tongkang (*barge*) untuk mengangkut barang yang ditarik oleh kapal tunda (*Tug*

*Boat*) merupakan pilihan utama dalam pendistribusian antar pulau (Karchely dkk., 2020).

Kegiatan produksi penambangan sering terjadi masalah karena ketidakserasian atau kegagalan alat produksi. Tidak serasinya alat dapat menghambat target produksi (Shaddad dkk., 2016). Oleh karena itu, perlu dilakukan perhitungan dan penilaian tentang penggunaan alat angkut tongkang dan alat muat *crane* untuk meningkatkan kegiatan produksi pengapalan, sehingga target produksi dapat dicapai.

Penelitian yang berkaitan dengan alat angkutan nikel telah dilakukan oleh beberapa peneliti terdahulu. Setiawan dkk. (2018), telah melakukan penelitian mengenai alat angkut nikel di Sulawesi Tenggara dan mengungkapkan bahwa mode transportasi laut yang optimum untuk mengangkut feronikel berupa *bulk carrier*.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai keserasian alat angkut tongkang dan alat muat *crane* serta dapat mengetahui faktor – faktor yang mempengaruhi produktivitas pengapalan nikel *ore* di *site* Tanjung Buli. Sehingga dari hasil penelitian ini dapat dimanfaatkan untuk mengoptimalkan kegiatan proses produksi pengapalan.

## Metode Penelitian

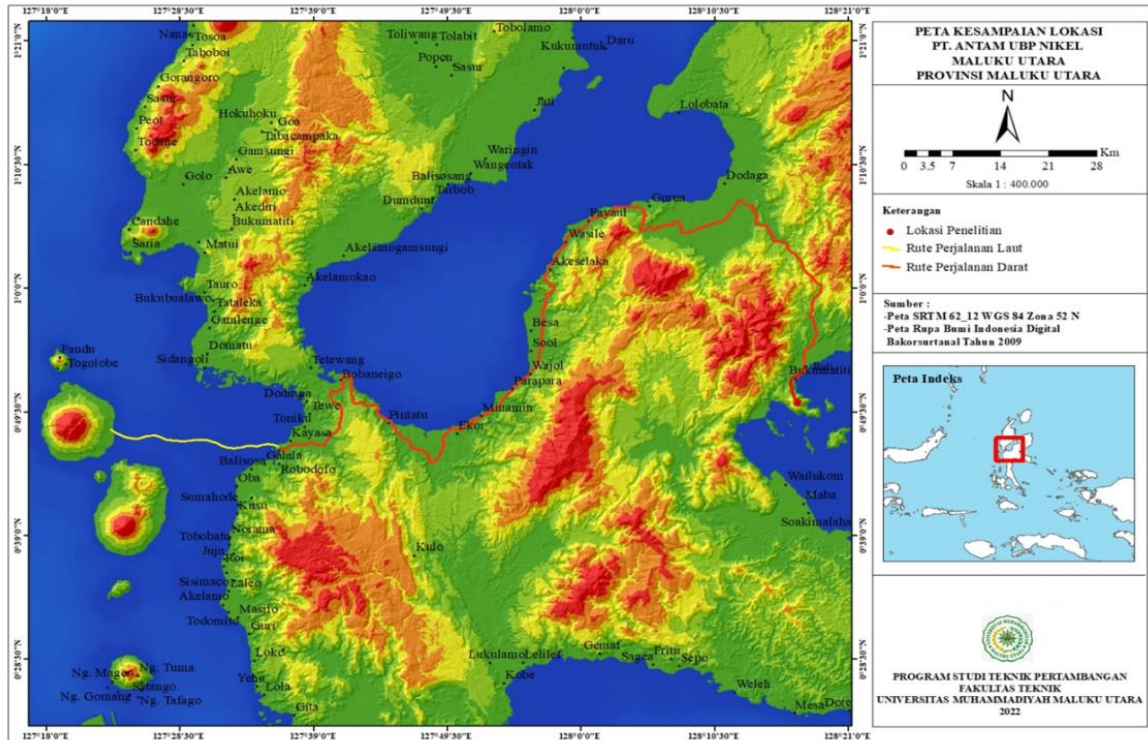
Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode kuantitatif deskriptif yang berusaha menganalisis permasalahan berdasarkan data-data yang ada. Proses analisis dalam penelitian mencakup penyajian data hasil penelitian berbentuk grafik, tabel distribusi frekuensi dan perhitungan yang dilakukan berupa nilai



mean, persentase, simpangan baku, rasio dan sebagainya disesuaikan dengan ukuran

data yang diperoleh (Achmadi dan Narbuko, 2015).

**Lokasi Penelitian**



**Gambar 1.** Peta kesampaian lokasi penelitian.

Penelitian ini dilaksanakan di *Site* Tanjung Buli, PT ANTAM UBP Nikel Kabupaten Halmahera Timur Provinsi Maluku Utara. Sedangkan secara geografis terletak di 128<sup>0</sup> 19' 13'' – 128<sup>0</sup> 21' 01'' BT dan 00<sup>0</sup> 46' 18'' - 00<sup>0</sup> 48' 14'' LU, wilayah tersebut dapat ditempuh melalui jalur darat maupun udara (Gambar 1). Adapun rute yang dapat ditempuh adalah sebagai berikut:

- a. Bastiong – Sofifi  
Perjalanan dimulai dari pelabuhan penyeberangan feri Bastiong yang berada di Kota Ternate ke pelabuhan penyeberangan feri Sofifi di Sofifi, Kecamatan Oba Utara, Kota Tidore Kepulauan menggunakan transportasi jalur laut dengan waktu tempuh selama ± 2 jam.
- b. Sofifi – Buli  
Kemudian dilanjutkan dengan perjalanan darat menggunakan mobil dari Sofifi menuju Desa Buli Kecamatan Maba, Kabupaten

Halmahera Timur dengan waktu tempuh ±4 jam.

- c. Buli – Tanjung Buli  
Perjalanan dari Buli ke Tanjung Buli menggunakan mobil atau bus dengan waktu tempuh ± 20 menit.

**Sumber Data Penelitian**

*a. Data Primer*

Pengumpulan data primer diperoleh dari pengamatan dan perhitungan data langsung di lapangan berupa, *cycle time* alat angkut *tongkang* dan alat muat *crane*, waktu kerja efektif, waktu tempuh tongkang ke kapal, serta dokumentasi lapangan.

*b. Data Sekunder*

Data sekunder merupakan data hasil dari studi literatur, jurnal-jurnal dan data penunjang lain dalam pembuatan laporan penelitian.

**Pengumpulan Data**

Teknik pengumpulan data dilakukan dengan melakukan pengamatan langsung di lokasi penelitian dan pengumpulan data-data pendukung seperti data geologi, data *cycle time* alat angkut tongkang dan alat muat *crane*, waktu kerja tersedia, waktu dan jenis hambatan, serta spesifikasi alat.

*Pengolahan Data*

Pada tahapan pengolahan, data-data yang sudah dikumpulkan kemudian diolah dengan metode kuantitatif deskriptif. Secara garis besar pengolahan data terbagi atas:

- a. Perhitungan *cycle time* alat angkut tongkang dan alat muat *crane*,
- b. Perhitungan waktu efisiensi kerja,
- c. Perhitungan kemampuan produktivitas alat muat *crane*.
- d. Keserasian alat angkut tongkang dan alat muat *crane*.

*Analisis Data*

Analisis data bertujuan untuk menafsirkan data yang telah diperoleh dari hasil pengolahan data statistik. Sehingga dari hasil analisis tersebut dapat diketahui nilai keserasian alat angkut tongkang dan alat muat *crane* serta faktor-faktor yang mempengaruhi dalam produktivitas pengapalan nikel *ore* di *site* Tanjung Buli.

**Hasil dan Pembahasan**

*1. Waktu edar (cycle time)*

Berdasarkan pengamatan lapangan untuk *cycle time* alat angkut menggunakan tongkang dengan kapasitas 3000 – 5000 ton diperoleh data sebagai berikut (Tabel 1):

Waktu pengisian	= 275,2 menit
Waktu angkut	= 76,71 menit
Waktu <i>dumping</i>	= 477,3 menit
Waktu kembali kosong	= 63,14 menit+
<u>Jumlah <i>cycle time</i></u>	<u>= 892,4 menit</u>

Sehingga total *cycle time* alat angkut tongkang adalah 892,4 menit atau 14,87 jam.

**Tabel 1** Perhitungan *cycle time* (CT) alat angkut tongkang.

No	Waktu Pengisian (m)	Waktu Angkut (m)	Waktu Pengisian Palka (m)	Waktu Kembali Kosong (m)	CT
1	207,6	76,23	493,8	61,41	839,04
2	250,2	80,41	481,8	58,23	870,64
3	210,6	74,12	439,8	65,27	789,79
4	251,4	70,51	507,6	66,44	895,95
5	256,2	68,11	493,2	61,01	878,52
6	215,4	85,22	510,6	50,31	861,53
7	367,8	80,59	487,2	67,11	1002,7
8	249,6	75,01	445,8	70,01	840,42
9	372,6	73,43	453,6	60,45	960,08
10	208,8	81,39	509,4	66,09	865,68
11	330,6	78,41	495,6	68,39	973,00
12	243,6	80,09	440,4	65,41	829,50
13	251,4	67,37	455,5	63,12	837,39
14	373,8	70,22	484,8	67,43	996,25
15	245,4	81,13	505,8	60,46	892,79
16	369,6	85,17	432,6	59,04	946,41
<b>Mean</b>	275,2	76,71	477,3	63,14	892,48

**Tabel 2** Perhitungan *cycle time* alat muat *crane* pada awal pemuatan.

No	<i>Digging</i> (s)	<i>Loading</i> (s)	<i>Dumping</i> (s)	<i>Empty Loading</i> (s)	CT
1	20,62	76,8	7,51	70,2	175,13
2	22,71	74,4	8,13	71,4	176,64
3	25,34	84,4	11,43	71,4	192,57
4	32,09	76,8	13,09	70,8	192,78
5	27,01	87,3	9,64	74,4	198,35

6	20,19	74,4	7,15	74,4	176,14
7	23,94	79,8	9,21	67,8	180,75
8	26,95	81,6	8,35	71,4	188,30
9	21,97	72,6	7,91	70,2	172,68
10	25,17	73,8	7,13	67,8	173,90
11	23,52	79,8	7,69	74,0	185,41
12	25,26	88,2	6,92	70,8	191,18
13	23,15	79,8	8,91	75,2	187,06
14	24,09	88,2	9,01	72,3	193,60
15	28,13	88,8	11,15	73,2	201,28
16	20,49	79,8	10,32	68,4	179,01
17	23,44	77,4	7,31	71,4	179,55
18	21,18	76,2	9,12	73,8	180,30
19	22,45	72,1	12,48	70,2	177,23
20	29,18	75,6	11,39	71,4	187,57
21	25,22	72,6	8,12	69,3	175,24
22	21,05	79,8	8,43	69,6	178,88
23	22,87	75,6	10,12	70,2	178,79
24	29,56	73,2	11,66	72,3	186,72
25	29,32	78,6	10,38	70,2	188,50
26	23,12	75,6	9,34	71,4	179,46
27	24,29	77,4	9,76	72,5	183,95
28	29,78	78,6	9,54	72,6	190,52
29	22,29	76,8	7,51	69,6	176,20
30	24,65	73,2	8,11	71,4	177,36
Rata-rata (mean)					183,50

**Tabel 3** Perhitungan *cycle time* (CT) alat muat *crane* pada pertengahan pemuatan.

No	Digging (s)	Loading (s)	Dumping (s)	Empty Loading (s)	CT
1	23,67	32,08	7,61	32,55	95,91
2	22,89	35,04	6,97	32,95	97,85
3	21,44	30,89	7,55	31,99	91,87
4	20,45	31,74	7,81	30,87	90,87
5	24,21	33,21	8,02	32,29	97,73
6	22,72	35,38	12,49	32,08	102,67
7	21,84	30,39	11,31	35,04	98,58
8	28,25	40,71	9,37	31,52	109,85
9	28,21	31,19	9,75	32,56	101,71
10	27,33	35,46	8,92	46,19	117,90
11	30,01	30,32	8,07	32,81	101,21
12	28,32	32,73	6,94	35,06	103,05
13	24,25	35,49	6,17	35,47	101,38
14	21,22	35,68	7,01	36,19	100,10
15	21,44	24,44	6,14	31,62	83,64
16	19,09	28,95	5,83	33,31	87,18
17	30,29	42,05	6,19	32,02	110,55
18	24,15	43,22	6,50	37,55	111,42
19	25,37	40,41	6,65	29,99	102,42
20	19,18	34,44	6,36	27,51	87,49
21	19,41	40,71	6,14	34,14	100,40
22	20,01	40,74	7,13	33,91	101,79
23	21,09	40,01	6,55	46,19	113,84
24	32,12	35,46	5,81	32,81	106,20
25	20,19	39,72	5,92	23,62	89,45
26	20,64	41,52	6,33	30,59	99,08
27	23,11	37,54	7,18	38,21	106,04
28	19,25	37,61	7,12	35,06	99,04
29	20,18	38,82	5,99	35,47	100,46
30	19,65	38,77	7,56	36,95	102,93
Rata – rata (mean)					100,42

**Tabel 4** Perhitungan *cycle time* (CT) alat muat *crane* pada akhir pemuatan.

No	Digging (s)	Loading (s)	Dumping (s)	Empty Loading (s)	CT
1	22,92	30,16	5,62	31,99	90,69
2	21,85	27,04	4,83	32,55	86,27
3	22,31	33,07	4,91	32,95	93,24
4	20,13	30,89	4,52	31,99	87,53
5	18,43	31,74	4,95	27,93	83,05
6	17,92	30,39	4,11	27,02	79,44
7	23,48	31,19	5,46	33,28	93,41
8	17,58	24,44	6,08	28,36	76,46
9	27,34	28,95	4,34	27,51	88,14
10	17,81	32,08	4,56	28,95	83,40
11	18,04	35,04	6,13	30,87	90,08
12	26,92	28,45	5,47	32,29	93,13
13	27,05	30,87	5,73	30,01	93,66
14	21,22	37,21	4,82	30,75	94,00
15	18,64	30,32	5,24	33,84	88,04
16	17,63	32,73	5,61	26,31	82,28
17	20,04	44,46	4,87	31,52	100,89
18	20,05	33,21	6,04	32,56	91,86
19	18,86	35,38	5,34	30,55	90,13
20	23,41	30,39	5,77	30,59	90,16
		Rata – rata ( <i>mean</i> )			88,79

Nilai dari *cycle time* awal pemuatan (Tabel 2), pertengahan pemuatan (Tabel 3) dan akhir pemuatan (Tabel 4) kemudian dirata-ratakan. Sehingga diperoleh nilai rata-rata (*mean*) waktu edar alat muat *crane* yaitu 124,24 detik atau 2,07 menit (Tabel 5).

**Tabel 5** Nilai rata-rata *cycle time* alat muat *crane*.

<i>cycle time</i> awal pemuatan	183,50
<i>cycle time</i> pertengahan pemuatan	100,42
<i>cycle time</i> akhir pemuatan	88,79
$\bar{x}$	124,24

$Cycle\ time\ mean = 124,24 \div 60 = 2,07$  menit.

### 2. Faktor pengisian (Bucket fill factor)

Nilai pengisian pada (*bucket fill factor*) tergantung dari jenis kemampuan pemuatan oleh *grab bucket* pada alat muat *crane*. *Grab bucket* adalah alat penggaruk yang mengangkat muatan dan mencurahkan ke dalam palka kapal. Kapasitas *grab bucket* pada MV. Lumoso Karunia VIII berdasarkan *ship particularnya* yaitu 6 – 12 CBM. Berdasarkan hasil pengamatan lapangan, dari faktor perbandingan antara kapasitas *bucket* alat muat dengan kapasitas nyata muat yang dinyatakan dalam persen

nilai pada saat pengisian *grab bucket* sebesar 84,5%.

### 3. Faktor pengembangan (Swell factor)

Nilai *swell factor* dapat diperoleh dengan ketetapan yang sudah ditentukan dari jenis material yang ditambang. Jenis materialnya yaitu tanah kering dengan *swell factor* 0,85 (Prodjosumarto, 2000).

### 4. Waktu kerja efektif

**Tabel 6** Waktu hambatan.

NO	Distribusi Waktu	Waktu (Menit)
1	Waktu <i>delay</i> Waktu tunggu Tongkang	268,7
2	Waktu <i>standby</i> keperluan operator	15,2
3	Waktu <i>repair</i> hujan	206,6
	Total waktu hambatan	490,5

Nilai dari waktu kerja efektif dapat ditentukan dengan menentukan waktu kerja tetap dan waktu hambatan total (Tabel 6). Dalam pengoperasian, waktu kerja alat muat *crane* tidak menentu karena operator *crane* harus siap 24 jam ketika tongkang sudah tiba untuk dilakukan pemuatan. Waktu hambatan total rata-rata dan waktu

kerja tetap akan menentukan waktu kerja efektif.

$$\begin{aligned} \text{Waktu Kerja Tetap} &= 1440 \text{ menit/hari} \\ \text{Waktu Hambatan} &= 490,5 \text{ menit/hari} - \\ \text{Waktu Kerja Efektif} &= 949,5 \text{ menit/hari.} \end{aligned}$$

Sehingga total dari waktu kerja efektif adalah 949,5 menit/hari atau 15,82 jam/hari.

### 5. Efisiensi kerja

Dari hasil pengamatan dan pengolahan data, efisiensi kerja dapat ditentukan dengan perhitungan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Waktu Kerja Efektif} &= 949,5 \text{ menit} \\ \frac{\text{Waktu Kerja Tetap}}{\text{Waktu Kerja Efektif}} &= \frac{1440 \text{ menit}}{949,5 \text{ menit}} \div \\ &= 0,6594 \times 100\% \\ \text{Efisiensi Kerja} &= 65,94\% \end{aligned}$$

Dengan menentukan nilai waktu kerja tetap, waktu hambatan total dan waktu kerja efektif sehingga efisiensi kerja dengan total nilai 65,94% dan dapat dikategorikan kurangnya efisiensi kerja.

### 6. Kemampuan produktivitas alat muat

Kegiatan pengapalan pada MV. Lumoso Karunia VIII dapat dimaksimalkan dengan 8 hari proses pemuatan *ore*, sehingga target produksi dapat tercapai. Kemampuan produktivitas alat muat dapat dihitung nilai pencapaiannya dengan menentukan faktor pengisian, kapasitas *bucket*, *swell factor*, efisiensi kerja dan *cycle time* alat muat *crane* serta *cycle time* alat angkut tongkang. Berdasarkan hasil pengolahan data kemampuan produktivitas alat muat ditentukan dengan perhitungan berikut:

$$\begin{aligned} \text{Waktu tersedia} &= 24 \text{ jam} \\ \text{Cycle Time Alat Muat} &= 2,07 \text{ menit} \\ \text{Kapasitas Grab bucket} &= 12 \text{ m}^3 \\ \text{Fill Factor} &= 84,5\% = 0,845 \\ \text{Swell Factor} &= 0,85 \\ \text{Efisiensi Kerja} &= 65,94\% = 0,659 \end{aligned}$$

$$Pa = \frac{60}{C_{tm}} \times C_b \times F_f \times S_f \times E \quad (1)$$

$$\begin{aligned} Pa &= \frac{60}{2,07} \times 12 \times 0,845 \times 0,85 \times 0,659 \times \\ &= 3953,65 \text{ BCM/hari} \times 1,77 \text{ g/cm}^3 \\ Pa &= 6997,95 \text{ ton/hari} \end{aligned}$$

$$\text{Produktivitas Alat} = 6997,95 \text{ ton/hari.}$$

Sehingga dari perhitungan data tersebut, dapat diketahui kemampuan produktivitas alat muat *crane* yaitu 6997,95 ton/hari.

### 7. Keserasian alat muat (Match Factor)

Berdasarkan hasil evaluasi pengolahan data yang didapatkan dari jumlah alat angkut, jumlah alat muat, banyaknya pengisian tiap satu alat angkut dan *cycle time* alat angkut serta *cycle time* alat muat. Hasil dari keserasian antara alat angkut dan alat muat adalah 0,72. Pada keadaan *match factor* (MF) < 1, artinya alat angkut sibuk, sedangkan alat muat banyak waktu menganggurnya.

### 8. Faktor yang mempengaruhi produktivitas

Faktor yang mempengaruhi menurunnya proses pengapalan, yaitu waktu efisiensi kerja diperoleh nilai 65,94%. Hal ini dapat dikategorikan waktu kerja untuk proses pengapalan kurang efisien. Nilai dari *match factor* < 1 dapat disimpulkan bahwa alat angkut sibuk sedangkan alat muat banyak waktu menunggunya serta kendala hujan dengan curah hujan selama proses pemuatan berlangsung yaitu 1,35 – 5,45 jam dengan jumlah rata-rata waktu hujan 206,6 menit atau 3,44 jam.

### Kesimpulan

Hasil penelitian yang berlokasi di Tanjung Buli dengan menganalisis produktivitas pemuatan *nickel ore* dari tongkang ke MV. Lumoso Karunia VIII dapat disimpulkan bahwa hasil perhitungan keserasian alat

muat *crane* di MV. Lumoso Karunia VIII dan alat angkut tongkang mendapatkan nilai *match factor* 0,72 atau  $< 1$ . Namun proses pengapalan mencapai target produksi (*stowage plan* 55255 ton) dengan waktu kerja efektif 15,82 jam/hari, *cycle time* alat muat *crane* 2,07 menit dan kemampuan produktivitas alat muat mencapai 6997,95 ton/hari serta proses pemuatan yang dimaksimalkan dalam 8 hari pemuatan *nickel ore*.

Faktor yang mempengaruhi menurunnya proses produksi pengapalan pada MV. Lumoso Karunia VIII di *Site* Tanjung Buli, yaitu waktu efisiensi kerja, nilai dari *match factor* dan waktu hujan. Dari hasil perhitungan, waktu efisiensi kerja diperoleh nilai 65,94% atau dapat dikategorikan sebagai waktu efisiensi kerja yang masih kurang. Nilai dari *match factor* yang  $< 1$  dapat disimpulkan bahwa alat angkut sibuk sedangkan alat muat banyak waktu menganggurnya. Hal ini disebabkan karena proses pemuatan pada tongkang dan waktu tempuh dari tongkang ke *vessel* membutuhkan waktu yang cukup lama serta kendala hujan dengan curah hujan selama proses pemuatan berlangsung yaitu rata-rata 206,6 menit atau 3,44 jam.

### Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terimakasih kepada PT. ANTAM UBP Nikel Maluku Utara yang telah memberikan kesempatan untuk melakukan penelitian di *Site* Tanjung Buli.

### Daftar Pustaka

- Achmadi, A. dan Narbuko. 2015. *Metodologi Penelitian*. Jakarta: Bumi Aksara.
- Karchely, V.A., Fadillah, A. dan Manullang, S. 2020. *Analisis angkutan crude palm oil multi trip dengan kapal Tongkang*. Jurnal Penelitian Transportasi Laut. 22(2), pp.79-86.  
<https://doi.org/10.25104/transla.v2i2.1615>
- Pranata, R.Y., Djamaluddin, D., Asmiani, N. dan Thamsi, A.B. 2017. *Analisis Perbandingan kadar Nikel Berdasarkan perencanaan terhadap realisasi penambangan*. Jurnal Geomine, 5(3), pp.143-146.  
<https://doi.org/10.33536/jg.v5i3.146>
- Prodjosumarto, P. 2000. *Pemindahan tanah Mekanis*. Bandung: Jurusan Teknik Pertambangan. Institut Teknologi Bandung.
- Setiawan, K.N.S., Achmadi, T. dan Lazuardi, S.D. 2018. *Analisis skala penambangan mineral dan pengangkutan: studi kasus angkutan nikel di Sulawesi Tenggara*. Jurnal Teknik. 7(1), pp.43-48.  
<http://dx.doi.org/10.12962/j23373539.v7i1.30001>
- Shaddad, A.R., Widodo, S. dan Asmiani, N. 2016. *Analisis keserasian alat mekanis (match factor) untuk peningkatan produktivitas*. Jurnal Geomine. 4(3), pp.111-117.  
<https://doi.org/10.33536/jg.v4i3.74>

## **STUDI PENDAHULUAN; ALTERASI HIDROTERMAL PADA ENDAPAN TEMBAGA SUPERGEN DI DAERAH TONRA KABUPATEN BONE PROVINSI SULAWESI SELATAN**

Tri Andriyani HS Kandora<sup>1\*</sup>, Irzal Nur<sup>1</sup>, Ulva Ria Irfan<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Departemen Teknik Pertambangan, Universitas Hasanuddin, Makassar, Indonesia

<sup>2</sup>Departemen Teknik Geologi, Universitas Hasanuddin, Makassar, Indonesia

\*Corresponding author. Email: [trykandoraa@gmail.com](mailto:trykandoraa@gmail.com)

Manuscript received: 18 March 2022; Received in revised form: 14 August 2022; Accepted: 24 October 2022

### **Abstrak**

Singkapan mineralisasi tembaga supergen jenis azurit, dan malasit ditemukan pada Daerah Tonra Kabupaten Bone Provinsi Sulawesi Selatan. Alterasi hidrotermal dapat digunakan untuk menafsirkan dan memahami asal mineralisasi supergen dan mengidentifikasi mineralisasi hipogennya. Penelitian ini meliputi identifikasi jenis-jenis mineral alterasi hidrotermal serta tipe alterasinya. Pengolahan sampel menggunakan metode analisis megaskopis, mikroskopis petrografi dan mineralogi XRD. Hasil analisis megaskopis menunjukkan tiga singkapan teralterasi dengan perubahan fisik sebagai penanda batuan teralterasi. Analisis mikroskopis petrografi dan mineralogi XRD menunjukkan hadirnya mineral kuarsa, paligorskit, kaolinit, illit, klorit, ankerit, kalsit, zeolit, epidot, dan sfalerit. Penelitian ini menunjukkan pada lokasi penelitian terdapat dua tipe alterasi argilik dan propilitik. Tipe alterasi argilik dicirikan oleh hadirnya mineral kuarsa-kaolinit-illit, berdasarkan suhu pembentukan berkisar 100–300°C dan pH asam. Tipe alterasi propilitik dicirikan oleh mineral klorit-epidot-karbonat, berdasarkan suhu pembentukan berkisar 150–300°C dan pH netral.

**Kata Kunci:** Alterasi hidrotermal; argilik; propilitik; tembaga supergen.

### **Abstract**

Outcrops of supergene copper mineralization of azurite, and malasite types were found in the Tonra Region, Bone Regency, South Sulawesi Province. Hydrothermal alteration can be used to interpret and understand the origin of supergene mineralization and identify hypogene mineralization. This research includes identification of hydrothermal alteration mineral types and their alteration types. Sample processing using megascopic analysis, microscopic petrography and XRD mineralogy. The results of megascopic analysis show three altered outcrops with physical changes as markers of altered rock. Microscopic analysis of petrography and XRD mineralogy showed the presence of quartz, paligorskit, kaolinite, illite, chlorite, ankerite, calcite, zeolite, epidote, and sphalerite minerals. This research explains that in the research location has two types of argillic and propylitic alteration. The type of argillic alteration is characterized by the presence of quartz-kaolinite-illite minerals, based on the formation temperature in the range of 100-300°C and acidic pH. The propylitic alteration type is characterized by chlorite-epidote-carbonate minerals, based on the formation temperature ranging from 150-300°C and neutral pH.

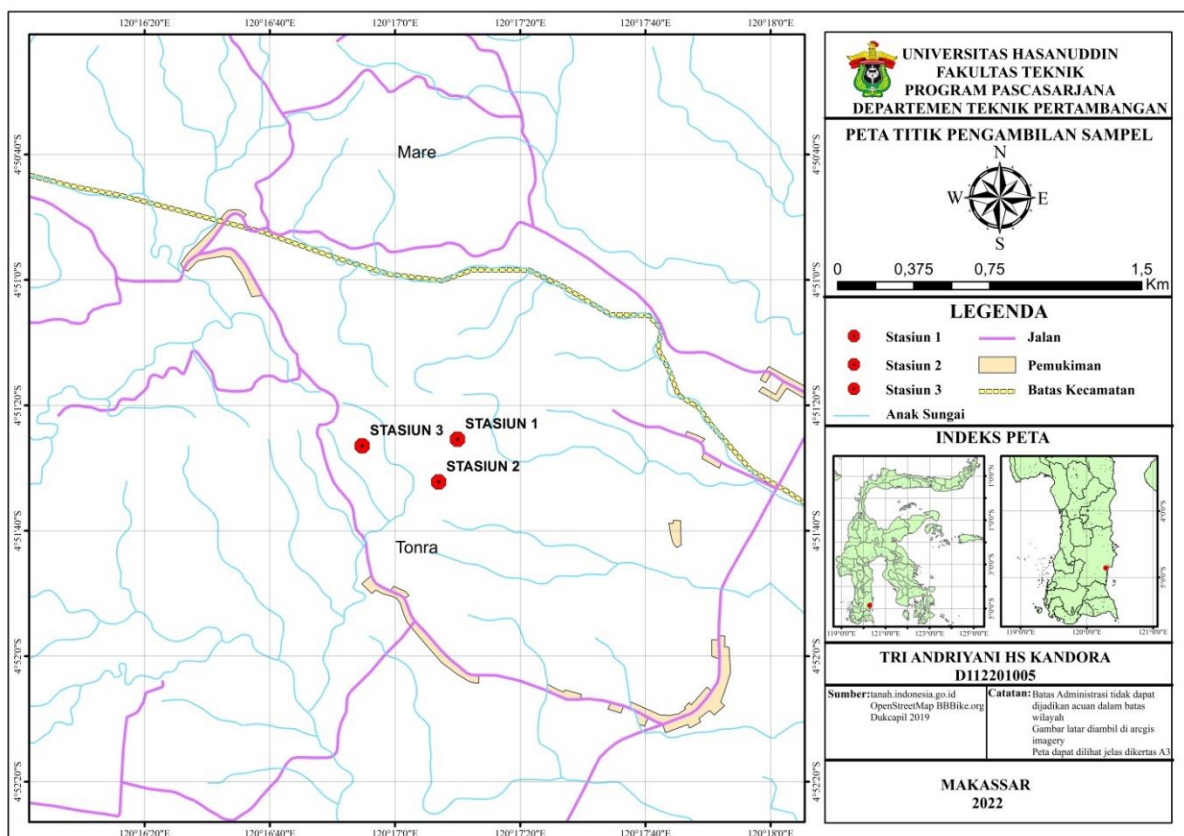
**Keywords:** Argillic; hydrothermal alteration; propylitic; supergene copper.

## Pendahuluan

Di Daerah Tonra, Kabupaten Bone, Sulawesi Selatan terdapat singkapan mineralisasi tembaga supergen yang berada pada anggota Batuan Gunungapi Kalamiseng, dan secara geografis berdekatan dengan bantuan intrusi diorit (Sukanto and Supriatna, 1982). Daerah ini secara geografis berdekatan dengan mineralisasi sulfida tipe urat yang juga mengandung tembaga di Daerah Lappadata Kabupaten Bone yang juga terdapat pada Batuan Gunungapi Kalamiseng (Nur et al.,

2019). Alterasi hidrotermal dapat digunakan untuk menafsirkan dan memahami asal mineralisasi supergen dan mengidentifikasi mineralisasi hipogennya (Chávez, 2000). Alterasi hidrotermal juga dijumpai berasosiasi dengan mineralisasi supergen Daerah Tonra. Sehingga, berdasarkan hal tersebut maka dilakukan penelitian tentang karakteristik alterasi hidrotermal di Daerah Tonra Kabupaten Bone Provinsi Sulawesi Selatan. Penelitian ini meliputi identifikasi jenis-jenis mineral alterasi hidrotermal serta tipe alterasinya dengan menggunakan diagram jenis alterasi oleh Corbett and Leach (1998).

## Metode Penelitian



Gambar 1. Peta lokasi pengambilan sampel.

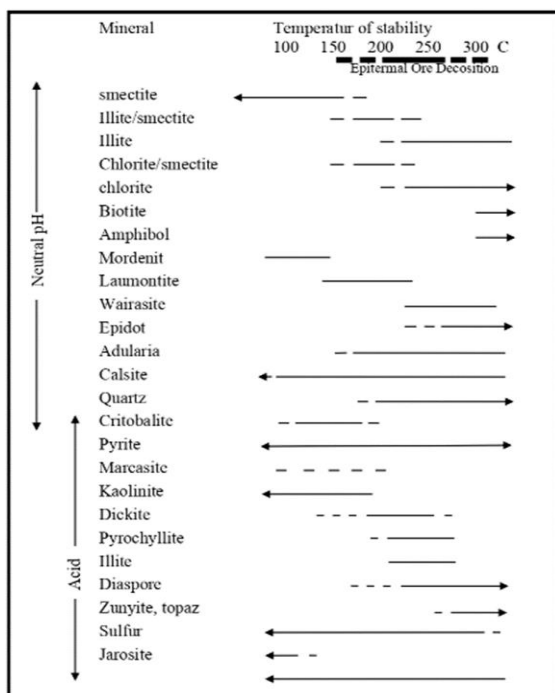
Penelitian ini dilakukan di Daerah Tonra Kecamatan Samaenre Kabupaten Bone Provinsi Sulawesi Selatan pada koordinat  $4^{\circ}51'42,54''$  LS,  $120^{\circ}17'9,42''$  BT Zona 51 (Gambar 1). Metode analisis data pada penelitian ini yaitu menggunakan analisis megaskopis di lapangan, dan analisis laboratorium meliputi analisis mikroskopis

petrografi, dan mineralogi XRD (*X-ray diffraction analysis*). Teknik pengambilan data dengan analisis megaskopis pada singkapan yang mengalami alterasi, kemudian mengambil sampel menggunakan metode *chip sampling*.



Sampel yang diperoleh dari lokasi penelitian kemudian dilakukan preparasi dalam bentuk sayatan tipis (*thin sections*) untuk analisis petrografi dilakukan di Laboratorium Preparasi Batuan, Departemen Teknik Geologi, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin. Sampel dipreparasi menjadi bubuk (*pulverizing*) sebesar 200 mesh menggunakan *agate mortar* di Laboratorium Pengolahan Bahan Galian, Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin.

Berdasarkan himpunan mineral alterasi yang dikenali di bawah mikroskop, maka dibuat pengelompokan dan penamaan tipe alterasi hidrotermal menggunakan klasifikasi diagram jenis alterasi (Corbett and Leach, 1998), serta menjelaskan beberapa mineral-mineral hasil alterasi yang dapat dijadikan petunjuk untuk menentukan kondisi suhu proses hidrotermal terbentuk (Gambar 2), pengelompokan dan penamaan tipe alterasi ini didasarkan pada dominasi atau kelimpahan mineralnya, dan juga mempertimbangkan lokasi keterdapatannya.



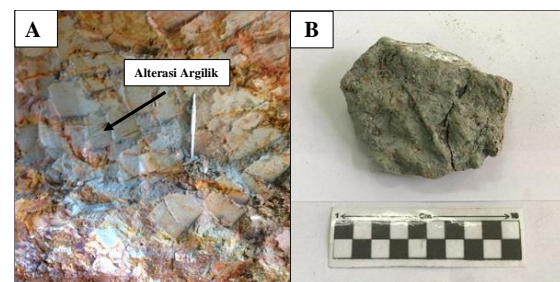
**Gambar 2.** Mineral alterasi penunjuk *temperature* (Hedenquist et al., 1994)

## Hasil dan Pembahasan

Identifikasi mineral-mineral alterasi yang terbentuk di daerah penelitian dilakukan pada sampel-sampel alterasi dari 3 (tiga) stasiun terpilih.

### 1. Zona alterasi kuarsa-kaolinit-illit

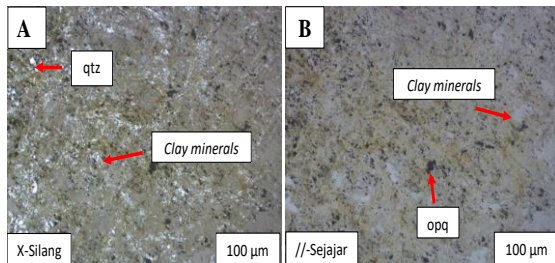
Singkapan teralterasi ditemukan pada titik koordinat  $4^{\circ}51'32,23''$  LS,  $120^{\circ}17'6,98''$  BT Zona 51. Analisis petrografi dan XRD (*X-Ray Diffraction*) dilakukan pada sampel dengan kode ST.1, yaitu pada batuan teralterasi yang mengalami perubahan fisik singkapan berwarna putih hingga kehijauan. Singkapan ini cenderung sangat lunak menunjukkan ubahan dari *clay minerals* (Madi, 2020). Sampel ini diambil di lokasi yang telah ditampilkan pada Gambar 3 (A) Foto singkapan yang lebih dekat (*closed-up*).



**Gambar 3.** (A) Singkapan batuan teralterasi ST.1 (B) Sampel ST.1.

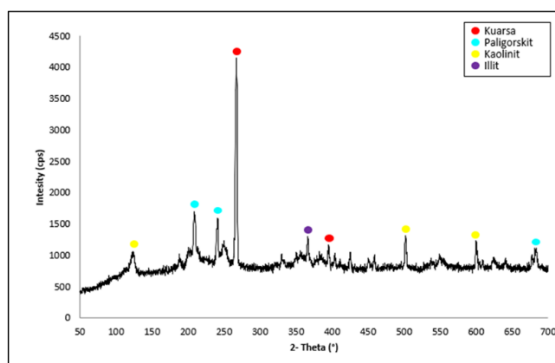
Mineral-mineral alterasi hidrotermal yang dikenali di bawah mikroskop adalah: kuarsa (qtz), *clay mineral*, dan mineral opak (opq). Mineral opak (opq) umumnya tersebar pada massa dasar, berukuran halus ( $< 0,01$  mm), dan terdapat bersama-sama dengan kuarsa (qtz) dan *clay mineral*. Butiran opak yang membentuk himpunan, meng-*overprint* *clay mineral* yang telah me-*replace* mineral primer plagioklas dari batuan beku Diorit berdasarkan geologi regional (Sukamto and Supriatna, 1982). Terlihat pula mineral opak yang membentuk tekstur *dendritic*. Mineral opak berukuran kasar (0,05 – 0,1 mm) umumnya berbentuk euhedral-kubik hingga subhedral. *Clay mineral* merupakan ubahan dari grup mineral lempung dan merupakan

mineral ubahan dari plagioklas dan feldspar pada batuan vulkanik (Ross and Hendricks, 1945) khususnya pada batuan *hostrock* Diorit. Mineral kuarsa hadir sebagai massa dasar kristalin. Fotomikrograf sampel alterasi ST.1 dapat dilihat pada Gambar 4 berikut.



**Gambar 4.** (A) Fotomikrograf ST.1 (x-silang). (B) Fotomikrograf ST.1 (//-sejajar). Mineral yang hadir merupakan himpunan mineral alterasi kuarsa (qtz) dan *clay minerals* dan opak (opq).

Hasil analisis XRD memperlihatkan hadirnya mineral-mineral kuarsa (37,9%), paligorskit (35,2%), kaolinit (13,2%), dan illit (13,7%) yang merupakan grup dari *clay minerals* dan dapat dilihat pada difraktogram Gambar 5. Kumpulan mineral alterasi ini dikategorikan dalam jenis alterasi argilik sesuai dengan klasifikasi dari Corbett and Leach (1998), dan berdasarkan kehadiran mineral alterasi tersebut suhu pembentukan mineral diinterpretasikan berkisar 100 – 300°C (Gambar 2) menunjukkan indikasi alterasi fluida pH asam.

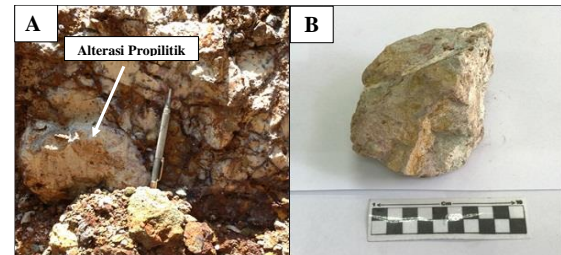


**Gambar 5.** Difraktogram sampel alterasi argilik.

## 2. Zona alterasi klorit-epidot-karbonat

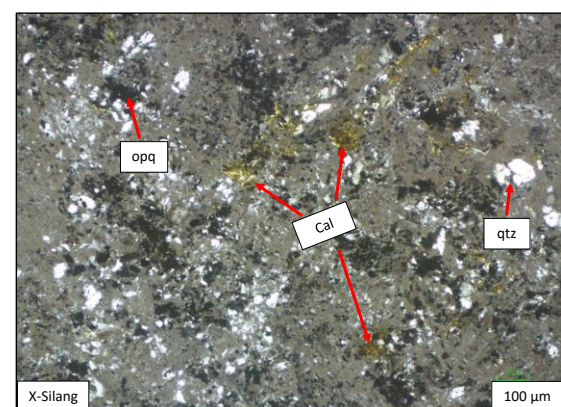
Singkapan ditemukan pada titik koordinat 4°51'25,42" LS, 120°17'9,99" BT Zona 51. Analisis petrografi dan XRD (*X-Ray*

*Diffraction*) dilakukan pada sampel dengan kode ST.2, yaitu pada batuan teralterasi yang mengalami perubahan fisik singkapan berwarna putih hingga kecoklatan, singkapan ini cenderung sangat lunak menunjukkan ubahan dari mineral primernya (Madi, 2020). Sampel ini diambil di lokasi yang telah ditampilkan pada Gambar 6 (A) Foto singkapan yang lebih dekat (*closed-up*).



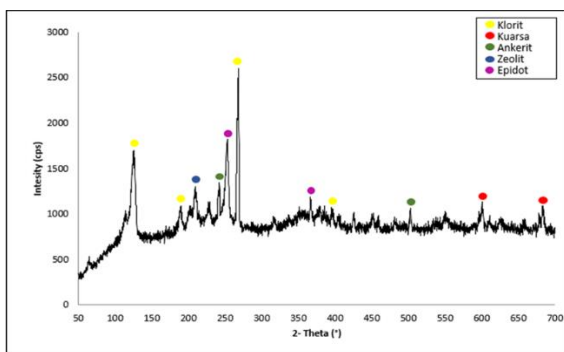
**Gambar 6.** (A) Singkapan batuan teralterasi ST.2 (B) Sampel ST.2.

Mineral-mineral alterasi hidrotermal yang dikenali di bawah mikroskop adalah kuarsa (qtz), kalsit (cal), dan mineral opak (opq). Mineral kalsit (cal) adalah mineral yang mendominasi umumnya tersebar anhedral, berukuran halus (< 0,05 mm) memanjang, mineral kalsit (cal) merupakan mineral karbonat yang *me-replace* mineral plagioklas dan telah mengalami ubahan. Mineral kuarsa hadir sebagai massa dasar kristalin yang telah teralterasi. Fotomikrograf sampel alterasi ST.2 dapat dilihat pada Gambar 7.



**Gambar 7.** Fotomikrograf ST.2 (x-silang) memperlihatkan himpunan mineral alterasi kuarsa (qtz), kalsit (cal), dan mineral opak (opq).

Hasil analisis memperlihatkan hadirnya mineral-mineral klorit (45,8%), kuarsa (26,8%), ankerit (11,1%), zeolit (10,4%), dan epidot (5,9%) dapat dilihat pada difraktogram Gambar 8. Mineral yang menjadi penciri dari alterasi ini yaitu klorit-epidot-karbonat, mineral karbonat yang hadir dalam mikroskopis adalah ankerit. Kumpulan mineral alterasi ini dikategorikan dalam jenis alterasi propilitik sesuai dengan klasifikasi dari Corbett and Leach (1998), dan berdasarkan kehadiran mineral alterasi tersebut suhu pembentukan mineral diinterpretasikan berkisar 150 – 300°C (Gambar 2) menunjukkan indikasi alterasi fluida pH mendekati netral.



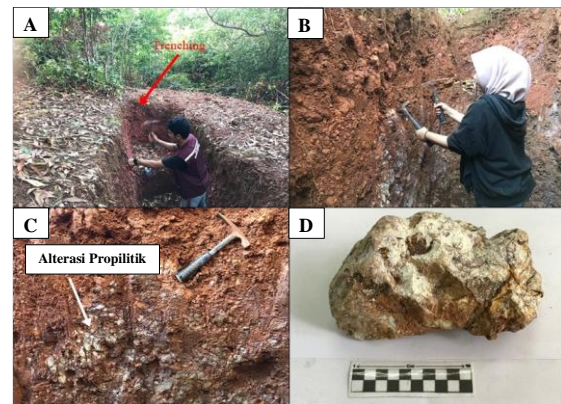
**Gambar 8.** Difraktogram sampel alterasi propilitik.

### 3. Zona alterasi klorit-epidot-karbonat

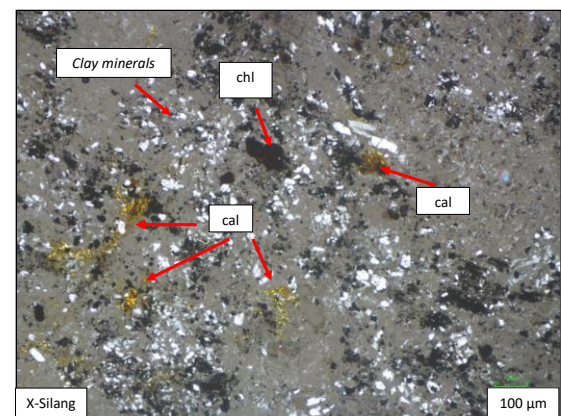
Singkapan ditemukan pada titik koordinat 4°51'26,47" LS, 120°16'54,77" BT Zona 51. Analisis petrografi dan XRD (*X-Ray Diffraction*) dilakukan pada sampel dengan kode ST.3, yaitu pada batuan teralterasi yang mengalami perubahan fisik singkapan berwarna putih hingga kecoklatan. Singkapan ini cenderung sangat lunak menunjukkan ubahan dari lempung (Madi, 2020). Stasiun 3 merupakan singkapan yang berada pada parit uji (*trenching*) penambangan (Gambar 9 A).

Mineral-mineral alterasi hidrotermal yang dikenali di bawah mikroskop adalah *clay minerals* hadir sebagai massa dasar yang telah berubah oleh mineral primernya, mineral kalsit juga hadir sebagai mineral karbonat yang mendominasi, umumnya tersebar dalam bentuk anhedral, berukuran halus (< 0,05 – 0,1 mm). Klorit (chl) hadir

sebagai fenokris dalam bentuk subhedral dengan ukuran (0,1 mm) (Ross and Hendricks, 1945). Fotomikrograf sampel alterasi ST.3 dapat dilihat pada Gambar 10.



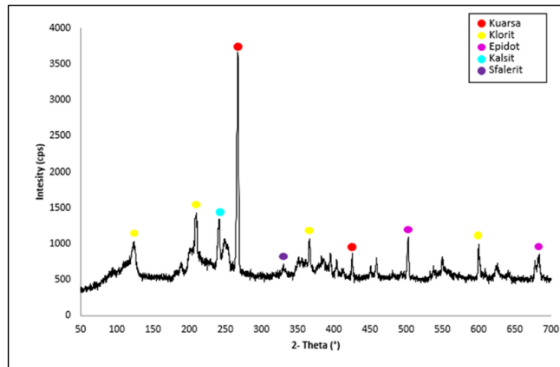
**Gambar 9.** (A) Singkapan alterasi di lokasi *trenching* pada ST.3 (B) Luas lokasi *trenching* ST.3 (C) Singkapan teralterasi ST.4 (D) Sampel ST.3.



**Gambar 10.** Fotomikrograf ST.3 (x-silang) himpunan mineral alterasi pada sampel yaitu *clay minerals*, klorit (chl), dan kalsit (cal).

Hasil analisis memperlihatkan hadirnya mineral-mineral alterasi kuarsa (47,9%), klorit (23,6%), epidot (13,9%), kalsit (13,7%), dan sfalerit (1,0%). Opak yang ditemukan, hasil XRD dapat dilihat pada difraktogram Gambar 11. Mineral sfalerit hadir sebagai bijih seng (Zn) yang terkayakan pada zona mineralisasi dan oksidasi (Sukandarrumidi, 2016). Mineral yang menjadi penciri dari alterasi ini yaitu klorit-epidot-karbonat, mineral karbonat yang hadir dalam mikroskopis adalah kalsit. Kumpulan mineral alterasi ini dikategorikan dalam jenis alterasi propilitik sesuai dengan klasifikasi dari Corbett and

Leach (1998), dan berdasarkan kehadiran mineral alterasi tersebut suhu pembentukan mineral diinterpretasikan berkisar 150 – 300°C (Gambar 2) menunjukkan indikasi alterasi fluida pH netral.



Gambar 11. Difraktogram sampel alterasi propilitik.

Berdasarkan keterdapatannya mineral-mineral alterasi yang hadir sampel yang mengalami alterasi yaitu ST.1, ST.2, dan ST.3, maka dapat dibuat tabulasi himpunan mineral alterasi dan tipe alterasi berdasarkan diagram jenis alterasi oleh Corbett and Leach (1998) seperti pada Tabel 1 di bawah ini menunjukkan tipe alterasi lokasi penelitian adalah argilik dan propilitik.

Tabel 1 Himpunan mineral alterasi dan tipe alterasi.

Sampel	Mineral Alterasi		Mineral Utama	Tipe Alterasi
	Petrografi	XRD		
ST 1	Kuarsa, clay minerals dan opak	Kuarsa, paligorskit, kaolinit dan illit	Kuarsa-kaolinit-illit	Argilik
ST 2	Kalsit, kuarsa dan opak	Klorit, kuarsa, ankerit, zeolit dan epidot	Klorit-epidot-karbonat	Propilitik
ST 3	Clay minerals, klorit, kalsit dan opak	Kuarsa, klorit, epidot, kalsit dan sferit	Klorit-epidot-karbonat	Propilitik

### Kesimpulan

Lokasi penelitian ini berasosiasi dengan alterasi hidrotermal. Di daerah Tonra Kabupaten Bone Provinsi Sulawesi Selatan khususnya di lokasi penelitian terdapat dua

tipe alterasi yaitu argilik dan propilitik. Tipe alterasi argilik dicirikan oleh hadirnya mineral kuarsa-kaolinit-illit, berdasarkan suhu pembentukan berkisar 100 – 300°C dan pH asam. Tipe alterasi propilitik dicirikan oleh mineral klorit-epidot-karbonat, berdasarkan suhu pembentukan berkisar 150 – 300°C dan pH netral.

### Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada seluruh pihak yang telah membantu dalam terlaksananya penelitian ini terutama kepada Bapak Kepala Desa Samaenre Kecamatan Tonra Kabupaten Bone Provinsi Sulawesi Selatan yang telah mengizinkan penulis melakukan penelitian di lokasi tersebut. Kepada rekan-rekan mahasiswa pascasarjana yang telah membantu dalam proses penelitian dan kepada kedua orang tua tercinta yang telah memberikan dukungan doa, materi dan moral kepada penulis.

### Daftar Pustaka

- Chávez, W.X. 2000. Supergene oxidation of copper deposits: zoning and distribution of copper oxide minerals. *SEG Newsletter*. 41, pp.10 – 21.  
<https://pyrite.utah.edu/shortcourses/map2002/Oxide.pdf>
- Corbett, G.J. and Leach, T.M, 1998. Southwest Pacific Rim Gold. Copper System: Structure, Alteration and Mineralization. *Special Publications of The Society of Economic Geologists*. 6.  
<https://doi.org/10.5382/SP.06>
- Hedenquist, J.W., Matsuhisa, Y., Izawa, E., White, N.C., Giggenbach, W.F. and Aoki, M. 1994. Geology, geochemistry, and origin of high sulfidation Cu-Au mineralization in the Nansatsu district, Japan. *Economic Geology*. 89(1), pp.1-30.

- <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.89.1.1>
- Madi, A. 2020. Karakteristik Mineralisasi pada Endapan Hidrotermal Prospek Beringin Halmahera Mineral, Halmahera Utara, Provinsi Maluku Utara. *Jurnal GEOMining*. 1(1), pp.38-48.  
<http://ejournal.unkhair.ac.id/index.php/geomining/article/view/2123>
- Nur, I., Sufriadin., Ilyas, A. and Irfan, U.R. 2019. Hydrothermal Alteration Associated with Vein-Type Sulphide Mineralization at Lappadata Prospect, South Sulawesi, Indonesia: A Preliminary Study. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 676(1), p. 012033.  
<https://doi.org/10.1088/1757-899X/676/1/012033>
- Ross, C.S. and Hendrick, S. 1945. *Minerals of the montmorillonite group, their origin and relation to soils and clays*. Washington: United States Government Printing Office. p.23-79.  
<https://pubs.usgs.gov/pp/0205b/report.pdf>
- Sukamto, R. and Supriatna, S. 1982. *Peta geologi lembar Ujung Pandang, Benteng dan Sinjai, Sulawesi*. Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.  
<https://geologi.esdm.go.id/geomap/pages/preview/peta-geologi-lembar-buton-sulawesi-tenggara>
- Sukandarrumidi. 2016. *Geologi Mineral Logam*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.

## ANALISIS PROFIL BAWAH PERMUKAAN UNTUK IDENTIFIKASI LAPISAN PEMBAWA AIR

Syarifullah Bundang<sup>1\*</sup>, Muhammad Fawzy Ismullah Massinai<sup>2</sup>, Firman<sup>1</sup>, Wahyu Hidayat<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Pertambangan, Universitas Khairun, Ternate, Indonesia

<sup>2</sup>Departemen Geofisika, Universitas Hasanuddin, Makassar, 90245, Indonesia

<sup>3</sup>Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi – Pusat Teknologi Sumberdaya Mineral (BPPT-PTPSM), Serpong, Indonesia

\*Corresponding author. Email: syarifullah@unhair.ac.id

Manuscript received: 27 July 2022; Received in revised form: 15 October 2022; Accepted: 26 October 2022

### Abstrak

Desa Bungaiya merupakan salah satu desa di Kabupaten Gowa. Daerah tersebut berada pada Formasi Batuan Gunungapi Baturape-Cindako. Salah satu yang menjadi permasalahan di daerah pegunungan yaitu batuan penyusunnya berupa produk vulkanik. Hal tersebut menjadi penyebab keberadaan air tanah atau lapisan akuifer berada pada lapisan yang dalam. Sementara kebutuhan akan air itu sangat vital bagi masyarakat, baik itu untuk kebutuhan keseharian maupun untuk pertanian. Salah satu metode geofisika yaitu geolistrik dapat digunakan untuk melihat secara detail profil bawah permukaan suatu daerah, sehingga memudahkan untuk mengidentifikasi lapisan pembawa air. Tujuan dari penelitian ini yaitu mengidentifikasi keberadaan lapisan pembawa air berdasarkan data geolistrik resistivitas (tahanan jenis). Metode yang digunakan adalah geolistrik resistivitas, konfigurasi *Wenner* sebanyak 2 lintasan dengan panjang pengukuran setiap lintasan yaitu 470 m dan spasi 10 m. Hasil interpretasi pada lintasan 1, terdapat 3 lapisan, yaitu breksi vulkanik dengan nilai resistivitas  $85,6 - 2.203,19 \Omega\text{m}$  dan kedalaman antara 1,2 – 68 m, lapisan ke 2 tufa dengan nilai resistivitas  $9,82 - 59,68 \Omega\text{m}$ , kedalaman 12 – 76 m dan lapisan ke 3 yaitu breksi vulkanik, nilai resistivitas  $85,6 - 176 \Omega\text{m}$ . Lintasan 2 terdapat 2 lapisan, yaitu lapisan 1 kedalaman 1,2 – 42 m dengan nilai resistivitas  $93 - 490,41 \Omega\text{m}$  merupakan breksi vulkanik dan lapisan 2 pada kedalaman 1,2 – 78,8 m dengan nilai resistivitas  $30,9 - 77,67 \Omega\text{m}$  diinterpretasikan sebagai tufa. Lapisan 1 dan lapisan 2 memperlihatkan adanya kesamaan profil bawah permukaan. Berdasarkan hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa lapisan yang berfungsi sebagai lapisan pembawa air yaitu tufa dengan nilai resistivitas  $9,82 - 77,67 \Omega\text{m}$ .

**Kata Kunci:** akuifer; breksi vulkanik; geolistrik; tufa; *wenner*.

### Abstract

Bungaiya village is a village located in Gowa Regency which has volcanic rock lithology with one of the problems faced in volcanic rocks is that the rock porosity is small so that this layer cannot be an aquifer zone. But the water needs needed by the community for agriculture are very large. Geoelectric is a geophysical method that can be used to describe subsurface profiles, especially aquifer layers. The purpose of this study is to interpret using the geoelectric resistivity method, is the *Wenner* configuration method as many as 2 lines with a length of 470 m and a space of 10 m. The interpretation results on Line 1, there are 3 layers, are volcanic breccia with resistivity values of  $85.6 - 2.2013.19 \Omega\text{m}$  and depths between 1.2 – 68 m, layer 2 of tuff with resistivity values of  $9.82 - 59.68 \Omega\text{m}$ , depth of 12 – 76 m and the third layer is a volcanic breccia, resistivity value is  $85.6 - 176 \Omega\text{m}$ . Line 2 has 2 layers, are the first layer with a depth of 1.2 – 42 m with a resistivity value of  $93 - 490.41 \Omega\text{m}$  which is a volcanic breccia. The second layer at a depth of 1.2 – 78.8 m with a resistivity value of  $30.9 - 77, 67 \Omega\text{m}$  is tuff. Layers

1 and 2 show a similar subsurface profile. Based on these results, it can be concluded that the layer that functions as a water-carrying layer is tuff with a resistivity value of 9.82 – 77.67  $\Omega\text{m}$ .

**Keywords:** aquifers; geoelectric; tuff; volcanic breccia; Wenner.

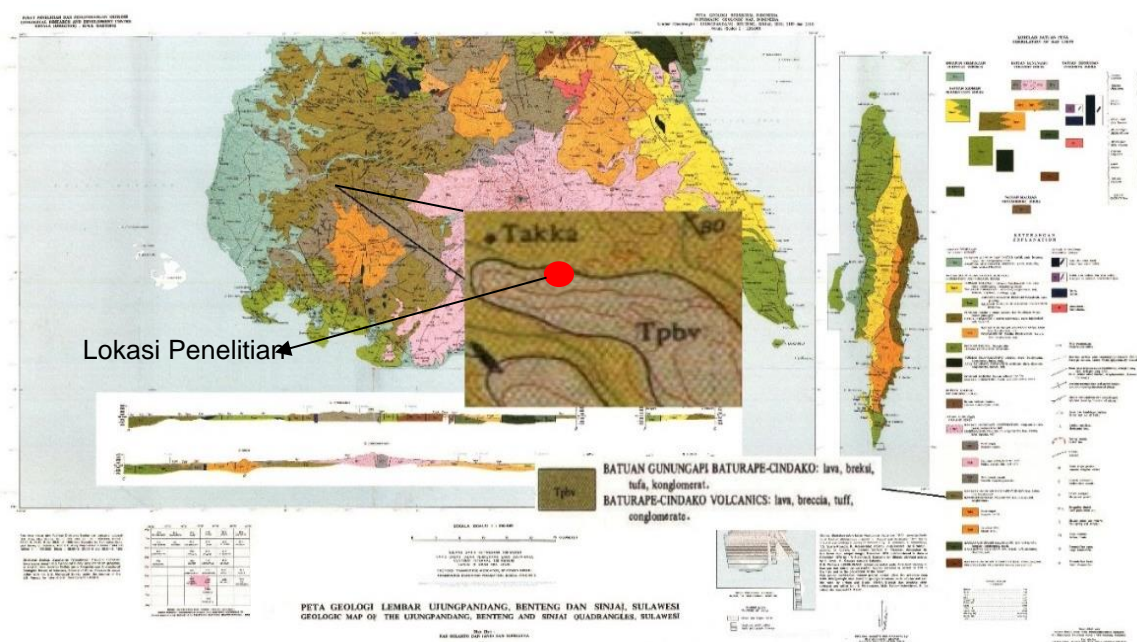
## Pendahuluan

Sebagian besar air berada di bawah permukaan tanah, yaitu lebih dari 98% dari semua air di daratan dan sebanyak 2% terdapat di permukaan, seperti air di sungai dan danau (Mohammad dkk., 2016). Air tanah ini memiliki peranan yang sangat penting karena menjadi sumber air utama untuk memenuhi kebutuhan pokok hidup orang banyak.

Perlu dilakukan penyelidikan yang detail dalam pengetahuan kondisi geologi dan hidrogeologi guna memperoleh hasil yang maksimal, karena keterdapatannya dan potensi air tanah di setiap daerah memiliki

karakteristik tersendiri (Husain dan Sultan, 2012). Batuan yang menjadi lapisan pembawa air dapat diidentifikasi berdasarkan nilai resistivitas dengan menggunakan metode geolistrik resistivitas (Sedana dkk., 2015).

Berdasarkan analisis pada peta geologi dan lokasi penelitian (Gambar 1), lokasi penelitian berada pada Formasi Batuan Gunungapi Baturape-Cindako. Menurut Sukamto dan Supriatna (1982) formasi tersebut tersusun dari batuan lava dan breksi dengan sisipan sedikit tufa dan konglomerat. Singkapan batuan pada lokasi penelitian didominasi oleh batuan vulkanik.



**Gambar 1.** Peta geologi lokasi penelitian modifikasi (Sukamto dan Supriatna, 1982).

Beberapa penelitian akuifer pada daerah produk vulkanik, seperti penelitian yang dilakukan oleh Husain dan Sultan (2012) menyimpulkan bahwa lapisan akuifer berada pada kedalaman 70 – 150 m, penelitian yang dilakukan oleh Winarti (2013), menunjukkan bahwa akuifer berada pada kedalaman 50 – 140 m, Hasil

penelitian yang dilakukan oleh Purnama dan Noval (2017) menunjukkan bahwa akuifer berada pada kedalaman 50 – 100 m. Beberapa riset tersebut menunjukkan bahwa akuifer pada daerah dengan penyusun batuan vulkanik berada pada kedalaman, sehingga sangat penting dilakukan survei geolistrik untuk mengidentifikasi

keberadaan lapisan pembawa air sebelum dilakukan pemboran, mengingat bahwa lokasi tersebut disusun oleh batuan vulkanik.

Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengidentifikasi keberadaan lapisan pembawa air berdasarkan data geolistrik resistivitas (tahanan jenis).

### *Geologi Daerah Penelitian*

Lokasi penelitian termasuk dalam Formasi Batuan Gunungapi Baturape Cindako. Daerah penyelidikan merupakan bentuk morfologi perbukitan bergelombang dengan ketinggian berkisar antara 200 mdpl sampai 300 mdpl yang sebagian besar ditumbuhi oleh tanaman kebun. Perbukitan bergelombang memiliki kemiringan lereng dengan kisaran landai sampai agak curam yang sangat dipengaruhi oleh tingkat kelapukan batuan penyusunnya (Sukanto dan Supriatna, 1982).

Formasi Batuan Gunung Api Baturape Cindako merupakan batuan dari hasil erupsi gunungapi baik berupa efusif maupun eksplosif (Husain dan Sultan, 2012). Formasi ini terdiri dari lava dan breksi, dengan sisipan sedikit tufa dan konglomerat Bersusunan basal, sebagian besar porfiri dengan fenokris piroksen besar-besar sampai 1 cm dan sebagian kecil tansatmata, kelabu tua kehijauan hingga hitam warnanya; lava sebagian berkekar maniang dan sebagian berkekar lapis, pada umumnya breksi berkomponen kasar, dari 15 cm sampai 60 cm, terutama basal dan sedikit andesit, dengan semen tufa berbutir kasar sampai lapili, banyak mengandung pecahan piroksen. Satuan ini tidak kurang dari 1.250 m tebalnya dan berdasarkan posisi stratigrafinya kira-kira berumur Pliosen Akhir (Sukanto dan Supriatna, 1982).

### *Sifat Batuan Sebagai Reservoir*

Berdasarkan sifat fisik lapisan batuan dan perlakuannya sebagai media aliran

air, maka lapisan batuan tersebut dapat dibedakan menjadi empat yaitu (Asmaranto, 2012) :

1. Akuifer (*aquifer*)
2. Akuitar (*Aquitards*)
3. Akuiklud (*Aquiclude*)
4. Akuifug (*Aquifuge*)

Sangat penting dilakukan pengelolaan air tanah, disesuaikan dengan perilaku airtanah meliputi keterdapatan, penyebaran, ketersediaan, dan kualitas airtanah serta lingkungan keberadaannya. Pengelolaan airtanah perlu diarahkan untuk mewujudkan keseimbangan antara pendayagunaan airtanah dan upaya konservasi (Hendrayana dan Putra, 2008).

### *Geolistrik Tahanan Jenis (Resistivitas)*

Metode geolistrik adalah metode yang menggunakan prinsip kelistrikan untuk mengidentifikasi kondisi bawah permukaan. (Telford et al., 1990). Pengamatan geolistrik merupakan bagian dari penelitian geofisika yang digunakan untuk penyelidikan bawah permukaan. Prinsip pengukuran metode geolistrik adalah dengan mengukur sifat kelistrikan batuan (Dobrin and Savit, 1988).

Survei resistivitas menggambarkan kondisi bawah permukaan berdasarkan distribusi nilai resistivitas. Interpretasi terhadap gambaran resistivitas bawah permukaan untuk menjadi sebuah gambaran geologi, sangat diperlukan pengetahuan seperti, membedakan tipe material dan kenampakan geologinya berdasarkan nilai resistivitas sangat dibutuhkan (Telford et al., 1990).

Nilai resistivitas batuan dipengaruhi oleh derajat kekompakan dan kandungan fluida yang mengisi batuan. Nilai dari beberapa jenis batuan biasanya mengalami tumpeng tindih. Hal ini disebabkan karena resistivitas dari batuan dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu: kandungan lempung, keterdapatan air tanah, jenis dan karakteristik fisik batuan, mineralogi

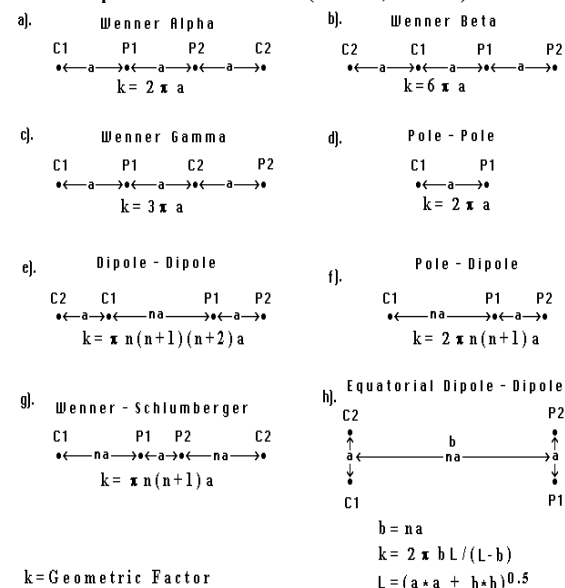


batuan, dan sebagainya. Berikut nilai resistivitas batuan (Tabel 1).

**Tabel 1.** Nilai resistivitas batuan (Sedana dkk., 2015).

No.	Jenis Batuan	Resistivitas ( $\Omega\text{m}$ )
1	Lempung	1 – 100
2	Lanau	10 – 200
3	Batu Lumpur	3 – 70
4	Kuarsa	$10 - 2 \times 10^8$
5	Batu Pasir	1 – 1.000
6	Batu Kapur	100 – 500
7	Lava	$100 - 5 \times 10^4$
8	Air Tanah	0.5 – 300
9	Breksi	75 – 200
10	Andesit	100 – 200
11	Tufa	20 – 100
12	Konglomerat	$2 \times 10^3 - 10^4$

Berikut beberapa jenis konfigurasi elektroda dan faktor geometrinya dapat dilihat pada Gambar 2 (Loke, 2001).



**Gambar 2.** Jenis konfigurasi dan faktor geometri (Loke, 2001).

### Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Bungaya Kabupaten Gowa, Provinsi Sulawesi Selatan (Gambar 3). Secara geografis terletak pada koordinat  $119^{\circ}35'54,71''$  BT dan  $5^{\circ}19'1,97''$  LS –  $119^{\circ}36'7,46''$  BT dan  $5^{\circ}19'9,7''$  LS.

Metode yang dilakukan pada penelitian ini yaitu dengan memadukan hasil-hasil kajian

literatur, penelitian sebelumnya dan data lapangan, yang nantinya akan dilakukan pengkajian dan analisis untuk menarik suatu kesimpulan tentang kondisi profil bawah permukaan di lokasi penelitian untuk mengidentifikasi keberadaan lapisan pembawa air.

Data lapangan berupa, pengamatan singkapan batuan dan pengukuran geolistrik resistivitas (tahanan jenis), konfigurasi Wenner sebanyak 2 lintasan dengan panjang masing – masing lintasan yaitu 470 m dan spasi elektroda 10 m.

Data yang diperoleh akan dilakukan analisis. Analisis secara megaskopis dilakukan pada singkapan batuan untuk menentukan jenis batuan. Data hasil pengukuran geolistrik diolah kemudian dilakukan analisis untuk menentukan jenis lapisan bawah permukaan.

### Hasil dan Pembahasan

#### Analisis Singkapan Batuan

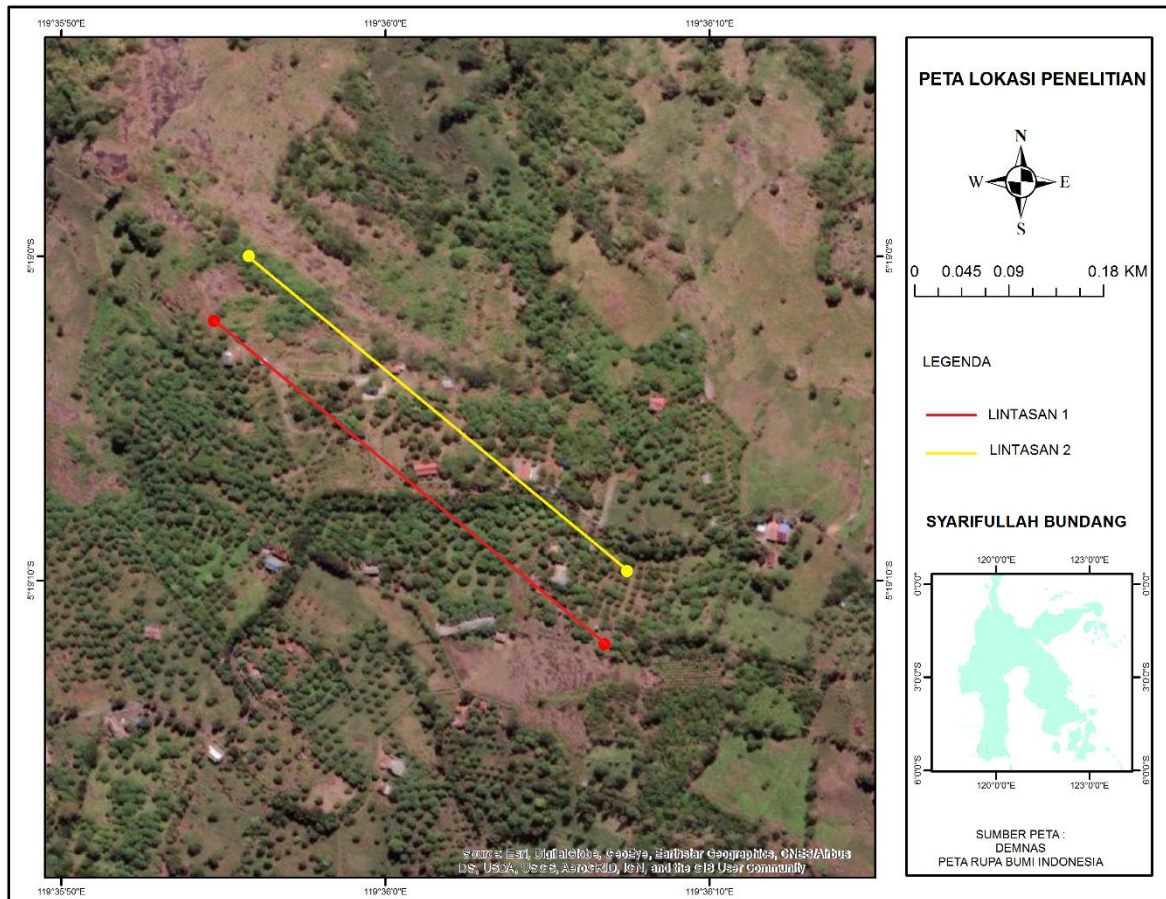
Tujuan dilakukannya analisis singkapan batuan untuk melakukan interpretasi profil bawah permukaan dari pengukuran geolistrik. Analisis singkapan batuan dilakukan dengan metode deskripsi megaskopis.

Lokasi penelitian berada pada Formasi Batuan Gunungapi Baturape-Cindako yang merupakan hasil erupsi gunungapi. Formasi ini terdiri dari lava dan breksi, dengan sisipan sedikit tufa dan konglomerat (Sukanto dan Supriatna, 1982).

Hasil pengamatan singkapan batuan pada lokasi penelitian (Gambar 4) menunjukkan ciri fisik warna segar hitam, tekstur piroklastik, fragmen batuan vulkanik dengan bentuk fragmen subangular-angular dan ukuran matriks 0,5 – 2 mm tufa. Singkapan tersebut diklasifikasikan sebagai batuan Breksi Vulkanik berdasarkan klasifikasi WTG. Hasil tersebut

menunjukkan kesamaan dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Afasedanja (2020) pada formasi yang sama, penelitian tersebut melakukan deskripsi singkapan batuan secara megaskopis dan mikroskopis, hasilnya menunjukkan bahwa singkapan batuan berupa Breksi Vulkanik (basalt dan tufa). Hasil petrografis pada sayatan basalt terdiri dari mineral piroksin, horblende,

plagioklas, mineral opak dan pada sayatan *vitric tuff* terdiri dari mineral biotit, horblende, kuarsa, gelas vulkanik. Singkapan batuan breksi pada lokasi penelitian memperlihatkan pori yang sangat kecil dikarenakan ukuran matriks yang sangat kecil dan terlihat adanya perselingan dengan lava.



Gambar 3. Peta lokasi penelitian.



Gambar 4. Singkapan batuan di lokasi penelitian.

*Analisis Data Resistivitas*

Pengukuran geolistrik dilakukan sebanyak dua lintasan, dengan hasil sebagai berikut:

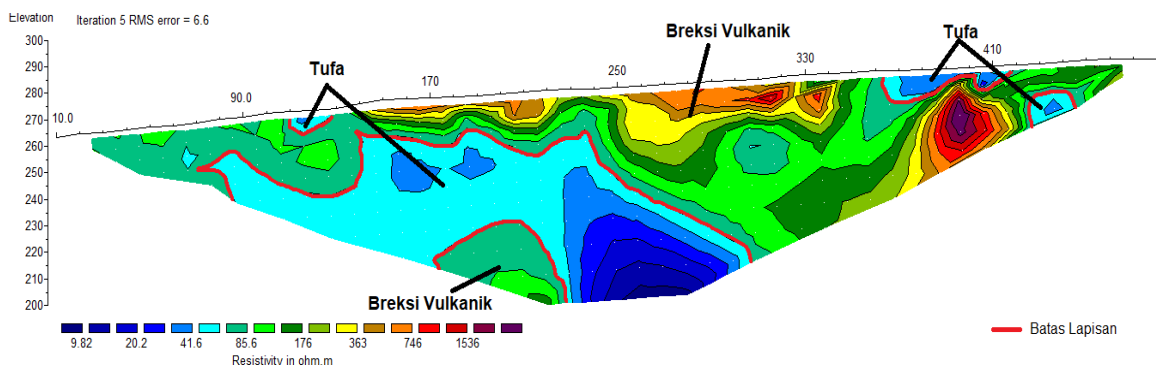
1. Lintasan 1

Pengukuran pada lintasan 1 dilakukan pada titik koordinat 119°35'54,71" BT dan 05°19'1,97" LS – 119°36'6,76" BT dan 05°19'11,96" LS dengan arah lintasan barat laut – tenggara. Interpretasi dilakukan berdasarkan data nilai tahanan jenis, singkapan batuan, literatur geologi regional, informasi dari masyarakat dan referensi tentang geolistrik. Hasil pengukuran dan pengolahan data diperoleh penampang resistivitas 2D (Gambar 5) dengan nilai resistivitas 9,82 Ωm – 2.203,19 Ωm dan penetrasi kedalaman 78,8 m.

Berdasarkan penampang resistivitas pada gambar 5 profil bawah permukaan lokasi penelitian diinterpretasikan terdapat

beberapa litologi batuan penyusun (Tabel 2):

1. Pada titik ukur 15 – 464 m dengan nilai resistivitas 85,6 – 2.203,19 Ωm, kedalaman yang bervariasi mulai dari kedalaman 1,2 – 68 m diinterpretasikan sebagai sebagai breksi vulkanik. Hasil interpretasi tersebut menunjukkan kesamaan litologi dengan hasil deskripsi megaskopis singkapan batuan pada lokasi pengukuran.
2. Nilai resistivitas 9,82 – 59,68 Ωm pada titik ukur 60 – 290 m diinterpretasikan sebagai batuan tufa. Keberadaan batuan tersebut berada pada kedalaman bervariasi antara 12 – 76 m. Batuan yang diinterpretasikan tufa juga ditemui tersingkap di permukaan pada beberapa titik, seperti pada titik ukur 110 – 128 m dan 363 – 419 m.
3. Pada titik ukur 170 – 225 m, kedalaman 38 – 78,8 m diinterpretasikan sebagai breksi vulkanik dengan nilai resistivitas 85,6 – 176 Ωm.



**Gambar 5.** Penampang resistivitas lintasan 1.

**Tabel 2** Litologi batuan berdasarkan interpretasi geolistrik resistivitas.

No	Litologi	Resistivitas (Ωm)	Kedalaman (m)
1	Breksi vulkanik	85,6 – 2.203,19	1,2 – 68
2	Tufa	9,82 – 59,68	12 – 76
3	Breksi vulkanik	85,6 – 176	38 – 78,8

Hasil interpretasi profil bawah permukaan pada lintasan 1 dapat disimpulkan bahwa litologi yang menjadi lapisan pembawa air yaitu tufa.

2. Lintasan 2

Pengukuran pada lintasan 2 dilakukan pada titik koordinat 119°35'55,79" BT dan

05°18'59,96" LS – 119°36'7,46" BT dan 05°19'9,70" LS dengan arah lintasan barat laut – tenggara. Interpretasi hasil pengukuran geolistrik dilakukan berdasarkan data nilai resistivitas, singkapan batuan, referensi geologi regional, informasi masyarakat dan literatur tentang geolistrik. Berdasarkan hasil pengukuran dan pengolahan data diperoleh

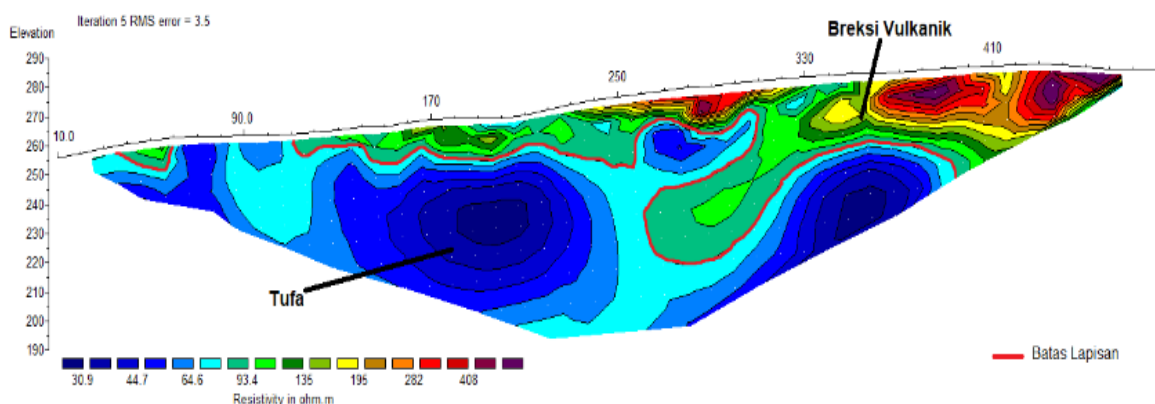
penampang resistivitas 2D (Gambar 6) dengan nilai resistivitas terendah 30,91  $\Omega\text{m}$  dan terbesar yaitu 490,41  $\Omega\text{m}$  dan penetrasi kedalaman 78,8 m.

Berdasarkan penampang resistivitas pada Gambar 6 profil bawah permukaan diinterpretasikan terdapat beberapa litologi batuan penyusun (Tabel 3):

1. Pada titik ukur 111 – 464 m dengan nilai resistivitas 93 – 490,41  $\Omega\text{m}$ , kedalaman bervariasi antara 1,2 – 42 m diinterpretasikan sebagai sebagai breksi vulkanik. Hasil interpretasi tersebut

menunjukkan kesamaan litologi dengan hasil deskripsi megaskopis singkapan batuan pada lokasi pengukuran. Pada titik ukur 35 – 60 m juga ditemukan litologi yang sama.

2. Nilai resistivitas 30,91 – 77,67  $\Omega\text{m}$  pada titik ukur 25 – 390 m diinterpretasikan sebagai batuan tufa. Keberadaan batuan tersebut berada pada kedalaman bervariasi antara 1,2 – 78,8 m. Batuan yang diinterpretasikan tufa tersebut ditemui tersingkap di permukaan, seperti pada titik ukur 62 – 110 m.



**Gambar 6.** Penampang resistivitas lintasan 2.

**Tabel 3** Litologi batuan berdasarkan interpretasi geolistrik resistivitas.

No	Litologi	Resistivitas ( $\Omega\text{m}$ )	Kedalaman (m)
1	Breksi Vulkanik	93 – 490,41	1,2 – 42
2	Tufa	30,91 – 77,67	1,2 – 78,8

Hasil interpretasi profil bawah permukaan pada lintasan 2 dapat disimpulkan bahwa litologi yang menjadi lapisan pembawa air yaitu tufa.

Hasil analisis data resistivitas lintasan 1 dan 2, secara umum memperlihatkan adanya kesamaan. Hal tersebut dikarenakan lintasan pengukuran yang memiliki jarak yang dekat yaitu 75 m. Hasil interpretasi pada penampang resistivitas memperlihatkan nilai resistivitas yang cukup tinggi pada lapisan breksi vulkanik di beberapa titik diperkirakan karena faktor mineral penyusun batuan tersebut, yang dari hasil pengamatan lapangan terlihat batuan breksi vulkanik memiliki fragmen dengan ukuran yang besar. Fragmen tersebut adalah batuan beku. Hasil

pengamatan petrografis yang dilakukan oleh Afasedanja (2020) pada batuan breksi vulkanik di Formasi Batuan Gunungapi Baturape-Cindako menunjukkan bahwa fragmen batuan breksi vulkanik tersebut adalah Basal. Menurut Bundang dkk. (2020), nilai resistivitas suatu batuan relatif tinggi karena dipengaruhi oleh keberadaan mineral silika dan menurut Yuwono (1990) yang melakukan penelitian pada batuan vulkanik, hasil petrografi, mineralogi dan kimia batuan menunjukkan bahwa kandungan mineral silika ( $\text{SiO}_2$ ) sangat tinggi yaitu  $>58\%$ .

Hasil penelitian tersebut terkonfirmasi adanya kesamaan dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Massinai dkk. (2019) tentang tipologi system akuifer gunung api

yang dilakukan di Desa Bissoloro. Lokasi tersebut sekitar 1000 m dari lokasi penelitian ini dan dilakukan pada formasi yang sama. Menurut Massinai dkk. (2019) litologi breksi berselingan dengan lava memiliki nilai resistivitas  $76 - 2.203,19 \Omega\text{m}$  dan batuan tufa memiliki nilai resistivitas  $12,47 - 75 \Omega\text{m}$  serta menyimpulkan bahwa litologi yang menjadi lapisan akuifer yaitu tufa.

Beberapa penelitian lain yang dilakukan pada daerah vulkanik menunjukkan hasil yang sama, seperti penelitian yang dilakukan oleh Bundang dkk. (2020) dengan menggunakan metode geolistrik dan *electrical logging*. Hasil pengukuran geolistrik diinterpretasikan bahwa batuan breksi vulkanik memiliki nilai resistivitas  $460 - 927 \Omega\text{m}$  dan hasil *electrical logging* breksi vulkanik memiliki nilai resistivitas  $262 - 495 \Omega\text{m}$ . Menurut Husain dan Sultan (2012) pada penelitian yang dilakukan di formasi yang sama yaitu Formasi Batuan Gunungapi Baturape-Cindako dengan menggunakan korelasi data resistivitas dan hasil *cutting* pemboran menginterpretasikan bahwa tufa pasir memiliki nilai resistivitas  $45 - 80 \Omega\text{m}$  dan lapisan tersebut yang menjadi lapisan pembawa air. Penelitian dengan menggunakan metode geomagnet di formasi yang sama dilakukan oleh Nurdin dkk. (2017) menyimpulkan bahwa salah satu litologi daerah tersebut merupakan batuan piroklastik dengan tufa sebagai salah satu penyusunnya.

Hasil analisis kedua penampang resistivitas tersebut menyimpulkan bahwa litologi yang berperan sebagai lapisan pembawa air yaitu tufa dengan nilai resistivitas antara  $9,82 - 77.67 \Omega\text{m}$ .

### Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis data resistivitas dari pengukuran geolistrik dapat disimpulkan bahwa profil bawah permukaan terdiri dari beberapa litologi,

yaitu breksi vulkanik ( $85,6 - 2.203,19 \Omega\text{m}$ ) dengan kedalaman bervariasi  $1,2 - 18 \text{ m}$  bahkan terdapat breksi vulkanik pada kedalaman  $45 \text{ m}$ , tufa ( $9,8 - 77.67 \Omega\text{m}$ ) kedalaman bervariasi yaitu  $1,2 - 28 \text{ m}$ . Litologi yang menjadi lapisan pembawa air yaitu tufa.

### Ucapan Terima Kasih

Kami ucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu terlaksananya penelitian ini.

### Daftar Pustaka

- Afasedanja, M.T. 2020. Hubungan Morfologi dengan Mekanika Properties (Batuan Vulkanik) terhadap Kestabilan Lereng pada Daerah Aliran Sungai Jeneberang Provinsi Sulawesi Selatan. *Jurnal Teknik AMATA*. 1(1), pp.5 – 10. [https://ojs.pat.ac.id/index.php/Amata\\_amamapare/article/view/20](https://ojs.pat.ac.id/index.php/Amata_amamapare/article/view/20)
- Asmaranto, R. 2012. *Identifikasi Air Tanah (Groundwater) Menggunakan Metode Resistivity (Geolistrik with IP2WIN Software)*. Malang: Universitas Brawijaya.
- Bundang, S., Azikin, B. dan Sultan. 2020. Korelasi Data Geolistrik dan Electrical Logging untuk Analisis Ketebalan Lapisan Batuan Piroklastik di Desa Watang Pulu, Kecamatan Suppa, Kabupaten Pinrang. *Jurnal Geocelebes*. 4(2), pp.134-143. <https://doi.org/10.20956/geocelebes.v4i2.11324>
- Dobrin, B.M. and Savit, C.H. 1988. *Introduction to Geophysical Prospecting, 4<sup>th</sup> ed.* New York: McGraw Hill Book Company.
- Hendrayana, H. dan Putra, D.P.E. 2008. *Konservasi Air Tanah*. Yogyakarta: Universitas Gajah Mada.
- Husain, J.R. dan Sultan. 2012. *Analisis Cutting Bor dan Nilai Resistivity Batuan untuk Penentuan Letak Pipa*

- Saringan Pada Sumur Bor di Daerah Kampus Unhas Tamalanrea Kota Makassar. In: Prosiding Hasil Penelitian Fakultas Teknik vol 6.
- Loke, M.H. 2001. *Tutorial: 2-D and 3-D Electrical Imaging Surveys*. <http://www.geotomosoft.com/downloads.php>
- Massinai, M.A., Bundang, S., Massinai, M.F.I. dan Hidayat, W. 2019. Tipologi Sistem Akuifer Gunungapi. *Jurnal Geomine*. 7(2), pp.124 – 132. <https://doi.org/10.33536/jg.v7i2.346>
- Mohammad, F., Mardiana, U., Yuniardi, Y., Firmansyah, Y. dan Alfadli, K. 2016. Potensi Air Tanah Berdasarkan Nilai Resistivitas Batuan di Kelurahan Cangkorah, Kecamatan Batujajar, Kabupaten Bandung Barat. *Bulletin of Scientific Contribution*. 14(2), pp.141-152. <http://jurnal.unpad.ac.id/bsc/article/view/9799>
- Nurdin, N.H., Massinai, M.A. dan Aswad, S. 2017. Identifikasi Pola Sebaran Intrusi Batuan Bawah Permukaan Menggunakan Metode Geomagnet di Sungai Jenelata Kabupaten Gowa. *Jurnal Geoelebes*. 1(1), pp.17 – 22. <https://doi.org/10.20956/geoelebes.v1i1.1776>
- Purnama, A. dan Noval, A. 2017. Kajian Potensi Air Tanah dengan Pengujian Geolistrik di Desa Telonang Kabupaten Sumbawa Barat. *Jurnal SAINTEK UNSA*. 2(1), pp.1 – 14. <https://osf.io/preprints/inarxiv/654n9/>
- Sedana, D., As'ari. dan Tanauma, A. 2015. Pemetaan Akuifer Air tanah di Jalan Ringroad, Kelurahan Malendeng dengan Menggunakan Metode Geolistrik Tahanan Jenis. *Jurnal Ilmiah Sains*.15(2), pp.33 – 37. <https://doi.org/10.35799/jis.15.1.2015.6778>
- Sukamto, R. dan Suriatna, S. 1982. *Peta Geologi Lembar Ujung Pandang, Benteng dan Sinjai, Sulawesi*. Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Direktorat Jenderal Pertambangan Umum Departemen Pertambangan dan Energi. <https://geologi.esdm.go.id/geomap/pages/preview/peta-geologi-lembar-buton-sulawesi-tenggara>
- Telford, W.M., Geldart, L.P. and Sheriff, R.E. 1990. *Applied Geophysics 2<sup>nd</sup> ed.* Cambridge: Cambridge University Press.
- Winarti. 2013. Metode Geolistrik untuk Mendeteksi Akuifer Air Tanah di Daerah Sulit Air (Studi Kasus di Kecamatan Takeran, Pancol dan Parang, Kabupaten Magetan. *Jurnal Angkasa*. 5(1), pp.83 – 94. [https://repository.itny.ac.id/id/eprint/3267/1/METODE\\_GEOLISTRIK\\_UNTUK\\_MENDETEKSI\\_AKUIFER\\_AIRTANA.pdf](https://repository.itny.ac.id/id/eprint/3267/1/METODE_GEOLISTRIK_UNTUK_MENDETEKSI_AKUIFER_AIRTANA.pdf)
- Yuwono, Y.S. 1990. *Produk Vulkanik Pare-pare (Sulawesi Selatan)*. di: PIT XIX IAGI, 11-13 Desember 1990, Bandung: Proc.PIT IAGI.

# ANALISIS GETARAN TANAH UNTUK MENGURANGI KERUSAKAN AKIBAT PELEDAKAN PADA TAMBANG TERBUKA

Tohirin, Andy Erwin Wijaya, Rizqi Prastowo\*

Teknik Pertambangan, Fakultas Teknologi Mineral, ITNY, Indonesia

\*Corresponding author. Email: [rizqi@itny.ac.id](mailto:rizqi@itny.ac.id)

Manuscript received: 28 January 2022; Received in revised form: 20 August 2022; Accepted: 13 October 2022

## Abstrak

Peledakan merupakan salah satu dari kegiatan penambangan yang bertujuan untuk memberikan atau melepaskan batuan dari batuan induknya. Pada umumnya kegiatan peledakan menimbulkan sejumlah bahaya yang salah satunya adalah getaran (*ground vibration*). Pengukuran getaran harus dilakukan setiap kali peledakan dilaksanakan. Tujuan dari penulisan ini adalah untuk mengetahui faktor yang mempengaruhi *ground vibration* dan mengetahui cara untuk mengurangi tingkat getaran tanah yang diakibatkan oleh peledakan. Penelitian ini dilakukan di suatu tambang batubara di PT. Bukit Asam pada Pit TSBC Tanjung Enim Sumatera Selatan. Data diperoleh dengan pengambilan data lapangan dan sekunder. Penentuan nilai PPV dan *powder factor* sesuai dengan SNI 7571:2010. Rekomendasi isian muatan bahan peledak per lubang untuk mengurangi nilai PPV agar di bawah 3 mm/s adalah jarak 900 maksimal muatan 34 kg menghasilkan PPV 2,98 mm/s, jarak 950 maksimal muatan 36 kg menghasilkan PPV 2,83 mm/s, jarak 1000 maksimal muatan 40 kg menghasilkan PPV 2,84 mm/s, jarak 1050 maksimal muatan 44 kg menghasilkan PPV 2,83 mm/s. Hubungan nilai *scaled distance* dan PPV aktual di lapangan dengan regresi *power* didapatkan nilai  $K = 28942506$  dan  $m = -3,187$ . Maka untuk mendapatkan nilai PPV  $< 3$  mm/s dengan jarak pengukuran 1000 meter dari lokasi perumahan karyawan, dibutuhkan isian bahan peledak per lubang 39 – 42 kg dengan nilai *powder factor* 0,116 – 0,124 kg/BCM. Melalui isian bahan peledak yang direkomendasikan tersebut masih dapat memberai batuan dengan baik.

**Kata Kunci:** Peledakan; *ground vibration*; PPV; *scaled distance*,

## Abstract

Blasting is one of the mining activities that aims to scatter or release the rock from its parent. In general, explosions are some hazards, one of which is ground vibration. Vibration measurements must be made each time a blast is carried out. This paper aims to determine the factors that affect ground vibrations and find out how to reduce ground vibrations caused by explosions. This research was conducted at a coal mine at PT. Bukit Asam at the Tanjung Enim TSBC Pit, South Sumatra. Data were obtained by taking field and secondary data. Determination of PPV and powder factor values according to SNI 7571:2010. The recommendation for a perforated explosive charge to reduce the PPV distance value to below 3 mm/s is a distance of 900, a maximum load of 34 kg produces a PPV of 2.98 mm/s, a distance of 950, a maximum load of 36 kg produces a PPV of 2.83 mm/s, a maximum of 1000 a load of 40 kg produces a PPV of 2.84 mm/s, a distance of 1050 and a maximum load of 44 kg produces a PPV of 2.83 mm/s. The relationship between the value of the scaled distance and the actual PPV in the field with power regression, the value of  $K = 28942506$  and  $m = -3.187$ . Then to get the PPV value  $< 3$  mm/s with a measurement distance of 1000 meters from the employee housing location, stuffing is needed. Blast

hole 39 – 42 kg with a powder factor value of 0.116 – 0.124 kg/BCM. Through this actual explosive charge, it can still diffuse well.

**Keywords:** Blasting; ground vibration; PPV; scaled distance.

## Pendahuluan

PT. Bukit Asam Tbk. hingga saat ini masih menggunakan metode peledakan dalam pengupasan *overburden* dan *interburden*. Kegiatan peledakan dilakukan bertujuan untuk memecah atau membongkar batuan yang keras pada kedudukan semula menjadi material lepas dengan ukuran fragmentasi tertentu, sehingga alat (unit) mudah untuk menggali (Tjan et al., 2021). Melalui kegiatan peledakan, proses produksi alat gali muat akan lebih cepat dalam peningkatan produktivitas kerja.

Getaran tanah (*ground vibration*) adalah gelombang yang bergerak di dalam tanah yang disebabkan oleh adanya sumber energi (Rudini, 2013). Sumber energi tersebut dapat berasal dari alam atau non alam, seperti gempa bumi atau adanya aktivitas manusia, sumber energi non alam adalah salah satunya adalah kegiatan peledakan (Carlos et al., 1987). Getaran tanah (*ground vibration*) terjadi pada daerah *elastic (elastic zone)* sesuai dengan sifat elastis material maka bentuk dan volume akan kembali ke keadaan semula setelah tak ada tegangan yang bekerja. Perambatan tegangan pada daerah elastis akan menimbulkan gelombang getaran. Getaran tanah ini pada tingkat tertentu bisa menyebabkan terjadinya kerusakan struktur di sekitar lokasi peledakan (Maryura et al., 2014).

Getaran tanah yang dihasilkan dari operasi peledakan ini dapat menimbulkan permasalahan seperti kerusakan pada bangunan pemukiman warga, perumahan karyawan, *office*, pada wilayah sekitar *site* pertambangan. Selain itu getaran tanah memiliki dampak untuk kestabilan lereng yang dapat berakibat terjadinya lonsoran pada daerah sekitar tempat operasi

peledakan (Rudini, 2013). Salah satu permasalahan yang dapat terkena dampak dari getaran tanah (*ground vibration*) akibat peledakan adalah perumahan karyawan (*townsite*) yang lokasinya berjarak 1000 m dari lokasi. Jarak ini cukup dekat dengan lokasi kegiatan peledakan. Oleh karena itu penelitian ini bertujuan untuk mengetahui tingkat keamanan kegiatan peledakan yang dilakukan di PT. Bukit Asam pada Pit TSBC Tanjung Enim Sumatera Selatan bagi perumahan karyawan sekitar area penambangan yang diinginkan oleh perusahaan dan sesuai dengan keputusan menteri ESDM nomor 1827/K/MEM/2018. (Keputusan Menteri ESDM Nomor/1827/K/MEM/2018, 2018).

## Metode Penelitian

### Tahap Pengambilan Data

Data yang diperoleh dari lapangan meliputi data primer dan data sekunder. Data primer terdiri dari massa isian lubang ledak, geometri peledakan, koordinat lapangan, jarak sumber ledakan dengan alat perekaman dan getaran tanah. Geometri peledakan terdiri dari *burden* (B), spasi (S), diameter lubang (D), dan ketinggian lubang (H). Sedangkan data sekunder adalah data bahan peledak, acuan standar peledakan, dan pola peledakan. Pengukuran getaran tanah dilakukan dengan menggunakan alat Blastmate III, dengan akurasi 0,5 mm/s (Instantel, 2009). Pengambilan data lapangan berupa kecepatan gelombang actual lapangan atau disebut dengan *Peak Particle Sum* (PVS). PVS merupakan penjumlahan kecepatan puncak gelombang pada gelombang vertical (V), longitudinal (L), dan transversal (T), diperoleh dengan menggunakan Persamaan 1.

$$PVS = (V^2 + L^2 + T^2)^{0,5} \quad (1)$$



Nilai PVS inilah yang digunakan pada pengolahan data dan penentuan isian bahan peledak. Dalam penelitian ini PVS juga sama dengan *peak particle velocity* (PPV) aktual.

*Tahap Pengolahan Data*

Pengolahan data (data sekunder) diolah dengan menggunakan *software Shotplus* dan *Microsoft Excel* untuk menentukan jumlah bahan peledak yang meledak secara serentak. Data nilai PPV dan isian bahan peledak kemudian dihitung dengan teori *scaled distance* (SD) ditunjukkan pada Persamaan 2 (Yin et al., 2018):

$$SD = \frac{D}{\sqrt{W}} \quad (2)$$

dengan D adalah jarak dari perekam dengan sumber ledakan (m) dan W adalah jumlah bahan peledak/delay (kg).

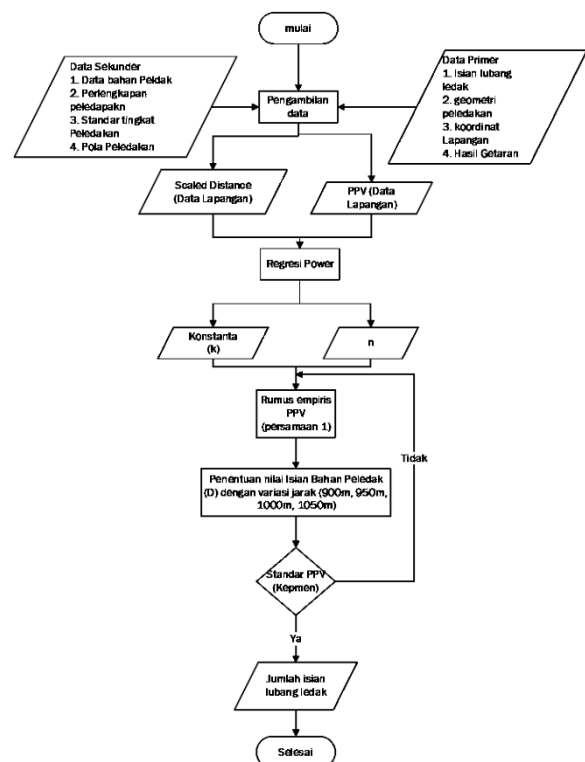
Regresi *power* digunakan untuk mendapatkan persamaan hubungan antara nilai PPV vs *scaled distance*. Analisis tersebut bertujuan untuk mengetahui nilai yang didapatkan sudah memenuhi standar getaran yaitu di atas 50%. Melalui hubungan antara nilai PPV vs *scaled distance* Persamaan ini akan digunakan untuk mengkaji metode peledakan yang ada dari segi isian bahan peledaknya, dan membuat rancangan isian bahan peledak yang tepat untuk mendapatkan nilai PPV yang ditetapkan. Namun hal ini jika memungkinkan untuk diterapkan. Hasil hubungan antara nilai PPV dan *Scaled Distance* akan ditampilkan dalam bentuk grafik.

*Tahap Analisis Data*

Hubungan antara nilai *Scaled distance* (SD) dan nilai *peak particle velocity* (PPV) menggunakan analisis regresi *power* mendapatkan nilai konstanta (k) dan nilai n selanjutnya nilai k dan nilai n tersebut dihitung menggunakan rumus empiris pada Persamaan 3 (Yin et al., 2018):

$$PPV = k \left( \frac{\sqrt{W}}{D} \right)^n \quad (3)$$

untuk mendapatkan persamaan nilai jarak peledakan D dengan variasi jarak 900 m, 950 m, 1000 m, 1050 m dan persamaan nilai W untuk penentuan berat isian bahan peledak dengan variasi 34 kg, 36 km, 38 kg, 40 kg, 42 kg, 44 kg. Setelah mengkaji nilai D dan W, jika nilai PPV yang didapatkan belum memenuhi standar Kepmen dan standar perusahaan, akan dikaji ulang dengan merubah varian isian bahan peledak dan jarak peledakan sehingga mendapatkan nilai PPV yang ditetapkan. Seluruh tahapan ini dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diaram alir penelitian.

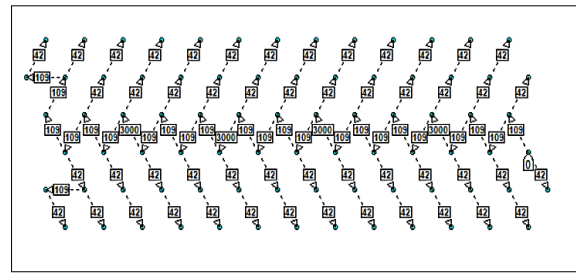
**Hasil dan Pembahasan**

Peledakan dilakukan sebanyak 18 kali peledakan di lokasi Pit *Township Basecamp* (TSBC) PT Bukit Asam (Persero) Tbk. Hal ini bertujuan untuk memperoleh data yang minim *noise*, maka selama kegiatan peledakan tidak terdapat penggunaan *subdrilling*. Dalam satu lubang ledak terdiri dari panjang *stemming* dan panjang isian bahan peledak. *Burden* (B) dan spasi (S) setiap peledakan selalu sama yaitu berturut

– turut 7 meter dan 8 meter. Sedangkan kedalaman lubang ledak yaitu rata-rata 7 m dan diameter lubang 6,75 inches.

Kegiatan peledakan yang dilakukan menggunakan pola pemboran selang – seling (*staggered patern*), sedangkan pola rangkaian peledakan yang digunakan adalah *echelon cut* dan pola inisiasi *row by row* dengan menggunakan *surface delay detonator 42 ms, 67 ms dan 109 ms* serta *inhole delay detonator 500 ms, 3000 ms dan 6000 ms*. Sistem rangkaian menggunakan system nonel (non elektrik) dengan pemicu awal ledakan berupa elektrik *detonator* yang disambungkan ke *blasting machine* menggunakan *lead wire*. Peledakan tidak dilakukan dengan satu kali peledakan, melainkan dilakukan bertahap atau dibuat menjadi beberapa *initiation point* (IP) yang dilakukan secara bergantian setelah dilakukan pengecekan. Detonator yang digunakan dikombinasikan guna untuk mendapatkan hasil peledakan yang baik berupa arah lemparan peledakan dan penentuan jumlah lubang ledak yang meledak secara bersamaan dalam periode waktu tunda 8 ms. Hal ini dilakukan agar

vibrasi semakin kecil. Pola rangkaian peledakan dapat dilihat pada Gambar 2 di bawah ini.



Gambar 2 Rangkaian nonel.

Pengukuran di lapangan menggunakan alat ukur yaitu *Blastmate* dan *micromate* untuk mengukur getaran dan suara akibat peledakan (Instantel, 2009). Setiap peledakan di PT. Bukit Asam selalu dilakukan pengukuran getaran guna untuk memastikan peledakan yang dilakukan selalu aman bagi perumahan karyawan sekitar. Lokasi pengukuran dilakukan di pemukiman terdekat dari Pit *townsite basecamp*, *Blastmate* didesain untuk dapat mengukur dan mencatat getaran tanah dan suara akibat peledakan dengan tepat. Hasil pengukuran getaran tanah dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil pengukuran getaran di Pit Townsite Basecamp (TSBC).

Tanggal	B (m)	S (m)	Lubang ledak		Peak Particle Velocity (mm/s)			PVS (mm/s)	Jarak Pengukuran	Jumlah Lubang	Anfo (kg)
			D (inch)	H (m)	Transversal	Vertikal	Longitudinal				
6-Nov-20	7	8	6,75	7,0	2,696	2,301	2,018	3,069	1037	130	37,04
9-Nov-20	7	8	6,75	7,0	1,340	1,033	1,836	1,894	1234	80	37,04
10-Nov-20	7	8	6,75	7,0	1,474	1,356	1,167	1,663	1216	87	37,10
13-Nov-20	4	5	6,75	7,5	1,316	0,828	0,883	1,322	1262	41	42,58
16-Nov-20	7	8	6,75	7,5	0,993	1,017	0,583	1,223	1233	49	36,71
18-Nov-20	7	8	6,75	7,5	1,813	1,789	1,852	2,403	1051	136	36,96
20-Nov-20	7	8	6,75	7,5	2,128	1,103	1,316	2,197	1161	74	36,46
25-Nov-20	7	8	6,75	7,5	2,617	2,175	1,939	3,319	1075	95	37,04
30-Nov-20	7	8	6,75	7,5	1,781	1,017	0,977	1,881	1075	77	37,10
1-Dec-20	7	8	6,75	7,5	1,001	0,638	0,638	1,031	1025	60	37,04
2-Dec-20	7	8	6,75	7,5	1,482	1,844	1,371	1,847	1103	81	36,90
4-Dec-20	6	7	6,75	7,0	0,599	0,512	0,638	0,775	1489	103	47,51
5-Dec-20	6	7	6,75	7,0	0,520	0,292	0,497	0,546	1490	93	47,50
15-Dec-20	8	8	6,75	7,0	0,552	0,335	0,410	0,656	1510	130	37,04
18-Dec-20	7	8	6,75	8,0	1,206	0,851	1,111	1,351	1533	110	42,33
21-Dec-20	6	7	6,75	8,0	0,504	0,363	0,394	0,598	1800	127	47,50
23-Dec-20	6	7	6,75	7,5	0,670	0,646	0,481	0,757	1533	68	47,85
31-Dec-20	5	6	6,75	7,0	1,009	0,473	0,638	1,029	1387	120	47,61

Pada rumus *scale distance*, faktor yang paling mempengaruhi nilai PPV adalah isian bahan peledak dan jarak pengukuran. Hubungan antara jarak dan getaran tanah

(*peak particle velocity*) dapat dilihat bahwa semakin jauh jarak antara lokasi peledakan dan lokasi pengukuran, maka getaran tanah yang dihasilkan akan semakin kecil.

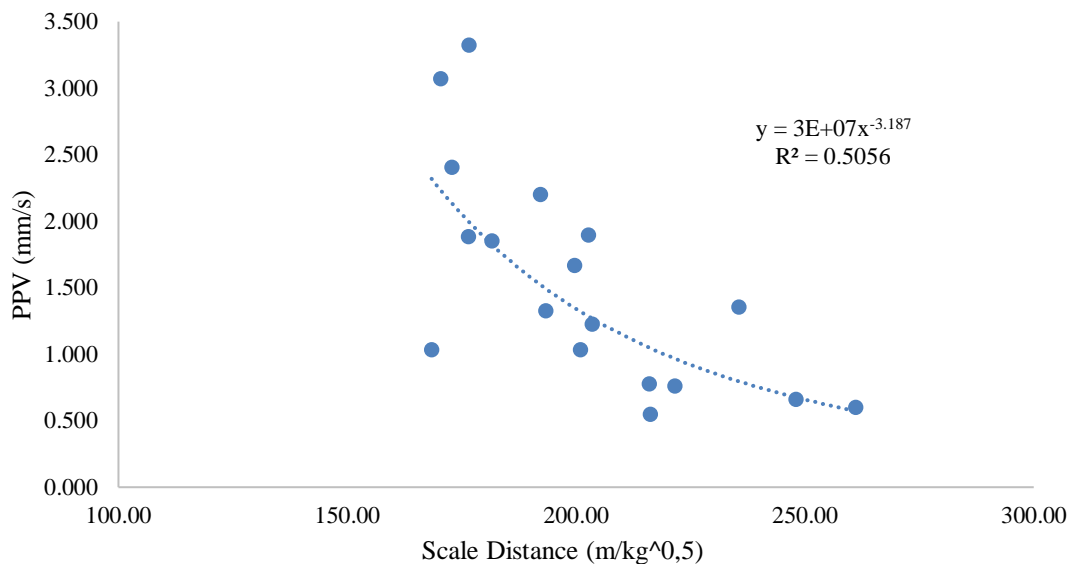
Hubungan ini menguatkan teori tentang hubungan antar jarak serta jumlah bahan peledak dengan getaran tanah yang dihasilkan aktivitas peledakan. Penggunaan penjumlahan bahan peledak dapat dioptimalkan dengan melakukan penelitian tentang distribusi berat bahan peledak per waktu tunda dan 72 hubungan jarak terhadap besaran getaran tanah yang dihasilkan suatu aktivitas peledakan atau yang disebut *scale distance*. Berikut perhitungan *scaled distance* selama penelitian dapat dilihat pada Tabel 2.

Salah satu metode yang digunakan untuk menentukan hubungan sebab akibat antara satu variabel dengan variabel yang lain adalah dengan menggunakan analisis regresi. Analisis ini telah digunakan secara luas dalam analisis PPV karena dengan metode regresi dapat digunakan untuk memprediksi konstanta pada persamaan PPV. Nilai PPV merupakan variabel terikat dan *scaled distance* merupakan variabel

bebas. Grafik antara getaran tanah PPV aktual dan nilai SD memperlihatkan hubungan antara kedua variabel tersebut. Grafik hubungan antara nilai *peak particle velocity* dan *scaled distance* dapat dilihat pada Gambar 3 di bawah ini

**Tabel 2.** *Scaled distance* selama penelitian.

Tanggal	Jarak M	Isian/ Lubang (kg)	nilai SD (m/kg <sup>1/2</sup> )	PPV Aktual
6-Nov-20	1037	37,04	170,40	3,069
9-Nov-20	1234	37,04	202,77	1,894
10-Nov-20	1216	37,10	199,64	1,663
13-Nov-20	1262	42,58	193,40	1,322
16-Nov-20	1233	36,71	203,50	1,223
18-Nov-20	1051	36,96	172,88	2,403
20-Nov-20	1161	36,46	192,28	2,197
25-Nov-20	1075	37,04	176,64	3,319
30-Nov-20	1075	37,10	176,49	1,881
1-Dec-20	1025	37,04	168,42	1,031
2-Dec-20	1103	36,90	181,58	1,847
4-Dec-20	1489	47,51	216,02	0,775
5-Dec-20	1490	47,50	216,19	0,546
15-Dec-20	1510	37,04	248,11	0,656
18-Dec-20	1533	42,33	235,63	1,351
21-Dec-20	1800	47,50	261,17	0,598
23-Dec-20	1533	47,85	221,62	0,757
31-Dec-20	1387	47,61	201,01	1,029



**Gambar 3.** Grafik hubungan antara *scaled distance* dan PPV.

Data hasil pengukuran perlu disesuaikan dengan kurva yang akan dipakai karena penyesuaian tersebut memberikan interpretasi secara matematis mengenai hubungan antara dua variabel. Melalui persamaan kurva yang diperoleh dapat digunakan untuk memprediksi harga

variabel terikat yaitu PPV. Jenis kurva yang sesuai terhadap data hasil pengukuran PPV dan *scaled distance* adalah kurva berpangkat *power*. Hal tersebut dikarenakan bentuk persamaan PPV merupakan fungsi berpangkat ( $y=ax^b$ ). Penentuan persamaan empiris dari PPV dan

*scaled distance* dapat dilakukan dengan menggunakan kurva linier dan kurva berpangkat *power* untuk memprediksi nilai getaran tanah (Rudini, 2013).

Hasil analisis hubungan antara SD dan PPV aktual didapatkan dari hasil pengukuran getaran di lapangan. Berdasarkan hasil pengukuran pada saat penelitian berlangsung maka didapatkan PPV maksimal sebesar 3,319 mm/s. Hasil pengukuran tersebut masih berada pada ambang batas aman yang telah ditentukan oleh perusahaan yaitu untuk di Pit (TSBC) adalah 4 mm/s dan untuk standar SNI yaitu 5 mm/s untuk bangunan dengan pondasi pasangan bata dan adukan semen diikat dengan *slope* beton (SNI 7571:2010, 2010). Pada Gambar 3 menunjukkan bahwa terdapat hubungan yang kuat antara SD dan getaran tanah aktual (PPV) yaitu setiap penurunan nilai SD diikuti dengan peningkatan nilai PPV aktual. Koefisien determinasi ( $R^2$ ) dari analisis data tersebut menunjukkan angka 0,558 yang berarti bahwa PPV aktual dipengaruhi oleh SD sebesar 55,8 %. Konstanta yang didapatkan pada persamaan untuk nilai PPV prediksi yaitu  $K = 28942506$  dan  $n = -3,187$ . Nilai konstanta tersebut dapat digunakan untuk menghitung prediksi getaran yang akan dihasilkan pada peledakan selanjutnya. Dengan menggunakan persamaan yang telah didapatkan, maka dapat dilakukan prediksi nilai tingkat getaran tanah dengan mengatur nilai isian per delay pada rumus prediksi nilai PPV sehingga didapatkan isian yang optimum dengan jarak yang telah ditentukan.

Berdasarkan rumus yang sama, dilakukan perhitungan nilai (K) pada data yang didapatkan selama September dan November 2020. Nilai (K) diperoleh dengan regresi *power* pada *Microsoft office excel* yaitu adalah 28.942.506 dan nilai (n) -3,187 sehingga Persamaan 3 menjadi

$$PPV = 28.942.506 \left( \frac{\sqrt{w}}{D} \right)^{3,187} \quad (4)$$

Berdasarkan rumus tersebut, dapat ditentukan jumlah optimal bahan peledak per lubang dengan jarak pengukuran 1000 m, yang jarak tersebut merupakan perumahan Karyawan. Untuk mendapatkan nilai PPV <3 mm/s dapat ditentukan seberapa banyak jumlah bahan peledak per lubang. Batas aman PPV menurut perusahaan adalah standar SNI yaitu 5 mm/s namun untuk lebih aman lagi penulis merancang PPV <3 mm/s. Rancangan tersebut hanya berlaku untuk material di Pit *Townsite Basecamp* (TSBC) karena konstanta yang didapat adalah dari hasil pengukuran getaran sebelumnya. Dapat dilihat pada Tabel 3 – Tabel 6 berikut :

**Tabel 3.** Rancangan isian perlubang jarak 900 meter.

No	Jarak (m)	Isian Lubang (kg)	K	SD (m/kg <sup>1/2</sup> )	PPV (mm/s)
1	900	34	28942506	154,35	2,98
2	900	36		150,00	3,36
3	900	38		146,00	3,66
4	900	40		142,30	3,97
5	900	42		138,87	4,30
6	900	44		135,68	4,63
7	900	46		132,70	4,97

Rancangan pada jarak 900 meter mendapatkan berat isian yang optimal untuk PPV di bawah 3 mm/s adalah seberat 34 kg dengan PPV 2,98 mm/s.

**Tabel 4.** Rancangan isian perlubang jarak 950 meter.

No	Jarak (m)	Isian Lubang (kg)	K	SD (m/kg <sup>1/2</sup> )	PPV (mm/s)
1	950	34	28942506	162,92	2,58
2	950	36		158,33	2,83
3	950	38		154,11	3,08
4	950	40		150,21	3,35
5	950	42		146,59	3,62
6	950	44		143,22	3,89
7	950	46		140,07	4,18

Rancangan pada jarak 950 meter mendapatkan berat isian yang optimal untuk PPV di bawah 3 mm/s adalah seberat 34 sampai 36 kg dengan PPV 2,58 dan 2,83 mm/s.

**Tabel 5.** Rancangan isian perlubang jarak 1000 meter.

No	Jarak (m)	Isian Lubang (kg)	K	SD (m/kg <sup>1/2</sup> )	PPV (mm/s)
1	1000	34	28942506	171,50	2,19
2	1000	36		166,67	2,40
3	1000	38		162,22	2,62
4	1000	40		158,11	2,84
5	1000	42		154,30	3,07
6	1000	44		150,76	3,31
7	1000	46		147,44	3,55

Rancangan pada jarak 1000 meter mendapatkan berat isian yang optimal untuk PPV di bawah 3 mm/s adalah seberat 34 sampai 40 kg dengan PPV 2,19 dan 2,84 mm/s.

**Tabel 6.** Rancangan isian perlubang jarak 1050 meter.

No	Jarak (m)	Isian Lubang (kg)	K	SD (m/kg <sup>1/2</sup> )	PPV (mm/s)
1	1050	34	28942506	180,07	1,88
2	1050	36		175,00	2,06
3	1050	38		170,33	2,24
4	1050	40		166,02	2,43
5	1050	42		162,02	2,63
6	1050	44		158,29	2,83
7	1050	46		154,81	3,04

Rancangan pada jarak 1050 meter mendapatkan berat isian yang optimal untuk PPV di bawah 3 mm/s adalah seberat 34 sampai 44 kg dengan PPV 1,88 dan 2,83 mm/s.

*Range* isian bahan peledak disesuaikan pada operasi peledakan pada bulan November dan Desember yaitu pada saat penelitian dengan *range* isian 36 sampai 38 kg per lubangnya. Lokasi perumahan karyawan yang terdekat yaitu area Masjid *Townsite* dengan jarak 900 sampai 1050 meter. Pada rancangan untuk mencari isian bahan peledak optimal dengan PPV di bawah 3 mm/s dengan perhitungan prediksi dan konstanta yang sudah didapat diperoleh dengan analisis regresi *power*. Nilai rancangan untuk berat isian bahan peledak

yang optimal untuk mendapatkan nilai PPV sesuai dengan SNI dan standar perusahaan dapat ditunjukkan pada Tabel 3 – 6 pada sel kolom berwarna biru.

Apabila dipersempit lagi untuk wilayah pengukurannya jarak perumahan karyawan yaitu berjarak >1000 m, maka dari Tabel 3 – 6 dapat ditarik kesimpulan :

1. Bahan isian peledak yang optimal untuk PPV di bawah 3 ms pada jarak 900 meter adalah 34 kg
2. Bahan isian peledak yang optimal untuk PPV di bawah 3 ms pada jarak 950 meter adalah 34-46 kg
3. Bahan isian peledak yang optimal untuk PPV di bawah 3 mm/s pada jarak 1000 meter adalah 34-40 kg namun sudah memasuki Kawasan perumahan karyawan.

Untuk mempermudah pengisian bahan peledak dengan jarak > 1000 meter dibatasi dengan angka maksimal 40 kg jadi :

1. Pengukuran pada jarak 950 m optimal bahan peledaknya 34 – 36 kg
2. Pengukuran pada jarak 1000 m optimal bahan peledaknya 36 – 40 kg

Perhitungan *powder factor* menggunakan data yang didapat pada saat penelitian yaitu untuk lubang ledak diambil yang terbanyak pada saat penelitian dan daya gel sesuai dengan yang ada di perusahaan. *Powder factor* yang diperoleh dari isian 40 kg dengan jarak 1000 m adalah 0,121 BCM yang dapat mengurangi getaran tetapi masih sanggup untuk memberai batuan dengan baik yang ada di Pit *Townsite Basecamp* (TSBC). Rekomendasi nilai PPV <3 mm/s dengan muatan perlubang maksimal 40 kg mampu menghasilkan *powder factor* yang masih tergolong dapat memberai batuan dengan baik dan sesuai standar perusahaan yaitu 0,116 – 0,124 kg/BCM sesuai yang ditampilkan pada Tabel 7.

**Tabel 7.** Rancangan perhitungan *Powder Factor*.

Isian/ Lubang (kg)	Jumlah Lubang Ledak	Total isian (kg)	Burden (m)	Spasi (m)	Kedalaman (m)	Daya gel (0,182kg/pcs)	Volume (BCM)	<i>Powder Factor</i> (kg/BCM)
42	150	6300	6	7.5	7.5	49,14	50625	0,124
41	140	5740	6	7.5	7.5	45,5	47250	0,121
40	130	5200	6	7.5	7.5	36,4	43875	0,119
39	120	4680	6	7.5	7.5	27,3	40500	0,116

PPV yang dihasilkan dengan isian 42 – 39 kg adalah < 3 mm/s

## Kesimpulan

Berdasarkan uraian analisis dan pembahasan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut: Pertama, hasil analisis hubungan antara nilai SD dan PPV aktual yang didapat dari hasil pengukuran getaran di lapangan dan diolah menggunakan analisis regresi *power* dengan bantuan *Microsoft office excel* yaitu, koefisien determinasi ( $R^2$ ) dari analisis data tersebut menunjukkan nilai 0,558. Hal tersebut menunjukkan bahwa PPV aktual dipengaruhi oleh SD sebesar 55,8% berarti nilai  $R^2$  yang didapatkan melebihi dari 50% dapat dikatakan peledakan yang dilakukan di Pit TSBC PT. Bukit Asam Tbk aman dan tidak mengganggu area perumahan karyawan dengan nilai  $R^2$  yang sedang. Kedua, rekomendasi isian muatan per lubang untuk mengurangi nilai PPV agar di bawah 3 mm/s

- jarak 900, maksimal muatan 34 kg menghasilkan PPV 2,98 mm/s
- jarak 950, maksimal muatan 36 kg menghasilkan PPV 2,83 mm/s
- jarak 1000, maksimal muatan 40 kg menghasilkan PPV 2,84 mm/s
- jarak 1050, maksimal muatan 44 kg menghasilkan PPV 2,83 mm/s

Terakhir, rekomendasi nilai PPV <3 mm/s dengan muatan perlubang maksimal 40 kg mampu menghasilkan *powder factor* yang masih tergolong dapat memberai batuan dengan baik dan sesuai standar perusahaan yaitu 0,116 – 0,124 kg/BCM.

## Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih ditujukan kepada PT Bukit Asam, Tbk sebagai penyedia data pada penelitian ini.

## Daftar Pustaka

- Instantel. 2009. *8-Channel Blastmate III™ and Minimate Plus™ Multi-sensor Vibration and Overpressure Monitors*.  
<https://cdn.thomasnet.com/ccp/10019814/103446.pdf>
- Carlos, L.J., Emilio, L.J., Francisco, J.A.C., and Yvonne Visser de, R. 1987. *Drilling and Blasting of Rocks* (1st ed.). London: Routledge.  
<https://doi.org/10.1201/9781315141435>
- Keputusan Menteri ESDM Nomor 1827K/30/MEM/2018. 2018. Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia tentang Pedoman Pelaksanaan Kaidah Teknik Pertambangan yang Baik.  
<https://bdtbt.esdm.go.id/wp-content/uploads/2019/12/Keputusan-Menteri-ESDM-Nomor-1827-K-30-MEM-2018.pdf>
- Maryura, R., Toha, M. and Sudarmono, D. 2014. *Kajian Pengurangan Tingkat Getaran Tanah (Ground Vibration Level) pada Operasi Peledakan Interburden B2-C Tambang Batubara Air Laya PT. Bukit Asam (Persero), Tbk Tanjung Enim*. Jurnal Ilmu Teknik Sriwijaya. 2(1), pp. 103329.
- Rudini. 2013. *Analisis Ground Vibration*

- pada Peledakan Overburden di Panel 4 Pit J PT. Kaltim Prima Coal, Sangatta, Kalimantan Timur.* Thesis, UPN "Veteran" Yogyakarta. <http://eprints.upnyk.ac.id/2555/1/Abstrak%20Rudini%20%28112080040%29.pdf>
- SNI 7571:2010. 2010. *Baku Tingkat Getaran Peledakan pada Kegiatan Tambang Terbuka terhadap Bangunan.* Jakarta: Badan Standardisasi Nasional. [http://repository.trisakti.ac.id/webopac\\_usaktiana/digital/000000000000000075787/2016\\_TA\\_TB\\_07308039\\_LAMPIRAN.pdf](http://repository.trisakti.ac.id/webopac_usaktiana/digital/000000000000000075787/2016_TA_TB_07308039_LAMPIRAN.pdf)
- Tjan K.S., Hartami. P.N. and Purwiyono, T.T. 2021. *Analisis Pengaruh Kelembapan Lubang Ledak Terhadap Fumes Hasil.* Indonesian Mining and Energy Journal. 3(1), pp. 28 – 35. <https://e-journal.trisakti.ac.id/index.php/imej/article/view/9184>
- Yin, Z., Hu, Z., Wei, Z., Zhao, G., Hai-feng, M., Zhang, Z. and Feng, R. 2018. *Assessment of Blasting-Induced Ground Vibration in an Open-Pit Mine under Different Rock Properties.* Advances in Civil Engineering, 2018(4603687) 10 pages. <https://doi.org/10.1155/2018/4603687>

# SERTIFIKAT

Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Riset dan Teknologi  
Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset dan Teknologi Republik Indonesia



Kutipan dari Keputusan Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Riset dan Teknologi  
Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi Republik Indonesia

Nomor 158/E/KPT/2021  
Peringkat Akreditasi Jurnal Ilmiah Periode 1 Tahun 2021

Nama Jurnal Ilmiah

**Jurnal Geoelebes**

E-ISSN: 25795546

Penerbit: Program Studi Geofisika FMIPA Universitas Hasanuddin

Ditetapkan Sebagai Jurnal Ilmiah

**TERAKREDITASI PERINGKAT 3**

Akreditasi Berlaku selama 5 (lima) Tahun, yaitu  
Volume 4 Nomor 2 Tahun 2020 Sampai Volume 9 Nomor 1 Tahun 2025

Jakarta, 09 Desember 2021

Plt. Direktur Jenderal Pendidikan Tinggi,  
Riset, dan Teknologi

Prof. Ir. Nizam, M.Sc., DIC, Ph.D., IPU, ASEAN Eng  
NIP. 196107061987101001

## Indexing and Abstracting



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).





# **GEOFISIKA**

**UNIVERSITAS HASANUDDIN**

ISSN 2579-5546



9 772579 554000

97700

