

Vol. 6 No. 1
April 2022

ISSN 2579-5821
e-ISSN 2579-5546



Jurnal

Geocelebes



Diterbitkan oleh:
Departemen Geofisika
Universitas Hasanuddin
Makassar



Volume 6 Nomor 1, April 2022

P-ISSN: 2579-5821

E-ISSN: 2579-5546

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

JURNAL GEOCELEBES

Volume 6 Nomor 1, April 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
- Muhammad Fawzy Ismullah M. / Universitas Hasanuddin

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

Jurnal Geocelebes 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 1, April 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
Interpretasi Sesar Berdasarkan Atribut <i>Similarity</i> dan <i>Curvature</i> di Lapangan F3 <i>Netherlands</i>	1
<i>Nadea Arie Saragih, Faizar Farid, Juventa</i>	
Pengaruh Material Penyusun Lereng Batuan terhadap Nilai Kuat Tekan di Daerah Malino Provinsi Sulawesi Selatan	12
<i>Dian Dwi Apriliyani Arsdin, Purwanto, Muhammad Ramli</i>	
Geologi dan Potensi Kerawanan Banjir Bandang Desa Sungai Jernih dan Sekitarnya, Kecamatan Pondok Tinggi, Kabupaten Kerinci, Jambi	24
<i>Viky Parmelian, Anggi Deliana Siregar, Yulia Morsa Said</i>	
Pemetaan Potensi Kerentanan Seismik sebagai Mitigasi Bencana Gempa di Morotai Selatan	37
<i>Rohima Wahyu Ningrum, Risky Nuri Amelia, Suryani Taib, Rahim Achmad, Marwis Aswan</i>	
Biostratigrafi Batugamping Berdasarkan Kandungan Foraminifera Besar di Daerah Donggala, Sulawesi Tengah	47
<i>Nurhikmah Supardi, Savira Aulia Rahmawati</i>	
Identifikasi Alterasi-Mineralisasi pada Sistem Endapan Skarn Berbasis Pendekatan Metode <i>Time Domain Induced Polarization</i> di Daerah Kasihan, Pacitan, Jawa Timur	56
<i>Taufik Seizarsyah, Ajimas Pascaning Setiahadiwibowo, Firdaus Maskuri, Sutarto</i>	

Karakteristik Fluida Panas Bumi Berdasarkan Analisis Geokimia Air Panas Daerah Wawolesea Kabupaten Konawe Utara Sulawesi Tenggara -----	64
<i>Rizky Nurul Aulia, Irzal Nur, Asran Ilyas</i>	
Klasifikasi Daerah Rawan Tanah Longsor Kabupaten Majene Menggunakan Sistem Informasi Geografis dan Metode Indeks Storie -----	72
<i>Indadzil A. P. Santoso, Aulia L. P. Wibowo, Cut L. Zulfa, Naufal N. Siregar, Rangga Adiprima Sudisman</i>	
Evaluasi Kualitas Batubara pada Front Penambangan dan <i>Ship Loading</i> di Provinsi Kalimantan Timur -----	87
<i>La Ode Muh Yazid Amsah, L.M. Hilman Kurnia, Anna Irada La Ode Malim</i>	
Karakteristik Batuan Ultramafik dan Penyebaran Nikel Laterit pada Daerah Siuna Kecamatan Pagimana Kabupaten Banggai, Sulawesi Tengah -----	93
<i>Riska Puspita, Ninasafitri, Moh. Rizal Ente</i>	

KATA PENGANTAR

Jurnal Gecelebes 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 Gecelebes.

Pada edisi Volume 6 Nomor 1 April 2022 terdapat sepuluh 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 Gecelebes. Jurnal Gecelebes 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 Gecelebes membuka diri atas saran dan kritikan yang membangun demi perbaikan ke depan. Segala saran dan kritikan dapat dikirimkan melalui email gecelebes@sci.unhas.ac.id

Makassar, April 2022

Dewan Redaksi Jurnal Gecelebes

INTERPRETASI SESAR BERDASARKAN ATRIBUT *SIMILARITY* DAN *CURVATURE* DI LAPANGAN F3 *NETHERLANDS*

Nadea Arie Saragih^{1*}, Faizar Farid², Juventa¹

¹Program Studi Teknik Geofisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Jambi, Jl. Jambi – Muara Bulian Km. 15 36361, Jambi, Indonesia.

²Program Studi Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Jambi, Jl. Jambi – Muara Bulian Km. 15 36361, Jambi, Indonesia.

*Corresponding author. Email: deeyes476@gmail.com

Manuscript received: 11 June 2021; Received in revised form: 28 February 2022; Accepted: 8 April 2022

Abstrak

Lapangan F3 Cekungan *Southern North Sea Netherlands* merupakan lapangan minyak dan gas yang memiliki struktur patahan dan stratigrafi yang kompleks akibat adanya pergerakan kompresional tektonik selama era Kapur Akhir dan Tersier. Informasi keberadaan patahan dapat bertindak sebagai perangkap atau migrasi yang kemudian sangat berpengaruh pada produksi minyak dan gas serta proses injeksi. Analisa atribut seismik *similarity* dan *curvature* digunakan untuk interpretasi keberadaan struktur patahan untuk memperoleh informasi keberadaan patahan bawah permukaan lapangan F3 *Netherlands*. Interpretasi hasil kalkulasi atribut *similarity* memperlihatkan patahan ditandai dengan nilai minimum *similarity* 0,77, 0,68 dan 0,66 pada sayatan waktu $Z = 400\text{ms}$, 1700ms dan 1800ms . Nilai maksimum *most post positive curvature* mempresentasikan adanya blok patahan naik dan nilai maksimum *most negative curvature* mempresentasikan adanya blok patahan turun pada sayatan waktu yang sama. Berdasarkan kalkulasi atribut *similarity* dan *curvature* dapat diinterpretasi patahan besar pada *Top Zechstein* hingga *Upper Pliocene* dan keterdapatan patahan beruntun pada *Top Zechstein* hingga *Base Lower Cretaceous* yang merupakan patahan akibat terbentuknya intrusi kubah garam *Zechstein*.

Kata Kunci: Cekungan *Southern North Sea*; *Curvature*; F3 *Netherlands*; *Similarity*.

Abstract

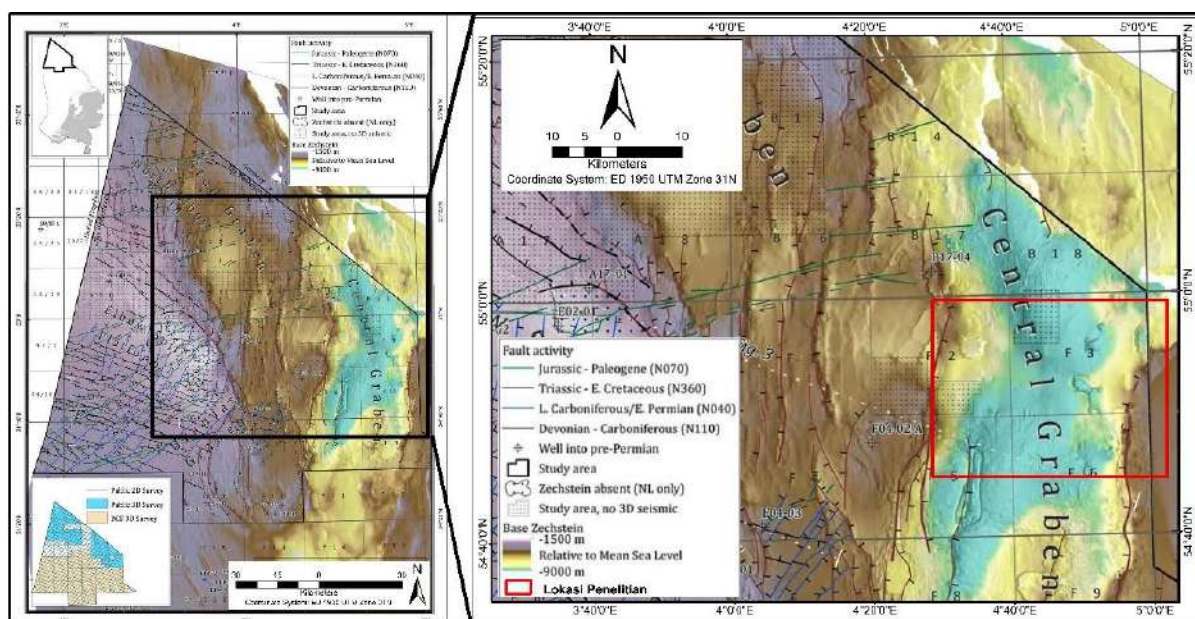
F3 Southern North Sea Netherlands Basin field is an oil and gas field that has a complex fault structure and stratigraphy due to compressional tectonic movements during the Late Cretaceous and Tertiary eras. Information on the presence of faults can act as a trap or migration which then greatly affects oil and gas production and the injection process. A seismic attribute analysis of similarity and curvature was used to interpret the presence of fault structures to obtain information on the presence of subsurface faults in the F3 Netherlands field. The interpretation of the similarity attribute calculation results shows that the faults are marked with a minimum similarity value of 0.77, 0.68, and 0.66 at the time slices $Z = 400\text{ms}$, 1700ms , and 1800ms . The maximum value of most post-positive curvature represents the presence of an ascending fault block and the maximum value of the most negative curvature represents the presence of a descending fault block at the same time incision. Based on the similarity and curvature attribute calculations, it can be interpreted that the major faults in Top Zechstein to Upper Pliocene and the presence of successive faults on Top Zechstein to Base Lower Cretaceous are faults due to the formation of the Zechstein salt dome intrusion.

Keywords: Curvature; F3 *Netherlands*; Similarity; Southern Basin North Sea.

Pendahuluan

Lapangan F3 (ditunjukkan oleh persegi hitam pada Gambar 1) merupakan lapangan minyak dan gas yang berada pada Cekungan *Southern North Sea Netherlands*. Cekungan ini mengalami pengembangan struktural dan pengendapan yang didominasi oleh *rifting* pada era Mesozoik dengan fase *post-rift sag* Kenozoikum dan beberapa pergerakan

kompresial tektonik selama era Kapur Akhir dan Tersier (Laban, 1995). Massa es yang terdapat pada sebagian besar wilayah *Netherlands* berasal dari Skandinavia dan Inggris, hanya area 52°30'LS yang tidak ditemukan massa es tersebut. Pasokan es ini mempengaruhi sesar yang sudah ada sebelumnya dan pergerakan tektonik garam (Cameron and Ziegler, 1997).



Gambar 1. Area studi lapangan F3 (Ter Borgh et al., 2019).

Informasi keberadaan jebakan atau perangkap hidrokarbon (sesar) menjadi perhatian utama dalam dunia eksplorasi. Sesar dapat bertindak sebagai perangkap hidrokarbon atau sebagai migrasi hidrokarbon. Minyak dan gas yang terbentuk pada *source rock* akan mengalami migrasi ke batuan reservoir yang terbentuk akibat adanya sesar, maka dari itu keberadaan sesar sangat mempengaruhi produksi minyak dan gas serta mempengaruhi proses pemboran (Alfredo and Sulistyanto, 2015).

Informasi keberadaan sesar dapat dilakukan dengan melakukan interpretasi pada data seismik dan memanfaatkan atribut geometri yaitu *similarity* dan *curvature* (Tingdahl, 2003). Atribut *curvature* dan *similarity* meningkatkan fitur stuktur lebih jelas dan

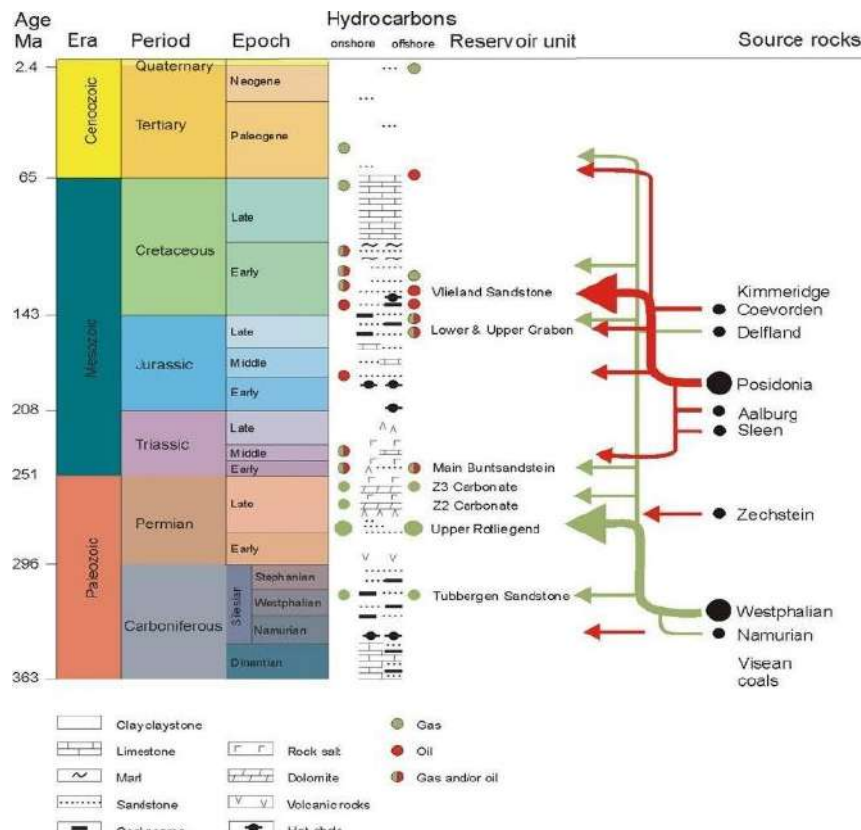
memetakan patahan kecil dan rekahan di bawah resolusi data seismik, sehingga mengurangi waktu yang dibutuhkan untuk mengidentifikasi dan memetakan sesar pada set data seismik yang lebih luas (Nielsen 1920; Marcus 1932). Berdasarkan hal tersebut maka dilakukan interpretasi menggunakan atribut-atribut tersebut untuk mengetahui keberadaan sesar pada Lapangan F3 Cekungan *Southern North Sea Netherlands*.

Geologi F3 Netherlands

F3 adalah sebuah blok di kawasan *Southern North Sea Netherlands*, merupakan bagian dari cekungan *North Sea*. Lapangan F3 adalah lapangan yang sudah dilakukan akuisisi seismik 3D untuk eksplorasi minyak dan gas yang terbentuk pada kurun

waktu antara *Jurassic* sampai *Cretaceous* (Sørensen *et al.*, 1997; Overeem *et al.*, 2001). Pengembangan struktural dan pengendapan yang didominasi oleh *rifting* dari era *Mesozoic* dengan fase *post-rift sag Cenozoic* dan beberapa pergerakan

kompresional tektonik selama kurun waktu Kapur Akhir dan Tersier menyebabkan lapangan F3 memiliki struktur patahan besar dan struktur stratigrafi yang kompleks (Schroot and Haan, 2003).



Gambar 2. Sistem hidrokarbon bawah permukaan North Sea (de Jager and Geluk, 2007).

Berdasarkan sistem hidrokarbon bawah permukaan *North Sea* pada Gambar 2. Keberadaan batuan sumber utama untuk minyak terdapat pada Formasi *Posidonia shale*, berada pada era *Mesozoic*. *Posidonia shale* kemudian terakumulasi ke dalam beberapa bagian reservoir utama di Formasi *Vieland sandstone*. Ini menjadi sebuah *channel* yang terletak pada kurun waktu awal *Cretaceous*. Keberadaan batuan sumber utama untuk gas terdapat pada Formasi *Westphalian coals*, berada pada era *Paleozoic*. *Westphalian coals* kemudian juga terakumulasi ke dalam beberapa bagian reservoir utama di Formasi *Vieland sandstone* dan terlihat sebagai hidrokarbon dangkal. *Petroleum system* daerah penelitian secara jelas dapat dilihat pada Gambar 2 (panah merah dan

hijau) menunjukkan asal *source rock* yang berasosiasi dengan reservoir minyak/ gas (de Jager and Geluk, 2007).

Sumber tambahan untuk minyak terjadi di bawah *Jurassic Aalburg* dan Formasi *Triassic Sleen* paling atas. Sumber ini memiliki tipe yang mirip dengan *Posidonia shale*, tetapi kurang potensial. Batuan sumber lain untuk minyak terjadi di Permian *Z2 Carbonate* dan *Coppershale*. Sementara banyak minyak menunjukkan karbonat *Zechstein* ditemukan selama pengeboran. Kedua sumber ini telah memberikan kontribusi hanya secara lokal ke terlalu banyak akumulasi (yaitu *Stadskanaal*, *Gieterveen* dan E13-1). Ini bukan hanya karena ketebalannya yang terbatas, tetapi juga karena minyak dari

batuan sumber yang terjebak di *reservoir Zechstein* atau *Rotliegend* memiliki peluang besar untuk terbawa keluar oleh kelimpahan gas berikutnya gas dari *Westphalian* (Cameron and Ziegler, 1997).

Atribut *Curvature*

Atribut *curvature* mengukur seberapa lengkung struktur sesar dan lipatan mengalami kelengkungan tertentu, berdasarkan turunan kemiringan struktur. Struktur *curvature* biasa digunakan untuk memahami struktur dengan kompleks (sesar dan rekahan) dan memperhatikan *footwall* dan *hanging-wall* pada setiap sesar. Sifat atribut *curvature* sensitif terhadap perubahan sudut sehingga jika sebuah struktur mengalami deformasi akan memiliki perubahan sudut kelengkungan sehingga dapat dihitung nilai *curvature*. Ketika gelombang seismik menyentuh bidang batas maka akan terpantul kembali ke permukaan. Bidang batas yang mengalami kelengkungan memiliki laju perubahan sudut ($d\omega$) terhadap panjang busur (dS) yang merupakan jari-jari kelengkungan (R). Maka nilai *curvature* dapat dinyatakan sebagai:

$$K = \frac{d\omega}{dS} = \frac{2\pi}{2\pi R} = \frac{1}{R} \quad (1)$$

Apabila kelengkungan sebuah garis semakin besar maka semakin besar nilai *curvature* dan sebaliknya (Nielsen 1920; Marcus 1932).

Similarity

Similarity membandingkan bentuk gelombang seismik yang berdekatan menggunakan teknik seperti korelasi silang, kemiripan dan pengukuran struktur eigen setelah menganalisis kemiringan dan azimuth. Secara sederhana atribut ini mengukur derajat kemiripan diantara dua atau lebih tras seismik. *Similarity* mengukur kemiripan dari dua segmen tras seismik $u(x,y,t)$ (Tinghdal, 2003). *Output* dari atribut *similarity* berkisar antara 0 dan 1. 0 mengacu pada minimum kesamaan jejak dan 1 mengacu pada kesamaan jejak

maksimum (Kumar and Sain+, 2018). *Similarity* (S) diantara dua segmen pada (x_a, y_a) dan (x_b, y_b) , pada waktu t dapat dinyatakan sebagai

$$S = 1 - \frac{|a-b|}{|a|+|b|} \quad (2)$$

dengan

$$a = \begin{bmatrix} u(x_A, y_A, t + t_1) \\ u(x_A, y_A, t + t_1 + dt) \\ u(x_A, y_A, t + t_2 - dt) \\ u(x_A, y_A, t + t_2) \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$b = \begin{bmatrix} u(x_B, y_B, t + t_1) \\ u(x_B, y_B, t + t_1 + dt) \\ u(x_B, y_B, t + t_2 - dt) \\ u(x_B, y_B, t + t_2) \end{bmatrix} \quad (4)$$

Similarity dengan nilai mendekati 1 adalah segmen tras seismik yang mengidentifikasi gelombang dengan kemiripan identik. *Similarity* dengan nilai mendekati 0 mengartikan tidak ada kemiripan segemen tras seismik (Tingdahl and de Rooij, 2005).

Metode Penelitian

Metode yang digunakan adalah metode seismik atribut yang diterapkan pada data daerah penelitian yang terdiri dari data seismik *Migration F3 North Sea Netherlands* dengan *inline* berjumlah 650 yaitu 100-750 dan *crossline* berjumlah 950 yaitu 300-1250 menggunakan *software* OpendTect. Interval pencuplikan sampel (*sample rate*) 4 ms dalam format SEG-Y. Metode seismik atribut dapat dideskripsikan sebagai semua informasi dari data seismik mencakup besaran spesifik dari geometri, kinematika, dinamika, atau statistik. Atribut juga didefinisikan sebagai sifat kuantitatif dan deskriptif data seismik yang dapat ditampilkan dalam skala yang sama dengan data aslinya (Brown, 2004).

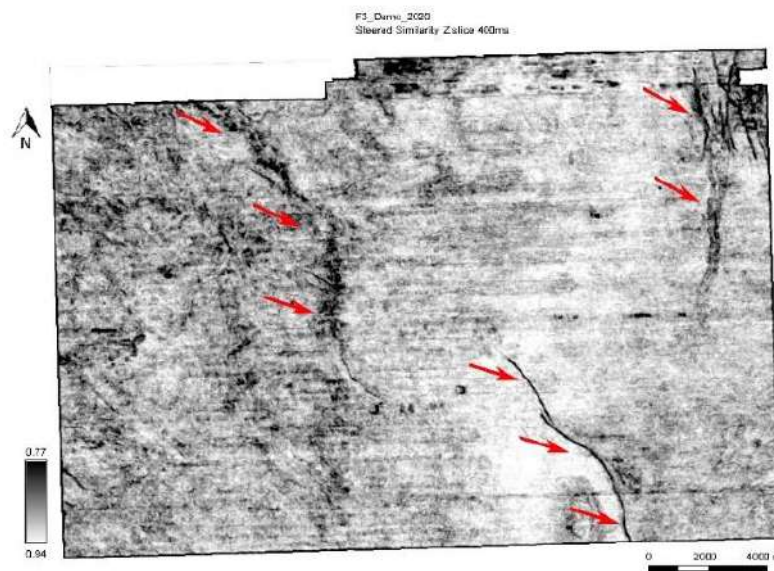
Metode dimulai dengan membuat *steering cube dip* pada setiap *inline* dan *crossline* dari volume amplitudo seismik. Algoritma gradien *phase steering* dikembangkan oleh

BG berdasarkan analisis gradien data amplitudo dalam domain horizontal dan vertikal. Algoritma BG digunakan untuk menghitung *dip* dalam sub-volume kecil. Karena Algoritma BG sensitif terhadap noise, diaplikasikan filter median pada *steering cube* yang sudah dibuat. *Steering cube* sebagai dasar untuk memfilter volume seismik yang berorientasi struktural, meningkatkan atribut *multi-trace* dan dalam pembuatan atribut *curvature* nantinya. Pada proses ini, *steering cube* dengan filter median menjadi dasar untuk kalkulasi atribut *similarity* dan volume seismik *steering* BG sebagai data input untuk melakukan kalkulasi atribut *curvature* dan respon kalkulasi atribut akan ditampilkan pada sayatan waktu permukaan dengan struktur yang lebih jelas.

Hasil dan Pembahasan

Atribut *similarity* menggunakan teknik korelasi silang, kemiripan dan pengukuran setelah menganalisis kemiringan dan *azimuth* tras segmen seismik untuk mengidentifikasi gelombang amplitudo

tidak identik dan gelombang amplitudo identik. Berdasarkan Gambar 3 memperlihatkan respon atribut *similarity* pada sayatan waktu $Z = 400\text{ms}$ dari volume *similarity*. Nilai *similarity* tinggi mendekati 1 adalah tras segmen seismik yang mengidentifikasi gelombang dengan amplitudo identik dan nilai *similarity* lebih rendah hingga mendekati nol menghasilkan gelombang yang tidak identik. Respon nilai gelombang tras segmen seismik yang berbeda diakibatkan adanya perbedaan kemiringan dan azimuth yang dapat diidentifikasi bahwa terdapat blok lapisan yang mengalami deformasi atau perubahan struktur yang kemudian dapat diinterpretasi sebagai sesar naik atau turun. Pada sayatan waktu $Z = 400\text{ms}$ dari volume *similarity*, nilai maksimum *similarity* 0,94 dan nilai *similarity* minimum 0,77 ditunjukkan oleh garis berwarna hitam yang memperlihatkan bahwa terdapat lapisan yang mengalami deformasi dan kemudian dapat diidentifikasi sebagai sesar. Sesar ini mengalami kemenerusan dari *Top Zechstein* hingga *Upper Pliocene*.



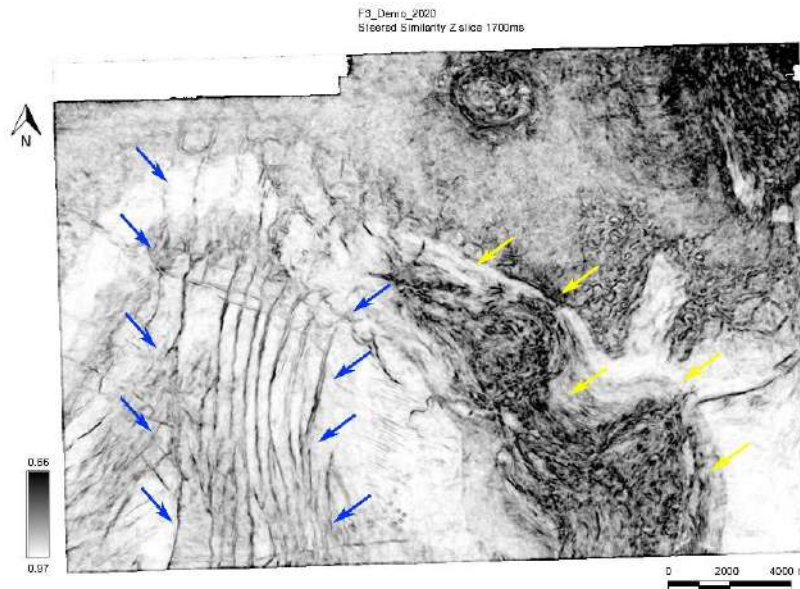
Gambar 3. Peta sayatan waktu *similarity* $Z=400\text{ms}$.

Berdasarkan Gambar 4 pada peta sayatan waktu $Z = 1700\text{ms}$ memiliki nilai maksimum *similarity* 0,97 dan memperlihatkan beberapa lapisan mengalami deformasi dengan nilai

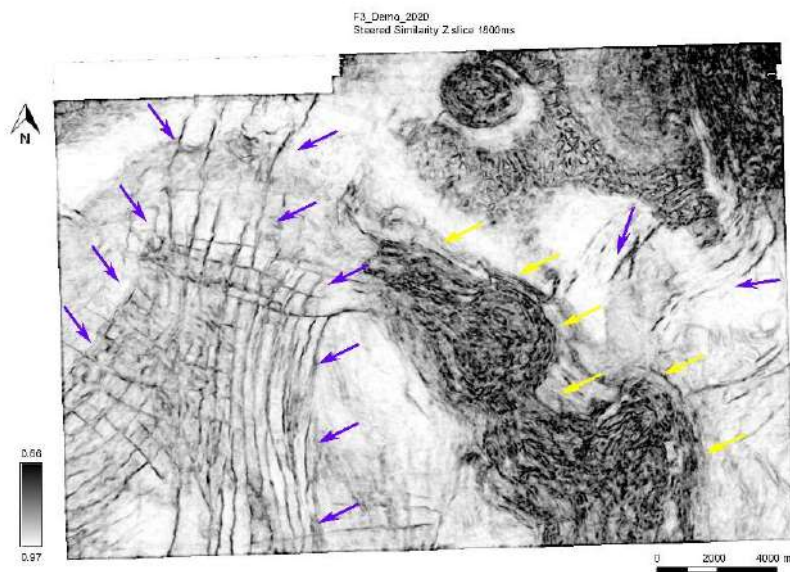
similarity 0,66 yang ditunjukkan oleh garis berwarna hitam yang memperlihatkan lebih detail dari tras segmen seismik dengan gelombang amplitudo yang berbeda yang dapat diidentifikasi sebagai sesar beruntun.

Sedangkan pada blok *similarity* yang tidak ditunjukkan dengan garis berwarna hitam memperlihatkan adanya perbedaan tras segmen seismik tidak identik dengan luasan yang besar yang dapat diinterpretasikan

bahwa blok lapisan tersebut merupakan lapisan yang berbeda dari sekitarnya dan mengalami deformasi dalam skala luas atau dapat diinterpretasikan sebagai intrusi.



Gambar 4. Peta sayatan waktu *similarity* Z=1700ms.



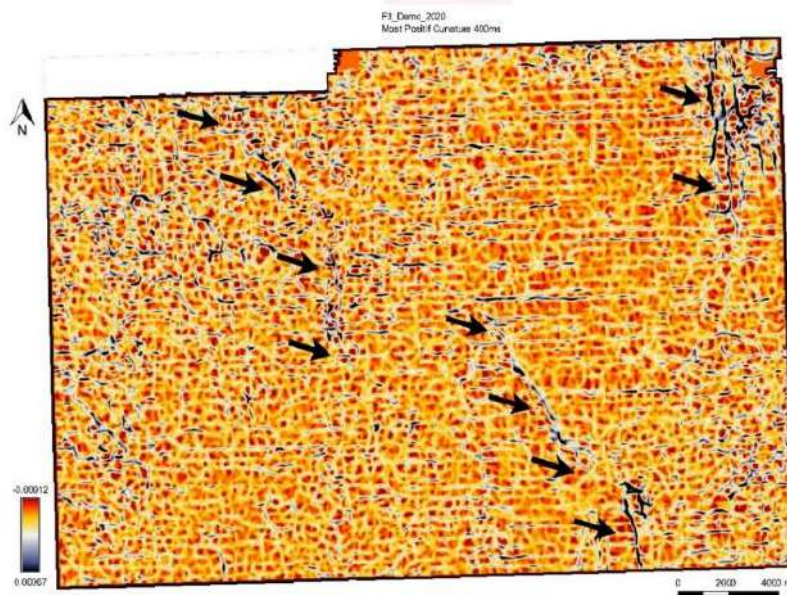
Gambar 5. Peta sayatan waktu *similarity* Z=1800ms.

Kemudian deformasi atau pun sesar yang teridentifikasi pada sayatan waktu Z = 1700ms dapat dilihat trendnya bertambah dan lebih detail pada sayatan waktu Z = 1800ms dengan nilai maksimum *similarity* yang sama yakni nilai maksimum 0,97 dan minimum 0,66. Adanya penambahan panjang trend diakibatkan gelombang amplitudo masih teridentifikasi tidak

identik pada sayatan waktu Z = 1800ms yang terlihat pada Gambar 5. Pada gelombang tidak identik yang ditunjukkan oleh garis berwarna hitam dengan trend yang lebih tipis dan memanjang diinterpretasikan sebagai sesar, sedangkan untuk gelombang tidak identik yang tidak ditandai dengan garis hitam merupakan blok lapisan dalam skala luas yang

merupakan lapisan yang berbeda dari sekitarnya dan dapat diinterpretasikan sebagai intrusi. Intrusi ini terlihat juga pada sayatan waktu $Z = 1700\text{ms}$. Apabila ditinjau berdasarkan geologi regional maka blok tersebut merupakan intrusi kubah

garam pada Formasi *Zechstein* yang menyebabkan terbentuknya sesar-sesar yang mengalami kemenerusan pada *Top Zechstein* hingga *Base Lower Cretaceous* di sekitar zona intrusi.



Gambar 6. Peta sayatan waktu *most positive curvature* $Z=400\text{ms}$.

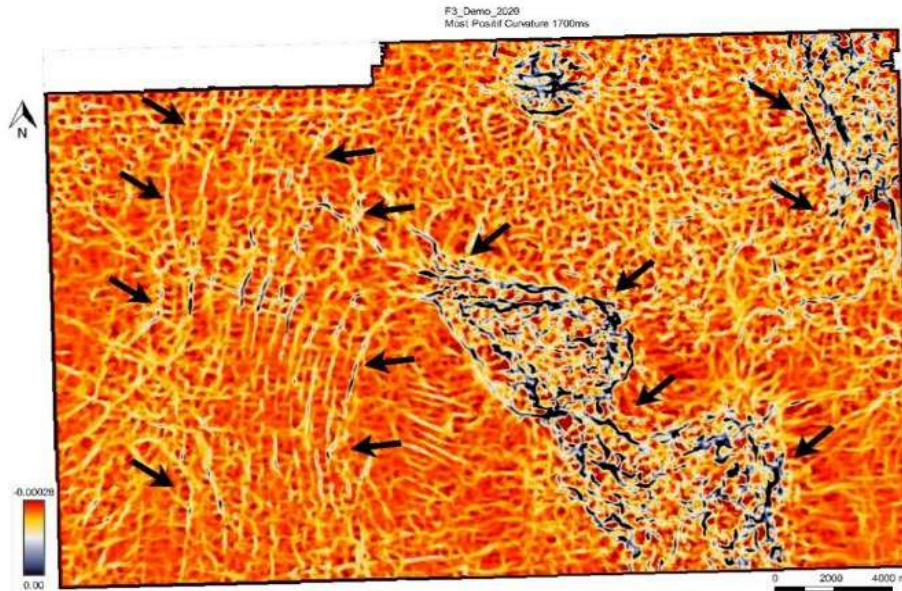
Most positive dan *negative curvature* berasal dari semua *curvature* normal untuk melakukan kalkulasi nilai *positive curvature* dan *negative curvature*. *Most positive curvature* tinggi mengindikasikan adanya blok sesar yang naik dan nilai *most negative curvature* tinggi mengindikasikan blok sesar turun. Atribut *curvature* mengukur seberapa lengkung struktur mengalami deformasi baik patahan, lipatan atau bentuk deformasi lainnya yang mengalami kelengkungan tertentu, berdasarkan turunan kemiringan struktur. Dikarenakan *positive curvature* cenderung mendefinisikan antiklin dan *negative curvature* mendefinisikan siklin, blok sesar yang naik dan turun dapat dibedakan dengan melihat struktur simetris dari struktur yang asimetris. Gambar 6 memperlihatkan *positive curvature* yang ditampilkan pada sayatan waktu $Z = 400\text{ms}$. Tanda garis berwarna hitam menunjukkan maksimum *most positive curvature* bernilai 0,00067.

Sebaran nilai kelengkungan yang tinggi menunjukkan adanya perbedaan kuat kemiringan struktur dengan lapisan di sekitarnya yang mengindikasikan terjadinya deformasi penyebab berubahnya sudut kemiringan. Pada sayatan waktu $Z=400\text{ms}$ terdapat sebaran kelengkungan tinggi yang ditunjukkan oleh garis berwarna hitam dengan nilai *most positive curvature* yang mengidentifikasi adanya blok yang mengalami sesar.

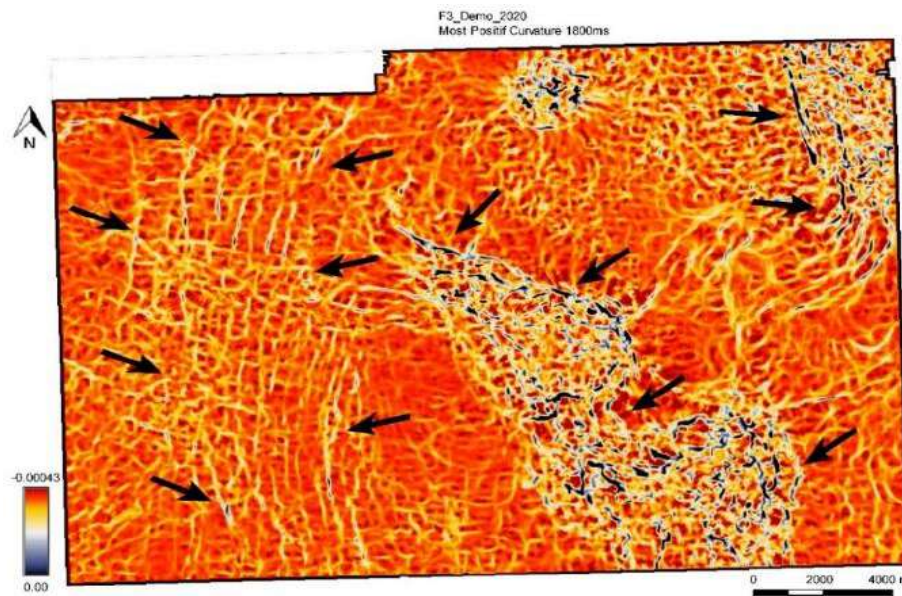
Struktur geologi sering menunjukkan kelengkungan dengan panjang gelombang berbeda, dan kelengkungan yang memiliki panjang gelombang berbeda dapat memberikan perspektif yang berbeda dari geologi yang sebenarnya sama. Terlihat pada Gambar 7, peta sayatan waktu *most positive curvature* $Z=1700\text{ms}$. Nilai *most positive curvature* tinggi memperlihatkan panjang gelombang pendek yang kemudian dapat dilihat bahwa kelengkungan maksimum dengan nilai 0,00 dengan gelombang pendek ini memiliki deliniasi dengan nilai kelengkungan berbeda.

Perbedaan nilai kelengkungan ini akan memberikan perspektif bahwa deformasi yang ditunjukkan oleh panah berwarna hitam merupakan struktur yang mengalami deformasi berbeda karena memiliki

kelengkungan berbeda. Namun pada analisisnya deformasi tersebut dapat diidentifikasi sebagai struktur geologi yang sama yakni sesar, namun memiliki perbedaan sudut kemiringan.



Gambar 7. Peta sayatan waktu *most positive curvature* $Z= 1700\text{ms}$.



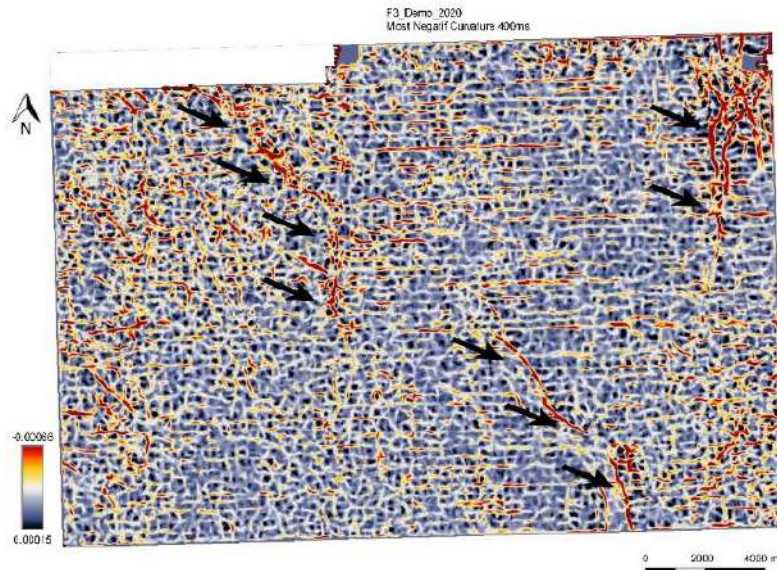
Gambar 8. Peta sayatan waktu *most positive curvature* $Z= 1800\text{ms}$.

Peta sayatan waktu $Z= 1800\text{ms}$ pada Gambar 8 memperlihatkan bertambahnya *trend most positive curvature* tinggi mengindikasikan adanya blok sesar yang naik yang dapat diidentifikasi beberapa sesar yang terdeteksi yang ditunjukkan oleh panah berwarna merah. *Most positive curvature* tinggi ini mengindikasikan adanya blok yang mengalami sesar naik.

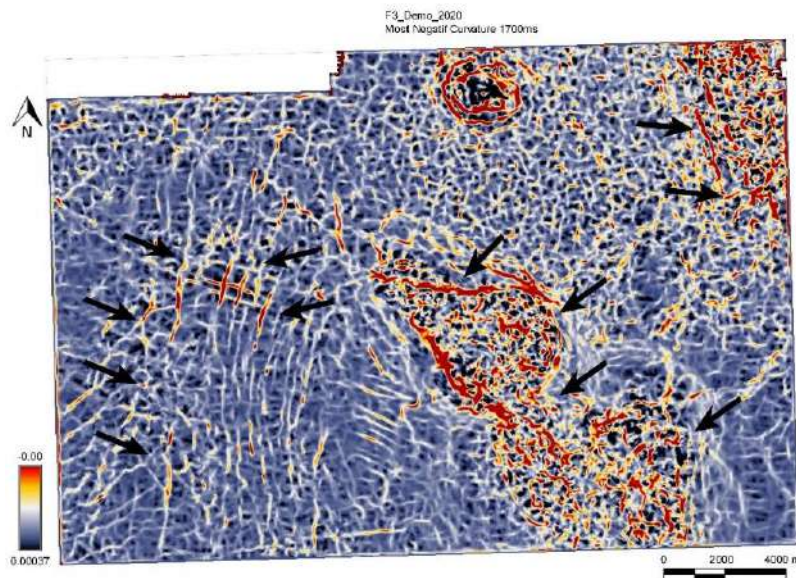
Sama halnya dengan atribut *similarity*, pada atribut *curvature* ini dapat terlihat bahwa terdapat blok yang memiliki nilai kelengkungan berbeda dari sekitarnya yang memperlihatkan intrusi dari kubah garam pada Formasi *Zechstein*. Sedangkan sebaran nilai kelengkungan tinggi yang terdapat pada peta sayatan waktu $Z= 400\text{ms}$, 1700ms dan 1800ms yang tidak

ditandai dengan garis hitam menggambarkan rekahan yang tidak terlokalisasi yang dapat diakibatkan oleh

sesar di sekitarnya ataupun depresi akibat perubahan diagenesis.



Gambar 9. Peta sayatan waktu *most negative curvature* $Z=400$ ms.



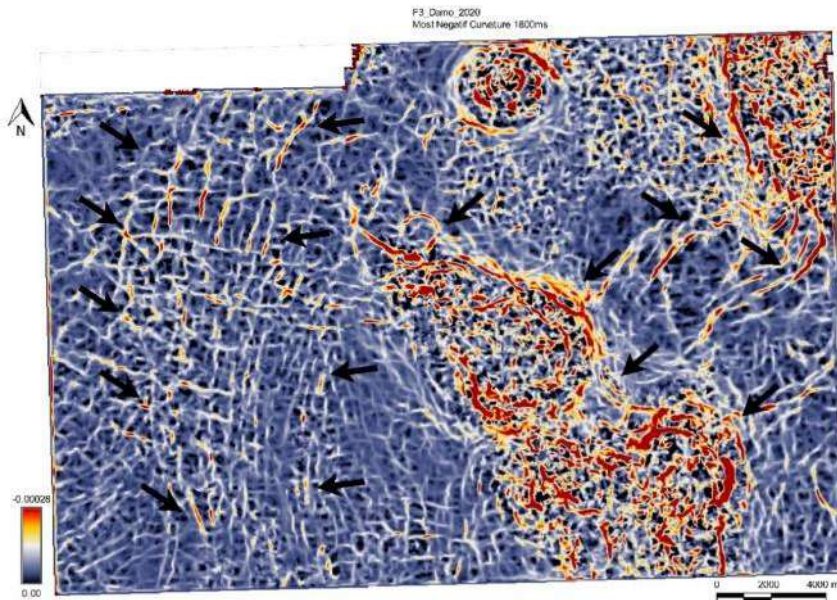
Gambar 10. Peta sayatan waktu *most negative curvature* $Z=1700$ ms.

Pada atribut *curvature most negative curvature* yang dilakukan sayatan pada waktu yang sama dengan *most positive curvature* yakni $Z=400$ ms pada Gambar 9, 1700 ms pada Gambar 10 dan 1800 ms pada Gambar 11. Pada sayatan waktu *most negative curvature* $Z=400$ ms maksimum kelengkungan bernilai $0,00015$ yang memperlihatkan blok turun dari sesar naik yang sudah teridentifikasi sebelumnya pada *most positive curvature*. Pada sayatan waktu *most negative curvature* $Z=1700$ ms

dengan nilai maksimum kelengkungan $0,00037$ yang mengindikasikan adanya blok turun dan $Z=1800$ ms yang memperlihatkan kemenerusan blok yang turun pada patahan tersebut lebih detail panjang *trend*-nya bertambah. Sayatan waktu *most negative curvature* $Z=1800$ ms merupakan sesar dengan nilai maksimum kelengkungan $0,00$ yang mengindikasikan adanya blok pada waktu 1800 ms ini masih menjadi bagian sesar yang terdeteksi pada sayatan waktu $Z=1700$ ms. Sesar-sesar

beruntun ini tidak terdeteksi mengalami kelengkungan dikarenakan nilai maksimum *most negative curvature* bernilai nol yang berarti menunjukkan *zero curvature*. Perbedaan hasil analisa hasil atribut *most positive curvature* dan *most negative curvature* menunjukkan bahwa nilai

maksimum *positive curvature* tinggi mengidentifikasi struktur yang mengalami naik dan nilai *most negative curvature* tinggi mengidentifikasi adanya blok yang ataupun akibat adanya sesar atau pun deformasi lainnya.



Gambar 11. Peta sayatan waktu *most negative curvature* $Z=1800\text{ms}$.

Kesimpulan

Interpretasi keberadaan sesar pada Lapangan *F3 Netherlands* terdeteksi dengan nilai *similarity* minimum 0,66 dan maksimum 0,97 dengan nilai *most positive curvature* maksimum 0,00067 dan *most negative curvature* maksimum 0,00037. Kemenerusan sesar dapat diinterpretasikan berada pada *Top Zechstein* hingga *Upper Pliocene* dan terdapat sesar beruntun pada *Top Zechstein* hingga *Base Lower Createceous* yang merupakan sesar akibat terbentuknya intrusi kubah garam *Zechstein*.

Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan terimakasih kepada DGB *Earth Science, Netherlands* yang telah memberikan akses publik dalam penggunaan data *F3 Netherlands* sebagai bahan penelitian. Terimakasih kepada Tenaga Pendidik Program Studi Teknik Geofisika Universitas Jambi karena sudah

menyediakan *software* berlisensi *OpenTect* yang penulis gunakan sebagai *software* pengolahan data.

Daftar Pustaka

- Alfredo, A. and Sulistyanto, D. 2015. *Analisis Sifat Patahan (Sealing-leaking) Berdasarkan Data Tekanan, Decline Curve, dan Connectivity Injection pada Lapangan Dima*. In: Seminar Nasional Cendekiawan 2015, Jakarta, Indonesia, pp.116-125 <https://media.neliti.com/media/publications/171439-ID-analisis-sifat-patahan-sealing-leaking-b.pdf>
- Brown, A.R. 2004. *Interpretation of Three-Dimensional Seismic Data* (6th Edition). Memoir 42. American Association of Petroleum geologists, Tulsa, OK, USA.
- Cameron, N. and Ziegler, T. 1997. *Probing the lower limits of a fairway: further pre-Permian potential in the southern North Sea*. Geological Society

- (London) Special Publication 123: 123–141.
<https://doi.org/10.1144/GSL.SP.1997.123.01.08>
- de Jager, J. and Geluk, M.C. 2007. *Petroleum Geology*. Geology of the Netherlands. Royal Netherlands Academy of Arts and Sciences, Amsterdam, 241, p.264.
- Kumar, P.C. and Sain, K. 2018. *Attribute amalgamation-aiding interpretation of faults from seismic data: An example from Waitara 3D prospect in Taranaki basin off New Zealand*. Journal of Applied Geophysics. 159, pp. 52-68.
<https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2018.07.023>
- Laban, C. 1995. *The Pleistocene glaciations in the Dutch sector of the Southern North Sea. A synthesis of sedimentary and seismic data*. Ph.D. thesis, University of Amsterdam.
https://www.researchgate.net/publication/241874061_The_Pleistocene_glaciations_in_the_Dutch_sector_of_the_North_Sea_A_synthesis_of_sedimentary_and_seismic_data
- Marcus, H. 1932. *Die Theorie elastischer Gewebe und ihre Anwendung auf die Berechnung biegsamer Platten unter besonderer Berücksichtigung der trägerlosen Pilzdecken*. Berlin: Springer.
- Nielsen, N.J. 1920. *Bestemmelse af spændinger i plader ved anvendelse af differensligninger*. Copenhagen: Gad.
- Overeem, I., Weltje, G.J., Bishop-Kay, C. and Kroonenberg, S.B. 2001. *The Late Cenozoic Eridanos delta system in the Southern Southern North Sea Basin: a climate signal in sediment supply*. Basin Research. 13, pp.293–312. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2117.2001.00151.x>
- Sørensen, J.C., Gregersen, U., Breiner, M. and Michelsen, O. 1997. *High-frequency sequence stratigraphy of Upper Cenozoic deposits in the central and southeastern Southern North Sea areas*. Marine and Petroleum Geology. 14(2), pp.99-123. [https://doi.org/10.1016/S0264-8172\(96\)00052-9](https://doi.org/10.1016/S0264-8172(96)00052-9)
- Schroot, B.M. and Haan, H.B. 2003. *Intra-Carboniferous tectonics of the Southern Southern North Sea Basin*. In: Fifteenth International Congress on Carboniferous and Permian Stratigraphy, August 10-16 Utrecht, abstract no. 319, p. 479-480.
- Tingdahl, K. M., 2003. *Improving seismic chimney detection using directional attributes*, in: Nikarvesh, M., Aminzadeh, F., Zadeh, L.A, (eds.) *Soft Computing and Intelligent Data Analysis in Oil Exploration*, Developments in Petroleum science. 51, pp. 157-173.
[https://doi.org/10.1016/S0376-7361\(03\)80013-4](https://doi.org/10.1016/S0376-7361(03)80013-4)
- Tingdahl, K. and de Rooij, M. 2005. *Semi-automatic detection of faults in 3D seismic data*. Geophysical Prospecting. 53, pp. 533-542.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2478.2005.00489.x>

PENGARUH MATERIAL PENYUSUN LERENG BATUAN TERHADAP NILAI KUAT TEKAN DI DAERAH MALINO PROVINSI SULAWESI SELATAN

Dian Dwi Apriliyani Arsdin*, Purwanto, Muhammad Ramli

Departemen Teknik Pertambangan, Universitas Hasanuddin, Makassar, Indonesia.

*Corresponding author. Email: dwi28.apriliyani@gmail.com

Manuscript received: 26 December 2021; Received in revised form: 9 April 2022; Accepted: 11 April 2022

Abstrak

Lokasi penelitian berada pada lereng hulu aliran sungai Jeneberang di Malino Kabupaten Gowa, Sulawesi-Selatan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui jenis batuan penyusun lereng dan mempelajari tentang hubungan antara karakteristik mineralogi terhadap sifat mekanik batuan. Analisis karakteristik mineralogi menggunakan analisis petrografi, XRD dan XRF, sedangkan untuk analisis sifat mekanik batuan menggunakan analisis *uniaxial compressive strength* pada penelitian ini digunakan tiga jenis sampel yang diambil pada lereng yang sama dengan titik pengambilan sampel atas, tengah dan bawah. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa jenis batuan yang terdapat pada lereng merupakan jenis batuan beku andesit dengan jenis mineral utama yang sama yaitu *albit*, *analcime*, *quartz* dan *leucite*. Sedangkan didapati mineral sekunder tiap sampel yang berbeda, pada lereng sampel A mineral sekundernya yaitu *spodumene*, sampel B mineral sekundernya yaitu *garnet* dan sampel C yaitu *palygorskite*. Nilai hasil pengujian sifat mekanik tiap sampel juga berbeda, korelasi dari ketiga nilai pengujian *uniaxial compressive strength* terhadap komposisi mineral pada sampel batuan menunjukkan bahwa korelasi mineral *quartz* terhadap nilai kuat tekan dan modulus young memiliki nilai korelasi yang cukup tinggi yaitu 0,934 dan 0,9798, nilai korelasi mineral terhadap nisbah poisson menunjukkan bahwa mineral *leucite* memiliki nilai korelasi yang tinggi daripada mineral yang lainnya.

Kata Kunci: batuan beku andesit; *uniaxial compressive strength*; XRD; XRF.

Abstract

The research location is on the upstream slope of the Jeneberang River in Malino, Gowa Regency, South Sulawesi. This study aims to determine the types of rocks the slopes and to study the relationship between mineralogy characteristics and rock mechanical properties. Mineralogical characteristics analysis used petrographic analysis, XRD and XRF, while for the analysis of rock mechanical properties using Uniaxial Compressive Strength analysis in this study used three types of samples taken on the same slope with the top, middle and bottom sampling points. The results of this study indicate that the rock types found on the slopes are andesite igneous rock types with the same main mineral types, the mineral is albit, analcime, quartz and leucite, while the secondary minerals found in each sample are different, on the slopes of sample A the secondary mineral is spodumene, sample B secondary mineral is garnet and sample C is palygorskite. The value of the results of testing the mechanical properties of each sample is also different, the correlation of the three Uniaxial Compressive Strength test values to the mineral composition of rock samples shows that the correlation of quartz minerals to the compressive strength value and young's modulus has a fairly high correlation value of 0,934 and 0,9798, the mineral correlation value to the poisson ratio indicates that the mineral leucite has high correlation value compared to other minerals.

Keywords: andesite igneous rock; uniaxial compressive strength; XRD; XRF.

Pendahuluan

Sifat keteknikan dan analisis mineralogi pada batuan sangat penting diketahui untuk menentukan nilai kekuatan batuan (Tuğrul and Zarif, 1999). Variasi karakteristik petrografi pada batuan, saling mempengaruhi dan memiliki keterkaitan satu dengan yang lainnya (Giannakopoulou et al., 2018).

Kekuatan dari hasil pengujian mekanik sampel, umumnya berkaitan dengan berbagai parameter petrografi salah satunya komposisi mineral pada batuan (Keikha and Keykha, 2013). Irfan (1996) mengemukakan bahwa sifat mekanik merupakan fungsi dari tekstur batuan dan karakteristik mineralogi.

Kestabilan lereng dipengaruhi oleh faktor geometri lereng, karakteristik fisik dan mekanik material pembentuk lereng, air (hidrologi dan hidrogeologi), struktur bidang lemah batuan (lokasi, arah, frekuensi, karakteristik mekanik), tegangan alamiah dalam massa batuan, kontras tegangan, getaran baik itu gempa, dan perbuatan manusia seperti aktifitas pertambangan dan iklim (Arif, 2016). Pada material tanah dan batuan memiliki sifat fisik dan mekanik tertentu seperti sudut gesek dalam (ϕ), kohesi (c), kuat tarik, kuat tekan, modulus elastisitas, nisbah poisson, dan bobot isi (γ) serta sifat fisik dan mekanik lainnya yang berpengaruh dalam nilai kekuatan tanah atau batuan dan juga mempengaruhi nilai kestabilan lereng (Arif, 2016). Parameter yang menyatakan tingkat kestabilan suatu lereng, dikenal dengan istilah Faktor Keamanan (*Safety Factor*). Hal ini diperlukan untuk mengetahui kemantapan suatu lereng guna mencegah bahaya longsor yang dapat terjadi sewaktu-waktu (Arif, 2016).

Penelitian yang dilakukan sebelumnya berada pada sub-DAS Jeneberang yang

mengkaji tentang karakteristik ukuran butir dan mineral liat tanah pada kejadian longsor. Hasil dari penelitian ini adalah longsor yang terjadi dipicu oleh mineral liat yang ada, sementara itu ukuran butir tanah tidak memberikan banyak pengaruh pada kejadian longsor (Isra et al., 2019). Pada penelitian lainnya yang mengkaji tentang hubungan morfologi dengan mekanika properties (batuan vulkanik) terhadap kestabilan lereng pada daerah aliran Sungai Jeneberang. Kesimpulan penelitian tersebut menunjukkan hubungan morfologi dengan batuan vulkanik sangat berpengaruh terhadap nilai kestabilan lereng yang ditunjukkan dengan bertambahnya nilai kohesi juga memperlihatkan nilai yang besar terhadap nilai faktor keamanan lereng (Afasedanja, 2020).

Pengamatan langsung di lapangan memperoleh informasi bahwa lokasi penelitian merupakan lereng yang telah mengalami longsor dan berjarak ± 100 meter dari jembatan yang menjadi akses umum digunakan untuk menghubungkan lokasi pemukiman penduduk antar desa. Material penyusun dari lereng tersebut didominasi oleh material batuan. Berdasarkan data dan informasi yang diperoleh maka penelitian ini bertujuan untuk mengetahui jenis batuan penyusun lereng dan mempelajari tentang hubungan antara karakteristik mineralogi terhadap sifat mekanik batuan yang ditunjukkan dengan diagram korelasi

Metode Penelitian

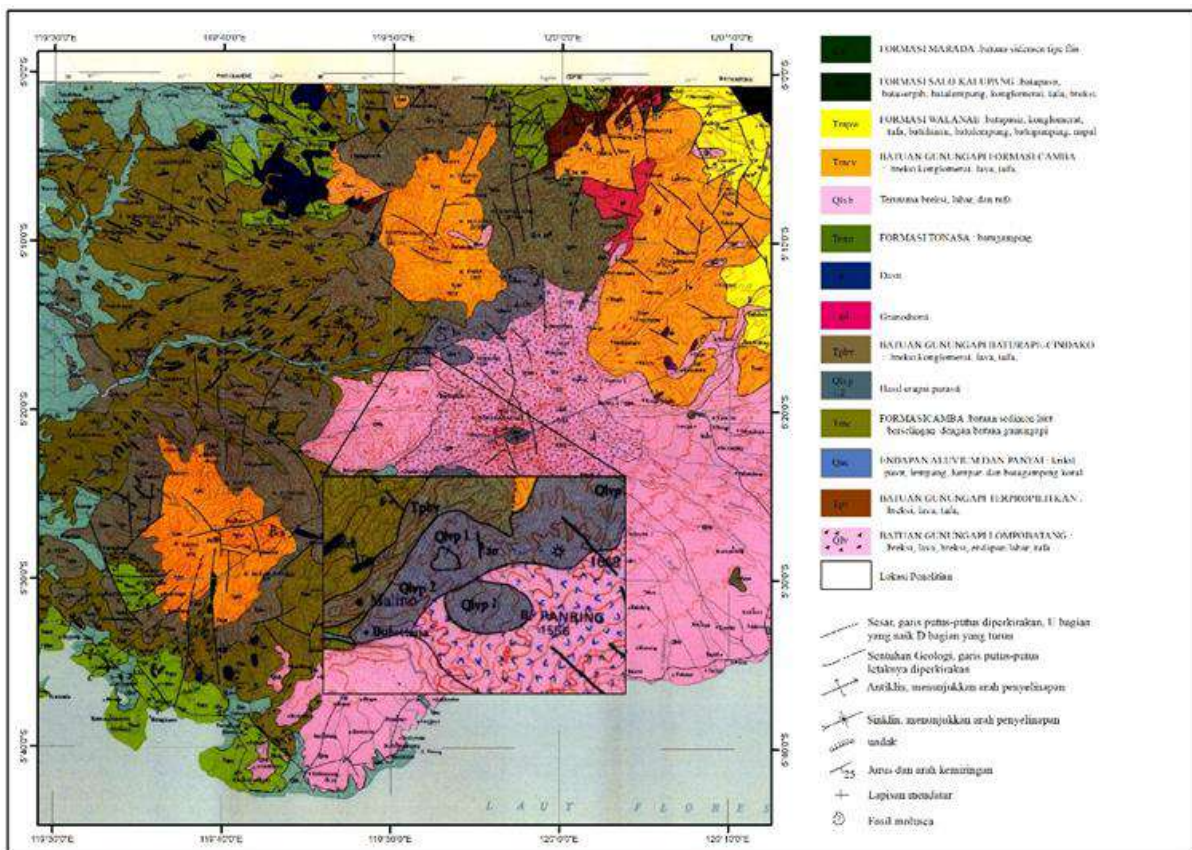
Lokasi penelitian secara geografis terletak pada koordinat $5^{\circ}16'58,481''S$ $119^{\circ}51'34,3233''E$. Secara administratif terletak di Desa Bonto Lerung, Kecamatan Tinggimoncong, Kabupaten Gowa yaitu pada lereng sekitar Jembatan Merah Punggawa D'Emba.

Geologi Daerah Penelitian

Pada Peta Geologi yang ditunjukkan pada Gambar 1, daerah penelitian termasuk dalam Peta Geologi Lembar Ujungpandang, Benteng, dan Sinjai (Sukanto, 1982).

Penelitian ini menggunakan data kualitatif dan kuantitatif dengan mengumpulkan berbagai sumber data dari penelitian sebelumnya dan pengambilan sampel langsung di lapangan. Jenis data pada penelitian ini menggunakan data primer berupa data hasil analisis di laboratorium. Jumlah sampel yang dianalisis pada penelitian ini sebanyak 3 sampel dalam

bentuk bongkahan. Metode pengambilan sampel di lapangan dengan cara melakukan *sampling* per lapisan lereng yaitu lapisan atas, tengah dan bawah. Masing-masing per lapisan diambil 1 bongkahan batuan, tiap bongkahan batuan kemudian dipreparasi dan dibagi menjadi 3 sampel hasil preparasi untuk analisis petrografi, 3 sampel hasil preparasi untuk analisis XRD, 3 sampel untuk analisis XRF dan 3 sampel bentuk *coring* untuk analisis *uniaxial compressive strength*.



Gambar 1. Peta geologi lokasi penelitian (Sukanto, 1982).

Analisis data yang digunakan untuk mengetahui jenis batuan pada lokasi penelitian menggunakan analisis petrografi untuk mengetahui ketersediaan dan jenis mineral pada sampel batuan dengan cara melakukan pengamatan menggunakan mikroskop. Analisis XRD digunakan untuk mengetahui ketersediaan mineral pada sampel batuan. Analisis XRF digunakan untuk mengetahui ketersediaan senyawa

kimia pada sampel batuan. Sedangkan untuk mengetahui nilai kuat tekan pada sampel batuan digunakan analisis *uniaxial compressive strength*. Analisis ini dilakukan menggunakan mesin tekan (*compression machine*) dengan mengikuti standar dari metode yang digunakan untuk menentukan kuat tekan uniaksial dan deformasi material batuan (Bieniawski and Bernede, 1979). Hasil pengujian dari

seluruh sampel kemudian diolah pada *Microsoft Office Excel* untuk mengetahui hubungan antara karakteristik mineralogi terhadap sifat mekanik batuan yang ditunjukkan dengan diagram korelasi.

Hasil dan Pembahasan

Morfologi Daerah Penelitian

Satuan morfologi yang terdapat pada DAS Jeneberang terdiri dari satuan morfologi pegunungan, perbukitan, dataran banjir sungai dan dataran rendah pantai. Morfologi pegunungan dengan ketinggian di atas 1000 mdpl menempati sebagian besar bagian hulu sungai yaitu di bagian timur DAS. Satuan morfologi pegunungan ini tersusun oleh batuan Gunungapi Baturape-Cindako dan batuan Gunungapi

Lompobattang dengan kelerengan curam terutama di sekitar hulu Sungai Jeneberang yang mencapai kelerengan rata-rata 100 % yaitu pada tebing kawah sekitar puncak Gunung Bawakaraeng. Satuan morfologi perbukitan menempati bagian tengah DAS memanjang dari timur ke barat di sepanjang kiri dan kanan aliran sungai dengan ketinggian antara 50-1000 mdpl. (Tim Forum DAS Sulawesi Selatan, 2004). Batuan morfologi daerah penelitian terdiri dari batuan tertua berumur Miosen tengah di Formasi Camba berada pada Sub DAS Tallo bagian hulu, sedangkan batuan termuda berumur Plistosen berada pada Sub DAS Lengese di Formasi Lompobattang (Massinai, 2011). Kondisi umum lereng pada lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Kondisi umum lereng lokasi penelitian.

Litologi Daerah Penelitian

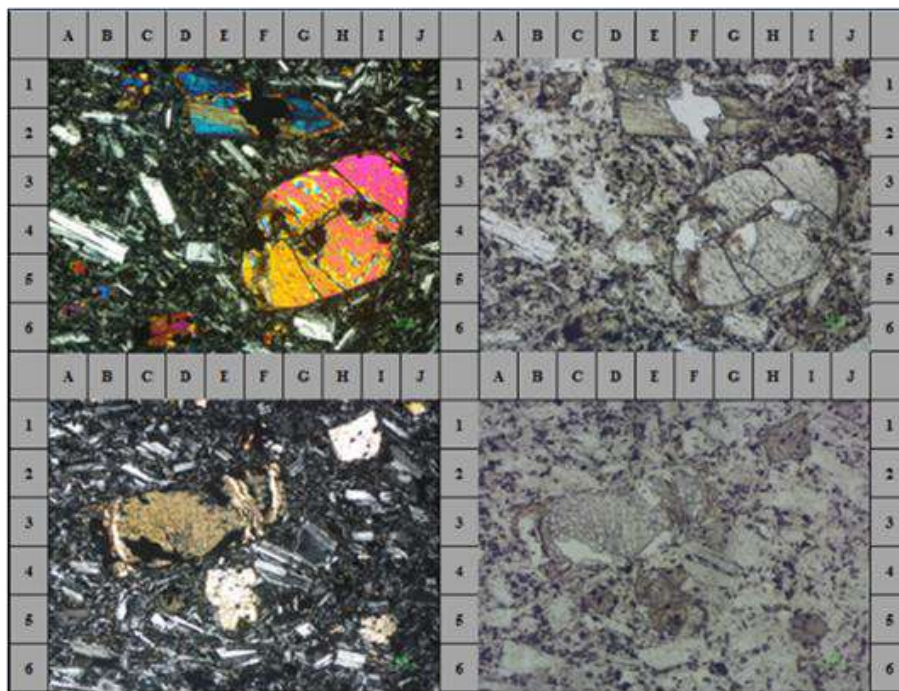
Penamaan litologi batuan di lokasi penelitian dapat dilakukan dengan dua cara baik secara megaskopis maupun mikroskopis. Pengamatan megaskopis di lapangan dapat diamati langsung dengan memperhatikan sifat fisik maupun ciri mineralnya. Sementara itu untuk pengamatan mikroskopis dilakukan dengan menggunakan mikroskop polarisasi dengan

dasar penamaan menggunakan skala klasifikasi Travis (1955).

Berdasarkan hasil pengamatan langsung di lapangan pada Gambar 3, karakteristik material penyusun lereng dalam kondisi segar berwarna abu-abu, dengan tekstur berupa *porphyritic* dan berstruktur *massive*. Batuan ini berasal dari hasil pembekuan magma di permukaan bumi berupa aliran (lava) yang bersifat intermediet (Hardiyono, 2013).



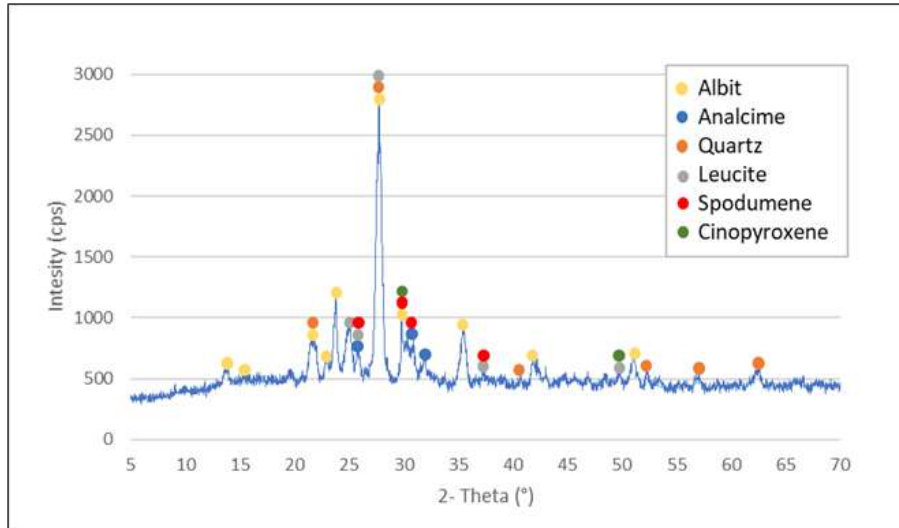
Gambar 3. Singkapan batuan pada lereng.



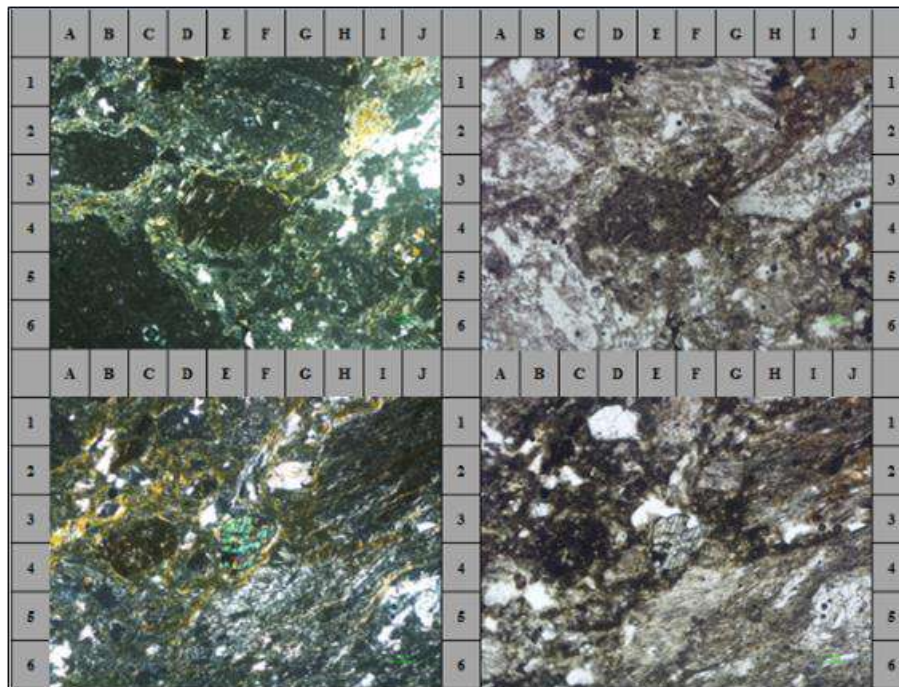
Gambar 4. Sampel A foto mikrograf.

Hasil pengamatan menggunakan mikroskop pada Gambar 4 menunjukkan kenampakan batuan berstruktur *massive*, telah mengalami ubahan sekunder sekitar <15%. Tekstur batuan *porphyritic* yang tersusun oleh fenokris 70% dan massa dasar 30%. Fenokris berukuran 0,05 – 0,25 mm terdiri dari mineral *clynopyroxene*, *plagioclase*, dan *opaque minerals*. Massa dasar didominasi oleh glass vulkanik dan sebagian mikrolit *plagioclase*, dan sedikit

granular pyroxene. Mineral sekunder terdiri dari mineral *oxide* yang tersebar pada massa dasar membentuk butiran halus berwarna hitam. Sebagian besar mineral telah berubah kuat membentuk mineral *spodumene* yang mengisi *fracture* dan bagian tepi pada individu mineral. Hasil pengamatan ini menunjukkan jenis batuan pada sampel A adalah batuan beku *andesite*.



Gambar 5. Difraktogram hasil XRD sampel A.



Gambar 6. Sampel B foto mikrograf.

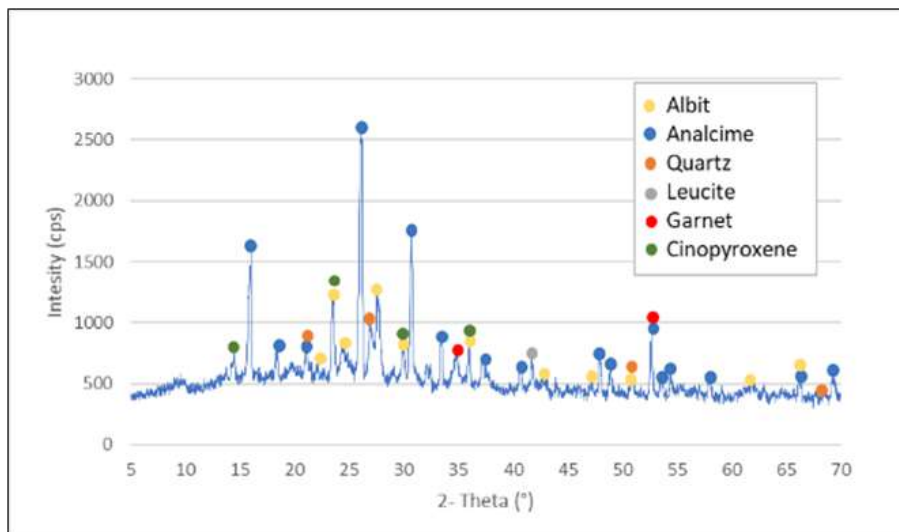
Mineral yang terdeteksi pada difraktogram sebanyak 6 mineral yang dapat dilihat pada Gambar 5. Keempat mineral yang sama pada tiap sampelnya akan digunakan sebagai korelasi terhadap nilai kuat tekan batuan. Mineral tersebut yaitu mineral *albite* 50,60%, *analcime* 3,40%, *quartz* 27,80% dan *leucite* 9,00%. Sedangkan dua mineral lainnya yaitu *clinopyroxene* 2,70% dan *spodumene* 6,50%.

Pada Gambar 6 dapat dilihat kenampakan batuan pada mikroskop berstruktur

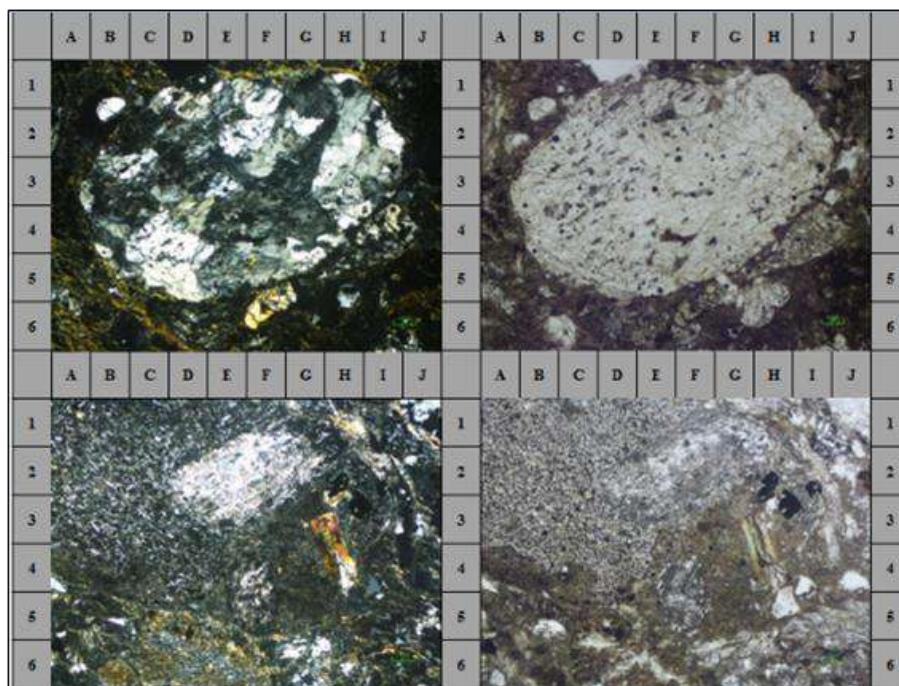
massive, telah mengalami ubahan sekunder sekitar <20%. Tekstur batuan *porphyritic* yang tersusun oleh fenokris 70% dan massa dasar 30%. Fenokris berukuran 0,05 – 0,25 mm terdiri dari mineral *sillimanite*, *analcime*, dan *microcline*. Massa dasar didominasi oleh glass vulkanik dan sebagian mikrolit *microcline*, dan sedikit granular *analcime*. Mineral sekunder terdiri dari mineral *oxide* yang tersebar pada massa dasar, membentuk butiran halus berwarna hitam, sebagian besar mineral telah berubah kuat membentuk mineral

palygorskite yang mengisi dan bagian tepi pada individu mineral. Dari hasil pengamatan tersebut maka diketahui jenis

batuan pada sampel B adalah batuan beku *andesite*.



Gambar 7. Difraktogram hasil XRD sampel B.



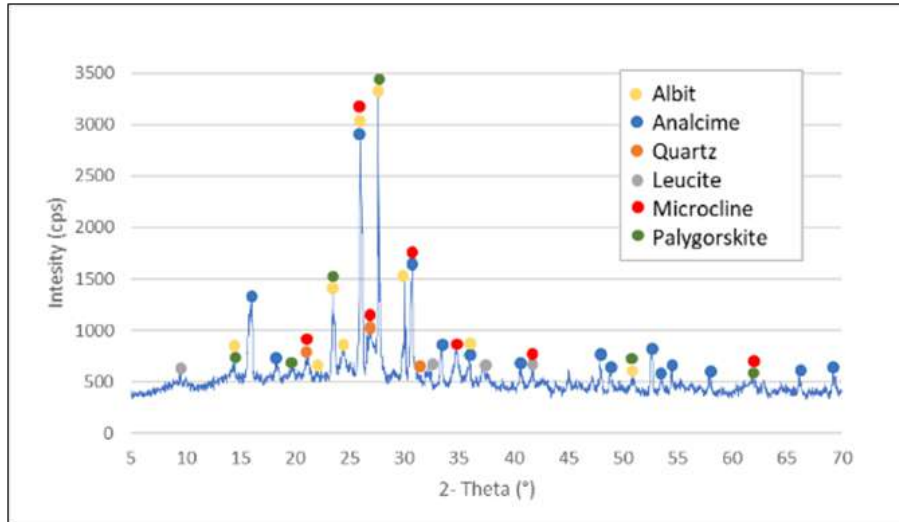
Gambar 8. Sampel C foto mikrograf.

Mineral yang terdeteksi pada difraktogram pada Gambar 7 sebanyak 6 mineral, Keempat mineral yang sama pada tiap sampelnya akan digunakan sebagai korelasi terhadap nilai kuat tekan batuan. Mineral tersebut yaitu mineral *albite* 34,6%, *analcime* 47,20%, *quartz* 7,80% dan *leucite* 1,10%. Sedangkan mineral lainnya yaitu *clinopyroxene* 7,00% dan *garnet* 2,30%.

Kenampakan batuan pada mikroskop yang ditunjukkan pada Gambar 8 berupa batuan berstruktur *massive*, telah mengalami ubahan sekunder sekitar <10%. Tekstur batuan *porphyritic* yang tersusun oleh fenokris 75% dan massa dasar 25%. Fenokris berukuran 0,04 – 0,2 mm terdiri dari mineral *clinopyroxene*, *leucite*, dan *opaque minerals*. Massa dasar didominasi oleh *glass vulkanik* dan sebagian mikrolit *plagioclase*, dan sedikit granular

clynopyroxene. Mineral sekunder terdiri dari mineral *oxide* yang tersebar pada massa dasar membentuk butiran halus berwarna hitam, sebagian besar mineral telah berubah kuat membentuk mineral

garnet yang mengisi *fracture* dan bagian tepi pada individu mineral. Hasil pengamatan tersebut juga menunjukkan jenis batuan pada sampel C adalah batuan beku andesit.



Gambar 9. Difraktogram hasil XRD sampel C.

Tabel 1. Hasil analisis XRD.

Sampel	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	Al ₂ O ₃	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	ZnO
Sampel A	65,36%	12,09%	7,84%	5,68%	5,46%	1,57%	1,01%	0,32%	-
Sampel B	66,68%	9,47%	2,72%	7,76%	10,50%	1,31%	0,53%	0,52%	0,02%
Sampel C	68,6%	9,91%	2,63%	5,90%	9,92%	1,39%	0,29%	0,60%	0,03%

Mineral yang terdeteksi pada Gambar 9 difraktogram hasil XRD sebanyak 6 mineral. Keempat mineral yang sama pada tiap sampelnya akan digunakan sebagai korelasi terhadap nilai kuat tekan batuan. Mineral tersebut yaitu mineral *albite* 22,30%, *analcime* 30,90%, *quartz* 2,90% dan *leucite* 7,70%. Sedangkan mineral lainnya yaitu *microcline* 19,60% dan *palygorskite* 16,60%.

Hasil pengujian XRD disajikan pada Tabel 1. Terdapat kesamaan keterdapatan kandungan kimia pada sampel batuan yang diperoleh dari analisis mineragrafi yang mendominasi adalah kandungan SiO₂ yang terdapat pada seluruh sampel pengamatan.

Pengujian kuat tekan pada batuan

Tujuan pengujian kuat tekan adalah untuk mengukur kuat tekan uniaksial sebuah

sampel batuan dalam geometri yang beraturan. Baik dalam bentuk silinder balok atau prisma, dalam satu arah (uniaksial).

Pengujian dilakukan menggunakan mesin tekan (*compression machine*) dan dalam pembebanannya mengikuti standar dari metode yang digunakan untuk menentukan Kuat Tekan Uniaksial dan Deformasi Material Batuan (Bieniawski and Bernede, 1979). Hasil dari pengujian ini dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil pengujian *uniaxial compressive strength*.

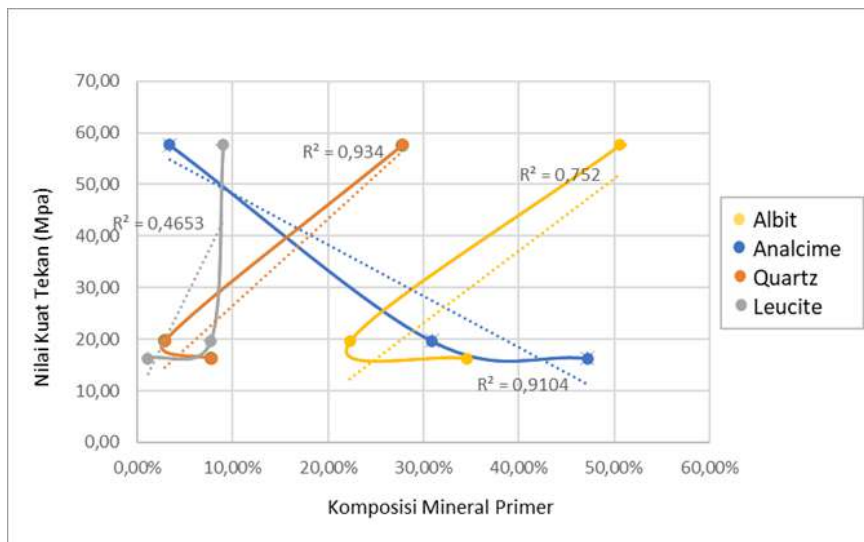
Sampel	Modulus Young (Mpa)	Nisbah Poisson	Kuat Tekan (Mpa)
Sampel A	1569,79	1,03	57,68
Sampel B	2688,13	1,18	19,65
Sampel C	2319,42	0,96	16,3

Hasil analisis sampel di laboratorium menunjukkan nilai hasil pengujian *uniaxial compressive strength* tiap sampel berbeda. Secara umum, nilai Modulus Young dan Nisbah *Poisson* tertinggi terdapat pada sampel batuan B dengan nilai 2688,13 Mpa dan 1,18. Nilai kuat tekan terendah dari ketiga sampel lereng batuan terdapat pada sampel batuan C sebesar 16,30 Mpa.

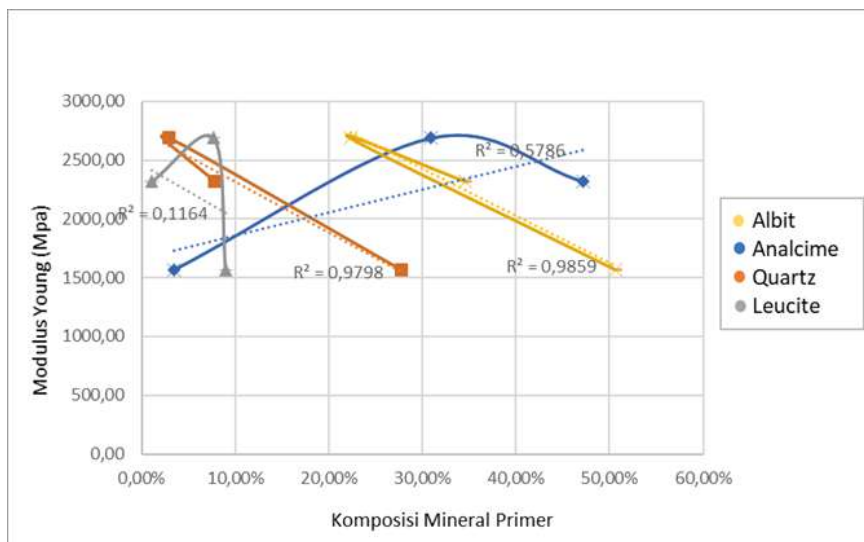
Nilai yang diperoleh dari hasil analisis keseluruhan sampel dapat dilihat pada Tabel 3. Nilai tersebut dikorelasikan antara keterdapatannya mineral dengan nilai *uniaxial compressive strength* dan dikorelasikan ke dalam diagram pada Gambar 10 – 12.

Tabel 3. Korelasi keterdapatannya mineral dan nilai kuat tekan pada batuan

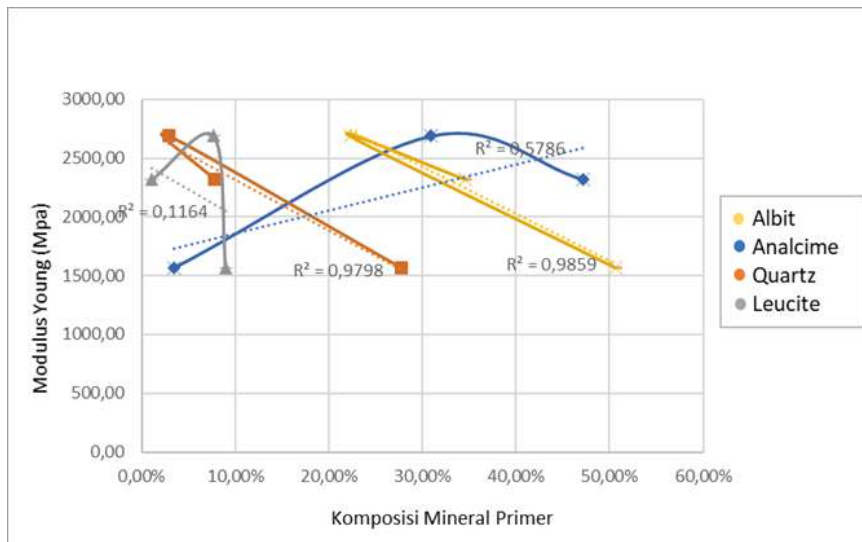
Sampel	Komposisi Mineral Batuan				Jumlah	Uniaxial Compressive Strength		
	Mineral Primer					Kuat Tekan (Mpa)	Modulus Young (Mpa)	Nisbah Poisson
	Albit	Analcime	Quartz	Leucite				
Sampel A	50,60%	3,40%	27,80%	9,00%	90,80%	57,68	1569,79	1,03
Sampel B	22,30%	30,90%	2,90%	7,70%	63,80%	19,65	2688,13	1,18
Sampel C	34,60%	47,20%	7,80%	1,10%	90,70%	16,3	2319,42	0,96



Gambar 10. Korelasi kuat tekan dan komposisi mineral.



Gambar 11. Korelasi modulus young dan komposisi mineral.



Gambar 12. Korelasi nisbah poisson dan komposisi mineral.

Hasil korelasi nilai kuat tekan dan komposisi mineral pada Gambar 10 menunjukkan nilai korelasi pada mineral *albite* yaitu 0,752, *analcime* 0,9104, *quartz* 0,934, dan *leucite* 0,4653. Hasil korelasi nilai modulus young dan komposisi mineral pada Gambar 11 menunjukkan nilai korelasi pada mineral *albite* yaitu 0,9859, *analcime* 0,5786, *quartz* 0,9798, dan *leucite* 0,116. Hasil korelasi nilai nisbah *poisson* dan komposisi mineral pada Gambar 12 menunjukkan nilai korelasi pada mineral *albite* yaitu 0,0317, *analcime* 0,3625, *quartz* 0,1408, dan *leucite* 0,4103.

Korelasi dari ketiga nilai pengujian *uniaxial compressive strength* terhadap komposisi mineral pada sampel batuan menunjukkan bahwa korelasi mineral *quartz* terhadap nilai kuat tekan, Modulus Young memiliki nilai korelasi yang cukup tinggi yaitu 0,934 dan 0,9798. Hal ini juga diperoleh dari hasil penelitian sebelumnya yang mengungkapkan bahwa keterdapatan mineral kuarsa pada batuan, memberikan nilai kekuatan pada batuan (Yusofa and Zabidia, 2016). Sementara, pada pengujian yang dilakukan pada penelitian ini diperoleh nilai korelasi mineral terhadap nisbah *poisson* menunjukkan bahwa mineral *leucite* memiliki nilai korelasi yang tinggi dibandingkan dengan mineral yang lainnya.

Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian ini menunjukkan bahwa jenis batuan yang terdapat pada lereng di lokasi penelitian adalah jenis batuan beku andesit dengan jenis mineral utama yang sama yaitu *albit*, *analcime*, *quartz*, dan *leucite*. Sedangkan didapati mineral sekunder tiap sampel yang berbeda, pada lereng sampel A mineral sekundernya yaitu *spodumene*, sampel B mineral sekundernya yaitu *garnet* dan sampel C yaitu *palygorskite*. Hasil korelasi dari ketiga nilai pengujian *uniaxial compressive strength* terhadap komposisi mineral pada sampel batuan menunjukkan bahwa korelasi mineral *quartz* terhadap nilai kuat tekan, modulus young memiliki nilai korelasi yang cukup tinggi yaitu 0,934 dan 0,9798. Nilai korelasi mineral terhadap nisbah *poisson* menunjukkan bahwa mineral *leucite* memiliki nilai korelasi yang tinggi dibanding mineral yang lainnya.

Ucapan Terimakasih

Ucapan terima kasih dipersembahkan kepada seluruh pihak yang telah membantu terlaksananya penelitian ini terutama kepada para dosen Teknik Pertambangan Universitas Hasanuddin serta teman-teman Program Magister Teknik Pertambangan Universitas Hasanuddin.

Daftar Pustaka

- Afasedanja, M.T. 2020. *Hubungan Morfologi dengan Mekanika Properties terhadap Kestabilan Lereng pada Daerah Aliran Sungai Jeneberang Propinsi Sulawesi Selatan*. Jurnal Teknik AMATA. 1(1), pp.5-10.
https://ojs.pat.ac.id/index.php/Amata_amamapare/article/view/20
- Arif, I. 2016. *Geoteknik Tambang*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.
- Bieniawski, Z.T. and Bernede, M.J. 1979. *Suggested methods for determining the uniaxial compressive strength and deformability of rock materials: Part 1. Suggested method for determining deformability of rock materials in uniaxial compression*. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts. 16(2), pp.138–140.
[https://doi.org/10.1016/0148-9062\(79\)91451-7](https://doi.org/10.1016/0148-9062(79)91451-7)
- Giannakopoulou, P.P., Petrounias, P., Tsikouras, B., Kalaitzidis, S., Rogkala, A., Hatzipanagiotou, K. and Tombros, S.F. 2018. *Using Factor Analysis to Determine the Interrelationships between the Engineering Properties of Aggregates from Igneous Rocks in Greece*. Minerals. 8(12), pp.580(1-23).
<https://doi.org/10.3390/min8120580>
- Hardiyono, A. 2013. *Karakteristik Batuan Beku Andesit & Breksi Vulkanik, Dan Kemungkinan Penggunaan Sebagai Bahan Bangunan Daerah Ukir Sari, Kecamatan Bojonegara Kabupaten Serang, Provinsi Banten*. Bulletin of Scientific Contribution. 11(2), pp.89-95
<https://jurnal.unpad.ac.id/bsc/article/view/8290>
- Irfan, T.Y. 1996. *Mineralogy, fabric properties and classification of weathered granites in Hong Kong*. Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology. 29(1), pp.5–35.
<https://doi.org/10.1144/GSL.QJEGH.1996.029.P1.02>
- Isra N., Lias S.A. and Ahmad, A. 2019. *Karakteristik Ukuran Butir dan Mineral Liat Tanah pada Kejadian Longsor (Studi Kasus: Sub Das Jeneberang)*. Jurnal Ecosolum, 8(2), pp.62-73.
<https://doi.org/10.20956/ecosolum.v8i2.7874>
- Keikha T. and Keykha H. 2013. *Correlation between Mineralogical Characteristics and Engineering Properties of Granitic Rocks*. Electronic Journal of Geotechnical Engineering. 18, pp.4055-4065.
https://www.researchgate.net/publication/287291816_Correlation_between_mineralogical_characteristics_and_engineering_properties_of_granitic_rocks
- Tim Forum DAS Sulawesi Selatan. 2004. *Pokok-pokok Pikiran Pengelolaan DAS Jeneberang dan Penanganan Bencana Longsor Bawakaraeng*. Makassar.
- Travis B.R. 1955. *Classification of Rocks*. Colorado School Of Mines. United State of America
- Tuğrul, A. and Zarif, I.H. 1999. *Correlation of mineralogical and textural characteristics with engineering properties of selected granitic rocks from Turkey*. Engineering Geology. 51(4), pp.303-317.
[https://doi.org/10.1016/S0013-7952\(98\)00071-4](https://doi.org/10.1016/S0013-7952(98)00071-4)
- Sukanto R. 1982. *Geologi Lembar Ujungpandang, Benteng dan Sinjai Sulawesi*. Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Direktorat Jendral Pertambangan Umum dan Energi.
- Yusofa, N.Q.A.M. and Zabidia H. 2016. *Correlation of Mineralogical and Textural Characteristics with Engineering Properties of Granitic*

Rock from Hulu Langat, Selangor.
Procedia Chemistry. 19, pp.975-980.
<https://doi.org/10.1016/j.proche.2016.03.144>

GEOLOGI DAN POTENSI KERAWANAN BANJIR BANDANG DESA SUNGAI JERNIH DAN SEKITARNYA, KECAMATAN PONDOK TINGGI, KABUPATEN KERINCI, JAMBI

Viky Parmelian*, Anggi Deliana Siregar, Yulia Morsa Said

Teknik Geologi, Universitas Jambi, Jl. Jambi-Muara Bulian No. KM. 15, Jambi, Indonesia

*Corresponding author. Email: vy Parmelian@gmail.com

Manuscript received: 31 July 2021; Received in revised form: 23 March 2022; Accepted: 15 April 2022

Abstrak

Desa Sungai Jernih dan sekitarnya memiliki kemiringan lereng relatif curam. Berdasarkan data curah hujan tiga tahun terakhir daerah ini memiliki curah hujan dalam kategori sedang dengan iklim tropis. Pada umumnya membuat tingkat pelapukan di sekitarnya menjadi tinggi dan menyebabkan kondisi material tanah/ batuan lapuk sehingga tidak kuat menahan volume air yang diserap oleh permukaan. Lapukan tersebut dapat terbawa arus air dan terjadinya banjir bandang. Kecamatan Pondok tinggi pernah mengalami banjir bandang salah satunya pada 13 Mei 2017. Metode yang dilakukan pada penelitian ini yaitu metode pemetaan langsung yaitu melakukan observasi lapangan untuk memetakan persebaran litologi. Sebelum dilakukan observasi lapangan dahulu dilakukan analisis data-data sekunder yang didapatkan dari studi pustaka serta sumber-sumber lainnya untuk mempertimbangkan hasil observasi lapangan sebagai acuan dasar penelitian. Hasil pemetaan berupa peta-peta dan analisis parameter menggunakan *scoring* yang di-*overlay* dengan *software* ArcGIS. Tingkat kerawanan yang rendah dengan luasan 51,25% terdiri dari 2 kecamatan, yaitu dalam Kecamatan Pondok Tinggi dan Kecamatan Kumun. Tingkat kerawanan cukup dengan luasan 25,39% terdiri dari 2 kecamatan yaitu, Kecamatan Sungai Bungkal dan Kecamatan Pondok Tinggi. Kemudian tingkat kerawanan paling tinggi dengan luasan 23,36% terdiri dari 4 kecamatan yaitu Kecamatan Pesisir Bukit, Kecamatan Sungai Bungkal, Kecamatan Sungai Penuh dan Kecamatan Pondok Tinggi.

Kata Kunci: banjir bandang; *overlay*; *scoring*; Sungai Jernih.

Abstract

Sungai Jernih Village and its surroundings have relatively steep slopes. Based on rainfall data for the last three years this area has moderate rainfall, with a tropical climate. In general, making the weathering level around it high and causing weathered soil/rock material conditions so that it is not strong retain the volume of water that is absorbed by the surface. The weathering can be carried away by water currents and flash floods. Pondok Tinggi sub-district has experienced flash floods, one of which was on May 13, 2017. The method used in this study is a direct mapping method, namely conducting field observations to map the distribution of lithology. Prior to field observations, analysis of secondary data obtained from literature studies and other sources was carried out to consider the results of field observations as a basic reference for research. Mapping results in the form of maps and parameter analysis using scoring overlaid with ArcGIS software. The low level of vulnerability with an area of 51.25% consists of 2 sub-districts, are in Pondok Tinggi District and Kumun District. The level of vulnerability is sufficient with an area of 25.39% consisting of 2 sub-districts are Sungai Bungkal District and Pondok Tinggi District. Then the highest vulnerability level with an area of 23.36% consists of 4 districts are Pesisir Bukit District, Sungai Bungkal District, Sungai Bungkal District Full and Pondok Tinggi District.

Keywords: flash flood; overlay; scoring; Sungai Jernih

Pendahuluan

Latar Belakang

Banjir adalah salah satu peristiwa bencana alam yang sering terjadi di Indonesia. Kejadian banjir ini berupa genangan air yang berlebihan terutama yang sering terjadi yaitu pada saat musim penghujan. Genangan air tersebut muncul oleh adanya peningkatan volume air yang mengalir di atas permukaan tanah, baik akibat curah hujan yang tinggi atau luapan air sungai. Bencana banjir bandang merupakan bagian dari bencana hidrometeorologi yang sangat merugikan dan berdampak terhadap kehidupan, dan harta benda. Faktor utama banjir bandang yaitu dipicu oleh intensitas hujan ekstrim. Banjir bandang berkaitan dengan kejadian longsor yang menyumbat aliran sungai membentuk bendung alam. Tekanan aliran sungai mampu menjebol bendung yang terbuat secara alami tersebut sehingga terjadi banjir bandang yang ditandai oleh kecepatan aliran yang tinggi dengan membawa lumpur, kayu, dan batu (Adi, 2013).

Menurut Poedjopradjitno (2012), daerah Kerinci merupakan lembah yang terisi oleh material letusan gunung api Kerinci dan gunung api di sekitarnya. Daerah ini menampung sedimen dari hasil erosi dinding lembah yang membentuk dataran aluvial gunung api, lalu diapit oleh dua jalur perbukitan lereng yang relatif curam. Tipe topografi seperti daerah ini merupakan topografi yang sangat rawan terhadap bencana alam khususnya bahaya tanah longsor hingga banjir bandang. Selain itu daerah ini juga memiliki iklim yang tropis dengan curah hujan yang tinggi.

Kejadian banjir bandang sendiri masih sulit dideteksi kemunculannya dan sulit dihindari atau dicegah kejadiannya. Dengan mengetahui informasi potensi kerawanan banjir bandang pada daerah penelitian dapat meningkatkan kesiap-

siagaan pemerintah maupun masyarakat daerah penelitian terhadap risiko apabila terjadinya banjir bandang. Perbedaan penelitian yang dilakukan ini dengan penelitian sebelumnya yaitu pada daerah penelitiannya. Daerah penelitian ini belum pernah dilakukan penelitian mengenai tingkat kerawanan banjir bandang, sehingga penelitian ini menggunakan acuan metode penelitian terdahulu mengenai banjir bandang yang dilakukan pada beberapa daerah lain yaitu dengan metode *scoring* dan *overlay*. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui daerah-daerah yang memiliki potensi tingkat kerawanan banjir bandang dari yang tinggi, cukup, hingga rendah. Berdasarkan hal ini, penulis tertarik melakukan penelitian dengan judul Geologi Dan Potensi Kerawanan Banjir Bandang Daerah Talang Lindung, Kecamatan Pondok, Tinggi Kabupaten Kerinci, Jambi.

Tujuan penelitian ini yaitu: 1) mengetahui dan memberikan informasi mengenai kondisi geologi daerah penelitian, 2) mengetahui potensi terjadinya banjir bandang berdasarkan parameter-parameter banjir bandang, dan 3) mengetahui penanggulangan yang tepat untuk mengurangi risiko terjadinya bencana banjir bandang.

Geologi Daerah Penelitian

Kerinci adalah daerah yang terbentuk dari aktifitas penujaman lempeng Indo-Australia dengan Lempeng Eurasia yang menghasilkan zona busur magmatik dan tatanan tektonik yang kompleks. Struktur geologi saling berkaitan satu terhadap lainnya selain mengontrol sebaran batuan di permukaan pada daerah ini juga menjadikan daerah ini cukup kompleks secara tektonik (Barber et al., 2009).

Berdasarkan pembagian zona fisiografi van Bemmelen (1949), daerah penelitian termasuk

kedalam zona fisografi Perbukitan Barisan dan zona Sesar Semangko. Rangkaian Pegunungan Barisan yang telah disebutkan itu dikenal sebagai lajur Zona Magmatik Busur Barisan yang di dalamnya terdapat Zona Sesar Besar Sumatera. Stratigrafi daerah penelitian memiliki 4 formasi yaitu Formasi Kumun (Tmk), Tpgds (Granodiorit Sungai Penuh), Qv(kb) Batuan Andesit-Basalt Kebongsong dan Qa (Aluvium).

Dasar Teori

Banjir bandang adalah banjir yang sifatnya cepat, banjir bandang ini terjadi dengan aliran air yang membawa material tanah (berupa lumpur), batu dan kayu. Sifat banjir bandang yang cepat dan membawa material-materialnya sangat merugikan hingga dapat merusak dan menimbulkan korban jiwa di daerah yang dilalui. Pada umumnya karena tidak sempatnya dilakukan evakuasi saat kejadian, selain itu banjir bandang juga dapat menyebabkan kerusakan pada bangunan-bangunan karena arus banjir yang membawa material (Adi, 2013).

Beberapa faktor yang menyebabkan terjadinya banjir yaitu kondisi alam (letak geografis wilayah, kondisi topografi, geometri sungai dan sedimentasi), peristiwa alam seperti curah hujan serta aktifitas manusia seperti pembudidayaan daerah dataran banjir, mengatur tata ruang di dataran banjir yang tidak sesuai dengan fungsi lahan, belum adanya pola pengelolaan serta pengembangan dataran banjir, permukiman di daerah dekat sungai, sistem drainase yang tidak memadai, terbatasnya tindakan mitigasi banjir, masyarakat kurang menyadari dan kurang peduli pada sungai, hutan daerah hulu terjadi penggundulan, upaya pemeliharaan terbatas (Utama and Naumar, 2015).

Kawasan yang berpotensi banjir bandang dapat ditentukan dengan menganalisis hasil dari keseluruhan faktor yang dinilai dari setiap parameter banjir menggunakan

metode *scoring*. *Scoring* merupakan pemberian skor terhadap tiap kelas pada masing-masing parameter yang didasarkan pada pengaruh kelas tersebut terhadap kejadian. Seberapa besar kemungkinan terjadinya banjir dipengaruhi oleh setiap parameter geografis yang digunakan dalam analisis Sistem Informasi Geografis/ SIG (Suhadirman, 2012). Semakin besar pengaruhnya terhadap kejadian, maka semakin tinggi nilai skornya (Sudijono, 2007).

Metode Penelitian

Metode penelitian yang dilakukan adalah melakukan metode pemetaan langsung yaitu dengan cara melakukan observasi lapangan untuk memetakan persebaran litologi pada daerah penelitian. Observasi lapangan dimulai dari pengamatan satuan geomorfologi, pola pengaliran, kedudukan batuan, litologi, struktur batuan dan pengambilan sampel batuan pada singkapan dengan jarak lokasi pengamatan 300 - 500 m.

Sebelum dilakukan observasi lapangan terlebih dahulu dilakukan analisis data sekunder meliputi data curah hujan, peta geologi tentatif dan geomorfologi tentatif, yang didapatkan dari studi pustaka dan sumber-sumber lain yang dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan sebelum melakukan observasi lapangan secara detail. Kemudian akan dibantu dengan pekerjaan dan analisis laboratorium yaitu analisis petrografi serta analisis sifat fisik tanah, dapat dikelompokkan berdasarkan data pengamatan yang ada di lapangan, pengambilan data litologi batuan, serta menganalisis karakteristik dari masing masing litologi seperti penyebaran litologi, kesamaan ciri fisik, hasil analisis sayatan petrografi, dan analisis petrografi. Data yang diperoleh akan dianalisis, diinterpretasi dan disajikan dalam bentuk peta dan tulisan. Peta yang dihasilkan adalah peta lintasan, peta geologi, peta geomorfologi, peta pola pengaliran, peta

penggunaan lahan, peta kelerengan dan peta potensi kerawanan banjir bandang. Peta-peta tersebut dihasilkan dengan cara *overlay* berdasarkan hasil *scoring* dari parameter-parameter banjir bandang dan pembobotan yang mengacu kepada Peraturan Badan Nasional Penanggulangan Bencana No. 2 tahun 2012 sebagai dasar pembuatan peta kerawanan banjir bandang.

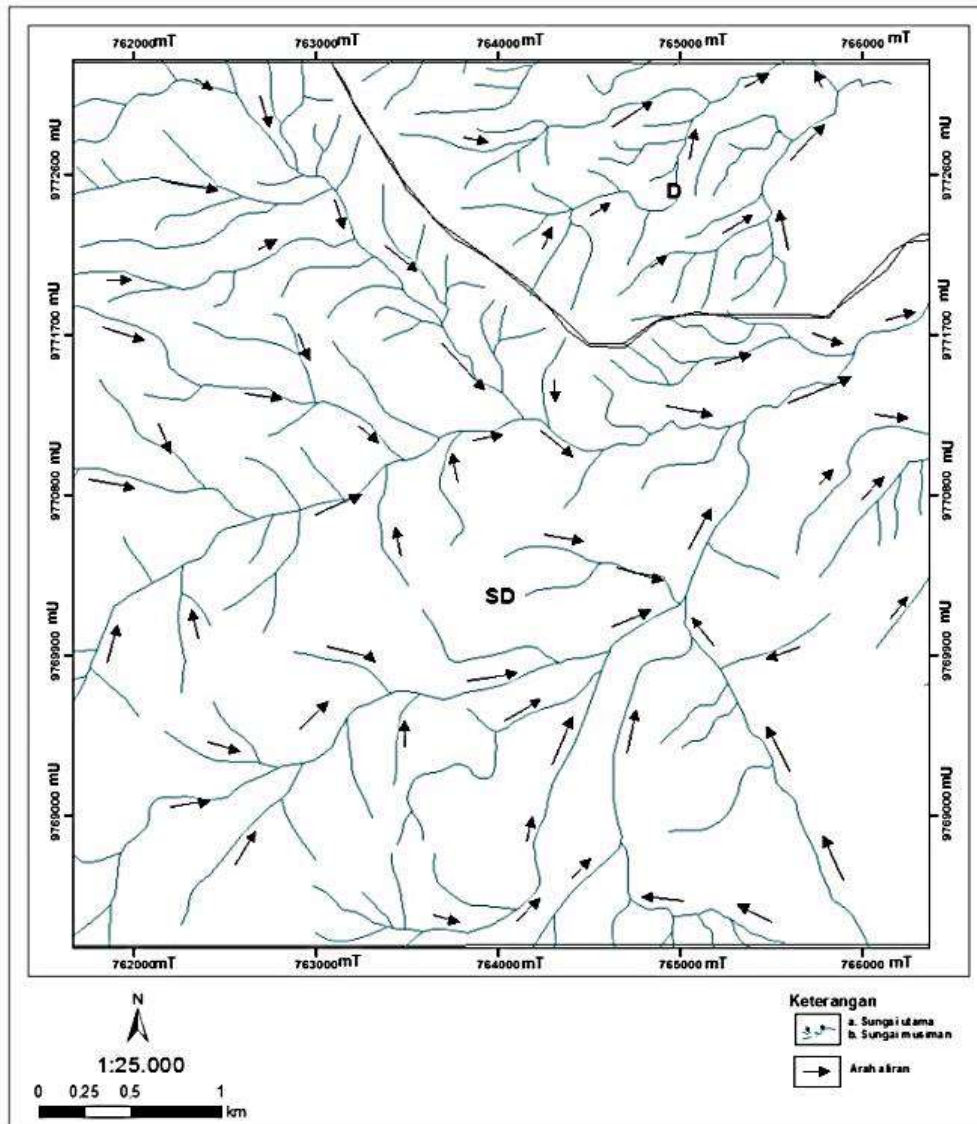
Hasil dan Pembahasan

Geologi Daerah Penelitian

Pola pengaliran pada daerah penelitian dibagi berdasarkan pembagian pola pengaliran menurut Howard (1967). Dilihat dari peta pola pengaliran pada Gambar 1

dan kondisi di lapangan, daerah penelitian memiliki dua pola pengaliran yaitu denritik dan subdenritik dengan arah aliran yang berpusat menuju timur laut daerah penelitian.

Pola pengaliran pada bagian timur laut, dinding sungai sudah banyak di dam karena bagian timur laut daerah penelitian sudah memasuki kawasan permukiman yang banyak penduduknya, yaitu daerah kota Sungai Penuh. Litologi tidak banyak terlihat namun pada bagian tubuh sungai banyak tersebar bongkahan batuan yang selebihnya merupakan persawahan dan perumahan warga. Resistensi batuan daerah ini rendah dan kontrol struktur kurang berkembang.



Gambar 1. Peta pola pengaliran daerah penelitian.

Pada bagian barat daya daerah penelitian memiliki pola pengaliran didominasi oleh sungai yang memiliki resistensi batuan lebih kuat dibandingkan pada bagian daerah timur laut. Pola pengaliran daerah ini memiliki pola pengaliran subdenritik. Hal ini mengidentifikasi bahwa daerah ini dikontrol oleh struktur tetapi sangat kecil.

Satuan geomorfologi daerah penelitian dibagi berdasarkan analisa kerapatan garis kontur pada peta topografi dan pengamatan secara langsung pada lokasi penelitian, yaitu berupa pengukuran lereng, pengamatan resistensi batuan, vegetasi, dan pengamatan geomorfologi melalui sudut mata burung dan mata katak. Pembagian satuan geomorfologi pada daerah penelitian didasarkan atas aspek morfometri dan morfogenesis mengacu pada klasifikasi Verstappen (1983).

Bentukan asal daerah penelitian terdiri dari struktural (S) dan fluvial (F). Sedangkan bentukan lahan daerah penelitian yaitu perbukitan struktural (S1), lembah struktural (S2), dan dataran fluvial (F2). Masing-masing bentukan lahan memiliki aspek geomorfologi yang berbeda pula.

Stratigrafi daerah penelitian didapatkan satuan batuan dari tua ke muda adalah Neogen Miosen Batupasir Kumun (Nmbpk), Neogen Pliosen Intrusi Granit Sungai Penuh (Npigs), Quarter holosen lava basalt-andesit Kebongsong (Qhbkb), Quarter holosen breksi vulkanik Kebongsong (Qhbkb) dan Endapan aluvial Quarter (Qa).

Struktur geologi daerah penelitian masuk dalam zona Sesar Sumatera (Sesar Siulak) yang berada pada jalur vulkanisme kuartar, dilihat dari kesesuaian stratigrafi yang ditemukan pada daerah ini. Batuan yang menyebar pada daerah penelitian merupakan batuan yang bersumber dari aktivitas vulkanik. Hal ini menyebabkan satuan geomorfologi yang terbentuk dan

terhampar pada daerah penelitian adalah satuan geomorfologi struktural. Berdasarkan interpretasi dan analisis peta DEM (*digital elevation model*) dari data DEM-Nasional yaitu Badan Informasi Geospasial, yang dilakukan dengan menggunakan Diagram Roset, pada umumnya struktur yang berkembang pada daerah penelitian ini memiliki arah umum tenggara-barat laut.

Pembahasan

Kerawanan banjir bandang pada daerah penelitian menggunakan 4 parameter yaitu kemiringan lereng, penggunaan lahan curah hujan dan jenis tanah.

a. Kemiringan Lereng

Kemiringan lereng sangat berpengaruh terhadap terjadinya banjir bandang. Semakin landai dan datar kondisi kelerengannya maka potensi kerawanan banjir bandang pada daerah penelitian akan lebih tinggi dibandingkan daerah yang memiliki kemiringan lereng curam (Suhardiman, 2012).

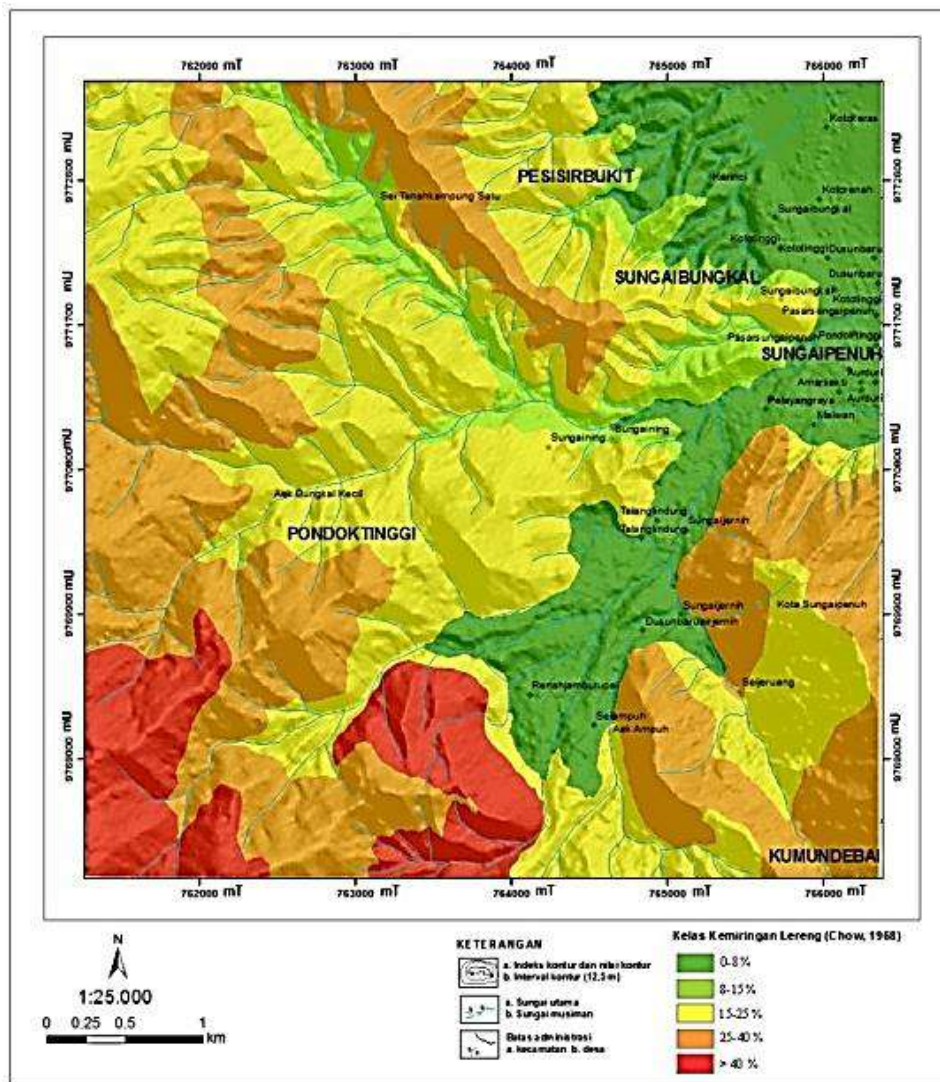
Tabel 1. Nilai pembobotan kelerengan daerah penelitian.

Kelerengan	Skor	Bobot	Nilai
Sangat curam	1	35	35
Agak curam-curam	2	35	70
Datar-landai	3	35	105

Kemiringan lereng pada daerah penelitian dibagi menjadi 5 kelas berdasarkan pembagian kelas kemiringan lereng menurut Peraturan Menteri Kehutanan Republik Indonesia No. P.32/MENHUT-II/2009. Masing-masing kemiringan lereng diberi skor dan bobot berdasarkan seberapa besar berpotensi terjadinya banjir bandang seperti pada Tabel 1. Daerah dengan warna hijau tua memiliki kemiringan lereng datar dengan persentase sekitar 0-8%, daerah yang memiliki warna hijau muda memiliki kemiringan lereng yang landai dengan persentase kemiringan sekitar 8-15%, daerah yang memiliki warna kuning memiliki kemiringan lereng agak curam

dengan persentase 15-25%, daerah dengan warna oren memiliki kemiringan lereng yang curam dengan persentase 25-40%, dan daerah yang berwarna merah memiliki

lereng yang sangat curam dengan persentase kemiringan lereng >40%, dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Peta kemiringan lereng daerah penelitian.

b. Penggunaan Lahan

Bagian daerah yang memiliki vegetasi lebih banyak akan memiliki waktu tempuh yang lebih lama untuk mengalirkan air ke daerah sungai sehingga potensi kerawanan banjir bandang akan semakin kecil.

Tabel 2. Nilai pembobotan kelereng daerah penelitian

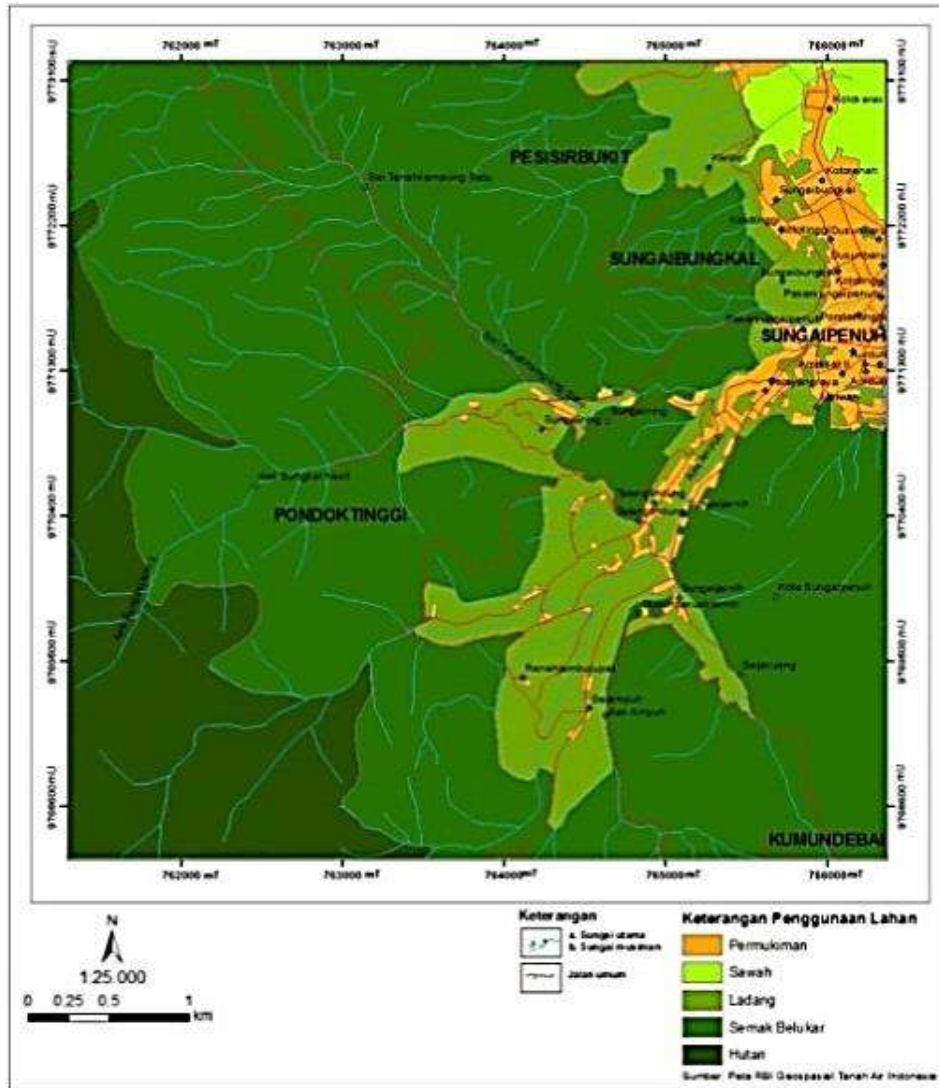
Penggunaan Lahan	Skor	Bobot	Nilai
Hutan	1	35	35
Ladang, semak belukar	2	35	70
Sawah, Permukiman	3	35	105

Daerah penelitian memiliki 5 penggunaan lahan yaitu untuk permukiman, sawah, ladang, semak belukar dan hutan. Masing-masing penggunaan lahan diberi skor sesuai dengan seberapa besar potensi terjadinya banjir bandang. Semakin besar potensinya maka diberi skor besar pula seperti pada Tabel 2.

Penggunaan kawasan ditandai dengan perbedaan warna yang bergradasi. Kawasan yang diberi warna *orange* digunakan sebagai kawasan permukiman dengan kondisi vegetasi yang hampir tidak

ada. Kawasan yang diberi warna hijau yang paling muda digunakan sebagai kawasan persawahan yang didominasi oleh tumbuhan padi didekat permukiman. Kawasan yang diberi warna hijau muda digunakan sebagai kawasan ladang milik warga. Kawasan yang diberi warna hijau tua digunakan sebagai kawasan semak

belukar yang ditumbuhi oleh vegetasi alam yang sedang, seperti rumput-rumput hingga sedikit pepohonan. Kawasan yang diberi warna hijau paling tua merupakan hutan yang memiliki vegetasi berupa pohon-pohon yang besar. Penggunaan lahan pada daerah penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Peta penggunaan lahan daerah penelitian.

c. Curah Hujan

Curah hujan pada daerah bertopografi tinggi akan cenderung lebih tinggi dari pada curah hujan pada daerah yang memiliki bertopografi rendah. Hal ini bisa disebabkan oleh vegetasi alam yang tersebar pada daerah bertopografi tinggi biasanya lebih lebat dan mendukung terjadinya proses evaporasi dalam siklus hidrogeologi, akar-akar vegetasi hingga

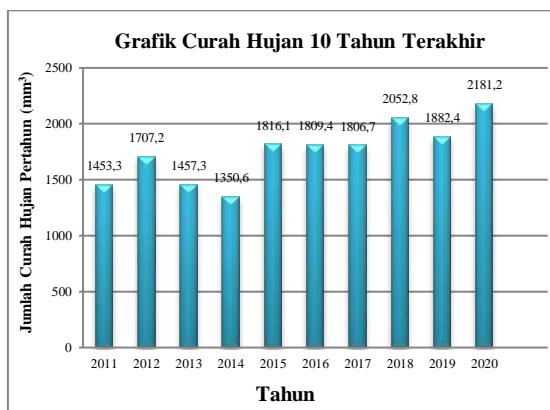
tanah yang subur pada daerah tinggian pun pada umumnya mendukung kelancaran proses infiltrasi, sehingga siklus hidrologi terjadi dengan seimbang dan menyebabkan curah hujan menjadi lebih tinggi.

Curah hujan daerah penelitian dilihat dari data curah hujan 10 tahun terakhir yang bersumber dari badan pusat statistik, rata-rata pertahunnya adalah 1751,7 mm³. Jika

dihitung menggunakan nilai perbandingan bulan basah dan bulan kering yang mengacu kepada Schmidt dan Ferguson (1951). Daerah ini memiliki bulan kering sebanyak 26 bulan selama 10 tahun, dan bulan basah sebanyak 80 bulan. Perbandingan keduanya dihitung mendapatkan hasil 0,00325 sehingga termasuk dalam iklim sangat basah. Curah hujan sangat basah memiliki potensi terjadinya banjir bandang yang besar sehingga diberi skor tinggi seperti pada Tabel 3. Curah hujan daerah penelitian hanya dalam kategori sangat basah luasan keseluruhan daerah penelitian seluas 5 x 5 km², sehingga tidak menggunakan peta curah hujan. Jumlah curah hujan daerah penelitian mengalami kenaikan dan penurunan angka setiap tahunnya.

Tabel 3. Nilai pembobotan curah hujan daerah penelitian.

Curah hujan	Skor	Bobot	Nilai
Agak kering, kering, sangat kering, luar biasa kering	1	30	-
Agak basah, sedang	2	30	-
Sangat basah, basah	3	30	90



Gambar 4. Grafik curah hujan daerah penelitian dalam 10 tahun terakhir.

Selama 10 tahun terakhir curah hujan mengalami fluktuasi (Gambar 4), curah hujan yang paling tinggi terjadi di tahun 2020 dengan angka 2181,2 mm³. Adanya perubahan angka curah hujan seperti itu dapat menyebabkan tingkat pelapukan pada daerah penelitian semakin tinggi. Tingkat pelapukan yang tinggi akan membuat material seperti bebatuan dan tanah

menjadi lapuk dan lebih mudah runtuh ketika terjadi hujan deras sehingga aliran air dalam kondisi ini mampu membuat material-material tersebut terbawa oleh arus dengan kecepatan lebih tinggi. Kondisi kemiringan lereng yang curam menyebabkan aliran air akan mengalir menuju tempat yang lebih rendah hingga ke permukaan menyebabkan banjir bandang terjadi dan sangat membahayakan sekitarnya.

d. Jenis Tanah

Daerah penelitian memiliki penyebaran tanah lempung dan lanau. Jenis tanah dilihat dari sifat fisik tanah pada daerah penelitian berdasarkan hasil pengujian sifat fisik yaitu analisa saringan, berat jenis, kadar air, dan Atteberg. Klasifikasi yang digunakan mengacu pada klasifikasi tanah USCS dalam Carolin et al. (2021).

Berdasarkan hasil laboratorium yang dapat dilihat pada Tabel 4. Kadar air dengan nilai antara 45-50% termasuk dalam nilai kadar air cukup tinggi sehingga tanah dengan kadar air dengan nilai ini menjadi lebih lunak dan cenderung lebih mudah terbawa arus. Sedangkan, hasil analisa butir tanah menunjukkan persentase kandungan lempung yang paling dominan dengan rata-rata dari tiga sampel adalah 18,76%, selanjutnya lanau 9,21% dan pasir 4,99%. Berdasarkan pengujian Atteberg, tanah pada daerah penelitian memiliki kerentanan berubah menjadi semi cair saat penambahan kadar air dari yang semula 38,71% menjadi 51,06%. Selanjutnya didapat batas plastis tanah pada kadar air rata-rata 27,39%. Tanah dengan kadar air di atas 50% merupakan tanah lempung atau lanau dengan batas cair yang tinggi dan plastisitas yang tinggi. Sedangkan tanah dengan kadar air di bawah 50% adalah tanah lempungan atau lanauan dengan batas cair rendah dan plastisitas rendah-sedang. Berdasarkan pengujian berat jenis, daerah penelitian memiliki tanah lempung dan lanau, tanah halus memiliki peluang terjadinya banjir yang tinggi dibandingkan butir kasar. Hal ini karena semakin halus

tekstur tanah maka air aliran permukaan yang berasal dari hujan maupun luapan

sungai sulit untuk meresap ke dalam tanah dan menghambat proses infiltrasi.

Tabel 4. Hasil pengujian tanah di laboratorium.

Sampel	Kadar Air (%)	Berat Jenis (gr/cm ³)	Analisa Butir (%)				Atteberg		
			Kerikil	Pasir	Lanau	Lempung	LL (%)	PL (%)	PI (%)
1	28,89	2,61	0.000	2,46	4,17	17,94	50,68	24,88	25,8
2	48,82	2,58	0.000	1,87	4,14	12,32	48,65	24,67	23,98
3	38,72	2,62	0.000	10,66	19,31	26,01	53,86	32,64	32,64
Total	116,43	7,81	0,00	14,99	27,62	56,27	153,19	82,19	82,42
Rata-Rata	38,81	2,60	0,00	5,00	9,21	18,76	51,06	27,40	27,47

Keterangan:

LL: *Liquid Limit*

PL: Plastisitas

PI: Plastisitas Indeks

e. Kerawanan Banjir Bandang Daerah Penelitian

Berdasarkan parameter yang telah dijelaskan sebelumnya, parameter-parameter tersebut dijadikan dasar untuk menetapkan wilayah kerawanan banjir bandang di daerah penelitian. Semua peta-peta di-*overlay* untuk menentukan zona-zona banjir bandang dimulai dari wilayah yang memiliki potensi kerawanan tinggi, cukup hingga rendah.

Menentukan interval tingkat kerawanan banjir berdasarkan Peraturan Menteri Kehutanan Republik Indonesia No. P.32/MENHUT-II/2009 yaitu dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$K = \frac{JT - JR}{JK} \quad (1)$$

dengan:

K: Interval kelas

JT: Jumlah tinggi (bobot x skor tertinggi setiap parameter)

JR: Jumlah terendah (bobot x skor terendah setiap parameter)

JK: Jumlah kelas

Tabel 5. Interval kelas kerawanan banjir

Interval kelas	Kelas Rawan
207-160	Tinggi
252-206	Rendah
300-253	Sedang

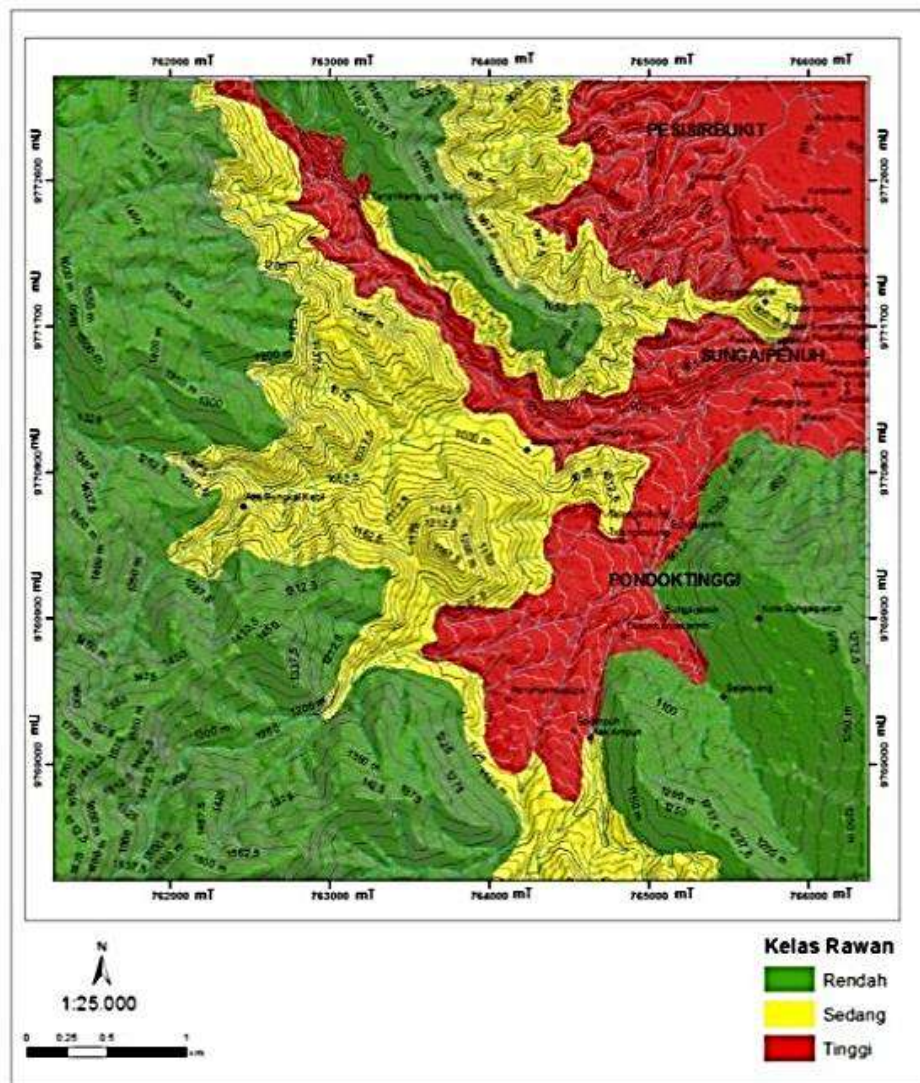
Hasil *overlay* dan parameter-parameter tersebut menjadi dasar untuk pembuatan peta kerawanan banjir bandang daerah penelitian berdasarkan tingkat kerawanan yang mengacu dengan Peraturan Badan Nasional Penanggulangan Bencana No. 2 tahun 2012, dapat dilihat pada Gambar 5 dan 6.

Daerah penelitian memiliki potensi yang tinggi sekitar 23,36% pada bagian timur laut hingga arah selatan daerah penelitian. Sedangkan untuk daerah berpotensi cukup sekitar 25,39% pada bagian timur laut hingga arah selatan. Selebihnya daerah dengan tingkat yang rendah sekitar 51,25% pada bagian tenggara, barat daya hingga arah utara daerah penelitian. Dapat dilihat pada Tabel 6.

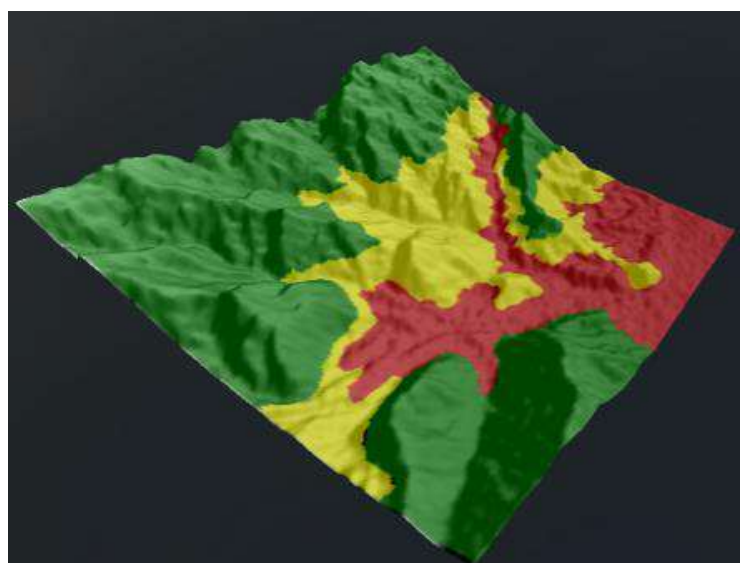
Berdasarkan Tabel 6, dari keseluruhan daerah penelitian memiliki tingkat kerawanan rendah terdiri dari 2 kecamatan, yaitu dalam Kecamatan Pondok Tinggi: Air Teluh, Koto Lebu, Sei Tanah Kampung Satu, Sei Jeruang, dan Aek Bungkal Kecil. Kecamatan Kumun Debai: Renah Kayu Embun. Tingkat kerawanan cukup terdiri dari 2 kecamatan yaitu dalam Kecamatan Sungai Bungkal: Sungai Bungkal dan Kecamatan Pondok Tinggi: Sungai Ning dan Aek Ampuh. Kemudian yang memiliki tingkat kerawanan paling tinggi ada 4 kecamatan yaitu, Kecamatan Pesisir Bukit: Koto Renah, Koto Lolo, Koto Keras. Kecamatan Sungai Bungkal: Koto Tinggi.

Kecamatan Sungai Penuh: Dusun Baru, Amar Sakti, dan Pelayang Raya.
Kecamatan Pondok Tinggi: Talang

Lindung, Aur Duri, Karya Bakti, dan Sungai Jernih.



Gambar 5. Peta kerawanan banjir bandang.



Gambar 6. Kenampakan 3 dimensi potensi kerawanan banjir bandang daerah penelitian.

Tabel 6. Daerah berpotensi memiliki kerawanan banjir bandang.

Tingkat Kerawanan	Luas (Ha)	Desa	Persentase Luasan Daerah
Rendah	1307,49	Kec. Pondok Tinggi: - Air Teluh - Koto Lebu - Sei Tanah Kampung Satu - Aek Bungkal Kecil - Sei Jeruang Kec. Kumun Debai: - Renah Kayu Embun	51,25%
Sedang	647,79	Kec. Sungai Bungkal: - Sungai Bungkal Kec. Pondok Tinggi: - Sungai Ning - Aek Ampuh	25,39 %
Tinggi	595,83	Kec. Pesisir Bukit: - Koto Renah - Koto Lolo - Koto Keras Kec. Sungai Bungkal: - Koto Tinggi Kec. Sungai Penuh: - Dusun Baru - Amar Sakti - Pelayang Raya Kec. Pondok Tinggi: - Talang Lindung - Aur Duri - Karya Bakti - Sungai Jernih	23,36%

Dengan demikian berdasarkan hasil dan pembahasan, saran meminimalan risiko terjadinya banjir bandang, untuk daerah dengan tingkat kerawanan yang tinggi yaitu tidak membangun permukiman pada wilayah yang berdekatan langsung dengan lereng yang curam, menanam vegetasi berakar kuat sehingga mampu menahan masukan air dan menyerap air di permukaan untuk mendukung proses infiltrasi. Peminimalan risiko tingkat kerawanan yang sedang sebaiknya hindari membuat kawasan perkebunan pada lereng-lereng, penanaman vegetasi sebaiknya tetap dilakukan pada kawasan ini. Peminimalan risiko untuk tingkat kerawanan yang rendah sebaiknya jangan dilakukan penebangan-penebangan pohon secara bebas terlebih pohon-pohon besar, sebab pohon-pohon inilah yang akan menahan aliran air agar tidak langsung mengalir lolos menuju permukiman karena kondisi tanah yang serapannya baik.

Kesimpulan

Daerah penelitian memiliki tingkat kerawanan yang rendah terdiri dari 2 kecamatan, yaitu dalam Kecamatan Pondok Tinggi: Air Teluh, Koto Lebu, Sei Tanah Kampung Satu, Sei Jeruang, dan Aek Bungkal Kecil. Kecamatan Kumun Debai: Renah Kayu Embun. Tingkat kerawanan yang cukup terdiri dari 2 kecamatan yaitu dalam Kecamatan Sungai Bungkal: Sungai Bungkal dan Kecamatan Pondok Tinggi: Sungai Ning dan Aek Ampuh. Kemudian yang memiliki tingkat kerawanan paling tinggi ada 4 kecamatan yaitu, Kecamatan Pesisir Bukit: Koto Renah, Koto Lolo, Koto Keras. Kecamatan Sungai Bungkal: Koto Tinggi. Kecamatan Sungai Penuh: Dusun Baru, Amar Sakti, dan Pelayang Raya. Kecamatan Pondok Tinggi: Talang Lindung, Aur Duri, Karya Bakti, dan Sungai Jernih.

Peminimalan risiko tinggi yaitu tidak membangun permukiman pada wilayah yang berdekatan langsung dengan lereng yang curam, tidak membuat perkebunan pada daerah lereng, menanam vegetasi berakar kuat. Peminimalan risiko tuntut tingkat kerawanan yang rendah sebaiknya jangan dilakukan penebangan-penebangan pohon secara bebas terlebih pohon-pohon besar.

Ucapan Terima Kasih

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT yang telah memberi rahmat dan ridho-Nya sehingga dapat menyelesaikan penelitian dan penulisan ini. Terimakasih kepada kedua orang tua yang selalu memberi dukungan dalam penyelesaian penelitian ini. Terimakasih kepada Badan Pusat Statistik yang telah menyediakan data-data curah hujan, Dinas Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Sungai jernih, Kerinci yang telah mengizinkan peneliti menggunakan alat untuk memenuhi data yang diperlukan, dan semua pihak yang terkait selama melakukan penelitian hingga sampai penerbitan.

Daftar Pustaka

- Adi, S. 2013. *Karakteristik Bencana Banjir Bandang di Indonesia di Indonesia*. Jurnal Sains dan Teknologi Indonesia. 15(1), pp.42-51.
<https://dx.doi.org/10.29122/jsti.v15i1.938>
- Barber, A.J., Crow, M.J. and Milsom, J.S. 2005. *Sumatera: Geology, Resources and Tectonic Evolution*. Geological Society of London.
<https://doi.org/10.1144/GSL.ME.M.2005.031>
- Carolin, C.B., Suhendra, S. and Dony, W. 2021. *Penentuan Klasifikasi Tanah Sistem Uscs (Unified Soil Classification System) dengan Bantuan Ms Excel*. Jurnal Civronlit. 6(2), pp.76-84.

<http://dx.doi.org/10.33087/civronlit.v6i2.88>

- Peraturan Kepala Badan Nasional Penanggulangan Bencana No. 02 Tahun 2012. Tentang Pedoman Umum Pengkajian Risiko Bencana.
<https://bnpb.go.id/produk-hukum/peraturan-kepala-bnpb/peraturan-kepala-bnpb-no-02-tahun-2012>

- Howard, A.D. 1967. *Drainage Analysis in Geologic Interpretation: A Summation*. AAPG Bulletin. 51(11), pp.2246–2259.
<https://doi.org/10.1306/5D25C26D-16C1-11D7-8645000102C1865D>

- Peraturan Menteri Kehutanan Republik Indonesia No. P.32/MENHUT-II/2009 Tentang Tata Cara Penyusunan Rencana Teknik Rehabilitasi Hutan Dan Lahan Daerah Aliran Sungai (RTkRHL-DAS).
https://jdih.mkri.id/mg58ufsc89hrsg/P32_09.pdf

- Poedjopradjitno, S. 2012. *Morfotektonik dan Potensi Bencana Alam di Lembah Kerinci Sumatera Barat, Berdasarkan Analisis Potret Udara*. Jurnal Geologi dan Sumberdaya Mineral. 22(2), pp.101-110
<https://jgsm.geologi.esdm.go.id/index.php/JGSM/article/view/110>

- Schmidt, F.H. and Fergusson, J.H.A. 1951. *Rainfall Type Based on Wet and Dry Period Ratios for Indonesia with Western New Guinea*. Jakarta: Kementerian Perhubungan RI, Djawatan Meteorologi dan Geofisik

- Sudijono, A. 2007. *Pengantar Evaluasi Pendidikan*. Jakarta: Raja Grafindo Persada.

- Suhardiman, 2012. *Zonasi Tingkat Kerawanan Banjir dengan Sistem Informasi Geografis (SIG) Pada*

- Sub DAS Walanae Hilir*. Bachelor thesis, Universitas Hasanudin.
- Utama, L. and Naumar, A. 2015. *Kajian Kerentanan Kawasan Berpotensi Banjir Bandang dan Mitigasi Bencana pada Daerah Aliran Sungai (DAS) Batang Kuranji Kota Padang*. Jurnal Rekayasa Sipil. 9(1), pp.21-28. <https://rekayasapil.ub.ac.id/index.php/rs/article/view/294>
- van Bemmelen, R.W. 1949. *The Geology of Indonesia Vol 1A*. Martinuss Nyoff: The Hauge.
- Versteppen, H. 1973. *A geomorphological reconnaissance of Soematra and adjacent island (Indonesia)*. Netherlands: ITC.

PEMETAAN POTENSI KERENTANAN SEISMİK SEBAGAI MITIGASI BENCANA GEMPA DI MOROTAI SELATAN

Rohima Wahyu Ningrum^{1*}, Risky Nuri Amelia², Suryani Taib¹, Rahim Achmad¹, Marwis Aswan³

¹Program Studi Pendidikan Fisika, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Khairun, JL. Bandara Babullah-Akehuda, 97735, Ternate, Indonesia.

²Program Studi Pendidikan Geografi, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Khairun, JL. Bandara Babullah-Akehuda, 97735, Ternate, Indonesia

³Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Pasifik Morotai, JL. Siswa Desa Darame, 97771, Morotai, Indonesia.

*Corresponding author. Email: ima.geolove@gmail.com

Manuscript received: 14 December 2021; Received in revised form: 19 March 2022; Accepted: 19 April 2022

Abstrak

Kondisi geologi Pulau Morotai dipengaruhi sesar-sesar kecil dan aktivitas tektonik dari beberapa lempeng utama dan lempeng kecil yang membentuk zona subduksi, yaitu Lempeng Pasifik, Lempeng *Philippine*, Lempeng Sangihe, dan Lempeng Laut Maluku. Hal ini menyebabkan Pulau Morotai memiliki potensi bahaya gempabumi yang termasuk tinggi. Morotai Selatan merupakan pusat pemerintahan, jasa, perdagangan, dan perekonomian di Pulau Morotai, serta memiliki potensi yang tinggi terhadap gempabumi. Oleh sebab itu, dilakukan analisis sebaran nilai kerentanan seismik di Morotai Selatan berdasarkan pemetaan sebagai upaya mitigasi bencana di Morotai Selatan. Metode mikrotremor menggunakan teknik analisis rasio spektral H/V untuk menganalisa tingkat kerusakan bahaya gempabumi berdasarkan nilai indeks kerentanan seismik dengan mempertimbangkan kondisi tanah setempat. Nilai frekuensi dasar tanah (f_0) yang diperoleh saat pengukuran mikrotremor antara 0,6 Hz sampai 0,7 Hz. Nilai amplitudo (A_0) di daerah Morotai Selatan sekitar 1,9 – 5,2 kali penguatan. Nilai indeks kerentanan seismik (K_g) di daerah penelitian dihitung berdasarkan nilai frekuensi dasar tanah dan amplitudo dengan antara 5,9 sampai 44,8. Disimpulkan bahwa sebaran indeks K_g yang tinggi dan merupakan potensi daerah rentan bencana gempabumi berada di Desa Darame, Desa Muhajirin, dan Desa Wawama dengan nilai $K_g > 20$. Daerah ini tersusun atas alluvium yang terdiri dari kerikil, pasir, lumpur, dan bongkah, sehingga diklasifikasikan ke dalam jenis tanah lunak. Daerah kurang rentan berada di Desa Gotalamo, Desa Daruba Pantai, dan Desa Darame.

Kata Kunci: gempabumi; HVSRR; indeks kerentanan seismik; mitigasi.

Abstract

The geological condition of Morotai Island is influenced by small faults and tectonic activity from several major and minor plates that form the subduction zone, are the Pacific plate, the Philippine plate, the Sangihe plate, and the Moluccas Sea plate. This causes Morotai Island to have a high potential for earthquake hazards. South Morotai is the center of government, services, trade and economy on Morotai Island, and has a high potential for earthquakes. Therefore, an analysis of the distribution of seismic vulnerability values in South Morotai was carried out based on mapping as a disaster mitigation effort in South Morotai. The microtremor method uses the H/V spectral ratio analysis technique to analyze the level of earthquake hazard based on the value of the seismic vulnerability index by considering local soil conditions. The ground frequency value (f_0) obtained when measuring microtremor is between 0.6 Hz to 0.7 Hz. The amplitude value (A_0) in the South Morotai area is around 1.9 – 5.2 times

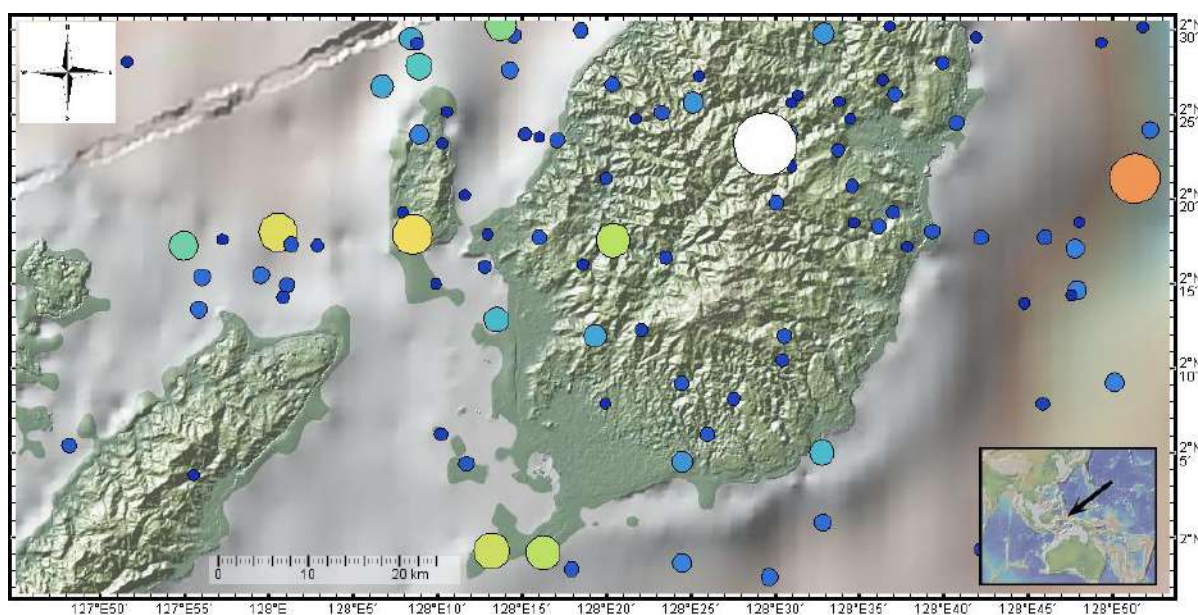
strengthening. The value of the seismic susceptibility index (K_g) in the study area is calculated based on the value of the basic frequency and amplitude with between 5.9 to 44.8. It was concluded that the distribution of a high K_g index and an earthquake prone area was in Darame Village, Muhajirin Village, and Wawama Village with a K_g value > 20 . This area is composed of alluvium consisting of gravel, potential mud, and boulders, so it is classified into soft soil type. Less vulnerable areas are in Gotalamo Village, Daruba Pantai Village, and Darame Village.

Keywords: earthquake; H/V; mitigation; seismic vulnerability index.

Pendahuluan

Kondisi geologi Pulau Morotai dipengaruhi sesar-sesar kecil dan aktivitas tektonik dari beberapa lempeng utama dan lempeng kecil yang membentuk zona subduksi, yaitu Lempeng Pasifik, Lempeng *Philippine*, Lempeng Sangihe, dan Lempeng Laut Maluku. Potensi bahaya gempa bumi yang ada di Pulau Morotai termasuk tinggi

(BNPB, 2015) seperti pada Gambar 1. Namun, potensi bahaya gempa bumi yang tinggi tidak dibarengi dengan kapasitas daerah dalam penanggulangan bencana, terlihat dari data indeks ketahanan atau kapasitas di Kabupaten Pulau Morotai yang masih tergolong rendah (BPBD, 2014).



Gambar 1. Peta seismisitas Pulau Morotai.

Pusat pemerintahan Pulau Morotai terletak di Morotai Selatan yang secara geografis didominasi oleh daerah pesisir dengan topografi daratan. Morotai Selatan memiliki luas wilayah daratan 363,1 km² yang terbagi menjadi 25 desa dengan populasi penduduk 23.340 jiwa (BPS Kabupaten Pulau Morotai, 2021). Morotai Selatan merupakan pusat pemerintahan, jasa, perdagangan, dan perekonomian di Pulau Morotai, maka dari itu perlu dilakukan pemetaan kerentanan seismik

sebagai bentuk mitigasi bencana. Peta kerentanan seismik dapat dijadikan sebagai usulan arahan dalam penentuan kebijakan pengembangan Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) berbasis kebencanaan untuk daerah Morotai Selatan. Pengkajian kerentanan bencana diharapkan dapat digunakan untuk mengumpulkan data yang terinci sehingga dapat mengetahui tingkat kapasitas terhadap potensi ancaman bencana (Sumekto, 2011).

Dengan memperhatikan gempa yang berpotensi mengguncang wilayah ini, penilaian kerentanan seismik perlu dilakukan dengan menggunakan data mikrotremor. Kerentanan seismik dari pengukuran mikrotremor menunjukkan gambaran dari karakteristik kerentanan tiap struktur bawah permukaan terhadap perubahan bentuk batuan saat gempabumi terjadi (Daryono, 2011). Metode analisis yang digunakan adalah metode mikrotremor dengan teknik analisis rasio spektral H/V atau *Horizontal Vertical Spectral Ratio* (HVSr).

Teknik analisis rasio spektral H/V direkomendasikan sebab operasional lapangan yang sederhana dan biaya rendah baik survei dan analisisnya. Penerapan teknik rasio spektral H/V terbukti untuk evaluasi efek lokasi (*site effect*) dengan mengetahui karakteristik lapisan sedimen dengan menggunakan nilai frekuensi dasar tanah (f_0) dan amplitudo (A_0) (Nakamura et al., 2000). Nilai frekuensi dasar dan amplitudo digunakan untuk menganalisis kerentanan seismik, nilai kerentanan seismik menggambarkan karakteristik efek lokasi untuk menentukan daerah lemah pada suatu daerah (Warnana dkk., 2011).

Teknik analisis rasio spektral H/V dalam penelitian ini digunakan untuk menganalisis sebaran nilai kerentanan seismik di Morotai Selatan berdasarkan pemetaan sebagai upaya mitigasi bencana di Morotai Selatan. Hasil ini diharapkan bermanfaat dalam media informasi bagi masyarakat dan pemerintah tentang kerentanan seismik yang diakibatkan oleh gempabumi dan sebagai informasi dalam pemanfaatan ruang wilayah berbasis kebencanaan

sebagai bentuk mitigasi bencana dalam konteks gempabumi.

Mikrotremor

Metode mikrotremor dapat digunakan untuk mengevaluasi *local site effect* dan karakteristik lapisan tanah permukaan (frekuensi resonansi, dan indeks kerentanan seismik) akibat gerakan seismik tanpa memerlukan informasi geologi lainnya (Nakamura, 2000). Teknik analisis rasio spektral H/V digunakan menganalisis pengaruh efek lokal (*site effect*) terhadap bangunan yang mengalami kerusakan akibat gempabumi (Sungkono and Santosa, 2011; Mirzaoglu and Dýkmen, 2003). Teknik analisis rasio spektral H/V dapat dinyatakan melalui persamaan (Nakamura, 1989):

$$A_s(f) = \frac{S_s^H(f)}{S_s^V(f)} \quad (1)$$

dengan:

S_s^H : spektrum komponal horizontal dari data mikrotremor di atas lapisan sedimen,
 S_s^V : spektrum komponen vertikal di lapisan sedimen permukaan dan
 $A_s(f)$: rasio H/V berdasarkan gelombang permukaan.

Hasil metode HVSr adalah nilai amplitudo (A_0) dan frekuensi dasar tanah (f_0) (Nakamura et al., 2000). Nilai frekuensi dasar tanah dapat dinyatakan dengan nilai periode dasar tanah (T_0) yakni menggambarkan karakter lapisan batuan. Nilai periode dasar tanah biasa digunakan untuk usulan perencanaan bangunan untuk dapat melihat potensi risiko bahaya gempa yang akan terjadi. Adapun klasifikasi tanah berdasarkan nilai frekuensi dominan dan periode disajikan pada Tabel 1 dan 2.

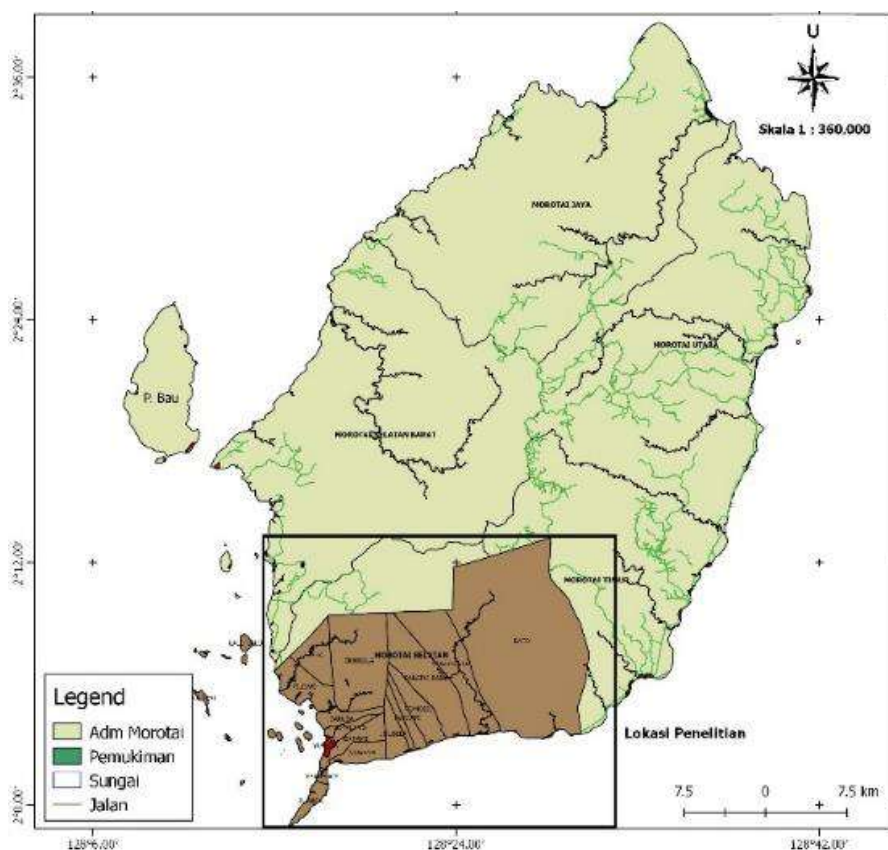
Tabel 1. Klasifikasi Tanah Berdasarkan Nilai Frekuensi Dominan Mikrotremor oleh Kanai (BMKG, 1998)

Klasifikasi Tanah		Frekuensi Dominan (Hz)	Klasifikasi Kanai	Deskripsi
Tipe	Jenis			
Tipe IV	Jenis I	6,667 – 20	Batuan tersier atau lebih tua, terdiri dari batuan <i>hard sandy, gravel</i> , dll	Ketebalan sedimen permukaannya sangat tipis, didominasi oleh batuan keras.

	Jenis II	10 – 4	Batuan <i>alluvial</i> , dengan ketebalan 5 m. Terdiri dari <i>sandy-gravel</i> , <i>sandy hard clay</i> , <i>loam</i> , dll.	Ketebalan sedimen permukaannya masuk dalam kategori menengah 5-10 meter
Tipe III	Jenis III	2,5 – 4	Batuan <i>alluvial</i> , dengan ketebalan > 5 meter. Terdiri dari <i>sandy-garvel</i> , <i>sandy hard clay</i> , <i>loam</i> , dll.	Ketebalan sedimen permukaan masuk dalam kategori tebal, sekitar 10-30 meter.
Tipe II Tipe I	Jenis IV	< 2,5	Batuan <i>alluvial</i> , yang terbentuk dari sedimentasi delta, top soil, lumpur, dll. Dengan kedalaman 30 m atau lebih.	Ketebalan sedimen permukaannya sangatlah tebal.

Tabel 2. Klasifikasi Tanah Berdasarkan Periode oleh Kanai, Omote dan Nakajima (BMKG, 1998)

Klasifikasi Tanah		Periode T (detik)	Keterangan	Karakter
Kanai	Omote-Nakajima			
Jenis I		0,05-0,15	Batuan tersier atau lebih tua. Terdiri dari batuan <i>hard sandy</i> , <i>garvel</i> , dan lain-lain	Keras
Jenis II	Jenis A	0,10-0,25	Batuan <i>alluvial</i> , dengan ketebalan 5 meter. Terdiri dari <i>sandy-garvel</i> <i>sandy hard clay</i> , <i>loam</i> , dan lain-lain	Sedang
Jenis III	Jenis B	0,25-0,40	Batuan <i>alluvial</i> , dengan ketebalan > 5 meter dan hampir sama dengan jenis II, hanya dibedakan oleh adanya formasi <i>bluff</i> . Terdiri dari <i>sandy-garvel</i> , <i>sandy hard clay</i> , <i>loam</i> , dan lain-lain.	Lunak
Jenis V	Jenis C	> 0,40	Batuan <i>alluvial</i> , yang terbentuk dari sedimentasi delta, top soil, lumpur, dll. Dengan kedalaman 30 m atau lebih.	Sangat Lunak



Gambar 2. Lokasi penelitian.

Indeks kerentanan seismik menggambarkan kondisi dari tingkat kerawanan bahaya gempa bumi berdasarkan kondisi geologi batuan lokal (Nakamura, 2000). Indeks kerentanan seismik dirumuskan oleh Nakamura (2000), Nakamura et al. (2000), Gurler et al. (2000), Saita et al. (2004) sebagai berikut:

$$K_g = A^2 / f_0 \quad (2)$$

dengan:

K_g : indeks kerentanan seismik,
 A^2 : puncak spektrum mikrotremor,
 f_0 : frekuensi resonansi.

Hubungan antara indeks kerentanan seismik dengan rasio tingkat kerusakan bangunan telah banyak dilakukan seperti oleh Nakamura et al. (2000) dan Saita et al. (2004).

Metode Penelitian

Penelitian dilakukan di Kecamatan Morotai Selatan, Kabupaten Pulau Morotai seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 2. Titik pengambilan data diambil di daerah pusat kota sebanyak 8 titik menyebar selama 5 hari.

Analisis kerentanan seismik menggunakan pendekatan parameter sumber gempa bumi seperti, kondisi geologi dan geotektonik, karakteristik dan klasifikasi kondisi tanah setempat, kecepatan gelombang geser, gerakan tanah, percepatan tanah maksimum, atenuasi, dan katalog gempa. Metode yang dilakukan dalam analisis kerentanan seismik ini adalah HVSr, digunakan untuk menganalisa tingkat kerusakan bahaya gempa bumi berdasarkan nilai indeks kerentanan seismik dengan mempertimbangkan kondisi tanah setempat.

Adapun prosedur pengumpulan data dalam penelitian ini melalui beberapa tahapan, yakni:

1. Persiapan

Persiapan yang dilakukan adalah menyiapkan data-data awal dengan melakukan survei pendahuluan.

2. Penelitian

Tahap penelitian ini adalah melakukan akuisisi data di lokasi penelitian untuk memperoleh data primer dengan menggunakan alat dan bahan, yakni *Global Positioning System (GPS)*, *Portable Digital Broadband Seismograph single-station*, dan peta geologi.

3. Pengolahan dan analisis data

Peta tingkat kerentanan seismik daerah Morotai Selatan dihasilkan dengan menggunakan perangkat lunak (*software*) yang *opensource*: *geopsy*, dan *QuantumGis*. Peta ini kemudian dianalisis untuk dapat digunakan sebagai mitigasi bencana dalam konteks gempa bumi dan usulan perencanaan pengembangan wilayah berbasis pengurangan risiko dalam menunjang pembangunan daerah secara berkelanjutan.

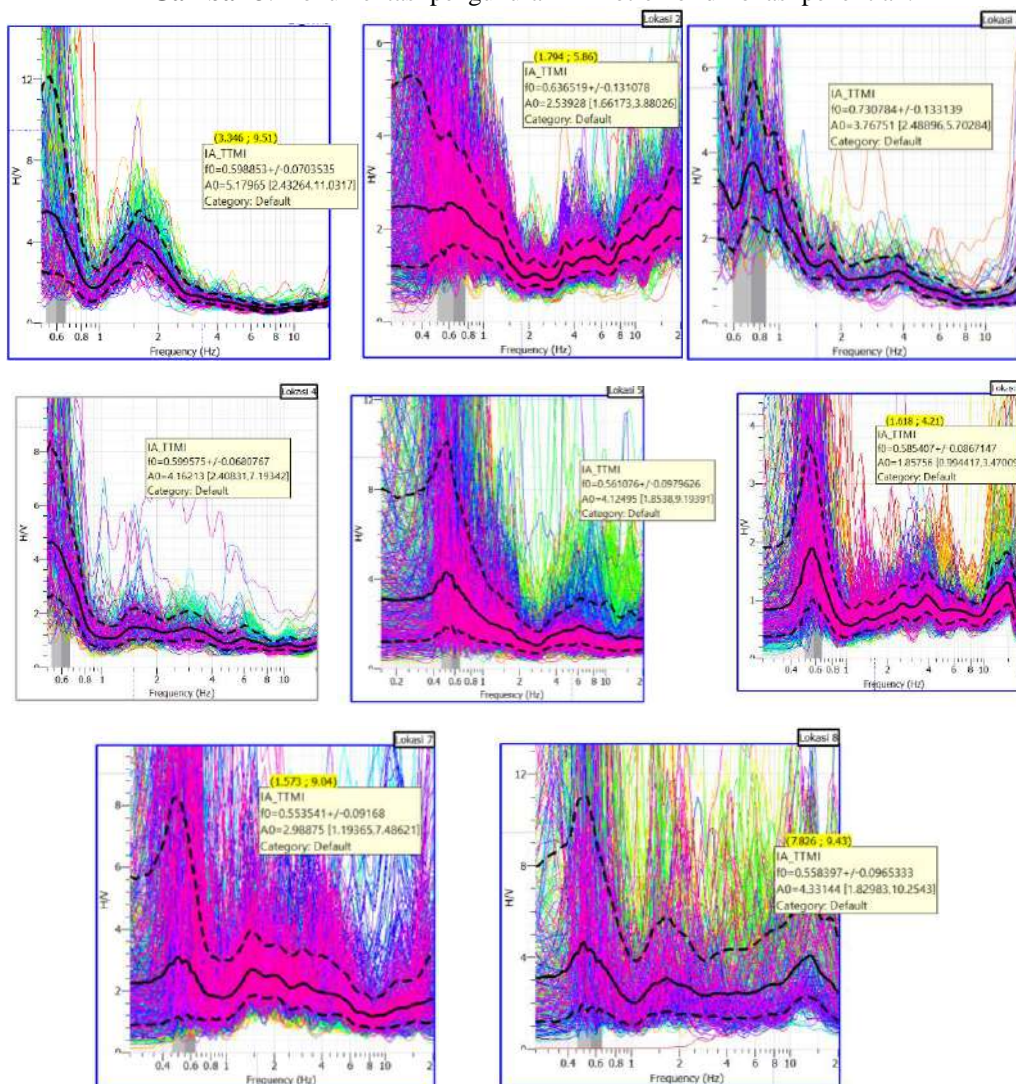
Hasil dan Pembahasan

Alat yang digunakan dalam pengukuran mikrotremor adalah *Portable Digital Broadband Seismograph single-station* dan membutuhkan waktu yang lama dalam pengambilan datanya untuk setiap lokasi. Tahap pertama dalam pengambilan data adalah dengan melakukan kalibrasi alat yang membutuhkan waktu sekitar 2 jam dan untuk rekam data gempa lokal membutuhkan waktu sekitar 30 menit hingga 1 jam.

Kualitas dan reliabilitas data sangat berpengaruh pada parameter perekaman yang telah disarankan oleh Chatelain et al. (2008). Hal ini diharapkan dapat mempercepat proses perekaman. Proses perekaman dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Dokumentasi pengukuran mikrotremor di lokasi penelitian.



Gambar 4. Hasil kurva HVSR di Kecamatan Morotai Selatan.

Data dari pengukuran mikrotremor *single station* kemudian diolah menggunakan teknik analisis rasio spektral H/V dengan bantuan *software* Geopsy. Teknik analisis

rasio spektral H/V digunakan untuk mengetahui karakterisasi respon suatu lokasi yang dipengaruhi oleh gempa lokal dan menilai secara kuantitatif bahaya

gempa melalui perhitungan nilai indeks kerentanan seismik (K_g) sebagai bentuk mitigasi bencana (Kang et al., 2020). Hasil dari pengolahan data berupa kurva *ratio* H/V disertai dengan nilai frekuensi dasar atau dominan (f_0) dan amplitudo (A_0) untuk setiap lokasi penelitian. Kurva H/V yang dihasilkan pada 8 lokasi penelitian terlihat pada Gambar 4.

Nilai frekuensi dasar tanah (f_0) dan amplitudo (A_0) yang ditunjukkan pada kurva HVSR digunakan sebagai masukan untuk mendapatkan nilai Indeks Kerentanan Seismik (K_g). Nilai frekuensi dasar tanah (f_0) yang diperoleh saat pengukuran mikrotremor menunjukkan kisaran antara 0,6 Hz sampai 0,7 Hz dan nilai amplitudo (A_0) sekitar 1,9 – 5,2 kali penguatan. Kemudian nilai indeks kerentanan seismik (K_g) di daerah penelitian dihitung berdasarkan nilai frekuensi dasar tanah dan amplitudo berdasarkan Persamaan 2. Nilai indeks kerentanan seismik (K_g) diperoleh dengan kisaran 5,9 sampai 44,8.

Karakteristik dan jenis batuan dapat diketahui dengan melihat nilai frekuensi dominan pada suatu lokasi penelitian (Haerudin, Alami, dan Rustadi, 2019). Klasifikasi dari 8 lokasi pengukuran berdasarkan nilai frekuensi dominan (f_0) menurut (Chatelain et al., 2008), ditunjukkan bahwa daerah Morotai Selatan termasuk dalam kondisi frekuensi rendah ($f_0 \leq 1 - 2\text{Hz}$). Daerah dengan frekuensi rendah memiliki karakteristik batuan batuan alluvial dan sangat lunak. Untuk ketebalan sedimen permukaannya termasuk dalam kategori sangatlah tebal mencapai 30 meter (Kanai, 1983). Ketebalan sedimen yang tebal dapat membuat gelombang gempa terjebak pada sedimen dan terjadi multirefleksi gelombang sehingga menyebabkan rawan bencana gempabumi (Ambarsari, 2017).

Nilai amplitudo (A_0) > 3 termasuk berbahaya dan berhubungan dengan

frekuensi rendah (Nakamura, 2000). Daerah dengan kecepatan gelombang kecil maka nilai amplifikasinya tinggi sehingga tingkat densitas batuan akan berkurang atau lunak (Ningrum, et al., 2019). Nilai amplifikasi (A_0) yang tinggi > 3 menyebar hampir ke semua lokasi pengukuran, dapat dikatakan bahwa daerah dengan nilai amplifikasi tinggi memiliki tingkat densitas batuan yang semakin lunak. Sehingga memiliki kerentanan yang lebih tinggi terhadap guncangan gempa bumi dan akan mengalami kerusakan pada bangunan.

Sebaran daerah rentan berdasarkan data seismik terdapat pada daerah dengan jenis tanah lunak berada di Desa Darame, Desa Muhajirin dan Desa Wawama dengan nilai $K_g > 20$. Terlihat pada Gambar 5-6 bahwa nilai indeks kerentanan seismik yang tinggi terletak di pemukiman yang padat penduduk. Daerah kurang rentan berada di Desa Gotalamo, Desa Daruba Pantai, Desa Darame. Nilai K_g tinggi menunjukkan tingkat jumlah kerusakan bangunan yang tinggi akibat gempabumi sedangkan nilai K_g rendah menunjukkan tingkat jumlah kerusakan yang rendah dikarenakan struktur tanah yang stabil terhadap guncangan gempa bumi (Ningrum et al, 2018).

Hubungan tingkat kerusakan tanah dan bangunan terhadap lapisan sedimen bawah permukaan akibat gempabumi dilihat dari nilai indeks kerentanan seismik. Hal ini juga sangat berkaitan dengan kondisi geologi lokal daerah sekitar penelitian.

Menurut Gurler et al. (2000) dan Nakamura (2008), nilai indeks kerentanan seismik tinggi berada pada daerah pesisir, rawa dan reklamasi yang tersusun atas alluvium. Sedangkan nilai indeks kerentanan seismik rendah berada pada daerah perbukitan. Daerah dengan indeks kerentanan seismik yang tinggi maka memiliki nilai frekuensi dasar tanah (f_0) yang rendah atau dengan kata lain memiliki ketebalan sedimen yang tebal dan berada pada lapisan lunak

Kesimpulan

Sebaran nilai indeks kerentanan seismik yang tinggi dan merupakan potensi daerah rentan terhadap bencana gempa bumi berada di Desa Darame, Desa Muhajirin dan Desa Wawama dengan nilai $K_g > 20$. Daerah ini tersusun atas alluvium yang terdiri dari kerikil, pasir, lumpur dan bongkah, sehingga diklasifikasikan ke dalam jenis tanah lunak. Daerah kurang rentan berada di Desa Gotalamo, Desa Daruba Pantai, Desa Darame.

Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini didukung dan didanai oleh Hibah Universitas Khairun melalui Program Penelitian Kompetitif Unggulan Perguruan Tinggi Tingkat Fakultas tahun anggaran 2021.

Daftar Pustaka

- Ambarsari, D. 2017. *Analisis Mikrotremor Dengan Metode HVSR Untuk Mikrozonasi Kabupaten Gunungkidul Yogyakarta*. Undergraduate thesis, ITS. <https://repository.its.ac.id/45998/>
- Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB). 2015. *Kajian Risiko Bencana Maluku Utara 2016-2020*. Jakarta: Deputi Bidang Pencegahan dan Kesiapsiagaan, BNPB.
- Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD) Maluku Utara, 2014. *Kajian Potensi Dan Analisa Daerah Rawan Bencana Di Provinsi Maluku Utara*. Laporan Akhir BPBD Provinsi Maluku Utara.
- Badan Pusat Statistik (BPS) Kabupaten Pulau Morotai. 2021. *Kabupaten Pulau Morotai dalam Angka*. Jakarta: CV. Dharmaputra.
- BMKG. 1998. *Sumberdaya Geologi*. Buletin Meteorologi dan Geofisika No. 4. Jakarta: BMKG.
- Chatelain, J.L., Guillier, B., Cara, F., Duval, A.-M., Atakan, K., Bard, P.Y., and The WP02 SESAME team. 2008. *Evaluation of the influence of experimental conditions on H/V results from ambient noise recordings*. Bulletin of Earthquake Engineering, 6, pp.33–74. <https://doi.org/10.1007/s10518-007-9040-7>.
- Daryono. 2011. *Indeks Kerentanan Seismik Berdasarkan Mikrotremor Pada Setiap Satuan Bentuk Lahan di Zona Graben Bantul Daerah Istimewa Yogyakarta*. Ph.D. thesis, Universitas Gadjah Mada. http://etd.repository.ugm.ac.id/home/detail_pencarian/146738
- Gurler, E.D., Nakamura, Y., Saita, J. and Sato, T. 2000. *Local site effect of mexico city based on microtremor measurement*. In: International Conference on Seismic Zonation. Palm Spring Riviera Resort, California, USA, p. 65. https://www.sdr.co.jp/papers/local_site_effect_on_mex.pdf
- Haerudin, N., Alami, F., dan Rustadi. 2019. *Mikroseismik, Mikrotremor dan Microearthquake dalam ilmu kebumihan*. Bandar Lampung: Pusaka Media.
- Kanai, K. 1983. *Seismology in Engineering*. Tokyo: The University of Tokyo.
- Kang, S.Y., Kim, K.H. and Kim, B. 2021. *Assessment of Seismic Vulnerability Using the Horizontal-To-Vertical Spectral Ratio (Hvsvr) Method in Haenam, Korea*. Geosciences Journal, 25, pp.71–81. <https://doi.org/10.1007/s12303-020-0040-9>
- Mirzaoglu, M. and Dýkmen, Ü. 2003. *Appllication of Microtremors to Seismic Microzoning Procedure*, Journal of The Balkan Geophysical Society, 6(3), pp.143-156. <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.931.2698&rep=rep1&type=pdf>

- Nakamura, Y., 1989. *A Method for Dynamic Characteristics Estimation of Subsurface using Microtremor on Ground Surface*. Quarterly Report of Railway Technical Research Institute. 30(1), pp.25-33. https://www.sdr.co.jp/papers/hv_1989.pdf
- Nakamura, Y. 2000. *Clear Identification of Fundamental Idea of Nakamura's Technique and Its Applications*. In: The 12th World Conference on Earthquake Engineering, 30 January-4 February 2000, Auckland, New Zealand. https://www.sdr.co.jp/papers/n_tech_and_application.pdf
- Nakamura, Y., Sato, T., and Nishinaga, M. 2000. *Local Site Effect of Kobe Based on Microtremor Measurement*. In: Proceedings of the Sixth International Conference on Seismic Zonation (6ICSZ): 12-15 November, 2000, Palm Springs, California. https://www.sdr.co.jp/eng_page/papers/local_site_effect_on_kobe.pdf
- Nakamura, Y. 2008. *On The H/V Spectrum*. In: The 14th World Conference on Earthquake Engineering, 12-17 October 2008, Beijing, China. https://www.sdr.co.jp/eng_page/papers/14wcee/14wcee_hv.pdf
- Ningrum, R.W., Fauzi, H., Suryanto, W., and Mei, E.T.W. 2018. *Mapping Seismic Vulnerability Index (kg) For Earthquake Swarm Activity in Western Halmahera, Indonesia*. In: 1st International Conference on Multidisciplinary Engineering (ICoMdEn). 23 – 24 October 2018, Lhokseumawe - Aceh, Indonesia.
- Ningrum, R.W., Fauzi, H., Suryanto, W. and Mei, E.T.W. 2019. *Seismic Hazard Measurement of Earthquake Swarms Activity Based on Horizontal Vertical to Spectral Ratio Analysis (HVSR) in West Halmahera, Indonesia*. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 279, pp.012041. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/279/1/012041>
- Saita, J., Bautista, M.L.P. and Nakamura, Y. 2004. *On Relationship Between the Estimated Strong Motion Characteristic of Surface Layer and The Earthquake Damage: Case Study at Intramuros, Metro Manila*. In: 13th World Conference on Earthquake Engineering, 1-6 August 2004, Vancouver, B.C., Canada. No. 905 https://www.sdr.co.jp/papers/13wcee_micro_in_manila.pdf
- Sumekto, D.R. 2011. *Pengurangan resiko bencana melalui analisis kerentanan dan Kapasitas masyarakat dalam menghadapi bencana*. In: Prosiding Seminar Nasional: Pengembangan Kawasan Merapi, 8 Maret 2011, Yogyakarta. pp.28-38. <http://dx.doi.org/10.31227/osf.io/sxbzk>
- Sungkono and Santosa, B. 2011. *Karakterisasi Kurva Horizontal to Vertical Spectral Ratio: Kajian Literatur dan Pemodelan*. Jurnal Neutrino. 4(1), pp.1-15. <https://doi.org/10.18860/neu.v0i0.1662>
- Supriatna, S. 1980. *Peta Geologi Lembar Morotai, Maluku Utara*. Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Warnana, D.D., Soemitro, R.A. and Utama, W. 2011. *Application of Microtremor HVSR Method for Assessing Site Effect in Residual Soil Slope*. International Journal of Basic & Applied Sciences. 11(4), pp.73-78. http://ijens.org/Vol_11_I_04/118804-9393-IJBAS-IJENS.pdf

BIOSTRATIGRAFI BATUGAMPING BERDASARKAN KANDUNGAN FORAMINIFERA BESAR DI DAERAH DONGGALA, SULAWESI TENGAH

Nurhikmah Supardi*, Savira Aulia Rahmawati

Program Studi Teknik Geologi, Universitas Tadulako, Palu, Indonesia

*Corresponding author. Email: nurhikmah.supardi90@gmail.com

Manuscript received: 6 February 2022; Received in revised form: 28 March 2022; Accepted: 20 April 2022

Abstrak

Formasi Molasa Sulawesi sebagian besar disusun oleh sedimen klastik dan karbonat yang penyebarannya sangat luas di Pulau Sulawesi. Penelitian mengenai Formasi Molasa Sulawesi telah dilakukan beberapa peneliti. Namun belum ada penelitian detail tentang biostratigrafi batugamping di daerah Donggala, maka dari itu sangat penting dilakukan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis umur dan lingkungan pengendapan batugamping Formasi Molasa Sulawesi berdasarkan kandungan foraminifera besar. Metode yang digunakan dalam pengambilan data adalah *measuring section*. Pengambilan data lapangan dilakukan dengan pengukuran stratigrafi meliputi kedudukan batuan, identifikasi litologi, ketebalan dan pengambilan sampel batuan. Pengamatan laboratorium dilakukan dengan menggunakan mikroskop polarisasi untuk mengamati sayatan tipis batuan guna mengetahui spesies foraminifera besar, komposisi mineral dan organik penyusun. Hasil pengamatan lapangan menjumpai empat jenis litologi yaitu *wackestone*, *packstone*, *grainstone* dan *floatstone*. Hasil pengamatan fosil foraminifera besar dalam sayatan tipis batugamping daerah penelitian, terdapat 24 spesies foraminifera besar yang teridentifikasi. Diantaranya terdapat empat fosil indeks yaitu *Miogypsinoides dehaarti* (van der Vlerk), *Paleomiogypsina bononensis* (Matsumaru), *Miogypsina sp.* (Vaughan), *Paleomiogypsina sp.* dan *Miogypsinella sp.* (Aquitanian). Berdasarkan penarikan umur dan deskripsi fosil foraminifera besar, diketahui bahwa batugamping daerah penelitian berumur Miosen Awal-Miosen Tengah dengan lingkungan pengendapan berada pada zona *lagoon* hingga *forereef shelf*.

Kata Kunci: batugamping; foraminifera besar; Formasi Molasa Sulawesi.

Abstract

The Sulawesi Molasa Formation is mostly composed of clastic and carbonate sediments which are widely distributed on the island of Sulawesi. Research on the Sulawesi Molasa Formation has been carried out by several researchers. However, there has been no detailed research on limestone biostratigraphy in the Donggala area, so it is very important to do it. This study aims to analyze the age and depositional environment of the Sulawesi Molasa Formation limestone based on the content of large foraminifera. The method used in data collection is measuring section. Field data collection was carried out by stratigraphic measurements including lithology identification, thickness and rock sampling. Laboratory observations were carried out using a polarizing microscope to observe a thin section of rock to determine the species of large foraminifera, their mineral and organic compositions. From the results of field observations found four types of lithology, namely *wackestone*, *packstone*, *grainstone* and *floatstone*. Based on the observation of large foraminifera fossils in a thin section of limestone in the study area, there are 24 species of large foraminifera identified. Among them, there are four index fossils, namely *Miogypsinoides dehaarti* (van der Vlerk), *Paleomiogypsina bononensis* (Matsumaru), *Miogypsina sp.* (Vaughan), *Paleomiogypsina sp.* and *Miogypsinella sp.* (Aquitanian). Based on age

withdrawal and description of large foraminifera fossils, it is known that the limestones of the study area are Early Miocene-Middle Miocene age with the depositional environment in the lagoon zone to the forereef shelf.

Keywords: large foraminifera; limestone; Sulawesi Molasa Formation.

Pendahuluan

Pulau Sulawesi mempunyai bentuk seperti huruf “K”. Kondisi geologi pulau Sulawesi bagian barat berbeda dengan bagian timurnya. Bagian barat didominasi oleh batuan hasil kegiatan gunung api dan batuan sedimen. Bagian timurnya didominasi oleh batuan klastik dan karbonat yang umumnya berumur Neogen, dinamai Formasi Molasa Sulawesi (Surono and Hartono, 2013).

Menurut Sukamto et al. (1973), Formasi Molasa Sulawesi mengandung rombakan yang berasal dari formasi-formasi lebih tua. Terdiri dari konglomerat, batupasir, batulempung, batugamping koral dan napal yang semuanya hanya mengeras lemah.

Penelitian mengenai Formasi Molasa Sulawesi yang membahas tentang penyebaran, litologi penyusun, diagenesis, dan hubungan stratigrafi telah dilakukan sebelumnya (Surono and Hartono, 2013). Namun belum ada penelitian detail tentang biostratigrafi, maka dari itu sangat penting dilakukan penelitian ini untuk mengetahui umur dan lingkungan pengendapan batugamping di daerah Donggala.

Salah satu cara untuk mengetahui umur dan lingkungan pengendapan suatu batuan sedimen karbonat adalah menganalisis kandungan foraminifera besar. Foraminifera besar dapat dijumpai pada batugamping yang merupakan anggota dari endapan Molasa Sulawesi pada daerah penelitian.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis umur dan lingkungan pengendapan batugamping Formasi Molasa

Sulawesi berdasarkan kandungan foraminifera besar.

Geologi Daerah Penelitian

Secara regional daerah penelitian termasuk dalam Peta Geologi Lembar Palu (Sukamto et al., 1973). Berdasarkan ciri litologi yang dijumpai di lapangan, daerah penelitian masuk ke dalam Formasi Molasa Celebes Sarasin yang terdiri dari konglomerat, batupasir, batulempung, batugamping dan napal (Sukamto et al., 1973).

Batugamping

Menurut Maulana (2019), klasifikasi batugamping secara umum didasarkan oleh beberapa hal, yaitu jenis butiran karbonat atau *allochem*, dan angka perbandingan antara butiran dan mikrit. Selain itu, kemas butiran atau fabrik juga digunakan untuk mengklasifikasikan batuan karbonat yang sering diistilahkan dengan *grain supported* dan *mud supported*. *Grain supported* digunakan apabila butiran pada batuan sedimen saling kontak satu sama lain, yang memperlihatkan rongga-rongga antar butiran tidak terisi oleh lumpur atau matriks. Sebaliknya, *mud-supported* menunjukkan butiran tidak saling bersentuhan satu sama lain dan tampak mengambang di atas lumpur karbonat. Salah satu klasifikasi batugamping yang umum digunakan adalah klasifikasi Embry dan Klovan (1971) yang merupakan pengembangan klasifikasi batugamping oleh Dunham (1962).

Foraminifera Besar

Foraminifera adalah organisme bersel tunggal yang hidup secara akuatik, mempunyai satu atau lebih kamar yang terpisah satu sama lain oleh sekat (septa) yang ditembusi oleh banyak lubang halus

(Pringgoprawiro and Kapid, 2000). Foraminifera mempunyai peranan yang sangat penting dalam dunia geologi, salah satunya adalah menentukan lingkungan pengendapan.

Berdasarkan ukurannya foraminifera dibagi menjadi dua yaitu foraminifera besar dan foraminifera kecil. Foraminifera besar memiliki ukuran berkisar antara 600 mikron - 20 cm, hidup secara bentonik dan bersimbiosis dengan alga dan diatom. (BouDagher-Fadel, 2008).

Foraminifera besar merupakan organisme uniseluler yang termasuk dalam *Kingdom* Protista. Proses pengamatan dan klasifikasinya, hanya dapat diamati dengan bantuan mikroskop polarisasi. Pada pengamatannya, terdapat hal-hal penting yang perlu diperhatikan antara lain; bentuk cangkang, posisi dan susunan kamar embrionik, kamar lateral, kamar dan median (BouDagher-Fadel, 2008).

Biozonasi Foraminifera Besar

Menurut Wagner (1964), foraminifera besar terbagi menjadi dua kelompok umur yaitu kelompok umur Mesozoik & Kenozoik dan kelompok umur Paleozoik. Pada umur Mesozoik & Kenozoik, foraminifera besar terbagi menjadi 7 kelompok dari kelompok A sampai H. Sedangkan pada umur Paleozoik, terbagi menjadi 2 kelompok yaitu kelompok I dan kelompok J. Kelompok A, B dan D keberadaannya yang cukup melimpah pada batuan karbonat yang ada di Indonesia.

Klasifikasi umur Tersier foraminifera besar untuk daerah Indonesia pertama kali disusun oleh van der Vlerk dan Umbgrove (Lunt dan Allan, 2004). Klasifikasi huruf ini membagi Tersier dalam enam zona, yaitu Ta, Tb, Tc, Td, Te, dan Tf. Kemudian para ahli mempublikasikan klasifikasi huruf yang telah direvisi. Klasifikasi huruf paling sering digunakan saat ini di Indonesia yaitu dari Adam (1970).

Adam (1970) membagi klasifikasi van der Vlerk menjadi lebih detil. Klasifikasi huruf zona Ta1 setara dengan Eosen Awal, klasifikasi huruf zona Ta2 setara dengan Eosen Tengah, dan klasifikasi huruf zona Tb adalah Eosen akhir. Oligosen Awal ditandai oleh klasifikasi huruf zona Tc, sedangkan Oligosen Akhir ditandai oleh klasifikasi huruf zona *lower* Td. Klasifikasi huruf zona *upper* Te merupakan Miosen Awal. Miosen Tengah setara dengan klasifikasi huruf zona *lower* Tf, sedangkan *upper* Tf dan Tg merupakan Miosen Akhir. Klasifikasi huruf zona Tg berada pada batas Miosen-Pliosen, klasifikasi huruf zona Th merupakan urutan termuda yang setara dengan Pliosen.

Lingkungan Pengendapan

Adaptasi foraminifera terhadap lingkungannya akan membentuk karakteristik unik pada komposisi dan morfologi cangkangnya, sehingga kelompok foraminifera tertentu mampu memberi gambaran lingkungan pengendapan. Lingkungan pengendapan dibagi menjadi lima zona yaitu *lagoon*, *backreef shelf*, *reef*, *forereef shelf* dan *abyssal* (BouDagher-Fadel, 2008). Setiap zona dicirikan oleh karakteristik tertentu seperti jenis litologi, kehadiran koral, alga, biostrom dan foraminifera besar.

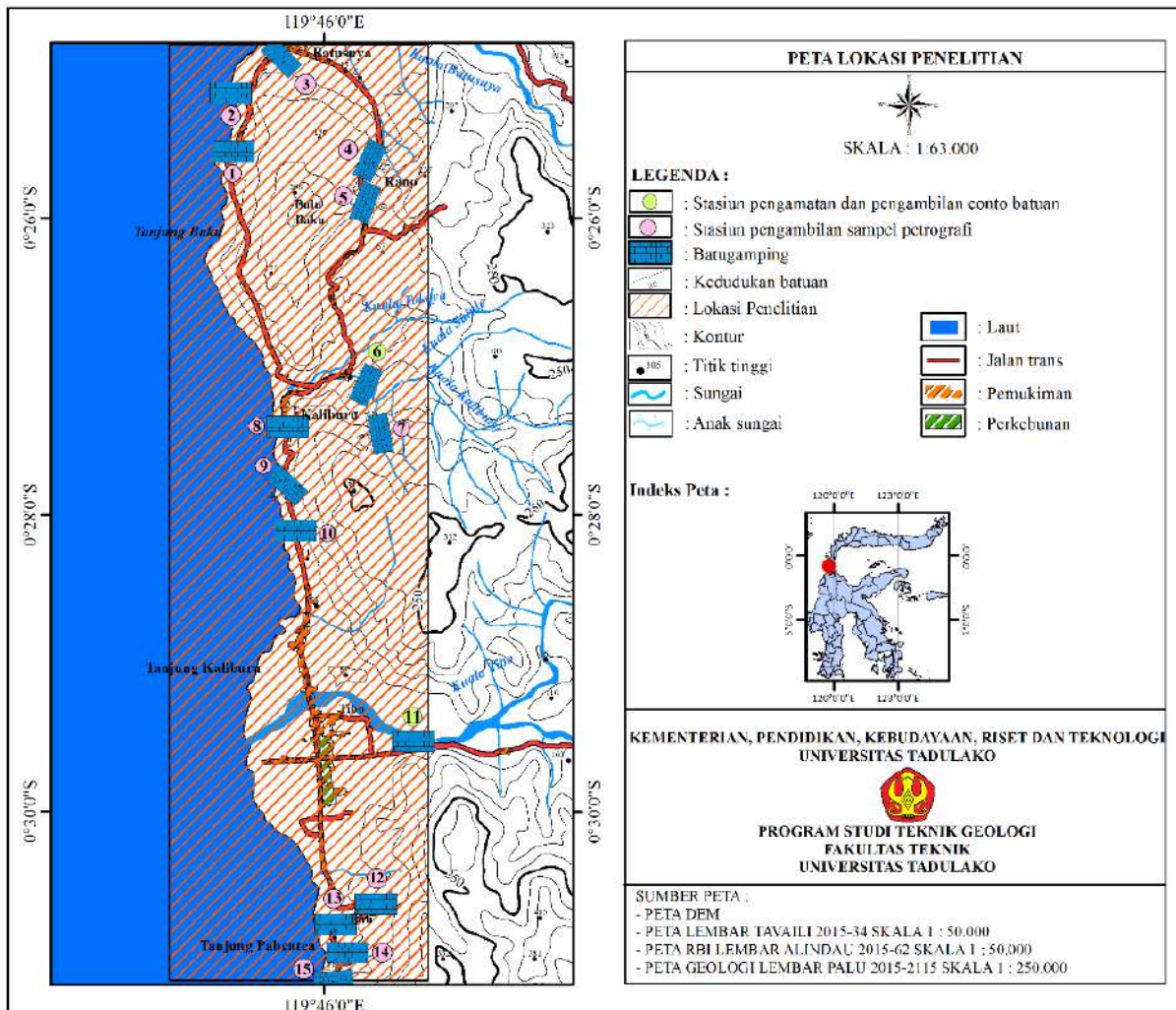
Metode Penelitian

Lokasi penelitian secara administratif terletak di Desa Enu hingga Batusuya yang mencakup sebagian Kecamatan Sindue dan sebagian Kecamatan Sindue Tobata Kabupaten Donggala Provinsi Sulawesi Tengah (Gambar 1). Secara astronomis terletak pada 119°45'00''-119°46'40.''BT dan 00°25'00''-00°25'31''LS. Akses menuju lokasi penelitian dapat dicapai dengan kendaraan roda dua maupun roda empat dengan jarak tempuh ±48 km dari Kota Palu ke arah utara.

Metode yang digunakan dalam pengambilan data adalah *measuring section*. Pengambilan data lapangan meliputi identifikasi litologi, ketebalan dan pengambilan sampel batuan di tiap perubahan litologi. Sampel batuan kemudian disayat untuk diamati di laboratorium. Pengamatan laboratorium dilakukan dengan menggunakan mikroskop polarisasi untuk mengamati sayatan tipis batuan. Pengamatan ini bertujuan mengetahui spesies foraminifera besar, komposisi mineral dan organik penyusun litologi sehingga memudahkan dalam penamaan batugamping dengan

menggunakan klasifikasi Embry and Klovan (1971).

Analisis data pada penelitian ini terbagi dua yaitu analisis umur dan lingkungan pengendapan. Menentukan umur foraminifera besar menggunakan zonasi klasifikasi huruf (van der Vlerk and Umbgrove, 1972). Penentuan lingkungan pengendapan menggunakan klasifikasi lingkungan pengendapan foraminifera besar menurut BouDagher-Fadel (2008).



Gambar 1. Peta lokasi penelitian.

Hasil dan Pembahasan

Identifikasi litologi batugamping

Singkapan batugamping di lokasi penelitian memiliki tebal 86,8 meter dengan 15 stasiun pengambilan sampel batuan dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Stasiun pengambilan sampel dan litologinya.

No	Stasiun	Litologi
1	1	Wackestone
2	2	Packstone
3	3	Grainstone
4	4A	Floatstone
5	4B	Packstone
6	5	Floatstone
7	6	Packstone
8	7	Packstone
9	8	Packstone
10	9	Packstone
11	10	Packstone
12	11	Packstone
13	12	Packstone
14	13	Wackestone
15	14	Grainstone
16	15A	Packstone
17	15B	Framestone

Adapun jenis litologi yang dijumpai berupa *wackestone*, *packstone*, *grainstone*, *floatstone* dan *framestone*. Berikut ini deskripsi tiap litologi:

1. *Wackestone*

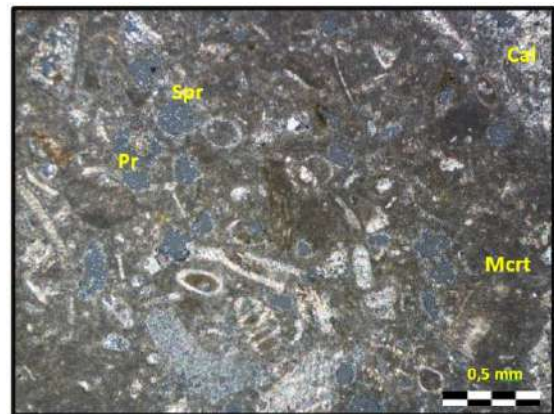


Gambar 2. Kenampakan petrografi *wackestone* pada stasiun 1 yang tersusun oleh *skeletal grain*, berupa fosil foraminifera (Fr), koral (Cr) dan alga (Alg). *Non-skeletal grain* berupa mineral kalsit (Cal) serta matriks berupa mikrit (Mcrt) dan semen berupa sparit (Spr), serta pori (Pr). Skala foto 0,5 mm (terdapat di kanan bawah gambar).

Kenampakan petrografi sayatan tipis *wackestone* di stasiun 1 dapat dilihat pada Gambar 2. Berwarna keabu-abuan pada nikol sejajar, dan abu-abu kecoklatan pada nikol silang. Bentuk material *subrounded - subangular*, ukuran material 0,01 mm – 1,2 mm, komposisi material *grain* terdiri dari *skeletal grain*, berupa fosil foraminifera (5%), koral (10%) dan alga (10%). *Non-*

skeletal grain berupa mineral kalsit (10%) serta matriks berupa mikrit (25%) dan semen berupa sparit (20%), serta pori (20%).

2. *Packstone*



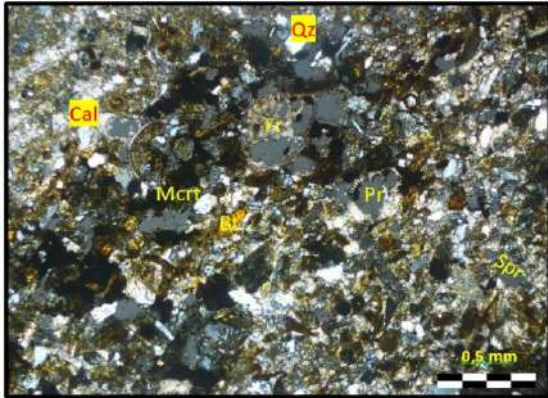
Gambar 3. Kenampakan petrografi *packstone* pada stasiun 2 yang tersusun oleh *skeletal grain*, berupa fosil foraminifera (Fr), koral (Cr) dan alga (Alg). *Non-skeletal grain* berupa mineral kuarsa (Qz) serta matriks berupa mikrit (Mcrt) dan semen berupa sparit (Spr), serta pori (Pr). Skala foto 0,5 mm.

Kenampakan petrografi sayatan tipis *packstone* di stasiun 2 dapat dilihat pada Gambar 3). Berwarna keabu-abuan pada nikol sejajar, dan berwarna abu-abu kecoklatan pada nikol silang, bentuk material *subrounded - subangular*, ukuran material 0,01 mm – 3 mm, komposisi material *grain* terdiri dari *skeletal grain*, berupa fosil foraminifera (15%), koral (2%) dan alga (3%). *Non-skeletal grain* berupa mineral kuarsa (15%) serta matriks berupa mikrit (30%) dan semen berupa sparit (15%), serta pori (20%).

3. *Grainstone*

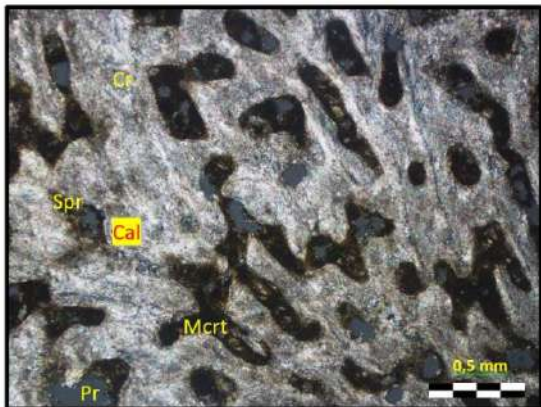
Kenampakan petrografi sayatan tipis stasiun 3 dapat dilihat pada Gambar 4. Berwarna keabu-abuan pada nikol sejajar, dan berwarna abu-abu kecoklatan pada nikol silang, bentuk material *subrounded - subangular*, ukuran material 0,01 mm – 2 mm, komposisi material *grain* terdiri dari *skeletal grain*, berupa fosil foraminifera (5%), koral (2%) dan alga (3%). *Non-skeletal grain* berupa mineral kuarsa (10%), kalsit (10%), biotit (5%)

serta matriks berupa mikrit (20%) dan semen berupa sparit (30%), serta pori (20%).



Gambar 4. Kenampakan petrografi *packstone* pada stasiun 3 yang tersusun oleh *skeletal grain*, berupa fosil foraminifera (Fr), koral (Cr) dan alga (Alg). *Non-skeletal grain* berupa mineral kuarsa (Qz), kalsit (Cal), biotit (Bt), serta matriks berupa mikrit (Mcrt) dan semen berupa sparit (Spr), serta pori (Pr). Skala foto 0,5 mm.

4. *Floatstone*

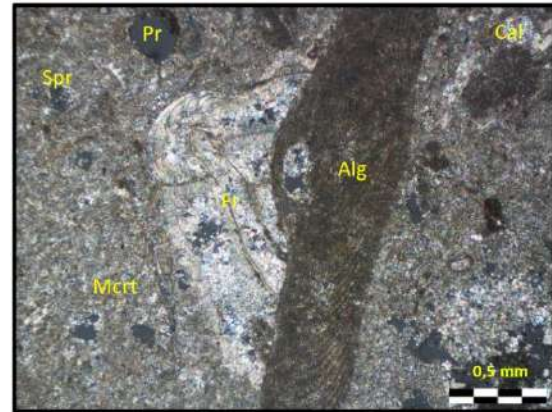


Gambar 5. Kenampakan petrografi *floatstone* pada stasiun 4A berupa fosil foraminifera (Fr) dan alga (Alg). *Non-skeletal grain* berupa mineral kalsit (Cal) serta matriks berupa mikrit (Mcrt) dan semen berupa sparit (Spr), serta pori (Pr). Skala foto 0,5 mm.

Kenampakan petrografi sayatan tipis *floatstone* di stasiun 4 dapat dilihat pada Gambar 5. Berwarna keabu-abuan pada nikol sejajar, dan berwarna abu-abu kecoklatan pada nikol silang, bentuk material *subrounded - subangular*, ukuran material 0,01 mm - 30 mm, komposisi material *grain* terdiri dari *skeletal grain*, berupa fosil foraminifera (10%) dan alga (15%). *Non-skeletal grain* berupa mineral

kalsit (20%) serta matriks berupa mikrit (20%) dan semen berupa sparit (25%), serta pori (10%).

5. *Framestone*

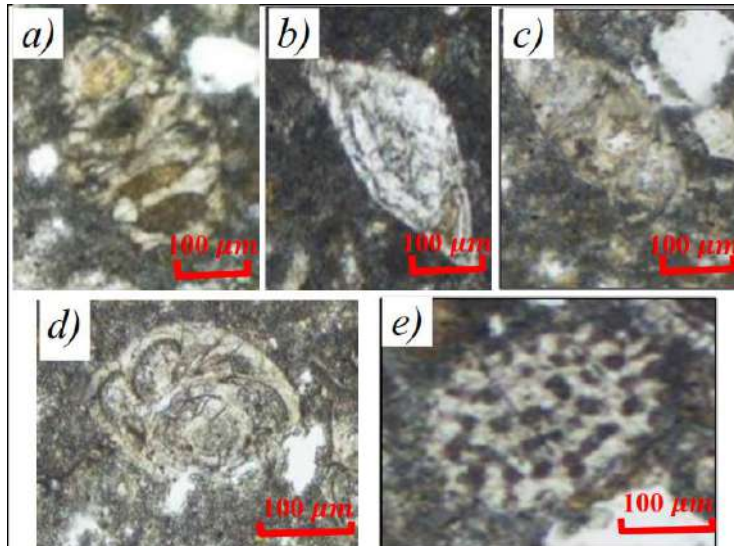


Gambar 6. Kenampakan petrografi *framestone* pada stasiun 15B yang tersusun oleh *skeletal grain*, berupa koral (Cr). *Non-skeletal grain* berupa mineral kuarsa (Qz) serta matriks berupa mikrit (Mcrt) dan semen berupa sparit (Spr), serta pori (Pr). Skala foto 0,5 mm.

Kenampakan petrografi sayatan tipis *framestone* di stasiun 15B dapat dilihat pada Gambar 6. Berwarna keabu-abuan pada nikol sejajar, dan berwarna abu-abu kecoklatan pada nikol silang, bentuk material *subrounded - subangular*, ukuran material 0,01 mm – 30 mm., komposisi material *grain* terdiri dari *skeletal grain*, berupa koral (30%). *Non-skeletal grain* berupa mineral kalsit (20%) serta matriks berupa mikrit (30%) dan semen berupa sparit (10%), serta pori (10%).

Identifikasi Foraminifera Besar

Hasil pengamatan fosil foraminifera besar dalam sayatan tipis batugamping daerah penelitian, terdapat 24 spesies foraminifera besar yang teridentifikasi. Diantaranya terdapat empat fosil indeks yaitu *Miogypsinoides dehaarti* (van der Vlerk), *Paleomiogypsina bononensis* (Matsumaru), *Miogypsina* sp, (Vaughan), *Paleomiogypsina* sp, dan *Miogypsinella* sp, (Aquitanian) dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Kenampakan foraminifera besar yang menjadi fosil indeks, a. *Miogypsinoides dehaarti* (van der Vlerk), b. *Paleomiogypsina bononensis* (Matsumaru), c. *Paleomiogypsina sp.*, d. *Miogypsinella sp.*, (Aquitanian) dan e. *Miogypsina sp.*, (Vaughan). Skala foto 100 μm .

Analisis Umur Batugamping

Dasar penentuan umur batugamping daerah penelitian menggunakan zonasi van der Vlerk and Umbgrove (1972). Penarikan umur batugamping ini dilakukan dengan mendeskripsi setiap foraminifera besar yang terdapat pada sayatan tipis batugamping. Hal tersebut untuk mengetahui fosil indeks atau fosil yang berumur singkat sehingga dapat digunakan sebagai acuan untuk mengetahui umur batugamping daerah penelitian. Berdasarkan penarikan umur dan deskripsi fosil foraminifera besar, diketahui bahwa batugamping daerah penelitian berumur Miosen Awal-Miosen Tengah (Te- Tf) atau 22,5-15 juta tahun yang lalu (Tabel 2).

Analisis Lingkungan Pengendapan Batugamping

Penentuan lingkungan pengendapan batugamping daerah penelitian didasarkan pada kandungan fosil foraminifera besar, jenis litologi serta kandungan koral dan alga menurut klasifikasi BouDagher-Fadel (2008). Kandungan fosil foraminifera besar daerah penelitian terdiri dari genus

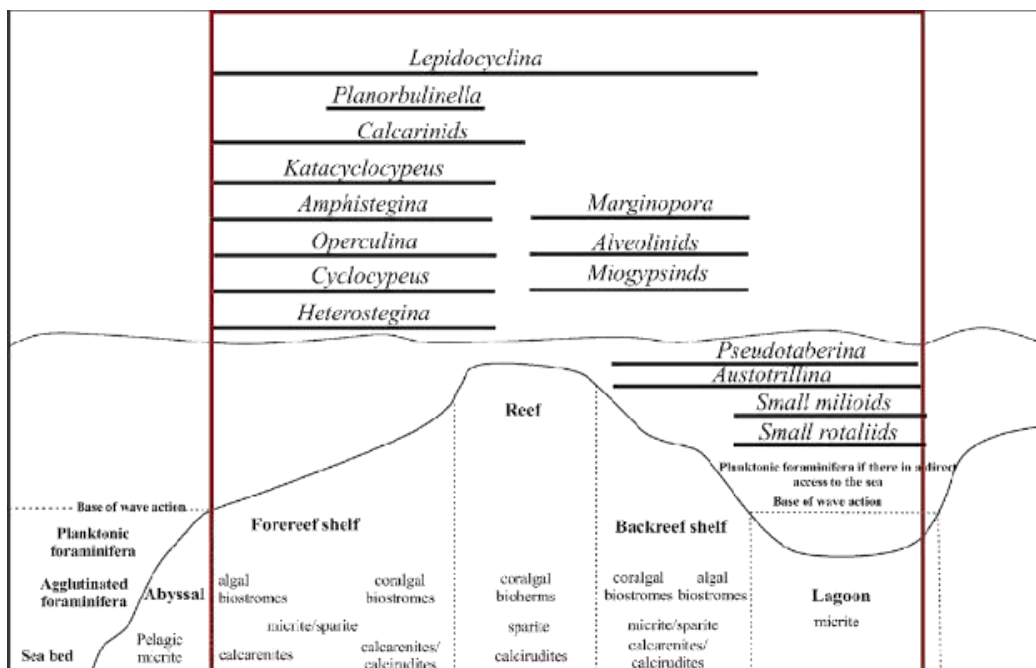
Miogypsinoides, *Austotrillina*, *Alveolinoi-*
des, *Cyclocypeus*, *Heterostegina* dan
Lepidocyclina. Litologi daerah penelitian
didominasi oleh batuan *calcarenite* dan
calcirudite serta mengandung mikrit, alga
dan koral. Berdasarkan karakteristik
tersebut, lingkungan pengendapan daerah
penelitian berada pada zona *lagoon* hingga
forereef shelf (Gambar 8). Perubahan
lingkungan pengendapan ini secara umum
diakibatkan oleh fluktuasi muka air laut
yang terjadi di daerah penelitian.

Kesimpulan

Hasil analisis foraminifera besar pada batugamping dapat disimpulkan sebagai berikut: Berdasarkan kandungan fosil foraminifera besar, batugamping pada daerah penelitian berumur Miosen Awal-Miosen Tengah (22,5-15) juta tahun yang lalu. Lingkungan pengendapan batugamping berada pada zona *lagoon* hingga *forereef shelf* didasarkan pada kandungan fosil foraminifera besar dan karakteristik litologi pada daerah penelitian.

Tabel 2. Penarikan umur batugamping di lokasi penelitian.

Kandungan Fosil Foraminifera Besar	Ta1	Ta2	Tb	Tc	Td	Te	Tf	Tg	Th
<i>Miogypsinoides dehaarti</i> (van der Vlerk)						_____			
<i>Paleomiogypsina bononensis</i> (Matsumaru)						_____			
<i>Austrorillina asmariensis</i> (Adams)	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
<i>Alveolinella sp.</i> (Cushman)								_____	_____
<i>Miogypsina sp.</i> (Vaughan)						_____	_____		
<i>Paleomiogypsina sp.</i>						_____	_____		
<i>Miogypsinella sp.</i> (Aquitanian).						_____	_____		
<i>Cyclocypeus katacyclocypeus</i> (de Blainville, 1827)	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
<i>Brodinia</i> (Hanzawa, 1957)						_____	_____	_____	_____
<i>Rotalia trochidiformis</i> Lamarck						_____	_____	_____	_____
<i>Miogypsina tani</i> Drooger						_____	_____	_____	_____
<i>Austrorillina howchini</i> (Schlumberger)								_____	_____
<i>Austrorillina Brunni</i> (Marie)								_____	_____
<i>Victoriella sp.</i> (Sepkoski Jr. 2002)	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
<i>Spiroplectammina biformis</i> (Parker and Jones)						_____	_____	_____	_____
<i>Heterostegina boorneensis</i> (van der Vlerk)		_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
<i>Textulariella barrettii</i> (Jones and Parker)	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
<i>L. Nephrolepidina</i> (Rutten).					_____	_____	_____		
<i>Biarittizina sp.</i> (Vaughan)					_____	_____	_____		
<i>Lepidocyclina verbeeki</i> (Newton and Holland)		_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
<i>Nephrolepidina</i> BouDagher-Fadel and Lord	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
<i>Planorbulinella sp.</i> (Belford)	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
<i>Planorbulinella solida</i> (Belford)	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
<i>Miogypsina gunteri</i> (Cole)						_____	_____	_____	_____



Gambar 8. Lingkungan pengendapan daerah penelitian.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih dipersembahkan kepada rekan-rekan dosen Teknik Geologi Universitas Tadulako yang telah membantu sekaligus memberikan masukan sehingga penelitian ini dapat terlaksana

Daftar Pustaka

- Adam, C.G. 1970. *A Reconsideration of The East Indian Letter Classification of The Tertiary*. Bulletin of The British Museum (Natural History) Geology. 19(3), pp.1-137.
- BouDagher-Fadel, M.K. 2008). *Evolution and Geological Significance of Larger Benthic Foraminifera*. 1st ed. Amsterdam: Elsevier.
- Dunham, R.J. 1962. *Classification of Carbonate Rock According to Depositional Texture*, in Ham, W.E. (ed.), *Depositional Environment in Carbonate Rock*. AAPG Memoir 1, pp.108-121. <https://doi.org/10.1306/M1357>
- Embry, A.F. and Klovan, J.E. 1971. *A Late Devonian reef tract on Northeastern Banks Island, N.W.T1*. Bulletin of Canadian Petroleum Geology. 19(4), pp.730–781. <https://doi.org/10.35767/gscpgbul.1.19.4.730>
- Lunt, P. and Allan, T., 2004. *A History and Application of Larger Foraminifera in Indonesian Biostratigraphy, Calibrated to Isotopic Dating*. Geology Research Development Centre Museum, Bandung, Workshop on Micropaleontology, 109p.
- Maulana, A. 2019. *Petrologi*. Yogyakarta: Penerbit Ombak.
- Pringgoprawiro, H. and Kapid, R. 2000. *Foraminifera: Pengenalan Mikrofosil dan Aplikasi Biostratigrafi*. Bandung: Penerbit ITB.
- Sukamto, R., Sumardirdja, H., Suptandar, T., and Sudana, D. 1973. *Peta Geologi Regional Lembar Palu*. Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Direktorat Jenderal Pertambangan Umum dan Energi.
- Surono, and Hartono, U. 2013. *Geologi Sulawesi*. Jakarta: LIPI Press.
- van der Vlerk, I.M. and Umbgrove, J.H.L. 1927. *Tertiaire gidsforaminiferen uit Nederlandsch Oost-Indie*. Wetenschappelijke Mededeelingen, Dienst Mijnbouw Bandoeng. 6, pp.1–31.
- Wagner, C.W. 1964. *Manual of Larger Foraminifera: Generic Determination and Stratigraphic Value*. Bataafse Internationale Petroleum Maatschappij.

IDENTIFIKASI ALTERASI-MINERALISASI PADA SISTEM ENDAPAN SKARN BERBASIS PENDEKATAN METODE *TIME DOMAIN INDUCED POLARIZATION* DI DAERAH KASIHAN, PACITAN, JAWA TIMUR

Taufik Seizarsyah¹, Ajimas Pascaning Setiahadwibowo^{1*}, Firdaus Maskuri^{1,2}, Sutarto²

¹Teknik Geofisika, Universitas Pembangunan Nasional Veteran Yogyakarta, Indonesia

²Teknik Geologi, Universitas Pembangunan Nasional Veteran Yogyakarta, Indonesia

*Corresponding author. Email: ajimas@upnyk.ac.id

Manuscript received: 22 August 2021; Received in revised form: 22 March 2022; Accepted: 20 April 2022

Abstrak

Penelitian ini dilakukan di Kasihan, Pacitan, Jawa Timur dengan tujuan untuk mengetahui zona alterasi dan mineralisasi bijih dari sistem endapan mineral berdasarkan konduktivitas dan resistivitas batuan bawah permukaan di daerah penelitian. Berdasarkan hal tersebut metode geofisika diperlukan untuk memetakan luasan area prospek endapan mineral serta model matematis pada daerah penelitian. Salah satu metode geofisika yang digunakan dalam studi kasus endapan mineral adalah *Time Domain Induced Polarization* (TDIP). Pengukuran Metode *Time Domain Induced Polarization* dilakukan dengan konfigurasi dipole-dipole yang disusun relatif menjurus timurlaut – baratdaya sebanyak 2 lintasan, dengan masing-masing lintasan memiliki panjang sejauh 260 m dengan spasi awal elektroda 20 m. Target dari Metode TDIP dapat menggambarkan kondisi bawah permukaan sejauh 48 m. Kedudukan mineralisasi pada endapan skarn pada Metode *Time Domain Induced Polarization* berada pada kedalaman 25 m dibawah permukaan topografi yang ditunjukkan oleh nilai resistivitas tinggi $>2000 \Omega\text{m}$ dan chargeabilitas >500 msec pada batuan induk dasit dan batugamping.

Kata Kunci: chargeabilitas; dipole-dipole; resistivitas; *Time Domain Induced Polarization*.

Abstract

This research was conducted in Kasihan, Pacitan, East Java with the aim of knowing the alteration zone and ore mineralization from mineral sediment systems based on the conductivity and resistivity of subsurface rocks in the study area. A geophysical method is needed to map area area area of the prospect of mineral deposits as well as mathematical models in the area research. One of the geophysical methods used in studies of mineral sediment cases is *Time Domain Induced Polarization* (TDIP). Measurement of *Time Domain Induced Polarization* method done with configuration dipole-dipole which is arranged relatively straight northeast-southwest as much 2 tracks, with each track having the length of 260 m with an initial space of 20 m electrodes. Targets of the TDIP Method can describe subsurface conditions as far as 48 m. The position of mineralization in skarn deposits in the *Time Domain Induced Polarization* method at a depth of 25 m below the surface topography shown by high resistivity values $>2000 \Omega\text{m}$ and >500 msec chargeability in dacite and limestone.

Keywords: chargeability; dipole-dipole; resistivity; *Time Domain Induced Polarization*.

Pendahuluan

Di Indonesia secara tatanan geologi merupakan negara yang berada di batas

lempeng tektonik paling aktif di dunia, yaitu Lempeng Indo-Australia, Eurasia, dan Filipina. Dikarenakan hal tersebut, interaksi antar *margin* lempeng ini membentuk fenomena geologi antara lain produk magmatisme berupa gunung api. Serangkaian gunung api di Indonesia yang termasuk dalam jalur “*Ring of Fire*” ini tentunya menyebabkan adanya potensi sumber daya mineral berupa akumulasi mineral yang berkaitan dengan endapan mineral sistem vulkanik ataupun orogenik.

Merujuk pada genetika gunung api, umumnya diiringi oleh kompleksitas proses dari material magma atau disebut juga proses magmatisme yang kemudian menjadi faktor penting dalam pembentukan mineral logam. Pada bagian awal hingga akhir proses magmatisme (*Early – Post Magmatism*) yang melibatkan elemen vital seperti gas *volatile* (H_2S , SO_4 , CO_2), fluida panas (hidrotermal) bersuhu antara 50 °C-500 °C. Kemudian berinteraksi dengan batuan di sekitarnya melalui zona lemah berupa rekahan-rekahan yang terbentuk baik akibat intrusi maupun struktur yang sudah terbentuk sebelumnya (Lindgren, 1928). Hal ini mengakibatkan adanya proses asimilasi antar keduanya dan terbentuklah konsentrasi pengkayaan mineral sekunder dari *replacement* unsur kimia ataupun presipitasi mineral baru yaitu, mineral logam dasar berharga (*base precious metals*).

Tipe endapan yang hadir di Indonesia cukup beragam diantaranya *Volcanogenic Massive Sulfide*, *Porphyry Cu-Au-Mo*, *Skarn Intrusion Related CuAu-Zn-Pb*, *Epithermal Au-Ag*, *Granitic Sn-W-Mo*, *Post-Metamorphic Q-Au Shear Zones*, dan *Mississippi Valey Base Metals* (Prihatmoko et al., 2002). Endapan yang terbentuk memiliki tipe berbeda-beda tergantung oleh kandungan larutan magma, kondisi *host rocks*, struktur geologi, dan hadirnya pengaruh luar seperti penurunan suhu yang cepat oleh air meteorik (White and Hedenquist, 1995).

Daerah Kasihan, Kecamatan Tegalombo, Pacitan, Jawa Timur diperkirakan merupakan Endapan Porfiri-Skarn melihat dari kronostratigrafi daerah penelitian berdasarkan Tun (2007). Daerah Kasihan tersusun atas satuan litologi batuan dasit porfiri, breksi vulkanik, andesit, marmar, batugamping, dan riolit. Selain itu, prospek keterdapatan mineralisasi di Daerah Kasihan ditandai dengan kehadiran urat kuarsa dan sejumlah bijih sulfida (pirit, kalkopirit, sfalerit dan galena).

Tujuan dari penelitian ini yaitu mengetahui zona alterasi dan mineralisasi bijih dari sistem endapan mineral berdasarkan konduktivitas dan resistivitas batuan bawah permukaan di daerah penelitian. Salah satu metode geofisika yang digunakan dalam studi kasus alterasi-mineralisasi pada sistem endapan skarn adalah *Time Domain Induced Polarization* (TDIP). Data TDIP untuk menentukan suatu karakter mineralisasi yang hadir pada suatu sistem endapan Porfiri-Skarn. Metode TDIP ini didasarkan pada pengukuran resistivitas dan chargeabilitas yang dimiliki oleh batuan ataupun material dimana kemampuan kedua besaran tersebut merupakan kemampuan mengalirkan arus listrik dalam metode elektromagnetik (Reynold, 2011).

Endapan mineral dapat didefinisikan sebagai tubuh batuan yang mengandung konsentrasi satu atau lebih elemen (atau mineral) dengan kelimpahan di atas rata-rata kerak pada umumnya dan memiliki nilai ekonomis (Ridley, 2013; Misra, 2000). Endapan mineral diklasifikasikan ke dalam dua kategori besar, yaitu endapan mineral logam (misalnya, endapan tembaga, timbal, seng, besi, emas), dan endapan mineral bukan logam (atau industri) (misalnya, endapan tanah liat, mika, fluorit, asbes, garnet), yang mengandung mineral yang berguna karena sifat fisik atau kimianya yang spesifik. Mineral-mineral yang memiliki ukuran yang cukup, *grade* dan aksesibilitas yang memungkinkan untuk

diekstrak menjadi suatu keuntungan secara ekonomi dalam suatu deposit disebut sebagai mineral bijih dan sisanya merupakan mineral pengotor (*gangue*) (Pirajno, 2009; Misra, 2000).

Sebuah sistem endapan mineral mencakup semua faktor geologi dan geodinamika, di semua skala, yang mengontrol diawal, evolusi dan pelestarian endapan bijih (Pirajno, 2009). Skarn biasanya dikategorikan berdasarkan zonasi berupa manifestasi urutan lapisan monomineral atau bimineralik relatif terhadap kontak, celah atau retakan pada sedimen atau beku. Pola zonasi umum ditandai dengan peningkatan rasio piroksen terhadap garnet dari kontak batuan beku dan terjadinya idokrase (atau piroksenoid seperti wollastonite, bustamite, atau rhodonite) pada kontak antara skarn dan marmer (Misra, 2000). Selain itu, mineral skarn secara individu dapat menampilkan warna yang bervariasi yang menunjukkan komposisi mineral dalam letak zonanya. Misalnya, garnet umumnya berwarna coklat merah tua di zona proksimal (dekat pluton), menjadi coklat muda di lokasi yang lebih distal (jauh dari pluton), dan berwarna hijau pucat di dekat bagian depan marmer (Misra, 2000). Piroksen tidak menunjukkan perubahan warna yang nyata, tetapi biasanya memiliki peningkatan progresif dalam kandungan besi dan/ atau mangan ke arah permukaan marmer (Misra, 2000).

Keberadaan mineral kaya akan oksida Cu merupakan bentuk retrograde mineral dari endapan skarn yang telah terkontaminasi oleh lingkungan atmosfer dan fluida meteorik dari permukaan (Meinert, 1993). Selain itu biasanya kelimpahan Cu pada skarn berada kontak batuan intrusi. Hal ini selaras sebagaimana yang ditemukan di lapangan yaitu adanya batugamping serta intrusi batuan dasit. Selain itu, mineral garnet yang memiliki warna merah kecoklatan cenderung berada relatif dekat pluton (zona proksimal). Hal ini merupakan

bentuk ikatan dengan kandungan mineral Fe yang tinggi (Misra, 2000).

Metodologi Penelitian

Metode Time Domain Induced Polarization

Polarisasi terinduksi (IP) adalah fenomena kelistrikan berupa respons tegangan tersisa (*delayed voltage*) pada material bumi yang dihasilkan dari stimulasi arus listrik. Ketika arus dimatikan secara tiba-tiba, tegangan antara elektroda potensial tidak langsung turun ke nol (Gambar 1). Tegangan yang tersimpan (ΔV) beberapa saat ini dipengaruhi oleh sifat kapasitansi material sebagai agen dalam proses polarisasi elektrik. Pada prakteknya induksi elektromagnetik di dalam tanah membutuhkan waktu singkat untuk mati dan ΔV tidak diukur sampai beberapa puluh milidetik setelah mematikan arus energi (Kearey et al., 2002; Sumner, 1976; Griffiths and King, 1981).

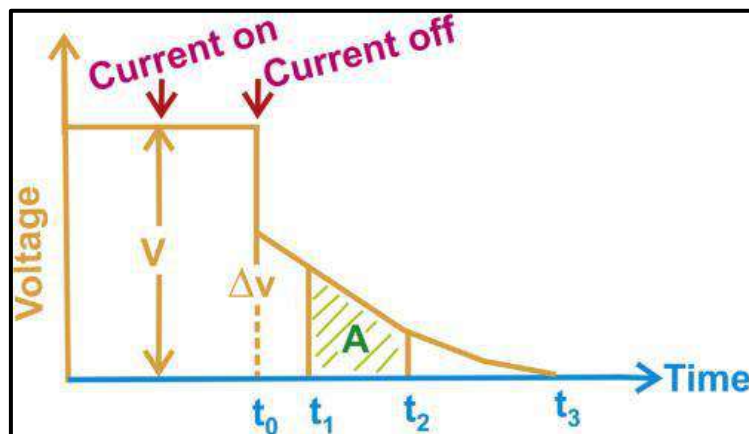
Metode IP secara praktis diaplikasikan dalam eksplorasi bawah permukaan untuk endapan mineral yang terkubur, khususnya sulfida logam, oksida, dan grafit yang merupakan konduktor yang baik. Metode ini membantu dalam mendeteksi mineral konduktif yang tidak teridentifikasi secara baik pada metode resistivitas. Besarnya polarisasi elektroda bergantung pada intensitas tegangan dan konsentrasi mineral konduktif. Badan bijih sulfida yang tersebar luas menyediakan pertukaran elektronik ionik secara maksimum, sehingga sangat cocok untuk survei polarisasi terinduksi (Haldar, 2018).

Merujuk pada Dentith and Mudge (2014) dan Kearey et al. (2002), sifat kapasitansi suatu material di bawah permukaan bumi dapat diukur dengan tiga cara, yaitu dengan mengukur peluruhan potensial setelah mematikan arus DC (*Direct Current*), membandingkan resistivitas semu yang diperoleh dengan arus AC (*Alternating Current*) menggunakan dua frekuensi yang

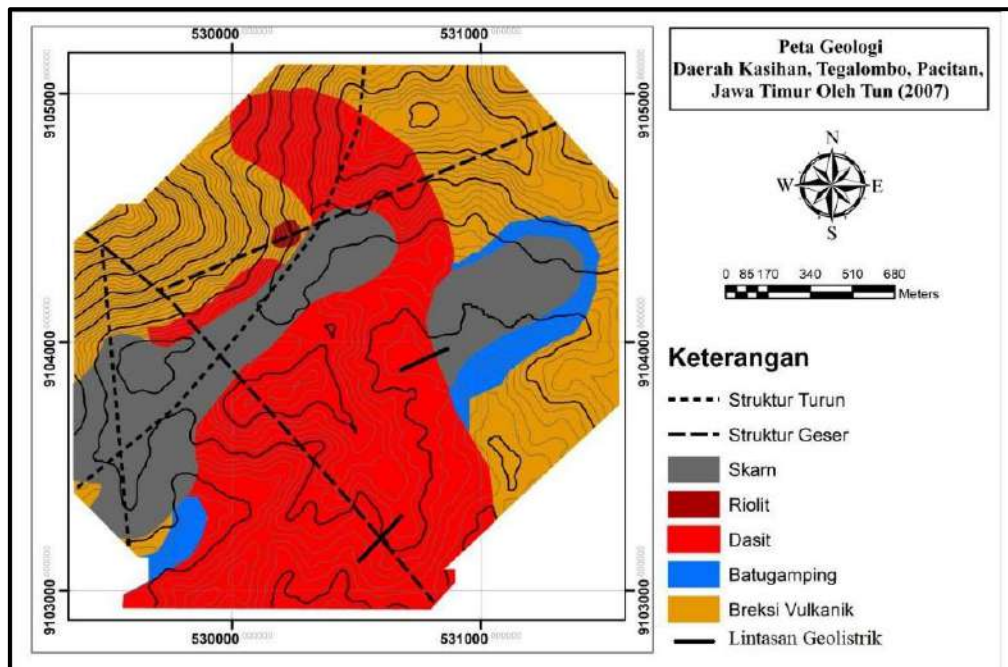
berbeda, dan akhirnya dengan membandingkan fasa antara arus AC dan perbedaan potensialnya.

Pada survei pengukuran horizontal *profiling/ mapping/ imaging* menggunakan konfigurasi dipole-dipole penempatan titik datum pengukuran secara horizontal ditempatkan pada titik tengah pengukuran (*mid-point*). Sedangkan penempatan titik datum secara vertikal dapat diestimasi melalui titik perpotongan yang dihasilkan

dari penarikan garis sebesar 45° terhadap horizontal. Pada cara lainnya, penempatan datum pengukuran secara vertikal dapat mengacu pada median *depth of investigation* atau *pseudodepth* dari jenis bentangan elektroda yang digunakan (Edward, 1977). Nilai *pseudodepth* ini didasari atas nilai sensitivitas atau *Freschet Derivative* dari hasil perhitungan matematis pada lapisan setengah homogen/*homogenous halfspace*.



Gambar 1. Diagram skematik yang menjelaskan prinsip-prinsip metode survei potensial terinduksi dengan menggunakan kurva tegangan versus waktu (Haldar, 2018).



Gambar 2. Peta geologi penelitian (Tun, 2007) dan desain survei penelitian.

Data yang telah dilakukan koreksi dengan menghilangkan *random noise* berupa anomali *spike* melalui analisis *scatterplot* maka kemudian data resistivitas dan

chargeabilitas semu dapat dilakukan proses selanjutnya, yaitu proses inversi untuk mendapatkan pola distribusi resistivitas dan chargeabilitas absolut. Proses inversi

dilakukan untuk meniadakan hipotesa sebelumnya yang menganggap lapisan bawah permukaan sebagai homogen isotropis sehingga dihasilkan suatu model response. Proses Inversi dilakukan dengan menggunakan jenis inversi—*Robust Inversion*. Hal ini merupakan jenis inversi yang dapat memberikan gambaran jelas mengenai suatu geometri material yang terbaca, dengan memberikan batas yang tegas pada bagian terluar dari objek (Loke, 2004).

Lokasi Penelitian dan Desain Survei

Lokasi penelitian berada di Daerah Kasihan, Kecamatan Tegalombo, Kabupaten Pacitan, Jawa Timur (Gambar 2). Metode TDIP dilakukan dengan konfigurasi dipole-dipole sebanyak 2 lintasan. Masing-masing lintasan memiliki panjang sejauh 260 m dengan spasi antar elektroda 20 m. Target dari Metode TDIP dapat menggambarkan kondisi bawah permukaan sejauh 48 m. Pada akuisisi data metode TDIP, proses akuisisi data menggunakan instrumen *Resistivitymeter Syscal* yang mengukur nilai resistivitas dan kemampuan kapasitansi dari objek geologi yang berasal dari fluida, mineral, ataupun batuan. Tahapan akuisisi diawali dengan mempersiapkan dan pengecekan *main unit resistivitymeter* dan peralatan pendukung seperti elektroda arus, *porous-pot*, kabel arus dan potensial, GPS terlebih dahulu agar saat di lapangan proses akuisisi data tidak terkendala.

Hasil dan Pembahasan

LS1-1

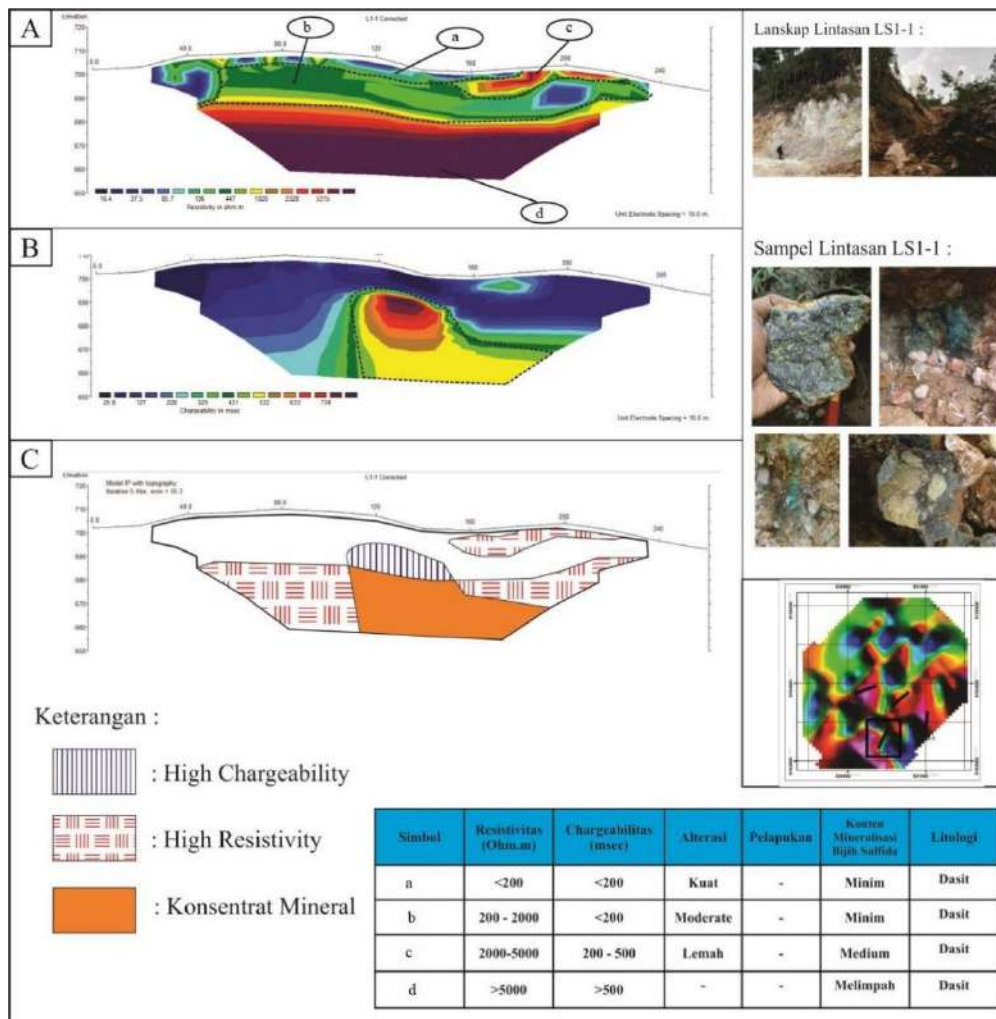
Setelah dilakukan pengolahan terhadap data observasi LS1-1 diperoleh distribusi penampang resistivitas bawah permukaan 2 dimensi, melingkupi area sepanjang 260 m dengan kedalaman 45 m. Penetrasi sumber arus listrik mencapai resolusi kedalaman tertentu ini sangat dipengaruhi oleh faktor bentangan. Berdasarkan model penampang resistivitas yang telah didapatkan,

menunjukkan adanya pola resistivitas dengan besaran nilai tertentu yang kemudian daerah pengukuran diklasifikasikan menjadi beberapa klaster berdasarkan nilai resistivitasnya yang direpresentasikan melalui indeks warna. Nilai resistivitas tinggi yaitu $>2000 \Omega\text{m}$ ditandai dengan warna jingga hingga merah, untuk nilai resistivitas menengah yaitu $200 \Omega\text{m} - 2000 \Omega\text{m}$ ditandai dengan warna hijau, dan nilai resistivitas rendah yaitu $<200 \Omega\text{m}$ ditandai dengan warna biru. Perbedaan tingkatan nilai resistivitas didasari atas pengaruh beberapa faktor, yaitu jenis litologi, intensitas alterasi, dan keberadaan jenis mineral.

Perubahan nilai resistivitas yang memiliki perbedaan signifikan pada Gambar 3 menunjukkan bahwa terdapat perbedaan jenis batuan. Diketahui lokasi di area pengukuran ditemukan aktivitas magmatisme masa lampau berupa intrusi dasit yang digambarkan dengan nilai resistivitas tinggi dan juga proses alterasi hidrotermal yang terjadi selepas pembentukan batuan beku dasit yang ditandai oleh nilai resistivitas rendah sampai menengah. Interaksi antara fluida hidrotermal sisa magmatisme pada batuan sampingnya (*wallrock*) pada media rekahan membuat kondisi batuan mengalami ubahan, sehingga unsur tidak stabil akan berinteraksi dengan unsur yang dibawa dan membentuk mineral sekunder yang menyebabkan adanya perubahan nilai resistivitas batuan. Pada lintasan ini yang diukur pada area sekitar ditemukan keterdapatan singkapan yang kaya akan mineral dengan kandungan tembaga yang cukup melimpah berupa oksida tembaga seperti malakit, azurite, kovelit, serta tembaga sulfida yaitu kalkopirit, dan digenit. Hal ini lah yang membentuk nilai chargeabilitas yang tinggi ($>500 \text{ msec}$) ditandai oleh gradasi warna dari kuning ke merah. Semakin tinggi nilai chargeabilitas pada rentang ini umumnya berimplikasi dengan kekayaan konten sulfida yang berikatan. Pada nilai chargeabilitas kurang

dari 300 msec, merupakan mineral lempung dan garnet yang cenderung menghasilkan

polarisasi membran melalui *control* fluida dalam pori.



Gambar 3. (A) Penampang resistivitas, (B) chargeabilitas, dan (C) Model konseptual geologi LS1-1.

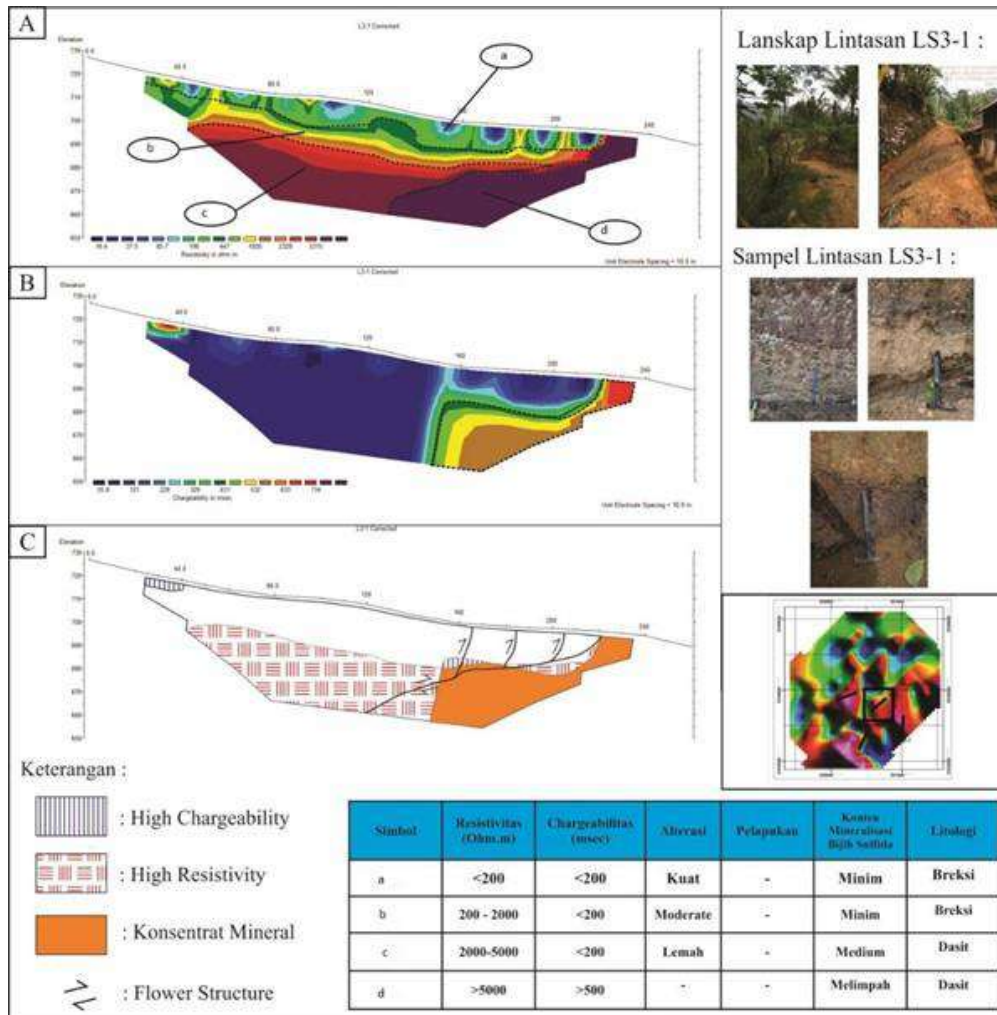
LS3-1

Pada model inversi/ model parameter LS3-1 diperoleh distribusi penampang resistivitas bawah permukaan 2 dimensi, melingkupi area sepanjang 260 m dengan kedalaman 45 m. Pola resistivitas dengan besaran nilai tertentu kemudian diklasifikasikan menjadi beberapa klaster berdasarkan nilai resistivitasnya yang direpresentasikan melalui indeks warna. Untuk nilai resistivitas tinggi yaitu >2000 Ωm ditandai dengan warna jingga hingga merah, untuk nilai resistivitas menengah yaitu 200 Ωm - 2000 Ωm ditandai dengan warna hijau, dan nilai resistivitas rendah yaitu <200 Ωm ditandai dengan warna biru. Perbedaan tingkatan nilai resistivitas pada lokasi terkait dipengaruhi oleh beberapa

faktor, yaitu jenis litologi, intensitas alterasi, tingkat pelapukan, dan keberadaan jenis mineral. Pada lokasi terkait hanya ditemukan singkapan berupa batuan dasit yang teralterasi dan terlapukan. Kondisi batuan dasit yang terlapukan sulit telah menyatu dengan *top soil* yang memiliki nilai resistivitas rendah. Sedangkan batuan dasit memiliki nilai medium sampai dengan tinggi tergantung pada tingkat atau intensitas alterasi yang terjadi. Pada batuan dasit yang intensitas alterasinya semakin kuat memiliki nilai resistivitas yang semakin rendah, begitu sebaliknya apabila batuan dasit semakin *fresh* maka nilai resistivitasnya semakin tinggi (Gambar 4). Pada penampang chargeabilitas, nilai yang berada di lintasan ini didominasi oleh nilai rendah (<200 msec), yang diakibatkan oleh

keberadaan *soil* dan aktivitas alterasi. Namun semakin ke arah timurlaut nilai chargeabilitas mengalami kenaikan (>500 msec). Hal ini dimungkinkan berkaitan dengan pusat intrusi dan mialisasinya. Ion

sulfida akan semakin kuat ke arah zona proksimal dari tubuh intrusi. Peningkatan nilai chargeabilitas juga ditandai oleh keberadaan pengkayaan mineral mangan dan besi oksida pada ujung lintasan.



Gambar 4. (A) Penampang resistivitas, (B) chargeabilitas, dan (C) Model konseptual geologi LS3-1.

Kesimpulan

Kedudukan mineralisasi pada endapan skarn pada metode *Time Domain Induced Polarization* berada pada kedalaman 25 m di bawah permukaan topografi yang ditunjukkan oleh nilai resistivitas tinggi >2000 Ωm dan chargeabilitas >500 msec pada batuan induk dasit dan batugamping. Adapun koreksi yang disarankan oleh penulis, seperti dilakukan akuisisi data TDIP dengan spasi yang lebih besar untuk mendapatkan kedalaman lebih dalam, selain itu akuisisi dilakukan dengan jarak antar lintasan lebih dekat dan *azimuth* yang

sama. Selain itu diperlukan analisis geologi dengan geokimia lebih detail dalam bentuk skala laboratorium untuk mengetahui kandungan mineral lebih spesifik dan kadar masing-masing.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terimakasih kepada LPPM Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta yang telah membantu penyelenggaraan penelitian ini. Juga kepada segenap pihak yang berperan banyak dalam proses akuisisi serta pengolahan data dan seluruh pihak yang

telah memberikan saran yang membangun dalam penelitian ini.

Daftar Pustaka

- Dentith, M. and Mudge, S.T. 2014. *Geophysics for the Mineral Exploration Geoscientist*. Cambridge: Cambridge University Press.
<https://doi.org/10.1017/CBO9781139024358>
- Edwards, L.S. 1977. *A Modified Pseudosection for Resistivity and IP*. *Geophysics*. 42, pp.1020-1036.
<https://doi.org/10.1190/1.1440762>
- Griffiths, D.H. and King, R.F. 1981. *Applied Geophysics for Geologists and Engineers: The Elements of Geophysical Prospecting*. 2nd ed. Pergamon Press.
<https://doi.org/10.1016/C2009-0-10955-8>
- Haldar, S.K. 2018. *Mineral Exploration*. 2nd ed. Elsevier Inc.
<https://doi.org/10.1016/C2017-0-00902-3>
- Kearey, P., Brooks, M. and Hill, I. 2002. *An Introduction to Geophysical Exploration*. 3rd ed. ix 262 pp. Oxford: Blackwell Science.
- Lindgren, W. 1928. *Mineral Deposits*. 3rd ed. London-New York: McGraw-Hill Publishing Co., Ltd. pp. xx+1049, with 317 figs.
- Loke, M.H. 2004. 2D and 3D Electrical Imaging Survey. United Kingdom: Birmingham University.
https://sites.ualberta.ca/~unsworth/UA/classes/223/loke_course_notes.pdf
- Meinert, L.D. 1993. *Igneous petrogenesis and skarn deposits*. Geological Association of Canada - Special Paper. 40, pp.569-583.
https://www.researchgate.net/publication/279618611_Igneous_petrogenesis_and_skarn_deposits
- Misra, K.C. 2000. *Understanding Mineral Deposits*. Knoxville: Springer-Science+Business Media, B.V.
<https://doi.org/10.1007/978-94-011-3925-0>
- Pirajno, F. 2009. *Hydrothermal Processes and Mineral Systems*. Netherlands: Springer Science+Business Media B.V.
<https://link.springer.com/book/10.1007/978-1-4020-8613-7>
- Prihatmoko, S., Digidowirogo, S. and Kusumanto, D. 2002. Potensi Cebakan Mineral di Jawa Tengah dan Daerah Istimewa Yogyakarta. In: *Prosiding Seminar Geologi Jawa Tengah dan Daerah Istimewa Yogyakarta*, Ikatan Ahli Geologi Indonesia Pengda Yogyakarta, p. 87-108.
- Reynold, J.M. 2011. *An Introduction to Applied and Enviromental Geophysics*. United Kingdom: Wiley-Blackwell.
- Ridley, J. 2013. *Ore Deposit Geology*. New York: Cambridge University Press.
<https://doi.org/10.1017/CBO9781139135528>
- Sumner, J.S. 1976. *Principles of Induced Polarization for Geophysical Exploration*. 1st ed. Amsterdam: Elsevier.
- Tun, M.M., 2007. *An Investigation of Geology and Mineralization in the Kasihan Daerah, Pacitan Regency, East Java, Indonesia*. Master Thesis, Universitas Gadjah Mada.
- White, N.C. and Hedenquist, J.W. 1995. *Epithermal Gold Deposits: Styles, Characteristics and Exploration*. *SEG Discovery*. 23, pp.1–13.
<https://doi.org/10.5382/SEGnews.1995-23.fea>

KARAKTERISTIK FLUIDA PANAS BUMI BERDASARKAN ANALISIS GEOKIMIA AIR PANAS DAERAH WAWOLESEA KABUPATEN KONAWE UTARA SULAWESI TENGGARA

Rizky Nurul Aulia*, Irzal Nur, Asran Ilyas

Departemen Teknik Pertambangan, Universitas Hasanuddin, Makassar, Indonesia

*Corresponding author. Email: rizkynurulauliaa@gmail.com

Manuscript received: 17 January 2022; Received in revised form: 30 March 2022; Accepted: 21 April 2022

Abstrak

Kabupaten Konawe Utara merupakan daerah dengan potensi panas bumi yang menarik untuk diteliti. Manifestasi potensi panas bumi yang teramati tersebut terletak pada Daerah Wawolesea melalui pengambilan dan analisis tiga sampel mata air panas. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik fluida panas bumi yaitu tipe dan asal fluida dengan cara melakukan analisis geokimia pada sampel mata air panas di daerah penelitian yang selanjutnya memperlihatkan kandungan unsur dan senyawa kimianya serta konsentrasinya masing-masing. Analisis dalam penelitian adalah *Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectroscopy* (ICP-AES) untuk memperoleh konsentrasi B dan Li, *conductivity meter* untuk mendapatkan konsentrasi Cl, metode *visible spectroscopy* untuk konsentrasi SO₄ dan konsentrasi HCO₃ diukur dengan titrasi asam basa. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tipe mata air panas di daerah penelitian termasuk dalam tipe Klorida dengan persentase 81,8156% - 83,3976% dengan nilai pH 6,7-7,4 dan temperatur mata air panas yaitu 50-54°C kemudian diplot kedalam diagram trilinear. Diagram Ternary Cl-Li-B memperlihatkan bahwa sumber asal fluida berada pada reservoir yang memiliki struktur batuan yang sama dan berasal dari sistem hidrotermal lama. Berdasarkan hasil analisis karakteristik fluida yang diperoleh dari penelitian, dapat disimpulkan bahwa mata air panas Daerah Wawolesea merupakan indikator adanya sumber panas bumi dan diperlukan penelitian lanjutan mengenai besar potensi panas bumi tersebut.

Kata Kunci: diagram *ternary*; diagram trilinear; Konawe Utara; mata air panas; panas bumi.

Abstract

North Konawe Regency is an area with interesting geothermal potential to be studied. The observed geothermal potential manifestation is located in the Wawolesea area through the collection and analysis of three hot spring samples. This study aims to determine the characteristics of geothermal fluids, namely the type and origin of the fluid by conducting geochemical analysis on samples of hot springs in the study area which further shows the content of elements and chemical compounds and their respective concentrations. The analysis in this research is *Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectroscopy* (ICP-AES) to obtain B and Li concentrations, *conductivity meter* to obtain Cl concentration, *visible spectroscopy* method for SO₄ concentration and HCO₃ concentration measured by acid-base titration. The results showed that the type of hot springs in the study area was included in the Chloride type with a percentage of 81.8156%-83.3976% with a pH value of 6.7-7.4 and a hot spring temperature of 50-54°C then plotted into trilinear diagram. The Cl-Li-B Ternary diagram shows that the source of the fluid is in a reservoir that has the same rock structure and comes from the old hydrothermal system. Based on the results of the analysis of fluid characteristics obtained from the research, it can be concluded that the hot springs of the Wawolesea Region are an indicator of the

presence of geothermal sources and further research is needed on the magnitude of the geothermal potential.

Keywords: geothermal; hot springs; North Konawe; ternary diagram; trilinear diagram.

Pendahuluan

Panas bumi merupakan sumber daya panas alami yang berasal dari interaksi antara panas yang telah dipancarkan oleh batuan panas dengan air. Hasil dari interaksi tersebut terperangkap di dalam satu tempat yang disebut dengan reservoir panas bumi (Armstead, 1983; Fajrin and Putra, 2021). Secara konduksi perpindahan panas terjadi melalui batuan sedangkan perpindahan panas secara konveksi terjadi karena adanya interaksi antara air dengan suatu sumber panas.

Energi yang dihasilkan dari panas bumi merupakan energi yang bersih dari polusi dan berkesinambungan atau dapat diperbarui (*renewable energy*). Sumber daya dari energi panas bumi dapat ditemukan pada air dan batuan panas yang berada di dekat permukaan bumi sampai dengan beberapa kilometer di bawah permukaan bahkan jauh lebih kedalam bumi sampai pada sumber panas yang ekstrim dari batuan yang mencair (magma). Energi panas bumi yang muncul di permukaan tersebut berbentuk manifestasi panas bumi berupa tanah hangat, tanah beruap, mata air panas atau hangat, kolam air panas, danau air panas, fumarol, geysir, kolam lumpur panas, silika senter dan batuan alterasi (Saptadji, 2009).

Jumlah dari keseluruhan total potensi sumber daya panas bumi global 40% berada di Indonesia. Sumber panas bumi yang tersimpan di Indonesia terbagi dalam dua kelompok bagian. Pertama adalah sumber panas bumi yang berada dalam jalur vulkanik. Pulau Sumatera, Jawa, Bali, NTB, NTT, Sulawesi Utara hingga Maluku Utara merupakan sumber panas bumi yang berada dalam jalur ini. Kedua adalah sumber panas bumi non-vulkanik yang

tidak berada pada jalur vulkanik itu sendiri. Adapun pulau-pulau yang termasuk dalam jalur ini adalah Bangka Belitung, Kalimantan Barat, Sulawesi Selatan, Sulawesi Tenggara, Sulawesi Tengah, Maluku dan Papua (Direktorat Panas Bumi, 2017).

Eksplorasi pendahuluan merupakan tahapan awal dalam penentuan potensi panas bumi. Beberapa kegiatan yang termasuk dalam eksplorasi pendahuluan yaitu survei lapangan secara geologi, hidrologi, geofisika dan geokimia. Metode geokimia dilakukan untuk menentukan karakteristik fluida panas bumi berupa asal usul, pendidihan, pengenceran fluida serta estimasi temperatur fluida reservoir panas bumi (Saptadji, 2009; Fajrin and Putra, 2021). Penentuan potensi sumber panas bumi memerlukan karakteristik fluida reservoir panas bumi sebagai salah satu indikator. Penentuan karakteristik fluida tersebut dapat ditentukan dengan diagram trilinear ($\text{Cl-SO}_4\text{-HCO}_3$) klorida-sulfat-bikarbonat berdasarkan dari anion utama yaitu Cl , SO_4 dan HCO_3 dengan menganalisis sifat-sifat dasar unsur pada fluida panas bumi (Fajrin and Putra, 2021). Sedangkan untuk penentuan kesetimbangan fluida panas bumi dapat ditentukan dengan diagram *ternary* (Na-K-Mg) natrium-kalium-magnesium dari masing-masing persentase $\text{Na}/1000\text{-K}/100\text{-Mg}^{1/2}$. Asal usul, pendidihan dan pengenceran fluida panas bumi dapat ditentukan dengan diagram segitiga klorida-litium-boron (Cl-Li-B) dengan konsentrasi $\text{Cl}/100$, Li dan $\text{B}/4$ dalam satuan persen (Giggenbach, 1991; Fajrin and Putra, 2021).

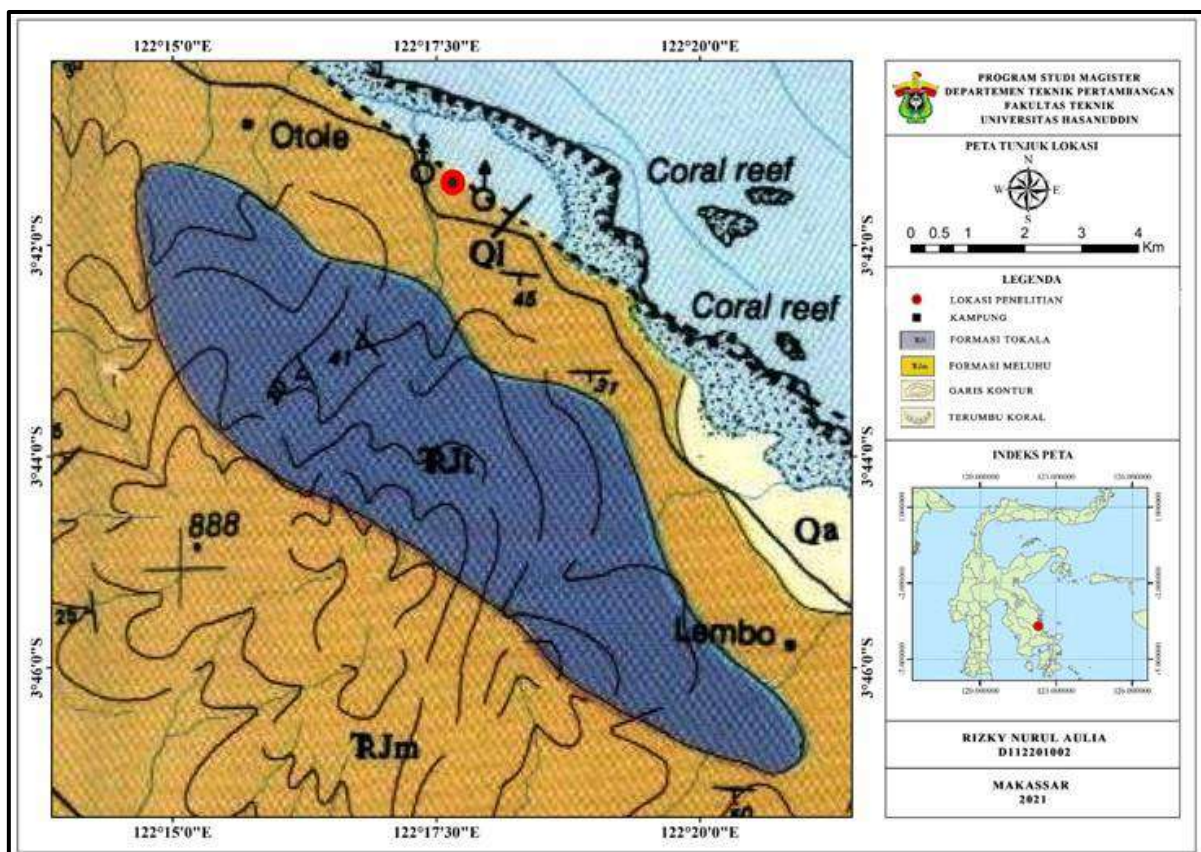
Daerah Wawolesea dipilih sebagai daerah penelitian karena terdapat manifestasi panas bumi di permukaan berupa mata air

panas dan merupakan salah satu indikasi daerah yang mempunyai potensi panas bumi. penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik fluida panas bumi yaitu tipe fluida dan asal fluida pada Daerah Wawolesea.

Geologi Regional

Daerah penelitian terletak di Kabupaten Konawe Utara, Kecamatan Lasolo, Daerah Wawolesea. Berdasarkan Peta Geologi Lembar Lasusua-Kendari dibedakan dalam dua lajur, yaitu Lajur Tinodo dan Lajur Hialu (Gambar 1). Lajur Tinodo dicirikan oleh batuan endapan paparan benua dan Lajur Hailu oleh endapan kerak samudera

atau ofiolit (Rusmana et al., 1993). Secara garis besar kedua mandala ini dibatasi oleh Sesar Lasoso. Formasi Meluhu (TRJm) dan formasi Tokala (TRJt) merupakan formasi yang berada di daerah penelitian. Litologi batuan yang banyak ditemukan di sekitar daerah penelitian adalah batugamping dan merupakan salah satu jenis batuan penciri dari kedua formasi tersebut. Daerah penelitian merupakan salah satu kawasan daerah yang masih mendapat pengaruh sesar diantaranya Sesar Lasoso (Surono, 2013). Sesar Lasolo masih aktif bahkan hingga saat ini serta sesar tersebut diduga berkaitan dengan Sesar Sorong yang aktif kembali pada kala oligosen (Putra, 2019).



Gambar 1. Peta geologi regional daerah penelitian.

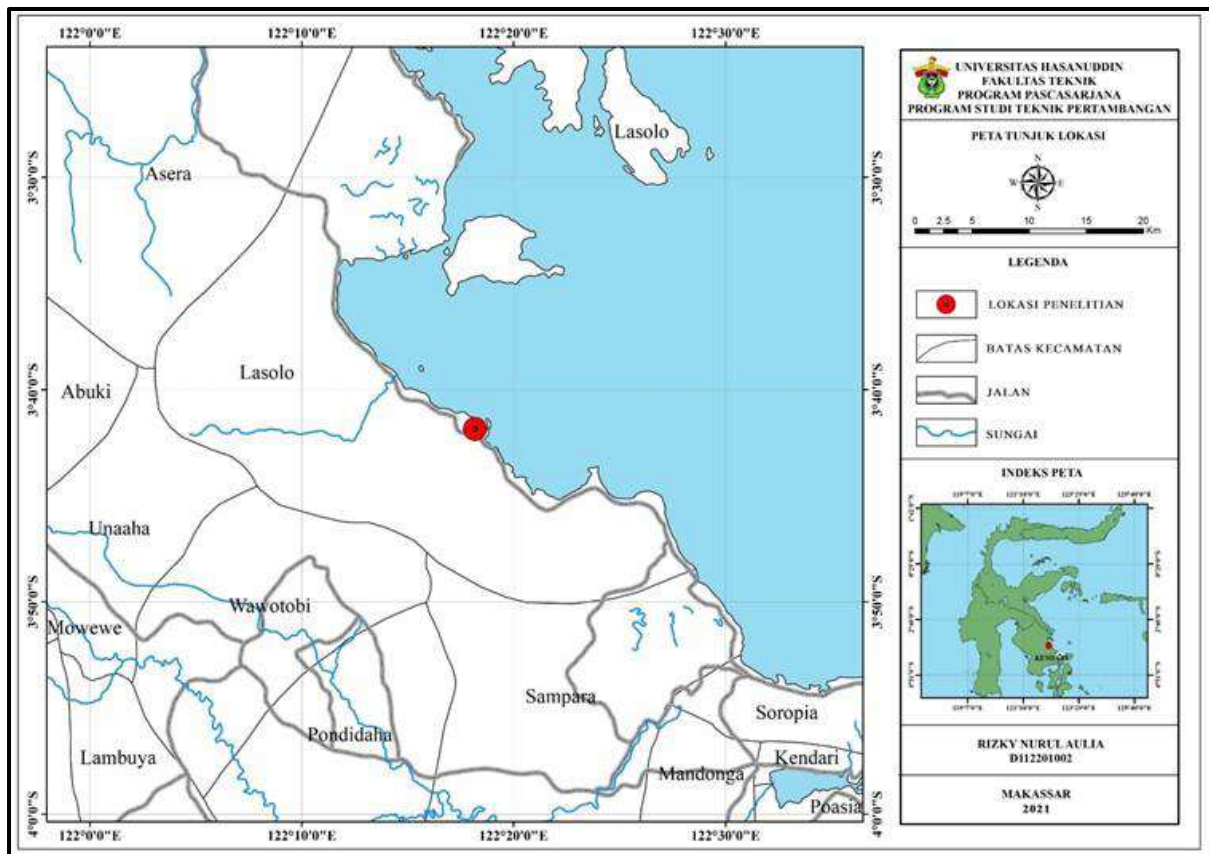
Metodologi Penelitian

Lokasi penelitian secara administratif terletak di Daerah Wawolesea, Kecamatan Lasolo, Kabupaten Konawe Utara, Provinsi Sulawesi Tenggara (Gambar 2). Kabupaten Konawe Utara terletak pada 2°97'-3°86' Lintang Selatan dan 121°49'-112°49' Bujur Timur.

Lokasi pengambilan sampel mata air panas berada di Permandian Air Panas Wawolesea. Adapun jumlah sampel yang diambil adalah sebanyak tiga sampel yang diberi kode ST.NR 01, ST.NR 02 dan ST.NR 03. Analisis sampel dilakukan dengan dua metode yaitu pengamatan langsung di lapangan dan analisis laboratorium.

Kegiatan yang dilakukan pada pengamatan lapangan yaitu pengukuran sifat fisik air panas. Pengukuran tingkat keasaman dan temperatur diukur dengan menggunakan pH meter dan termometer. Sampel air panas diambil sebanyak 500ml. Setelah dilakukan pengambilan data di lokasi penelitian, sampel air panas dibawa ke laboratorium dengan menggunakan botol sampel dan dilakukan analisis geokimia untuk menentukan unsur yang terkandung dalam mata air panas tersebut. Alat-alat yang digunakan dalam metode ini yaitu *Atomic Absorption Spectroscopy* (AAS) untuk mengetahui konsentrasi Na, K dan Mg (Fajrin and Putra, 2021).

Tahap selanjutnya yaitu pengukuran sampel secara spektrofotometri dengan alat *Visible Spectroscopy* dan *Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectroscopy* (ICP-AES). Pengukuran *Visible Spectroscopy* untuk mengetahui konsentrasi SiO₂, pengukuran *Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectroscopy* untuk mengukur konsentrasi Li, B dan Ca serta pengkran secara titrasi dilakukan untuk mengetahui konsentrasi Cl (Utami and Putra, 2018; Fajrin and Putra, 2021).



Gambar 2. Peta Peta lokasi penelitian.

Hasil dan Pembahasan

Data Sampel Air Panas

Hasil pengukuran dan pengambilan data di lapangan berikut sifat fisik mata air panas daerah penelitian meliputi warna, bau, rasa, suhu air dan udara serta pH (Tabel 1).

Pengukuran DHL dan TDS dilakukan di laboratorium.

Tipe Fluida Panas Bumi

Penentuan fluida panas bumi membutuhkan data kimia. Adapun data kimia yang digunakan adalah kandungan relatif dari klorida (Cl), sulfat (SO₄) dan karbonat (HCO₃) yang sebelumnya telah dihitung

persentasenya. Diagram trilinear yang menunjukkan klasifikasi air berdasarkan komposisi anion utamanya yaitu Cl^- , SO_4^{2-} dan HCO_3^- maupun kation utama yaitu $\text{Na}+\text{K}$, Ca dan Mg (Vespasiano et al., 2014)

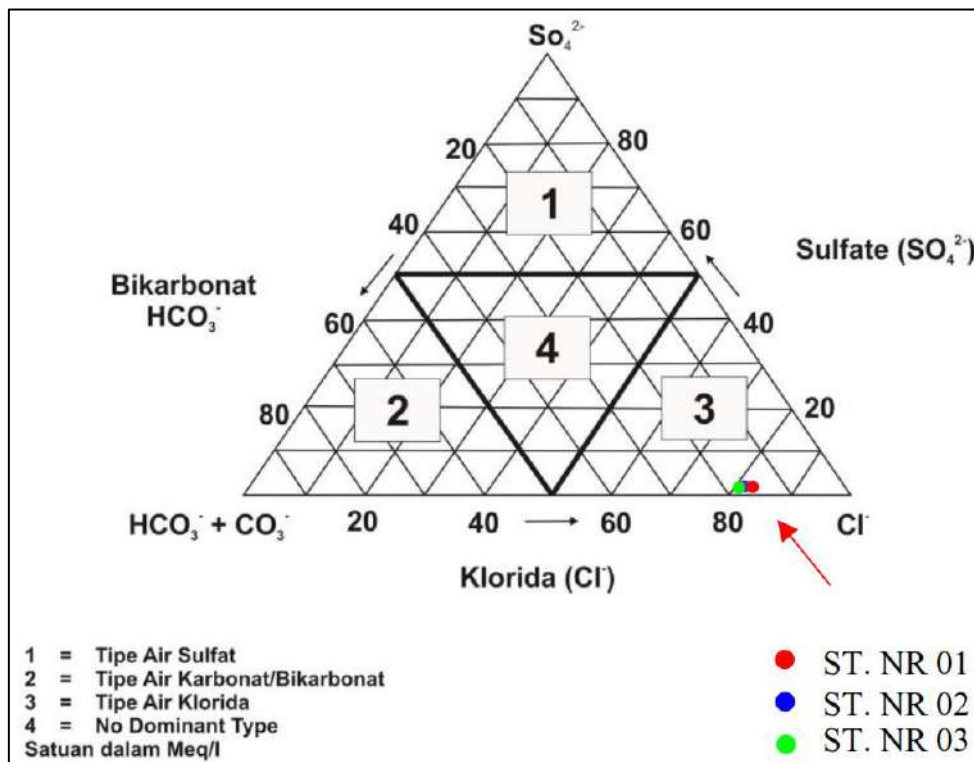
Ketiga stasiun mata air panas yaitu ST.NR 01, ST.NR 02 dan ST.NR 03 memiliki kandungan ion klorida (Cl) yang lebih dominan dibandingkan konsentrasi SO_4 dan HCO_3 (Tabel 2).

Tabel 1. Data sifat fisik mata air panas.

Parameter	Kode Sampel		
	ST.NR 01	ST.NR 02	ST.NR 03
pH	6,7	7,4	6,7
Suhu air ($^{\circ}\text{C}$)	54	50	53
Suhu udara ($^{\circ}\text{C}$)	28	28	28
TDS (mg/L)	24080	24320	24360
DHL ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	28670	29170	29230

Tabel 2. Persentase konsentrasi $\text{Cl}-\text{SO}_4-\text{HCO}_3$.

Kode Sampel	Konsentrasi (ppm)			Persentase (%)		
	Cl	SO_4	HCO_3	Cl	SO_4	HCO_3
ST. NR 01	10336	2240	689	83,3976	13,3670	3,2353
ST. NR 02	10615	2600	720	81,9257	15,3887	3,2338
ST. NR 03	10615	2640	699	81,8156	15,0489	3,1353



Gambar 3. Penentuan tipe mata air panas di daerah penelitian dengan diagram trilinear yang didasarkan pada kandungan ion klorida, sulfat, dan bikarbonat (panah merah).

Berdasarkan hasil persentase dari ion klorida, sulfat dan bikarbonat dari ketiga sampel mata air panas tersebut dimasukkan kedalam diagram trilinear (Giggenbach, 1991) yang ditunjukkan pada Gambar 3.

Gambar 3 memperlihatkan bahwa tipe dari ketiga mata air panas daerah penelitian

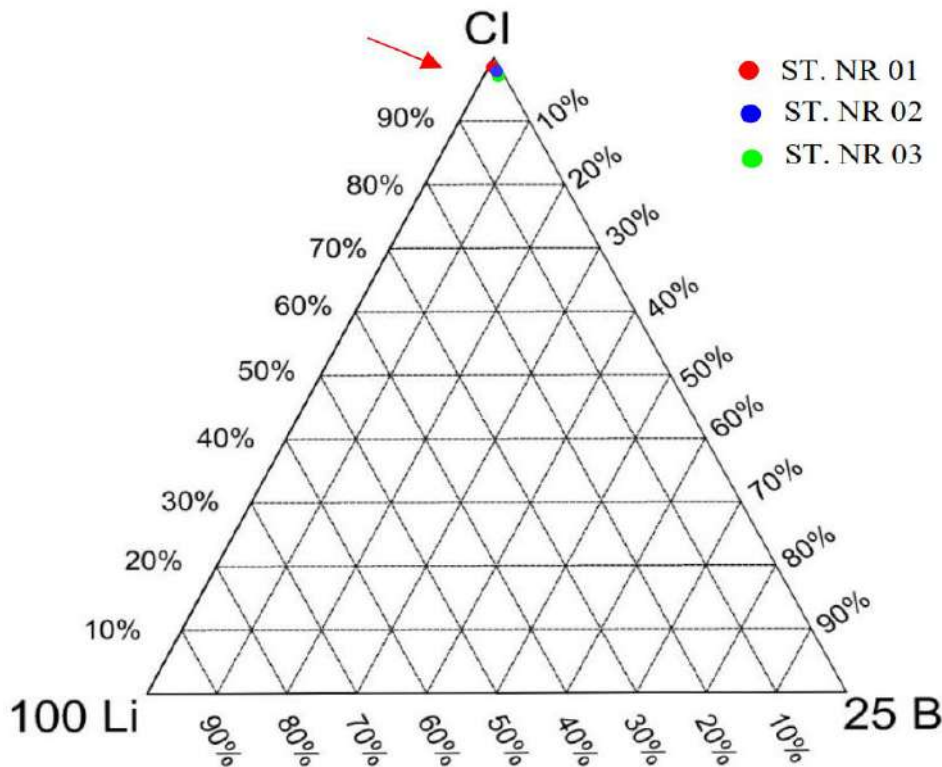
adalah klorida (*mature water*). Hal ini menunjukkan fluida panas bumi berasal langsung dari reservoir. Rasio $\text{B}/\text{Cl}=0$ (Tabel 3) menandakan seluruh manifestasi panas bumi yang bersumber dari air reservoir telah mengalami pencampuran dengan air di dalam perjalanannya menuju ke permukaan bumi. Sumber panas (*heat*

source) tersebut tidak berkaitan langsung dengan aktivitas vulkanik, tetapi diduga sumber panas berasal dari suatu tubuh

batuan beku yang dalam dan masih menyimpan panas (Anshori and Wardhani, 2015).

Tabel 3. Persentase Unsur Cl-Li-B.

Kode Sampel	Konsentrasi (ppm)			Persentase (%)		
	Cl	Li	B	Cl	Li	B
ST. NR 01	10336	0,01	0,42	99,8888	0,0096	0,1014
ST. NR 02	10615	0,01	0,44	99,8870	0,0094	0,1035
ST. NR 03	10615	0,01	0,45	99,8847	0,0094	0,1058



Gambar 4. Hasil analisis laboratorium berupa kandungan Cl-Li-B pada Diagram Ternary untuk penentuan asal usul fluida panas bumi (panah merah).

Terlihat pada Tabel 3 bahwa kandungan litium dari ketiga sampel mata air panas pada Daerah Wawolesea sangat kecil. Hal ini menunjukkan mata air panas berada jauh dari sumber panas bumi. Unsur Li merupakan unsur yang mudah diserap oleh mineral seperti klorit, lempung dan kuarsa. Akibat bereaksi dengan batuan sampling yang dilaluinya saat fluida bergerak ke permukaan sehingga konsentrasi Li sebelum sampai di permukaan telah mengalami banyak pengurangan (Fajrin and Putra, 2021). Dalam perjalanannya menuju ke permukaan mengalami sedikit pengenceran atau penurunan konsentrasi zat terlarut gas dan oleh batuan yang dilewati aliran air panas. Jika semakin jauh

jarak perpindahan fluida ke permukaan, hal ini menandakan konsentrasi Li juga akan semakin berkurang (Nicholson, 1993).

Evolusi maturasi fluida atau *rock dissolution* dapat diperkirakan melalui komposisi Li, B dan Cl. Pada diagram tersebut, keseluruhan sampel terletak mendekati sudut Cl dan jauh dari *plot* pelarutan batuan di sudut Li. Hal ini menandakan bahwa seluruh fluida memiliki kesamaan proses evolusi, bukan sekedar pelarutan batuan saja melainkan juga adanya penambahan Cl melalui absorpsi uap dengan rasio B/Cl yang rendah (Prasetyo et al., 2018).

Unsur boron dalam ketiga sampel mata air panas memiliki kandungan dengan konsentrasi relatif kecil, terlihat pada Gambar 4. Hal ini menunjukkan bahwa fluida panas bumi telah sedikit mengalami pengenceran oleh batuan di sekitar aliran fluida tersebut. Unsur boron merupakan unsur yang sukar bereaksi sehingga hanya sedikit asosiasi antara fluida panas bumi dengan batuan sedimen yang kaya akan zat organik (Nicholson, 1993; Fajrin and Putra, 2021). Melihat melimpahnya kandungan unsur Cl dibandingkan dengan Li dan B mengindikasikan bahwa ketiga mata air panas berada pada zona *outflow* serta keberadaan mata air panas pada daerah penelitian yang relatif dekat dengan pantai. Sehingga dapat diinterpretasikan bahwa mata air panas tersebut berasal dari suatu sistem panas bumi non-vulkanik (Toisuta et al., 2021).

Kesimpulan

Ketiga mata air panas di Daerah Wawolesea merupakan tipe klorida (*mature water*) sesuai dengan diagram trilinear yang menandakan sumber air berasal dari reservoir. Kandungan Cl yang tinggi pada ketiga mata air panas diinterpretasikan telah terkontaminasi oleh air laut saat bergerak ke permukaan, mengingat lokasi daerah penelitian berada di dekat pantai. Hasil dari diagram Cl-Li-B menunjukkan fluida bersumber dari sumber panas bumi yang berada jauh dari permukaan. Akan tetapi fluida mengalami sedikit reaksi dengan batuan di sekitar aliran fluida. Berdasarkan hasil analisis karakteristik fluida mata air panas, Daerah Wawolesea merupakan manifestasi adanya sumber panas bumi dan diperlukan penelitian lanjutan tentang besar potensi panas bumi pada daerah penelitian.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada seluruh pihak yang terkait dan telah membantu penelitian ini. Terima kasih pula kepada dosen

pengajar Magister Teknik Pertambangan Universitas Hasanuddin serta seluruh rekan-rekan mahasiswa Pascasarjana yang telah membantu dalam penelitian.

Daftar Pustaka

- Ansori, C. and Wardhani, F.A. 2015. *Penentuan Tipe Fluida, Geotermometer Reservoir dan Hilang Panas Alamiah Berdasarkan Analisis Data Geokimia Panas Bumi Di Kabupaten Banjarnegara, Jawa Tengah*. Buletin Sumber Daya Geologi. 10(3), pp. 64-77. <https://doi.org/10.47599/bsdg.v10i3.148>
- Armstead, H.C.H. 1983. *Geothermal Energy: Its Past, Present and Future Contribution to the Energy Needs of Man*. London; New York: E. and F.N. Spon.
- Direktorat Panas Bumi, Kementerian Energi, Ditjen EBTKE dan Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara dan Panas Bumi Indonesia. 2017. *Potensi Panas Bumi Indonesia Jilid 2*. Jakarta: Direktorat Panas Bumi, Kementerian Energi dan Sumberdaya Mineral, Badan Geologi. <http://distamben.kalbarprov.go.id/wp-content/uploads/2017/11/Buku-Potensi-Panas-Bumi-Indonesia-2017-Jilid-2.pdf>
- Fajrin, M. and Putra, A. 2021. *Karakteristik Fluida Mata Air Panas di Kabupaten Tanah Datar*. Jurnal Fisika Unand. 10(2), pp.212-218. <https://doi.org/10.25077/jfu.10.2.212-218.2021>
- Giggenbach, W.F. 1991. *Chemical Techniques in Geothermal Exploration* (in D'Amore, F. Applications of geochemistry in geothermal reservoir development). Rome:

- UNITAR/UNDP publication, pp.119-142
- Nicholson, K. 1993. *Geothermal Fluids*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.
- Prasetio, R., Laksmingpuri, N., dan Satrio. 2018. *Karakteristik Kimia dan Isotop Fluida Panas Bumi Daerah Gunung Tampomas, Jawa Barat*. Riset Geologi dan Pertambangan. 28(1), pp. 1-11. <http://dx.doi.org/10.14203/risetgeotam2018.v28.508>
- Putra, J.D. 2019. *Pengaruh Kontrol Geologi Terhadap Sebaran Intrusi Air Laut. Studi Kasus : di Kecamatan Wawolesea Kabupaten Konawe Utara*. Bachelor thesis, Universitas Halu Oleo.
- Saptadji, N.M. 2009. *Teknik Panas Bumi*. Bandung: Departemen Teknik Perminyakan Fakultas Ilmu Kebumihan dan Teknologi Mineral Institut Teknologi Bandung.
- Rusmana, E., Sukido, D., Sukarna, E., Haryono. and Simandjuntak, T.O. 1993. *Peta Geologi Lembar Lasusua-Kendari, Sulawesi, skala 1:250.000*. Bandung: Puslitbang Geologi.
- Surono, 2013. *Geologi Lengan Tenggara Sulawesi*. Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Badan Geologi.
- Toisuta, Y.M.K, Haryanto, A.D., Hutabarat, J., and Gentana, D. 2021. *Pendugaan Temperatur Bawah Permukaan Pada Manifestasi Panas Bumi Berdasarkan Analisis Geokimia Air Panas Daerah Kecamatan Tehoru, Kabupaten Maluku Tengah, Provinsi Maluku*. Padjadjaran Geoscience Journal. 5(3), pp. 268-279. <http://jurnal.unpad.ac.id/geoscience/article/view/35231/16108>
- Utami, Z.D. and Putra, A. 2018. *Penentuan Karakteristik Fluida dan Estimasi Temperatur Reservoir Panas Bumi di Sekitar Gunung Talang*. Jurnal Fisika Unand. 7(2), pp.130-137. <https://doi.org/10.25077/jfu.7.2.130-137.2018>
- Vespasiano, G., Apollaro, C., Muto, F., Dotsika, E., De Rosa, R. And Marini, L. 2014. *Chemical and Isotopic Characteristics of The Warm and Cold Waters of The Luigiane Spa Near Guardia Piemontese (Calabria, Italy) in A Complex Faulted Geological Framework*. Applied Geochemistry. 41, pp.73–88. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2013.11.014>

KLASIFIKASI DAERAH RAWAN TANAH LONGSOR KABUPATEN MAJENE MENGGUNAKAN SISTEM INFORMASI GEOGRAFIS DAN METODE INDEKS *STORIE*

Indadzil A. P. Santoso, Aulia L. P. Wibowo, Cut L. Zulfa, Naufal N. Siregar, Rangga A. Sudisman*

Program Studi Teknik Sipil, Universitas Pertamina, Jakarta, Indonesia.

*Corresponding author. Email: rangga.as@universitaspertamina.ac.id

Manuscript received: 5 December 2021; Received in revised form: 23 April 2022; Accepted: 24 April 2022

Abstrak

Pada 14 Januari 2021 beberapa desa di Kabupaten Majene mengalami tanah longsor yang diakibatkan oleh gempa bumi berkekuatan M6.2. Studi ini bertujuan untuk memetakan sebaran daerah rawan tanah longsor dengan pendekatan model *Index Storie* dan memanfaatkan data penginderaan jauh serta Sistem Informasi Geografis (SIG) untuk menghasilkan peta sebaran kawasan tanah longsor sebagai dasar mitigasi di Kabupaten Majene untuk mengurangi potensi bencana tanah longsor di masa mendatang. Pada studi ini dilakukan pengharkatan tingkat kerawanan tanah longsor berdasarkan kondisi kemiringan lereng, jenis tanah, curah hujan, tataguna lahan, dan potensi risiko gempa. Secara umum kondisi morfologi di Kabupaten Majene didominasi oleh lereng yang masih tertutup hutan dengan curah hujan yang relatif rendah, sehingga menyebabkan potensi tanah longsor menjadi rendah apabila tidak memperhitungkan faktor potensi kegempaan. Berdasarkan hasil analisis yang mempertimbangkan faktor kemiringan lereng dan potensi risiko kegempaan, didapatkan hasil peta yang menggambarkan risiko kelongsoran yang cukup tinggi di beberapa daerah, yaitu Kecamatan Malunda, Kecamatan Ulumanda, dan Kecamatan Tubo Sendana.

Kata Kunci: Sistem Informasi Geografis; Sesar Naik Mamuju-Majene; tanah longsor.

Abstract

On January 14, 2021, several villages in Majene Regency suffered landslides triggered by a M6.2 earthquake. The study's aim is to use the *Index Storie* model approach, remote sensing data, and Geographic Information Systems (GIS) to map the distribution of landslide-prone areas as a mitigation basis in Majene Regency to reduce the potential for future landslide disasters. The level of landslide potential was determined based on slope conditions, soil types, rainfall, land use types, and potential earthquake risk. In general, morphological conditions in Majene Regency are dominated by slopes that are still covered in forests and receive relatively low rainfall, resulting in low landslide potential if seismic potential factors are not taken into account. Based on the results of an analysis that considers slope factors and potential seismic risks, the results of a map that illustrates the risk of landslide are quite high in several areas, are Malunda District, Ulumanda District, and Tubo Sendana District.

Keywords: Geographic Information Systems; landslide; Mamuju-Majene Thrust Fault.

Pendahuluan

Secara geografis, Kabupaten Majene tepat berada di atas sesar aktif Mamuju-Majene sehingga memiliki aktivitas kegempaan

yang cukup tinggi. Gempa dipicu oleh adanya sesar lepas pantai dengan pergerakan naik yang dikenal dengan Mamuju *Thrust* (Hermawan, 2021). Kabupaten Majene memiliki topografi yang sangat bervariasi mulai dari pesisir, dataran rendah, hingga dataran tinggi. Diestimasi 40,4% wilayah Kabupaten Majene merupakan dataran tinggi berbukit-bukit dengan 55,61% lereng curam dan 27,77% lereng sangat curam (Dewi, 2018; Dewi, 2018). Banyaknya lereng yang curam ini berdampak pada potensi terjadinya tanah longsor baik akibat dari faktor-faktor yang menyebabkan terganggunya stabilitas lereng seperti curah hujan, perubahan tata guna lahan, penambahan beban, dan terjadinya gempa bumi.

Berdasarkan laman resmi Data Informasi Bencana Indonesia (DIBI) oleh Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB, 2022), gempa berkekuatan M5.9 dan M6.2 mengguncang Kabupaten Majene pada tanggal 14 dan 15 Januari 2021, dan memicu longsor di Desa Mekatta, Desa Kabiraan, Desa Tandello, dan beberapa desa lainnya. Dampak bencana berupa 11 orang meninggal dunia, 3 orang hilang, 29.119 orang mengungsi, ribuan rumah tersapu longsor, dan tertutupnya akses transportasi jalan nasional Mamuju-Majene. Untuk mengurangi dampak bencana serupa di masa depan diperlukan mitigasi yang baik terhadap potensi tanah longsor di seluruh wilayah Kabupaten Majene. Salah satu dasar untuk melakukan mitigasi adalah tersedianya informasi sebaran kawasan rentan tanah longsor dalam bentuk peta.

SIG (Sistem Informasi Geografis) adalah sistem berbasis komputer yang digunakan untuk mengelola dan menganalisis data spasial atau geografi. SIG mampu memproses data menjadi informasi geospasial secara cepat, sekaligus menyediakan sistem analisis keruangan yang bertujuan untuk mengetahui potensi

bencana longsor (Ramdani et al., 2020). Informasi geospasial tersebut salah satunya berupa pemetaan parameter penyebab tanah longsor, seperti kemiringan tanah, jenis tanah, curah hujan, dan tataguna lahan yang dikuantifikasikan dengan metode pengharkatan. Parameter-parameter yang telah dikuantifikasikan selanjutnya dapat dianalisis dengan berbagai metode diantaranya adalah metode indeks *storie* (Storie and Weir, 1958; Arifin et al., 2006; Nugroho et al., 2010; Annisa et al., 2015; Susanti et al., 2017), Metode *AHP* (*Analytical Heirarchy Process*) (Hidayah et al., 2017; Pangaribuan et al., 2019), metode pembobotan (Ramdani et al., 2020), metode pendugaan oleh pusat penelitian tanah dan agroklimat (Rahmad et al., 2018; Yassar et al., 2020), dan metode *fuzzy logic* (Effendi and Hariyanto, 2016).

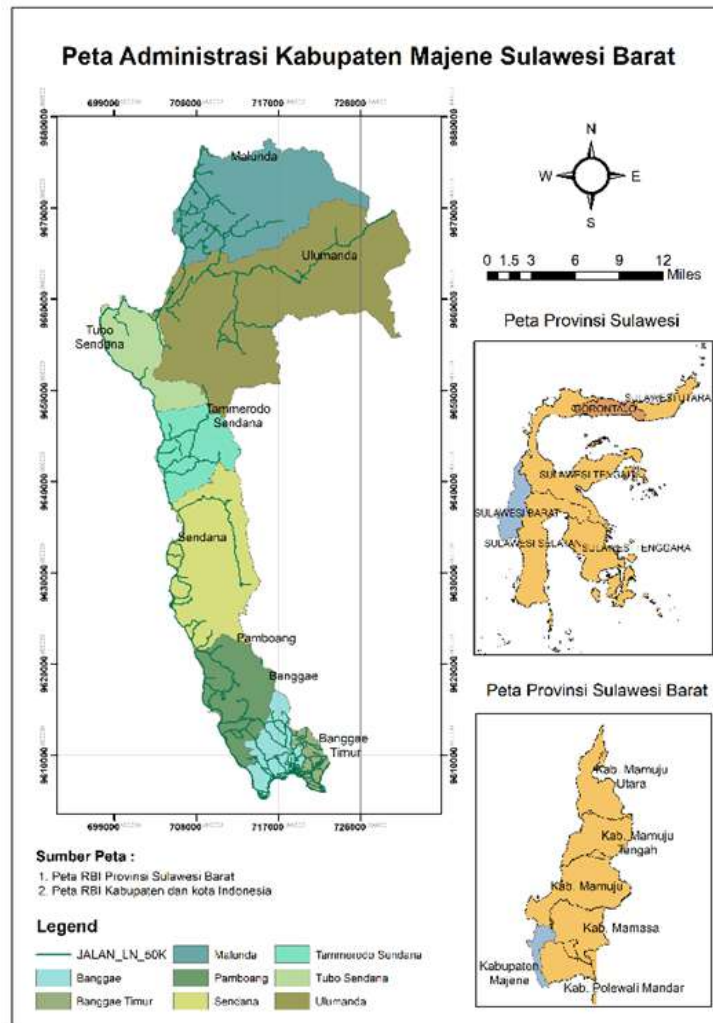
Studi ini dilakukan untuk memetakan sebaran daerah rawan longsor dengan memanfaatkan SIG dan metode indeks *storie* dalam proses analisis. Pada studi ini digunakan parameter kemiringan tanah, curah hujan, jenis tanah, tata guna lahan, dan penambahan parameter potensi gempa sebagai pembeda dalam proses analisis sebaran wilayah rawan tanah longsor. Guncangan yang diakibatkan oleh gempa merupakan beban lateral tambahan bagi tanah yang dapat meningkatkan tekanan antar partikel pada tanah, menimbulkan daya dorong yang besar pada bidang miring lereng sehingga menyebabkan terjadinya tanah longsor. Hasil dari studi ini diharapkan mampu memberikan gambaran sebaran wilayah yang memiliki risiko tanah longsor untuk kemudian dapat digunakan sebagai acuan dalam pembangunan daerah dan pengambilan kebijakan di Kabupaten Majene.

Metode Penelitian

Lokasi tinjauan pada penelitian ini adalah Kabupaten Majene yang terletak pada 2°38' - 3°38' Lintang Selatan dan 118°45' - 119°4'

Bujur Timur Sulawesi Barat. Adapun peta administrasi lokasi penelitian dapat dilihat

pada Gambar 1. Diagram alir penelitian dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 1. Peta administrasi Kab. Majene.

Pengumpulan Data

Beberapa data yang dikumpulkan berupa peta dasar yang terdiri dari data curah hujan, peta geologi tanah, peta penggunaan lahan, peta kemiringan lereng, dan peta kerawanan gempa. Data curah hujan diambil melalui laman CHIRPS yang didasarkan oleh ketersediaan data persipitasi dengan rentang waktu yang lebih lama dibandingkan dengan TRMM (Luo et al., 2019). Selain itu data hujan CHIRPS memiliki tingkat resolusi gambar yang tinggi, yaitu $0,05^{\circ}$ (Misnawati et al., 2018). Peta tanah dan data peta penggunaan lahan yang bersumber pada peta tematik Rencana Pola Ruang Wilayah (RTRW) Provinsi Sulawesi Barat. Peta kemiringan lereng diperoleh dari peta *Digital Elevation*

Model Nasional (DEMNAS) wilayah Kabupaten Majene. Data peta kerawanan gempa bersumber dari peta RBI terdampak bencana pada Sulawesi Barat yang diperoleh dari laman Badan Informasi Geospasial (BIG, 2017). Data peta historis gempa diperoleh dari situs laman USGS (*United States Geological Survey Earthquakes*).

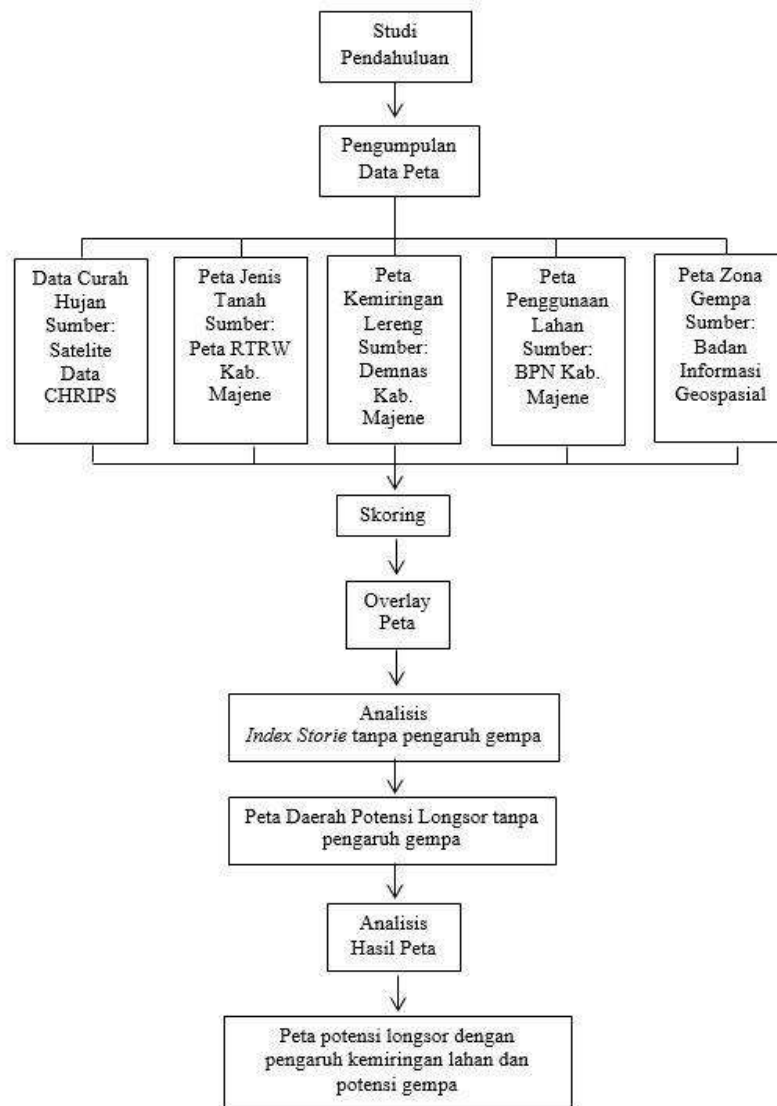
Teknik Pengolahan Data

Seluruh peta dasar yang didapatkan kemudian dianalisis dengan memberikan pengharkatan. Tujuan dari pengharkatan adalah untuk kuantifikasi setiap poligon peta yang mempresentasikan potensi tanah longsor. Studi ini mengacu pada sistem pengharkatan yang dilakukan oleh Arifin

dkk. (2006) terhadap kerawanan bencana di Provinsi Lampung.

Pengharkatan curah hujan didasarkan pada intensitas hujan rata-rata yang jatuh tiap tahunnya pada suatu wilayah yang diukur dalam mm/tahun. Risiko kelongsoran meningkat seiring dengan peningkatan intensitas hujan. Selain itu juga aliran air hujan dapat menggerus permukaan tanah sehingga menyebabkan erosi. Pada komponen kemiringan tanah, semakin curam permukaan lereng maka nilai harkat akan semakin besar dibandingkan dengan permukaan lereng yang lebih landai, karena kondisi tanah yang curam memiliki energi potensial yang lebih besar dibandingkan

dengan permukaan landai. Pengharkatan terhadap penggunaan lahan didasarkan pada tingkat kerapatan vegetasi dan sistem pengakaran pada vegetasi tersebut. Semakin rapat vegetasi dan semakin kuat sistem pengakarannya, maka tingkat kelongsoran pada tanah menjadi semakin kecil dan begitu pula sebaliknya. Pengharkatan terhadap jenis tanah didasarkan pada tingkat pelapukannya. Besarnya tingkat pelapukan yang dimiliki oleh tanah berpengaruh terhadap jenis mineral dan besarnya penurunan kuat geser pada tanah tersebut. Tanah dengan pelapukan tinggi memiliki potensi kelongsoran yang lebih besar.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

Setelah proses pengharkatan selesai, selanjutnya dilakukan proses *overlay* yaitu proses penggabungan dua peta tematik dengan area yang sama untuk menghasilkan satu hamparan peta baru (Ningsih et al., 2005). Untuk menyimpulkan nilai harkat klasifikasi daerah rawan longsor digunakan Sistem Informasi Geografis (SIG) dengan metode Indeks *Storie*, yaitu perkalian setiap parameter kerentanan untuk menentukan parameter gabungan (Bais et al., 2018). Pada studi ini berupa tingkat kerentanan tanah longsor. Seluruh nilai pengharkatan untuk masing-masing parameter disajikan pada Tabel 1 sampai dengan Tabel 7.

Tabel 1. Pengharkatan parameter curah hujan/ iklim (Arifin et al., 2006).

No	Curah Hujan (mm/tahun)	Nilai Harkat
1	3700-4000	8
2	3400-3700	7
3	3100- 3400	6
4	2800- 3100	5
5	2500- 2800	4
6	2200- 2500	3
7	1900- 2200	2
8	1600- 1900	1

Tabel 2. Pengharkatan parameter kemiringan tanah (Arifin et al., 2006).

No	Kemiringan	Nilai Harkat
1	> 75%	6
2	46-75 %	5
3	32-45%	4
4	16-30%	3
5	4-15%	2
6	0-3%	1

Tabel 3. Pengharkatan parameter penggunaan lahan (Arifin et al., 2006).

No	Kondisi Tutupan Lahan	Nilai Harkat
1	Tanpa Vegetasi	5
2	Rumput, Semak, vegetasi sawah	4
3	Kebun Campur, Tanaman Perkarangan	3
4	Perkebunan (pepohonan)	2
5	Hutan Lebat	1

Tabel 4. Pengharkatan parameter jenis tanah (Arifin et al., 2006).

No	Jenis Tanah	Nilai Harkat
1	Oxisol	7
2	Ultisol	6
3	Alfisol	5
4	Mollisol	4
5	Enseptisol	3
6	Entisol	2
7	Histosol	1

Tabel 5. Pengharkatan parameter kerawanan gempa (BIG, 2017).

No	Kerawanan Gempa	Nilai Harkat
1	Tinggi	3
2	Menengah	2
3	Rendah	1

Tabel 6. Nilai kisaran harkat klasifikasi tanpa pengaruh gempa (Arifin et al., 2006).

No	Klasifikasi	Kisaran Hasil
1	Sangat Rendah	0,001-0,3
2	Rendah	0,4-0,7
3	Sedang	0,8-1,1
4	Tinggi	1,2-1,5
5	Sangat Tinggi	>1,5

Tabel 7. Nilai kisaran harkat klasifikasi dengan pengaruh gempa.

No	Klasifikasi	Kisaran Hasil
1	Sangat Rendah	1 – 3
2	Rendah	4 – 6
3	Sedang	6 – 12
4	Tinggi	13 – 15
5	Sangat Tinggi	16 – 18

Persamaan yang digunakan dalam penentuan tingkat kerentanan longsor adalah sebagai berikut:

1. Peta kerawanan longsor tanpa pengaruh gempa

Analisis ini digunakan untuk melihat pengaruh kondisi morfologi dan hidrologi wilayah tinjauan terhadap kerawanan longsor. Parameter yang digunakan adalah kemiringan tanah, penggunaan lahan, jenis tanah, dan curah hujan.

$$L = A \times \frac{B}{10} \times \frac{C}{10} \times \frac{D}{10} \quad (1)$$

dengan

L : Nilai rawan bencana longsor

A : Kemiringan Lereng

B : Penggunaan lahan

C : Jenis tanah

D : Curah hujan

2. Peta kerawanan longsor dengan pengaruh gempa.

Analisis ini dilakukan untuk melihat adanya pengaruh gempa terhadap kelongsoran di wilayah tinjauan. Pada analisis ini digunakan asumsi nilai penggunaan lahan, jenis tanah, dan curah hujan pada wilayah tinjau bernilai sama.

$$L = A \times G \quad (2)$$

dengan

G = Parameter potensi gempa

Teknik Analisis Data

Hasil *overlay* yang dilakukan akan menghasilkan data spasial baru yang akan dikelompokkan menjadi 5 kelas, yaitu sangat rendah, rendah, sedang, tinggi, sangat tinggi. Pengelompokan kelas dilakukan dengan melakukan penjumlahan skoring yang telah dilakukan sebelumnya. Nilai dari hasil penjumlahan skoring tersebut kemudian akan dibagi dengan 5 kelas tingkat kerentanan tanah longsor untuk menghasilkan nilai Interval Tingkat Kerentanan (ITK) pada masing-masing kelas. Adapun rumusan yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$ITK = \frac{\text{Nilai Max} - \text{Nilai Min}}{5} \quad (3)$$

Berdasarkan hasil perhitungan interval menggunakan persamaan tersebut, didapatkan nilai interval tingkat kerawanan pada masing-masing analisis, yaitu analisis kerawanan longsor tanpa pengaruh gempa dapat dilihat pada Tabel 6 dan analisis kerawanan longsor dengan pengaruh gempa dapat dilihat pada Tabel 7.

Hasil dan Pembahasan

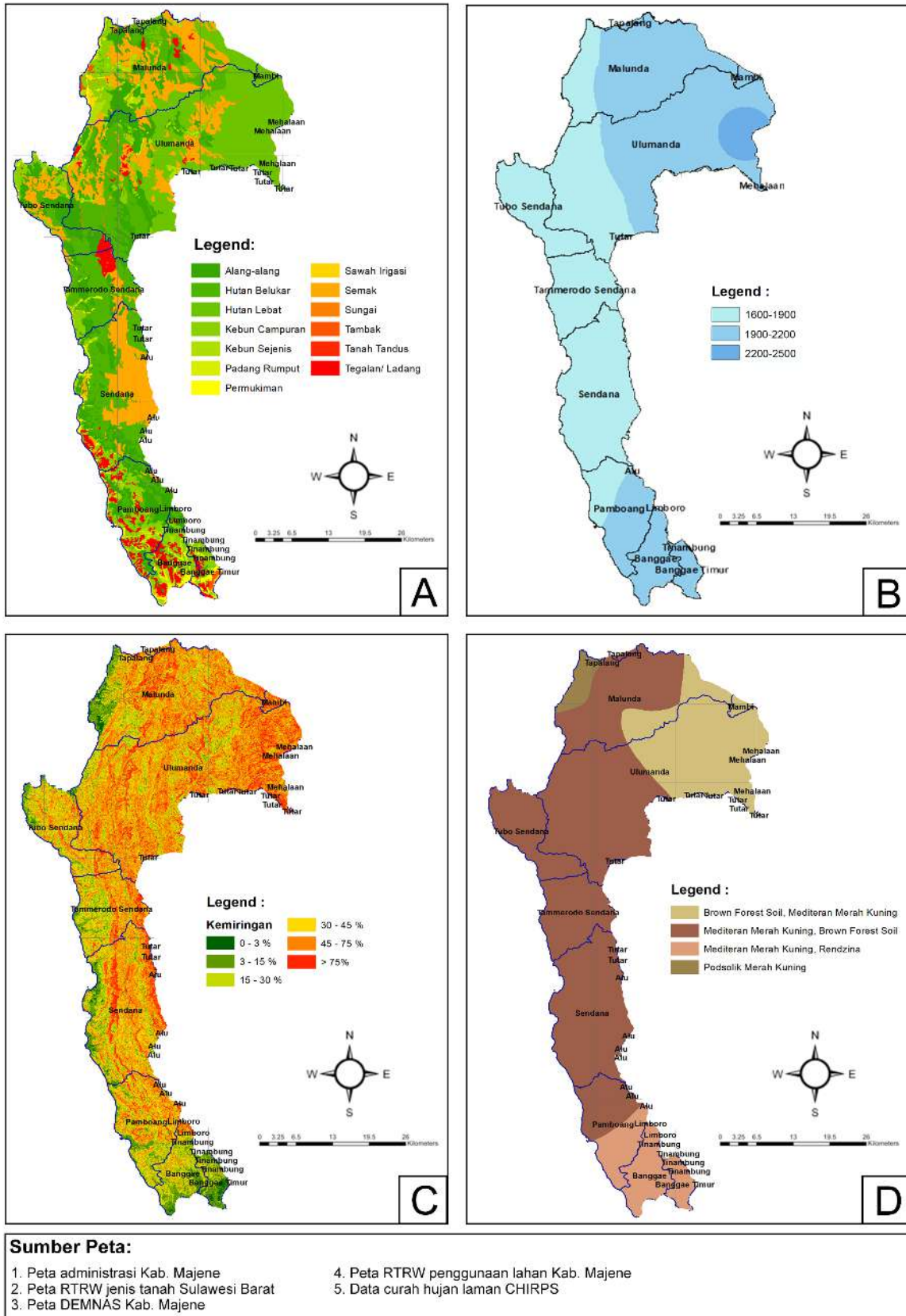
Peta Parameter Kelongsoran

Peta parameter kelongsoran merupakan peta-peta yang menjadi faktor utama pengaruh kelongsoran pada wilayah tinjau. Adapun peta-peta tersebut adalah sebagai berikut:

1. Peta Kemiringan Tanah

Berdasarkan peta kemiringan tanah, Kabupaten Majene diklasifikasikan menjadi 6 kelas dengan nilai kemiringan terendah sebesar 0 – 3% (datar) hingga nilai kemiringan tertinggi >75% (sangat curam). Sebagian besar wilayah Majene merupakan dataran tinggi dan perbukitan yang memiliki persentase kemiringan lereng tinggi (terjal). Besarnya tingkat kemiringan lereng memberikan pengaruh terhadap besarnya beban yang perlu ditahan oleh kaki lereng untuk menjaga stabilitas lereng tersebut. Dalam konsep stabilitas lereng, ketika nilai beban lebih besar dibandingkan dengan nilai tahanan, maka lereng tersebut memiliki risiko keruntuhan yang tinggi sehingga menyebabkan longsor.

Wilayah yang memiliki persentase kemiringan lereng tertinggi dengan persentase sebesar 46% hingga >75% adalah Kecamatan Malunda, Ulumanda, Kecamatan Tubo Sendana, Tummerodo Sendana, dan Pamboang. Wilayah ini memiliki kemiringan tanah yang tinggi disebabkan oleh adanya aktivitas tektonik konvergen, yaitu *collision* atau tabrakan antara pecahan Lempeng Eurasia (bagian Sulawesi) dengan Mirokontinen Filipina. *Collision* tersebut mendorong terjadinya peningkatan magmatisme pada bagian timur Majene sehingga menghasilkan barisan pegunungan api yang kemudian tererosi selama jutaan tahun dan membentuk morfologi perbukitan seperti saat ini (Nugraha and Hall, 2018). Peta kemiringan tanah ini dapat dilihat pada Gambar 3A.



Gambar 2. Peta parameter penggunaan lahan (A), Peta parameter curah hujan (B), Peta parameter kemiringan tanah (C), Peta jenis tanah (D).

2. Peta Curah Hujan

Curah hujan berpengaruh terhadap infiltrasi air ke dalam tanah yang dapat meningkatkan tekanan air pori tanah dan massa tanah secara keseluruhan sehingga mengurangi tegangan efektif tanah dan stabilitas lereng. Kabupaten Majene memiliki intensitas hujan sebesar 1600 – 2500 mm tahun. Daerah Kecamatan Ulumanda merupakan daerah yang memiliki curah hujan tertinggi di Majene. Namun, berdasarkan nilai pengharkatan yang digunakan pada Tabel 1 nilai curah hujan tertinggi di Kabupaten Majene masih tergolong dalam curah hujan yang rendah. Peta curah hujan ini dapat dilihat pada Gambar 3B.

3. Peta Penggunaan Lahan

Peta penggunaan lahan terdapat pada Gambar 3C. Pada peta yang dihasilkan sebagian besar wilayah Kabupaten Majene merupakan hutan dan perkebunan dengan sebagian kecil wilayah semak dan pemukiman. Besarnya wilayah hutan dan perkebunan berpengaruh terhadap stabilitas lereng. Pepohonan pada hutan dan perkebunan memiliki sistem pengakaran yang mampu menyerap infiltrasi air pada tanah, sehingga mampu menjaga kandungan air tanah dan mencegah terjadinya longsor akibat kandungan air tanah yang berlebih. Sistem pengakaran ini juga mampu menjaga stabilitas tanah pada lereng. berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh (Radja et al., 2013) menjelaskan bahwa tanah yang mengandung akar tanaman memiliki nilai kuat geser yang lebih tinggi dibandingkan dengan tanah yang tidak memiliki kandungan akar di dalamnya.

4. Peta Jenis Tanah

Pada pengharkatan parameter jenis tanah yang terdapat pada Tabel 4, secara berturut-turut dari *oxisol* hingga

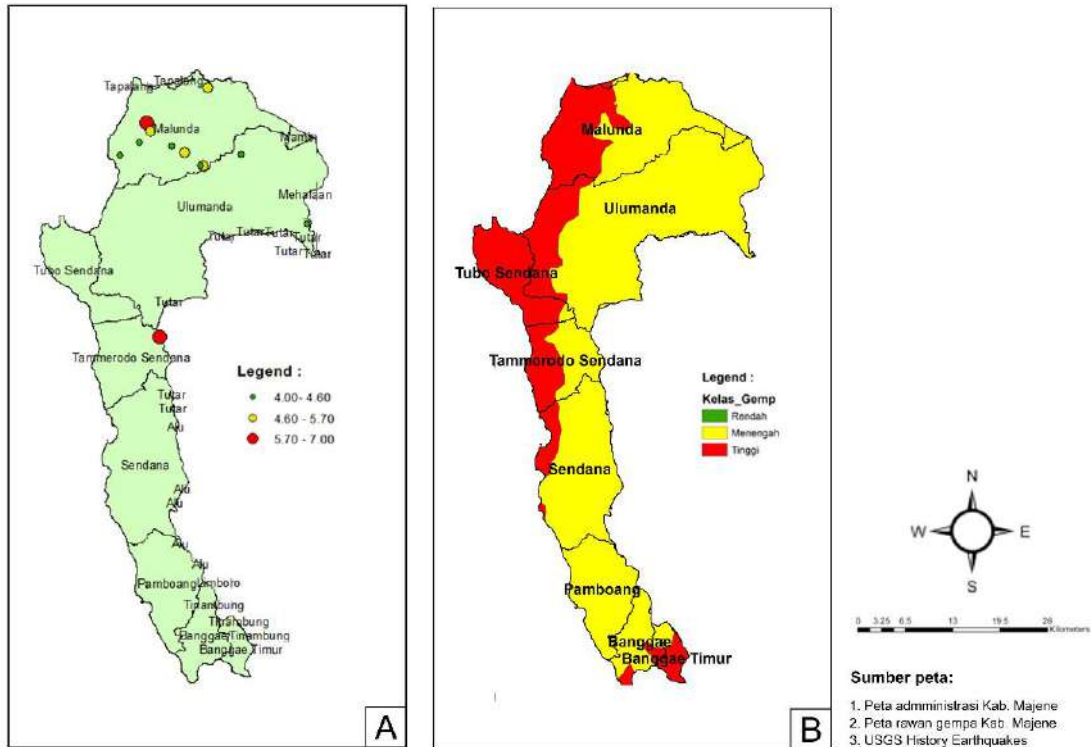
histosol diurutkan berdasarkan tingkat pelapukan yang terjadi pada tanah. *Oxisol* merupakan tanah yang telah mengalami pelapukan lanjut dan *Histosol* merupakan tanah baru hasil dari pelapukan bahan organik (Fiantis, 2014). Tanah yang telah mengalami pelapukan cenderung mengalami penurunan pada kuat geser (Gartung, 1986).

Merujuk kepada Gambar 3D, jenis tanah yang ada di Kabupaten Majene sebagian besar berjenis Mediteran merah kuning. Sedangkan pada beberapa daerah Majene lainnya memiliki jenis tanah Podsolik Merah Kuning. Pada kriteria pengharkatan, tanah Mediteran masuk kedalam kelompok tanah Alfisol, sedangkan tanah Podsolik masuk kedalam kelompok tanah Ultisol.

Tanah Alfisol merupakan tanah yang terbentuk dari akumulasi liat dengan tingkat kesuburan tinggi, namun mudah mengalami erosi. Sedangkan tanah Ultisol merupakan tanah dengan permeabilitas rendah dan kandungan organik yang rendah pula. Sifat fisis ini menyebabkan tanah Ultisol menjadi mudah terbawa aliran permukaan yang menyebabkan erosi akibat tingkat permeabilitas yang rendah, sehingga laju infiltrasi tanah menjadi terhambat dan membuat air yang mengalir di permukaan menjadi lebih banyak (Surono et al., 2013).

5. Peta Historis Gempa

Berdasarkan data kegempaan yang didapatkan dari USGS *Earthquake*, Kabupaten Majene memiliki aktivitas kegempaan yang cukup tinggi pada tahun 1969 – 2021 seperti terlihat pada Gambar 4A. Wilayah dengan aktivitas kegempaan tertinggi berada pada wilayah Kecamatan Malunda yang merupakan wilayah tempat terjadi bencana tanah longsor pada 14 Januari



Gambar 3. Peta historis gempa Kab. Majene (A), Peta kerawanan gempa Kab. Majene (B).

2021. Peta historis gempa ini juga digunakan sebagai validasi terhadap peta kerawanan kegempaan pada Gambar 4B bahwa wilayah sebelah barat dari Kecamatan Malunda, Tubo Sendana, Tammerodo Sendana, dan Banggae Timur memiliki tingkat kerawanan kegempaan yang tinggi.

Ground Acceleration) yang lebih besar dibandingkan sisi bagian timur dari Majene. Salah satu penyebabnya adalah sesar naik Mamuju yang letaknya berada di barat laut dan bagian selatan dari Majene, sehingga aktivitas gempa di sekitarnya menjadi lebih tinggi.

6. Peta Kerawanan Gempa

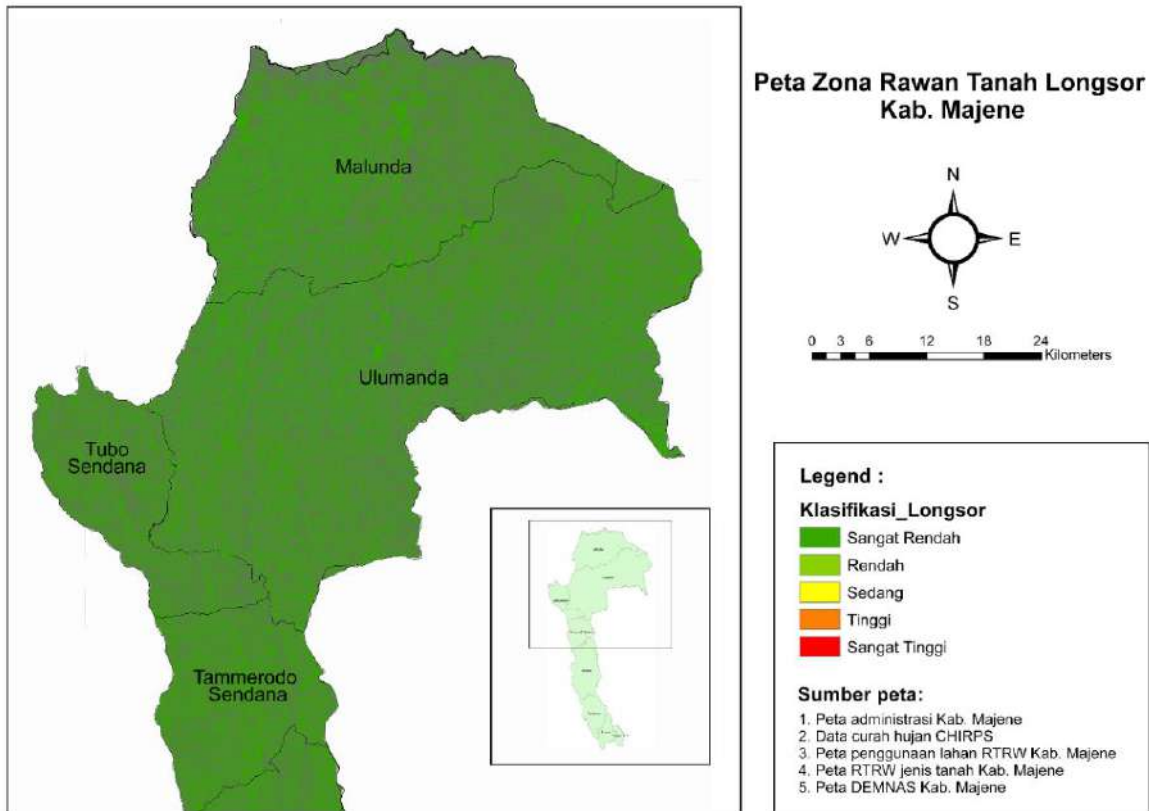
Peta kerawanan gempa terdapat pada Gambar 4B. Berdasarkan peta tersebut terlihat bahwa wilayah Majene memiliki tingkat kerawanan gempa menengah dan tinggi. Setengah wilayah Kecamatan Malunda, Tubo Sendana, Tammerodo Sendana, dan Baggae Timur memiliki tingkat kerawanan tinggi, sedangkan pada wilayah kecamatan lainnya memiliki tingkat kerawanan menengah. Hal ini selaras dengan peta percepatan batuan dasar deterministik akibat sumber gempa yang dihasilkan oleh Pusat Studi Gempa Nasional (Pusgen) pada 2017. Wilayah bagian barat dari Majene memiliki nilai PGA (*Peak*

Peta Zona Rawan Longsor Tanpa Pengaruh Gempa

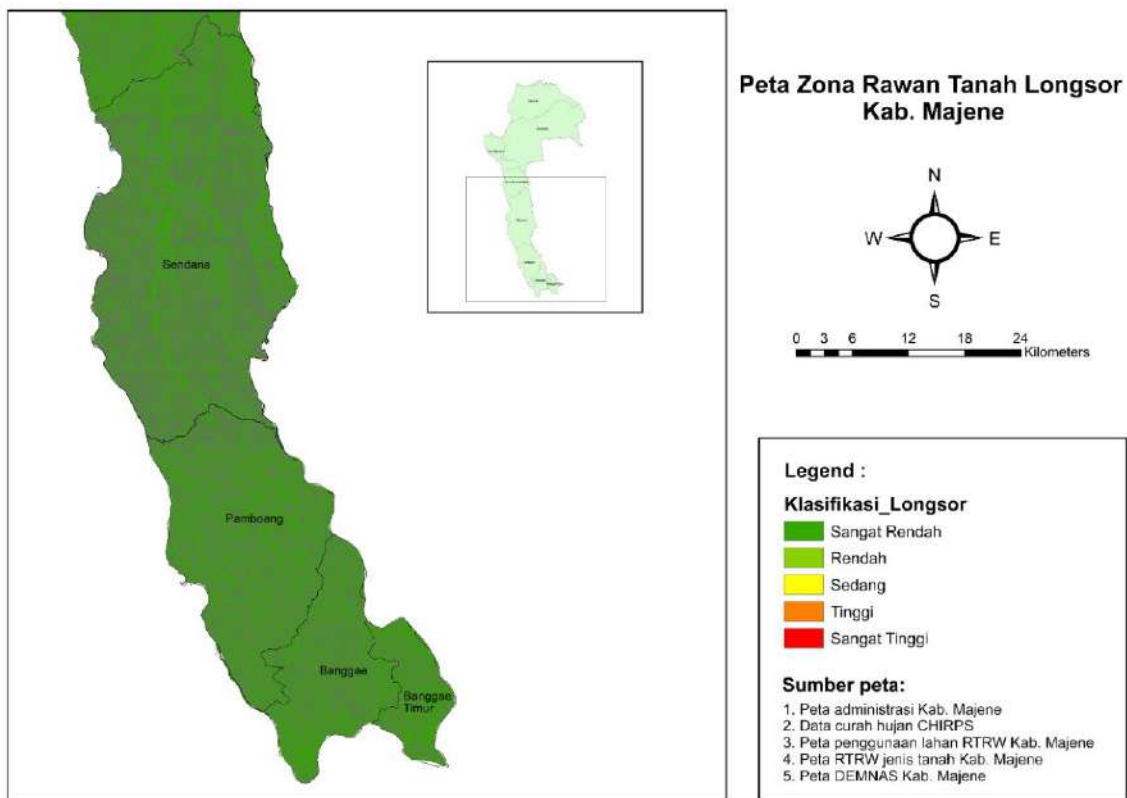
Berdasarkan hasil peta zona rawan tanah longsor tanpa pengaruh gempa yang terdapat pada Gambar 5 dan Gambar 6 untuk setiap kecamatan di Kabupaten Majene, dapat dilihat bahwa dengan parameter kemiringan tanah, jenis tanah, curah hujan, dan penggunaan lahan Kabupaten Majene memiliki klasifikasi tingkat kerawanan longsor yang rendah. Hal ini disebabkan sebagian besar wilayah Kabupaten Majene masih tertutup oleh hutan dan perkebunan dengan tingkat curah hujan yang rendah, sehingga mampu meredam pengaruh dari kemiringan tanah yang curam dan jenis tanah yang mengalami pelapukan cukup tinggi. Dari

hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa tanah longsor yang terjadi di Kabupaten

Majene bukan sepenuhnya disebabkan oleh pengaruh kondisi morfologi dan hidrologi.



Gambar 5. Peta zona rawan tanah longsor tanpa pengaruh gempa Kabupaten Majene Kecamatan Malunda, Ulumanda, Tubo Sendana, Tammeroddo.



Gambar 6. Peta zona rawan tanah longsor tanpa pengaruh gempa Kabupaten Majene Kecamatan Sendana, Pamboang, Banggae dan Banggae Timur.

Peta Zona Rawan Longsor dengan Pengaruh Gempa

Peta zona rawan longsor berdasarkan parameter kemiringan tanah dan tingkat kerawanan gempa ditunjukkan oleh Gambar 7 dan Gambar 8. Berdasarkan Gambar 7 dapat dilihat bahwa wilayah yang memiliki tingkat klasifikasi kerawanan tertinggi berada pada bagian barat dari perbukitan Kecamatan Malunda dan bagian barat Kecamatan Ulumanda. Tingginya klasifikasi pada wilayah ini disebabkan oleh tingginya tingkat kerawanan gempa dan persentase kemiringan tanah yang bernilai 45% hingga >75%. Tingginya kerawanan gempa pada wilayah ini disebabkan oleh letak sesar naik Mamuju yang membentang di sepanjang pesisir barat daya Kabupaten Majene. Sedangkan tingginya kemiringan lereng pada wilayah ini sebabkan oleh adanya aktivitas kebumihan yang membentuk barisan vulkanis yang kemudian tererosi sehingga membentuk perbukitan.

Adapun wilayah yang memiliki tingkat klasifikasi kerawanan longsor sedang, tersebar di sepanjang wilayah bagian timur Kabupaten Majene, meliputi Kecamatan Malunda, Ulumanda, Tommerodo Sendana (Gambar 7), Sendana, dan Pamboang (Gambar 8). Meskipun memiliki kemiringan tanah 30% hingga >75%, tingkat klasifikasi kerawanan longsor menjadi menurun karena kerawanan gempa yang berada pada kelas menengah.

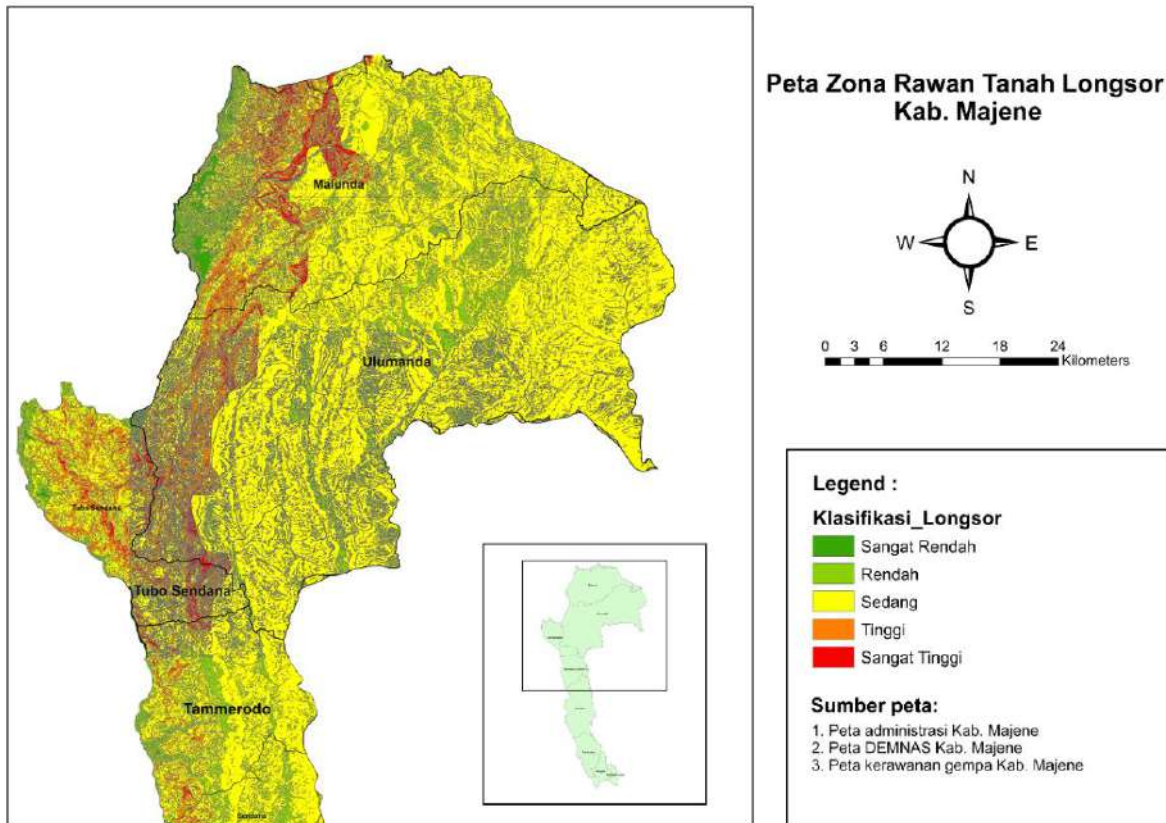
Kecamatan Tubo Sendana merupakan daerah yang memiliki tingkat kerawanan gempa tinggi namun morfologi kelerengan yang beragam dengan persentase kemiringan tanah 0 hingga 75%. Hal ini menyebabkan tingkat kerawanan longsor di Kecamatan Tubo Sendana juga bervariasi dari tingkat rendah sampai sangat tinggi tergantung kemiringan lerengnya.

Kecamatan Banggae, Banggae Timur, dan bagian pesisir barat dari Kecamatan Malunda memiliki klasifikasi kerawanan

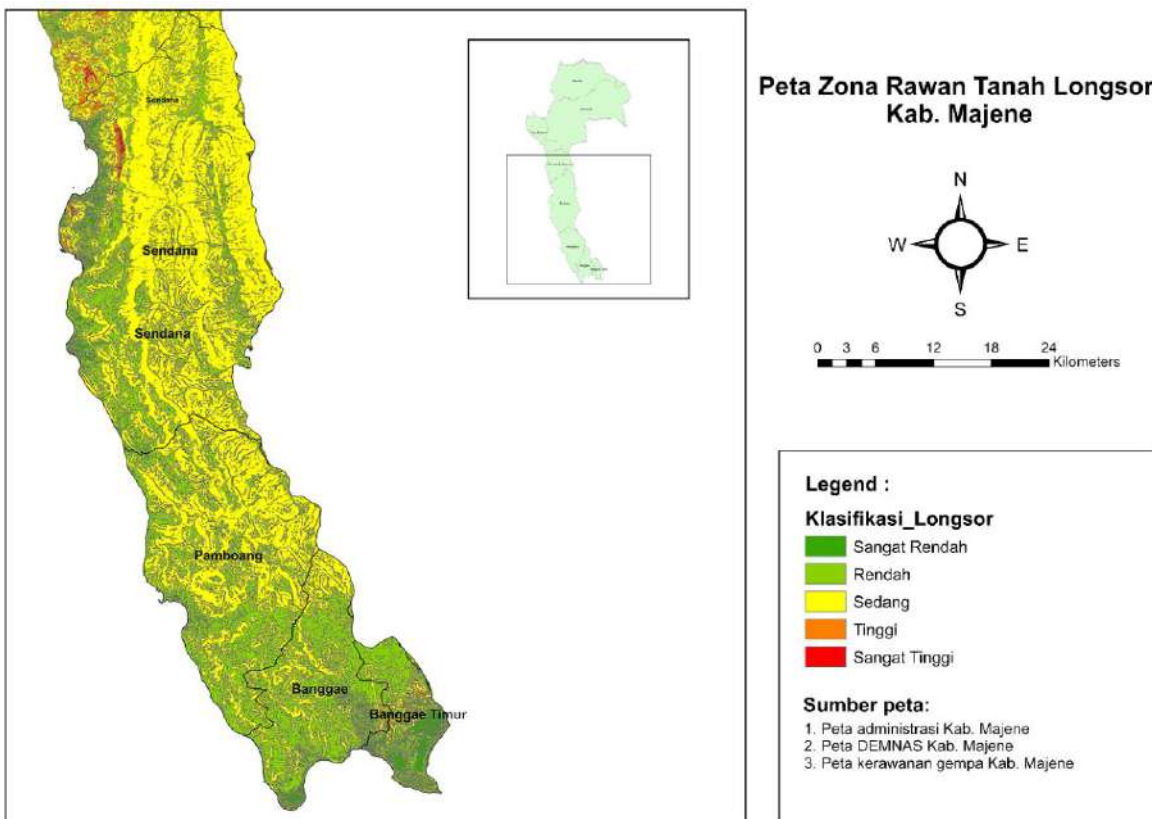
tanah longsor yang rendah meskipun memiliki jarak yang dekat dengan sesar naik Mamuju. Hal ini disebabkan oleh permukaan daratan yang landai dengan persentase kemiringan tanah 0 hingga 15%, sehingga kemungkinan terjadinya longsor relatif kecil. Namun gempa masih dapat menyebabkan bencana berupa likuifaksi jika kondisi tanah dan air tanah di Tubo Sendana memungkinkan terjadinya mekanisme tersebut seperti yang terjadi pada gempa Palu 2018. Perlu penelitian lebih lanjut untuk mengetahui hal tersebut. Sedangkan Kecamatan Sendana dan Pamboang memiliki tingkat kerentanan longsor rendah yang disebabkan oleh tingkat kerawanan gempa yang menengah meskipun memiliki kemiringan tanah yang lebih curam dibandingkan dengan Kecamatan Tubo Sendana.

Peta klasifikasi kerawanan longsor ini dapat digunakan sebagai penentu arah pembangunan berkelanjutan di Kabupaten Majene. Wilayah yang memiliki tingkat klasifikasi menengah hingga tinggi tidak disarankan untuk dijadikan sebagai opsi pengembangan pembangunan lebih lanjut. Namun jika harus dilakukan, maka pengembangan dan pembangunan di Kecamatan Malunda, bagian barat Ulumanda, dan Kecamatan Tubo Sendana harus sangat memperhatikan aspek geoteknik stabilitas lereng dengan melakukan penambahan kekuatan lereng.

Adapun wilayah dapat dipertimbangkan untuk dilakukan pengembangan pembangunan adalah Kecamatan Banggae dan Banggae Timur yang memiliki tingkat kerawanan longsor yang rendah. Sedangkan wilayah sepanjang pesisir barat laut Kabupaten Majene memiliki potensi longsor yang juga rendah namun masih berada dalam risiko kegempaan yang cukup besar sehingga terdapat potensi-potensi bencana kegempaan lain seperti likuifaksi, gelombang tsunami, ataupun kegagalan struktur bangunan yang memerlukan penelitian lebih lanjut.



Gambar 7. Peta zona rawan tanah longsor dengan pengaruh gempa Kabupaten Majene Kecamatan Malunda, Ulumanda, Tubo Sendana, Tammeroddo.



Gambar 8. Peta zona rawan tanah longsor dengan pengaruh gempa Kabupaten Majene Kecamatan Sendana, Pamboang, Banggae dan Banggae Timur.

Kesimpulan

Berdasarkan peta zona rawan tanah longsor tanpa memperhitungkan risiko kegempaan, Kabupaten Majene memiliki tingkat potensi longsor yang rendah. Hal ini disebabkan oleh sebagian besar tataguna lahan di wilayah Majene masih tertutupi oleh hutan lebat dengan nilai intensitas curah hujan pertahun yang relatif rendah meskipun memiliki persentase kemiringan tanah yang tinggi (curam). Sedangkan berdasarkan hasil peta zona rawan longsor dengan memperhitungkan risiko kegempaan, Kabupaten Majene memiliki tingkat potensi tanah longsor yang cukup tinggi, terutama pada wilayah Kecamatan Malunda, Kecamatan Ulumanda, dan Kecamatan Tubo Sendana. Hal ini disebabkan oleh persentase kemiringan tanah pada wilayah tersebut memiliki nilai yang tinggi dan disertai dengan tingginya potensi risiko kegempaan yang terjadi.

Berdasarkan kedua hasil analisis peta zona kerawanan gempa yang dibuat di Kabupaten Majene, dapat disimpulkan bahwa yang menjadi faktor utama kejadian tanah longsor di Kabupaten Majene adalah kondisi topografi kemiringan lereng dan pengaruh aktivitas kegempaan yang mengganggu stabilitas lereng di Kabupaten Majene. Sedangkan faktor curah hujan, tata guna lahan, dan jenis tanah tidak memiliki pengaruh yang cukup besar pada kejadian tanah longsor di Kabupaten Majene.

Peta persebaran kawasan rentan tanah longsor di Kabupaten Majene ini diharapkan dapat menjadi upaya pencegahan dampak prabencana tanah longsor sebagai dasar mitigasi di Kabupaten Majene dan referensi untuk pembangunan daerah Kabupaten Majene terkait adanya potensi tanah longsor di masa mendatang. Variasi kerawanan tanah longsor yang terdapat pada peta ini dapat digunakan sebagai acuan dalam menentukan prioritas proses mitigasi lanjutan berupa analisis stabilitas lereng

untuk selanjutnya dilakukan perkuatan lereng guna mencegah terjadinya tanah longsor.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih ditujukan kepada Direktorat Kemahasiswaan Universitas Pertamina yang telah mendanai penelitian ini, Badan Geospasial Indonesia yang telah menyediakan data, dan Bapak Nurul Fajar Januriyadi yang telah banyak membantu sehingga penelitian ini bisa terlaksana dengan baik.

Daftar Pustaka

- Annisa, J., Sutikno, S. and Rinaldi. 2015. *Analisis Daerah Rawan Longsor Berbasis Sistem Informasi Geografis (Studi Kasus : Kabupaten Lima Puluh Kota, Sumatera Barat)*. JOM FTEKNIK. 2(2), pp.1-8. <https://jom.unri.ac.id/index.php/JO MFTEKNIK/article/view/7976>
- Arifin, S., Carolila, I. and Winarso, C. 2006. *Implementasi Penginderaan Jauh dan SIG untuk Inventaris Daerah Rawan Bencana Longsor (Propinsi Lampung)*. Jurnal Penginderaan Jauh dan Pengolahan Data Citra Digital. 3(1), pp.77-86. http://jurnal.lapan.go.id/index.php/jurnal_inderaja/article/view/501
- Bais, R.E., Sunaryo, D.K. and Sai, S.S. 2018. *Pemanfaatan Metode Index Storie untuk Prediksi Tingkat Kerentanan Gerakan Tanah dengan Memanfaatkan Sistem Informasi Geografis (Studi Kasus : Malang Raya)*. [Online]. Available at: <http://eprints.itn.ac.id/1070/1/Jurnal%20Rezky%20E.%20Bais.pdf>
- BIG, 2017. *Indonesia Geospasial Portal*. [Online] [Accessed 16 Oktober 2021]. Available at: <https://tanahair.indonesia.go.id/port al-web>
- BNPB, 2022. *Data Informasi Bencana Indonesia*. [Online] [Accessed 01

- April 2022]. Available at: <https://dibi.bnpp.go.id/xdibi>
- Dewi, C. 2018. *Peta Topografi Kabupaten Majene*. [Online]. [Accessed 2 November 2021]. Available at: <https://archysig.files.wordpress.com/2019/05/topografi-majene.jpg?w=1000>
- Dewi, S. 2018. *Peta Kemiringan Lereng Kabupaten Majene*. [Online]. [Accessed 2 December 2021]. Available at: <https://archysig.files.wordpress.com/2019/05/lereng-majene.jpg?w=1000>
- Effendi, A.Y. and Hariyanto. 2016. *Pembuatan Peta Daerah Rawan Bencana Tanah Longsor dengan Menggunakan Metode Fuzzy Logic (Studi Kasus: Kabupaten Probolinggo)*. Jurnal Teknik ITS. 5, pp.A714-A722. <http://dx.doi.org/10.12962/j23373539.v5i2.17190>
- Fiantis, D. 2014. *Morfologi dan Klasifikasi Tanah*. Padang: Lembaga Pengembangan Teknologi Informasi dan Komunikasi (LPTIK) Universitas Andalas.
- Gartung, E. 1986. *Clay Geosynthetic Barriers*. A.A. Balkema Publisher.
- Hermawan, B. 2021. *Mengenal Sesar Naik Mamuju-Majene, Penyebab Gempa Sulbar*. [Online]. [Accessed 31 August 2021]. Available at: <https://www.republika.co.id/berita/qmze5w354/mengenal-sesar-naik-mamujumajene-penyebab-gempa-sulbar>
- Hidayah, A., Paharuddin. and Massinai, M. A. 2017. *Analisis Rawan Bencana Longsor Menggunakan Metode AHP (Analytical Hierarchy Process) di Kabupaten Toraja Utara*. Jurnal Geoelebes. 1(1), pp.1-4. <https://doi.org/10.20956/geoelebes.v1i1.1772>
- Misnawati, M., Boer, R., June, T. and Faqih, A. 2018. *Perbandingan Metodologi Koreksi Bias Data Curah Hujan CHIRPS*. LIMNOTEK Perairan Darat Tropis di Indonesia. 25(1), pp.18-29. <https://limnotek.limnologi.lipi.go.id/index.php/limnotek/article/view/224>
- Ningsih, U.D.H., Soelistijadi, R. and Sunardi. 2005. *Pemanfaatan Analisis Spasial untuk Pengolahan Data Spasial Sistem Informasi Geografi (Studi Kasus: Kabupaten Pematang)*. Jurnal Teknologi Informasi DINAMIK. 10(2), pp. 108-116. <https://www.unisbank.ac.id/ojs/index.php/fti1/article/view/18>
- Nugraha, A.M.S. and Hall, R. 2018. *Late Cenozoic palaeogeography of Sulawesi, Indonesia*. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. 490, pp. 191-209. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2017.10.033>
- Nugroho, A.J., Sukojo, B.M. and Sari, I.L. 2010. *Pemetaan Daerah Rawan Longsor dengan Penginderaan Jauh dan Sistem Informasi Geografis (Studi Kasus: Kawasan Hutan Lindung Kabupaten Mojokerto)*. Geoid Journal of Geodesy and Geomatics. 5(2), pp.110-117. <https://iptek.its.ac.id/index.php/geoid/article/view/7340>
- Pangaribuan, J., Sabri, L.M. and Amarrohman, F.J. 2019. *Analisis Daerah Rawan Bencana Tanah Longsor di Kabupaten Magelang Menggunakan Sistem Informasi Geografis dengan Metode Standar Nasional Indonesia dan Analytical Hierarchy Process*. Jurnal Geodesi UNDIP. 8(1), pp.288-297. <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/geodesi/article/view/22582>
- Radja, V.M., Ndale, F.X. and Tibo, T. 2019. *Pengaruh Akar Tanaman Terhadap Parameter Geser Tanah*

- Dan Stabilitas Lereng Pada Ruas Jalan Ende – Wolowaru.* TEKNOSIAR. 7(2), pp.1-12. <http://uniflor.ac.id/e-journal/index.php/TEKNOSIAR/article/view/63>
- Rahmad, R., Suib, S. and Nurman, A. 2018. *Aplikasi SIG untuk Pemetaan Tingkat Ancaman Longsor di Kecamatan Sibolangit, Kabupaten Deli Serdang, Sumatera Utara.* Majalah Geografi Indonesia, 32(1), 1 – 13. <http://dx.doi.org/10.22146/mgi.31882>
- Ramdani, D., Kresnawati, D.K. and Apriyanti, D., 2020. Analisis dan Pembuatan Peta Daerah Potensi Longsor di Kabupaten Bogor Tahun 2019 Menggunakan Metode Pembobotan pada Sistem Informasi Geografis. *Jurnal Teknik.* 21(2), pp. 1-12. <https://journal.unpak.ac.id/index.php/jurnalteknik/article/view/3277>
- Storie, R.E. and Weir, W.W. 1958. *Storie Index Soil Rating.* Berkeley: Assosiated Students Store, Univ. of California.
- Surono, S., Husain, J., Kamagi, Y.E.B. and Lengkong, J. 2013. Aplikasi Sistem Informasi Geografis Dalam Memprediksi Erosi dengan Metode USLE di Sub DAS Dumoga. *COCOS.* 3(5). <https://ejournal.unsrat.ac.id/index.php/cocos/article/view/2372>
- Susanti, P.D., Miardini, A. and Harjadi, B. 2017. Analisis Kerentanan Tanah Longsor Sebagai Dasar Mitigasi di Kabupaten Banjar Negara. *Jurnal Penelitian Pengelolaan DAS.* 1(1), pp. 49-59. <https://doi.org/10.20886/jppdas.2017.1.1.49-59>
- Luo, X., Wu, W., He, D., Li, Y. and Ji, X. *Hydrological Simulation Using TRMM and CHIRPS Precipitation Estimates in the Lower Lancang-Mekong River Basin.* *Chinese Geographical Science.* 29, pp.13–25. <https://doi.org/10.1007/s11769-019-1014-6>
- Yassar, F.M., Nurul, M., Nadhifah, N. and Sekarsari, N.F. 2020. *Penerapan Weighted Overlay pada Pemetaan Tingkat Probabilitas Zona Rawan Longsor di Kabupaten Sumedang, Jawa Barat.* *Jurnal Geosains dan Remote Sensing (JGRS).* 1(1), pp. 1-10. <http://dx.doi.org/10.23960/jgrs.2020.v1i1.13>

EVALUASI KUALITAS BATUBARA PADA *FRONT* PENAMBANGAN DAN *SHIP LOADING* DI PROVINSI KALIMANTAN TIMUR

La Ode Muh. Yazid Amsah*, L.M. Hilman Kurnia, Anna Irada La Ode Malim

Program Studi Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Dayanu Ikhsanuddin, Baubau, Sulawesi, Indonesia.

*Corresponding author. Email: laodemuhyazidamsah@unidayan.ac.id

Manuscript received: 21 January 2022; Received in revised form: 6 April 2022; Accepted: 23 April 2022

Abstrak

Penelitian ini bertujuan mengetahui kualitas batubara pada *front* penambangan dan *ship loading*. Metode yang digunakan terdiri dari studi literatur, pengumpulan dan pengolahan sampel serta analisis data menggunakan analisis *proximate*. Hasil analisis pada *front* penambangan diperoleh *ash content* 2,8%, *total moisture* 13,12%, *volatile matter* 39%, *total sulfur* 0,23%, *fixed carbon* 48%, *calorie value* 5,812 Kcal/Kg. Pada *ship loading* diperoleh *ash content* 3,89%, *total moisture* 14,15%, *volatile matter* 43,04%, *fixed carbon* 46%, *total sulfur* 0,25%, dan *calorie value* 5,365 Kcal/Kg. Nilai *calorie value* yang sangat berbeda, sebesar 7,69%, dipengaruhi oleh perubahan dari *total moisture* dan *ash content*. Hal ini mengindikasikan penurunan kualitas batubara yang signifikan.

Kata Kunci: analisis *proximate*; *front* penambangan; kualitas batubara; PT. Paser Buen Energy; *ship loading*.

Abstract

This study aims to determine the quality of coal on the mining front and ship loading. The method used consists of literature study, sample collection and processing and data analysis using proximate analysis. The results of the analysis on the mining front obtained ash content 2.8%, total moisture 13.12%, volatile matter 39%, total sulfur 0.23%, fixed carbon 48%, calorie value 5.812 Kcal/Kg. On ship loading obtained ash content 3.89%, total moisture 14.15%, volatile matter 43.04%, fixed carbon 46%, total sulfur 0.25%, and calorie value 5.365 Kcal/Kg. The very different calorific value of 7.69% is influenced by changes in the total water content and ash content. This indicates a significant decline in coal quality.

Keywords: coal quality; mining front; proximate analysis; PT. Paser Buen Energy; ship loading.

Pendahuluan

Peningkatan konsumsi energi dunia mengakibatkan semakin meningkatnya produksi batubara (Kurniawan dkk., 2020). Sumberdaya batubara adalah bagian dari endapan batubara yang diharapkan dapat dimanfaatkan (SNI 5015, 2011). Teori yang menerangkan terjadinya batubara yaitu teori insitu dan *drift* (Susilawati, 1992).

Batubara merupakan batuan organik yang terbentuk dari sisa tumbuhan (Arief dkk., 2018).

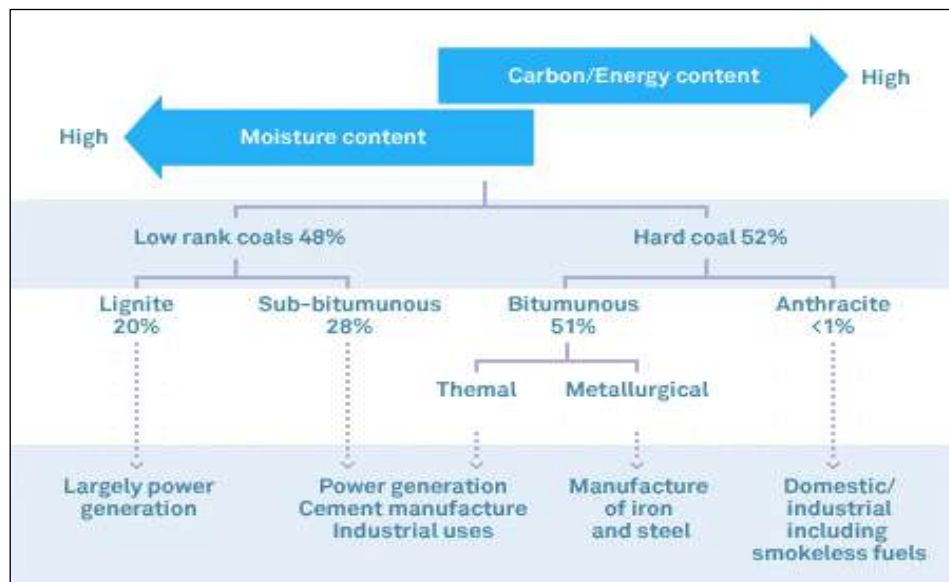
Batubara ialah bahan bakar hidrokarbon padat terbentuk dari proses penggabungan dan pembatubaraan pada suatu cekungan (daerah rawa) dalam jangka waktu geologis (Sukandarrumidi, 1995). Batubara dikenal juga sebagai “emas” hitam (Arif, 2014).

Batubara (*coal*) adalah sumber energi fosil banyak terdapat di dalam dunia ini termasuk Indonesia. Indonesia merupakan salah satu dari sepuluh negara penghasil batubara terbesar di seluruh dunia (Balfas, 2015). Cadangan batubara Indonesia masih cukup besar mencapai hampir 30 milyar ton yang tersebar di berbagai daerah (Aladin dan Mahfud, 2011).

Karakterisasi batubara berbeda-beda sesuai dengan *coal field* dan *coal seam*. Sehingga memiliki tingkat variabilitas tinggi baik fisik ataupun kimia. Tidak hanya bervariasi

secara vertikal tapi juga secara horizontal (Komariah, 2012).

Salah satu parameter utama yang menentukan suatu kegiatan pengolahan dan pemanfaatan bahan galian batubara adalah kualitas batubara (Malaidji dkk, 2018). Kualitas suatu batubara dapat ditentukan dengan cara analisa parameter tertentu baik secara fisik maupun kimia. Batubara dengan mutu yang lebih tinggi memiliki kandungan karbon yang lebih banyak, tingkat kelembaban yang lebih rendah dan menghasilkan energi yang lebih banyak (Gambar 1).

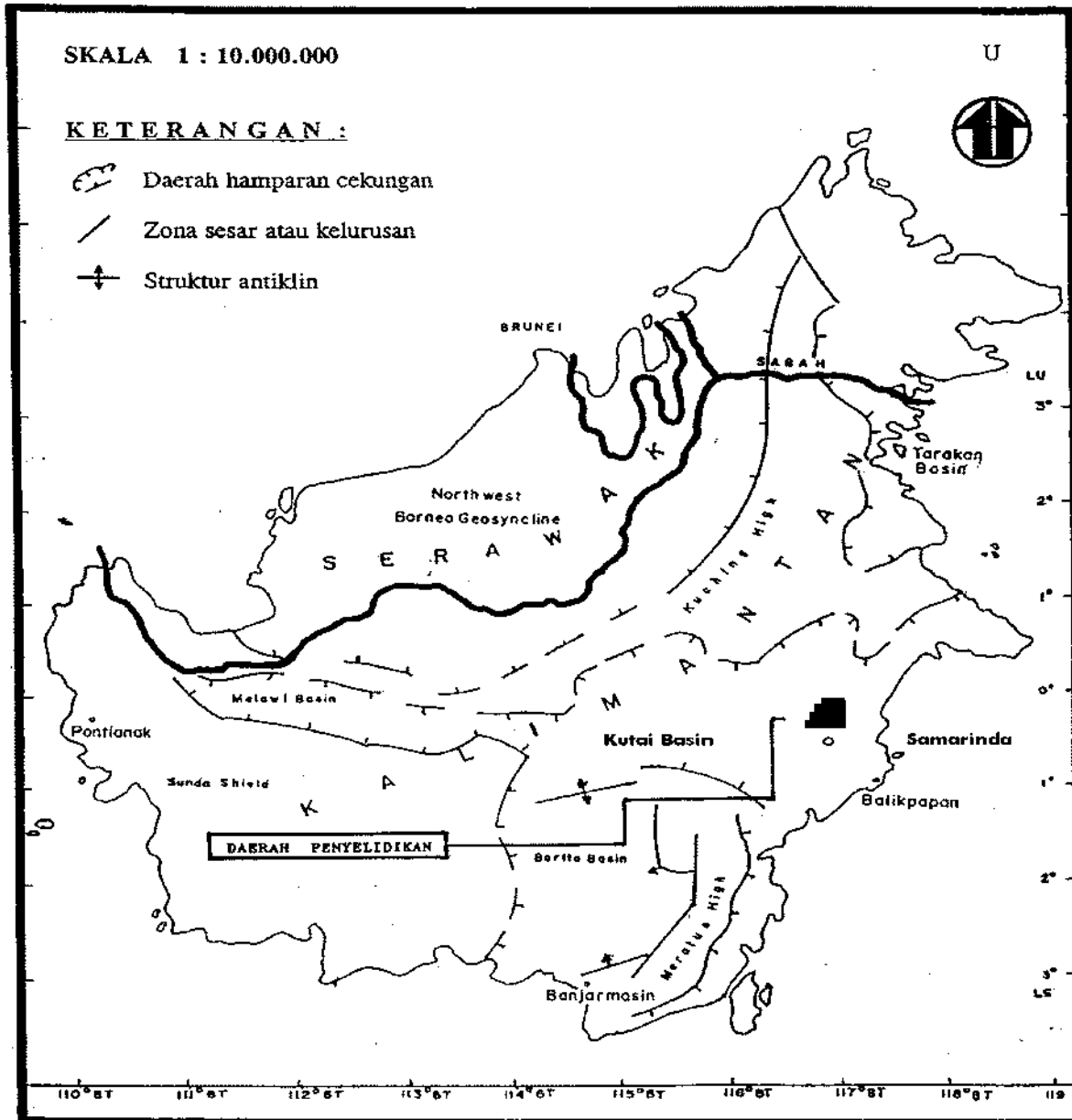


Gambar 1. Diagram tingkatan kualitas batubara (Ofanda, 2012).

Masalah kualitas batubara merupakan masalah yang lebih kepada mengevaluasi kualitas batubara di *front* penambangan dan di *ship loading* setelah dilakukannya pengolahan di *coal preparation plant*. Pengkajian mengenai pengendalian kualitas dari batubara merupakan salah satu bagian penting dalam pengolahan batubara. Analisis data kualitas batubara sangat menentukan kualitas batubara yang potensial guna untuk mengantisipasi permintaan konsumen. Hasil pengamatan yang ada di lapangan masih sering terjadi perbedaan antara data kualitas dari *front* penambangan dengan realisasi yang ada di *stockpile*, Tujuan dari penelitian ini untuk

mengetahui kualitas batubara pada *front* penambangan dan *ship loading*.

PT. Paser Buen Energy merupakan salah satu unit bisnis pertambangan yang melakukan penambangan dan pengolahan batubara. Unit ini berlokasi di Kecamatan Long Ikis Kabupaten Paser Provinsi Kalimantan Timur (Gambar 2). Penelitian ini dilakukan di area unit tersebut. Daerah penyelidikan termasuk ke dalam Formasi Pamaluan (Tomp) Namun berdasarkan hasil survey geologi dan pemboran, batuan penyusun di daerah penyelidikan eksplorasi terdiri dari 3 Formasi yaitu Kompleks Ultramafik, Formasi Haruyan dan Formasi Kuaro.



Gambar 2. Daerah penyelidikan (PT. Paser Buen Energy, 2012).

Analisis Proximate

Analisis *proximate* adalah analisis yang meliputi *moisture content*, *volatile matter*, *ash content* dan *fixed carbon* dari sampel batubara (Yadav and Yadav, 2017). Analisis ini juga sering digunakan konsumen dalam memilih kualitas batubara sesuai kebutuhan sebelum membeli batubara (Sepfitrah, 2016).

METODE PENELITIAN

Metode penelitian meliputi studi literatur, pengambilan dan pengolahan sampel, serta

analisis data. Studi literatur mengumpulkan referensi terkait penelitian. Sampel yang diolah berasal *front* penambangan dan *ship loading* untuk mendapatkan kualitas batubara dengan analisis *proximate* (Hilmi dkk., 2021).

Pengambilannya sampel dilakukan pada setiap pengangkutan pada *front* penambangan. Pengambilan sampel dilakukan menggunakan skop sampel (Gambar 3). Pada *ship loading*, pengambilan sampel di atas tongkang dilakukan setiap 25 *rate dump truck* ke tongkang. Metode pengambilan dilakukan

dengan cara acak dari titik yang berbeda-beda di atas tongkang. Sampel yang di ambil ditentukan berdasarkan ukurannya (Gambar 4).

Analisa pada *front* penambangan dilakukan untuk mengetahui kualitas batubara yang akan dimuat dan diangkut ke *stock pile*. Analisa kualitas batubara di *ship loading* bertujuan untuk mengetahui parameter kualitas batubara setelah melalui tahap pengolahan. Analisis terhadap kualitas

batubara didasarkan atas beberapa parameter diantaranya yaitu *ash content*, *total moisture*, *volatile metter*, *total sulfur*, dan *calorie value*.

Perhitungan perbedaan nilai dari setiap parameter dihitung hanya untuk parameter yang memiliki perbedaan yang signifikan. Selisih tersebut lalu dibagi dengan nilai parameter pada *front* penambangan untuk mendapatkan persentase penyimpangan-nya.



Gambar 3. Pengambilan sampel batubara pada *front* penambangan.



Gambar 4. Pengambilan sampel batubara pada *ship loading*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 1. Nilai dan parameter kualitas batubara.

Kualitas Batubara	Ash Content (%)	Total Moisture (%)	Volatile Metter (%)	Fixed Carbon (%)	Total Sulfur (%)	Average Calorie Value (Kcal/Kg)
<i>Front</i> Penambangan	2,8	13,12	39	48	0,23	5,812
<i>Ship Loading</i>	3,89	14,15	43,04	46	0,25	5,365

Perbandingan dari hasil tiap parameter dapat dilihat pada Tabel 1. Penurunan terjadi pada *calorie value*-nya. Hal ini diikuti oleh *total moisture* yang meningkat

karena kandungan air serapan yang mengalami peningkatan. Ada 3 parameter kualitas batubara yang mengalami perubahan secara signifikan yaitu:

a) *Total Moisture*

Perubahan kandungan air total (*Total Moisture*) pada batubara mengalami kenaikan dari kandungan air total pada saat pertama kali ditimbun. Rata-rata kenaikan kandungan air 1,03%.

b) *Ash Content*

Perubahan kadar abu pada timbunan batubara, rata-rata mengalami kenaikan sekitar 1,09% dari sebelumnya.

c) Nilai Kalori (*Calorie Value*)

Perubahan nilai kalori ini dipengaruhi oleh akumulasi perubahan dari *total moisture* dan kadar abu. Parameter ini merupakan parameter yang mengalami perubahan yang mencolok. Adapun hasil dari *front* penambangan dengan kalori batubara rata-rata 5,812 Kcal/Kg dan hasil dari *ship loading* 5,365 Kcal/Kg. Perbedaan kalori pada *front* penambangan dan realisasi pada *ship loading* dengan presentase 7,69%.

Ketiga parameter tersebut mengindikasikan penurunan kualitas yang signifikan pada batubara yang berada di *ship loading*.

Kesimpulan

Berdasarkan data hasil analisis karakteristik batubara pada *front* penambangan memperlihatkan nilai *calorie value* yang memiliki perbedaan yang sangat mencolok. Perbedaan *calorie value* pada *front* penambangan dan realisasi pada *ship loading* sebesar 7,69%. Hal ini dipengaruhi oleh akumulasi perubahan dari *total moisture* dan *ash content*. Kondisi ini menunjukkan penurunan kualitas batubara yang signifikan.

Daftar Pustaka

Aladin, A. dan Mahfud. 2011. *Sumber Daya Alam Batubara*. Bandung: Lubuk Agung.
 Arif, I. 2014. *Batubara Indonesia*. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama.

Balfas, M.D. 2015. *Geologi untuk Pertambangan Umum*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
 Hilmi, A., Ulfa, A.M. dan Sulaimansyah. 2021. *Analisis Proksimat, Kandungan Sulfur dan Kalor Nikel dalam Penentuan Kualitas Batubara*. Indonesia Journal of Engineering. 1(2), pp.85-94. <https://unu-ntb.e-journal.id/ije/article/view/28>
 Khusairi, A.R., Kasim, T. dan Yunasril. 2018. *Kajian Teknis Sistem Penyaliran Tambang pada Tambang Terbuka Batubara PT. Nusa Alam Lestari, Kenagarian Sinamar, Kecamatan Asam Jujuhan, Kabupaten Dharmasraya*. Jurnal Bina Tambang. 3(3), pp.1202-1212. <http://ejournal.unp.ac.id/index.php/mining/article/view/101401>
 Komariah, W.E. 2012. *Peningkatan Kualitas Batubara Indonesia Peringkat Rendah melalui Penghilangan Moisture dengan Pemanasan Gelombang Mikro*, Master Thesis, Universitas Indonesia. <https://lib.ui.ac.id/file?file=digital/20301180-T30571-Wulan%20Erna%20Komariah.pdf>
 Kurniawan, I., Aryansyah, dan Huda, A. 2020. *Analisis Kualitas Batubara Sebagai Penentu Faktor Swabakar*. In: Prosiding Seminar Penelitian LPPM UNJ. <https://jurnal.umj.ac.id/index.php/emnaslit/article/view/7807/4637>
 Malaidji, E., Anshariah. dan Budiman, A.A. 2018. *Analisis Proksimat, Sulfur, dan Nilai Kalor dalam Penentuan Kualitas Batubara di Desa Pattapa Kecamatan Pujananting Kabupaten Barru Provinsi Sulawesi Selatan*. Jurnal Geomine. 6(3), pp.131-137. <https://doi.org/10.33536/jg.v6i3.244>

- Ofanda, F.Y. 2012. *Tingkatan Kualitas Batubara*. [Online]. Available from: <https://fyofa.blogspot.com/2012/02/tingkatan-kualitas-batubara.html>
- PT. Paser Buen Energy, 2012. *Laporan Peta Pola Struktur Geologi Pulau Kalimantan*.
- Sepfitrah. 2016. *Analisis Proximate Hasil Tambang di Riau (Studi Kasus Logas, Selensen dan Pangkalan Lesung)*. Jurnal Sainstek STT Pekanbaru. 4(1), pp.18–26. <https://ejournal.sttp-yds.ac.id/index.php/js/article/view/88/72>
- SNI 5015. 2011. *Pedoman Pelaporan, Sumberdaya, dan Cadangan Batubara*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional (BSN). <https://www.perhapi.or.id/doc/sni-5015.pdf>
- Sukandarrumidi. 1995. *Batubara dan Gambut*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Susilawati. 1992. *Proses Pembentukan Batubara – Analisa Penelitian dan Pengembangan Geologi*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Yadav, S. and Yadav, P.S. 2017. *Analysis of Performance of Coal Fired Boiler in Thermal Power Plant*. Advance Physics Letter. 4(1-2), pp.5–14. http://www.irdindia.in/journal_apl/pdf/vol4_iss3_4/2.pdf

KARAKTERISTIK BATUAN ULTRAMAFIK DAN PENYEBARAN NIKEL LATERIT PADA DAERAH SIUNA KECAMATAN PAGIMANA KABUPATEN BANGGAI, SULAWESI TENGAH

Riska Puspita, Ninasafitri, Moh. Rizal Ente

Program Studi Teknik Geologi, Fakultas Teknik, Universitas Tadulako, Jl. Soekarno-Hatta Km. 9, Kota Palu, Sulawesi Tengah, Indonesia.

*Corresponding author. Email: riska.puspita@untad.ac.id

Manuscript received: 29 October 2021; Received in revised form: 22 April 2022; Accepted: 28 April 2022

Abstrak

Geologi Pulau Sulawesi khususnya bagian lengan timur diketahui tersusun dari batuan ultramafik yang cukup luas dengan potensi mineral yang dimilikinya, termasuk mineral nikel laterit. Daerah penelitian terletak di PT. X Daerah Siuna Kecamatan Pagimana Kabupaten Banggai Provinsi Sulawesi Tengah. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik batuan ultramafik pada daerah penelitian, mengetahui sebaran nikel laterit serta hubungannya dengan karakteristik batuan ultramafik pada daerah penelitian. Metode penelitian yang digunakan yaitu metode penelitian lapangan dan analisis laboratorium (petrografi dan analisis XRF). Penelitian lapangan dilakukan untuk mengambil data lapangan berupa sampel batuan dan sampel tanah yang dimana sampel batuan ada 9 stasiun dan sampel tanah ada 4 stasiun. Selanjutnya akan dianalisis laboratorium berupa analisis petrografi untuk menentukan komposisi mineral pada batuan, kemudian pada analisis XRF (*X-Ray Fluorescence*) dilakukan untuk menentukan kadar nikel laterit yang selanjutnya diolah menggunakan *software ArcGis 10.5*, kemudian diinterpolasi menggunakan metode *Inverse Distance Weight (IDW)*. Berdasarkan hasil analisis lapangan dan laboratorium karakteristik batuan pada daerah penelitian memiliki 3 tipe batuan yaitu satuan peridotit terserpentinisasi, satuan dunit terserpentinisasi dan satuan serpentinit. Ketiga batuan tersebut telah mengalami serpentinisasi dengan tingkat menengah - tinggi, mineral penyusunnya telah didominasi oleh serpentin, sedikit mineral opak, mineral piroksen, dan olivin. Berdasarkan hasil interpolasi metode IDW, penyebaran nikel laterit pada bagian barat daerah penelitian memiliki kadar nikel (Ni) 0,50 – 1,2%, sedangkan pada bagian selatan – timur daerah penelitian memiliki kadar nikel (Ni) 0,20 – 0,5%.

Kata kunci: batuan ultramafik; IDW; nikel laterit; serpentin.

Abstract

The geology of Sulawesi Island, especially the eastern arm, is known to be composed of extensive ultramafic rocks with mineral deposit potential, including nickel laterite. The research area is located at PT. X Siuna, Pagimana District, Banggai Regency, Central Sulawesi Province. This study purpose to determine the characteristics of ultramafic rocks in the study area and to determine the distribution of laterite nickel and the relationship between ultramafik rock characteristics in the study area. The research methods used are field research methods and laboratory analysis (Petrography and XRF Analysis). Field research was conducted to collect field data in the form of rock samples and soil samples where there were 9 stations for rock samples and 4 stations for soil samples. Furthermore, laboratory analysis in the form of petrographic analysis will be carried out to determine the mineral composition of the rock, then XRF (*X-Ray Fluorescence*) analysis is carried out to determine laterite

nickel content which is then processed using ArcGIS 10.5 software, then interpolated using the Inverse Distance Weight (IDW) method. Based on the results of field and laboratory analysis, the rock characteristics in the study area have 3 rock types, namely serpentinitized peridotite units, serpentinitized dunite units and serpentinite units. The three rocks have been serpentinitized with intermediate to strong intensity, the constituent minerals have been dominated by serpentine, opaque mineral, pyroxine, and olivine. Based on IDW interpolation results, the distribution of nickel laterite in the western part of the study area has nickel (Ni) content of 0.50 – 1.2%, while in the southern – eastern part of the research area it has nickel (Ni) content of 0.20 – 0.5%.

Keywords: IDW; nickel laterite; serpentine; ultramafic rock.

Pendahuluan

Nikel laterit adalah endapan yang berasal dari proses pelapukan (laterisasi) pada batuan induk (batuan ultramafik) dimana Indonesia merupakan negara beriklim tropis sehingga memungkinkan pelapukan tinggi dapat terjadi (Arifin dkk., 2015). Nikel merupakan salah satu logam *non-ferrous* yang banyak dibutuhkan pada berbagai aplikasi. Nikel memiliki ketahanan korosi, kekuatan, keuletan, dan konduktivitas termal serta listrik yang tinggi sehingga memungkinkan untuk digunakan pada berbagai keperluan. Penggunaan utama nikel adalah sebagai bahan baku untuk pembuatan baja tahan karat, logam dasar pada paduan berbasis nikel, *superalloy*, baterai, dan komponen-komponen paduan logam yang digunakan pada aplikasi suhu tinggi.

Meningkatnya kebutuhan nikel dunia disebabkan oleh naiknya kebutuhan baja tahan karat dan paduan berbasis nikel serta isu penggunaan mobil listrik di masa mendatang. Oleh karena itu, pencarian serta pengolahan cadangan nikel yang baru sangat dibutuhkan. Berdasarkan Peta Geologi Regional Lembar Luwuk (Rusmana dkk., 1993), daerah Siuna Kecamatan Pagimana Kabupaten Banggai termasuk dalam Formasi Kompleks Mafik yang tersusun atas batuan beku ultramafik, antara lain gabro, basalt, serpentinit, sedikit filit dan sekis. Batuan ultramafik tersebut tersingkap baik dipermukaan dan tersebar luas dari barat ke timur sehingga memungkinkan terjadinya proses laterisasi menghasilkan potensi endapan nikel laterit

yang melimpah. Namun penelitian dan laporan eksplorasi yang dilakukan terkait potensi nikel laterit pada daerah tersebut masih sangat kurang. Oleh karena itu penelitian ini dilakukan untuk mengetahui karakteristik batuan ultramafik dan penyebaran nikel laterit daerah Siuna Kecamatan Pagimana Kabupaten Banggai, sehingga dapat diketahui potensi nikel laterit pada daerah ini.

Geologi Regional

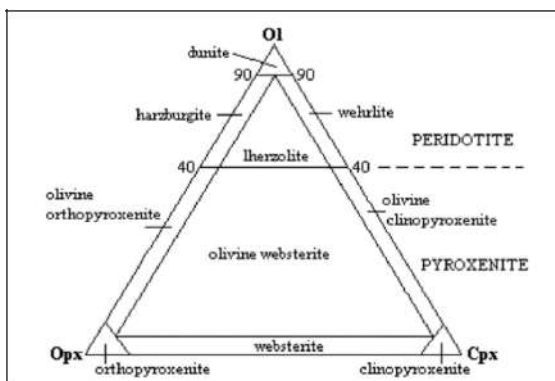
Kondisi geologi regional daerah Siuna termasuk dalam Blok Banggai-Sula dan Tukang Besi (Hall dan Wilson, 2000) (Gambar 1) dan dalam Peta Geologi Regional Lembar Luwuk pada Formasi Kompleks Mafik (Ku). Kompleks Mafik memiliki umur kapur dengan batuan penyusun dunit, websterit, harzburgit, lherzolit, serpentinit, basalt, wehrlit, dan gabro.

Harzburgit, mempunyai warna hijau hingga kehitaman, berbentuk pejal dan padat. Ada perhaluan mineral yang dijumpai setempat; terdiri dari mineral halus hingga kasar, yaitu olivin (sekitar 55%), dan piroksen (sekitar 35%), serta serpentin yang merupakan ubahan mineral piroksen dan olivin (sekitar 10%). Adapun blastomilonit dijumpai setempat dan porfiroblas dengan megakris piroksen yang *intergrowth* dengan massa dasar minolit.

Lherzolit, mempunyai warna hijau kehitam-hitamanan, berbentuk pejal dan padat, mempunyai tekstur berbutir sedang sampai kasar hipidiomorf namun dijumpai

Batuan ultramafik tersusun atas mineral primer olivine, piroksen dan hornblende yang mempunyai warna gelap dalam keadaan segar. Penguraian mineral-mineral primer tersebut yang menyebabkan unsur-unsur yang terbawa dalam larutan kemudian akan mengendap pada suatu tempat tertentu. Proses ini berjalan secara dinamis dan lambat, sehingga terbentuk profil laterit yang merupakan pengembangan dari tahapan laterisasi (Hasria dkk., 2020).

Berdasarkan klasifikasi penamaan batuan beku ultramafik menurut Streckeisen (1976) menjelaskan bahwa batuan intrusi dan ekstrusi dipisahkan. Klasifikasi ini membagi batuan berdasarkan kandungan mineraloginya, yang terbagi dalam tiga jenis mineral yaitu olivin, ortopiroksen, dan klinopiroksen (Gambar 2).



Gambar 2. Klasifikasi batuan ultramafik berdasarkan kandungan mineraloginya (Streckeisen, 1976).

Menurut Burger (1996), Komposisi kimia penyusun batuan ultrabasa adalah sebagai berikut: SiO_2 (38 – 45 %), MgO (30 – 45 %), $^*\text{Fe}_2\text{O}_3$ dan $^*\text{FeO}$ (7 – 10 %), Al_2O_3 (0,3 – 5,0 %), Cr_2O_3 (0,2 – 1,0 %), NiO (0,2 – 0,3%), CaO (0,01 – 0,02 %), MnO (0,10 – 0,30 %), NaO (0,00 – 1,00 %), H_2O (10–14 %). * total Fe diekspresikan dalam Fe_2O_3 dan FeO .

Jenis-jenis batuan ultramafik, antara lain:

1. Peridotit. Peridotit biasanya membentuk suatu kelompok batuan ultramafik yang disebut ofiolit, umumnya membentuk tekstur kumulus yang terdiri atas

harzburgit, lertzolit, wehrlit, dan dunit. Peridotit tersusun atas mineral – mineral holokristalin dengan ukuran medium – kasar dan berbentuk anhedral. Komposisinya terdiri dari olivin dan piroksen. Mineral asesorisnya berupa plagioklas, hornblende, biotit, dan garnet (Williams dkk., 1954).

2. Dunit. Menurut Williams dkk. (1954), bahwa dunit merupakan batuan yang hampir murni olivin (90 – 100%). Sedangkan Waheed (2002) menyatakan bahwa dunit memiliki komposisi mineral hampir seluruhnya adalah monomineralik olivin (umumnya magnesia olivin), mineral asesorisnya meliputi kromit, magnetit, ilmenit, dan spinel. Pembentukan dunit berlangsung pada kondisi padat atau hampir padat (pada temperatur yang tinggi) dalam larutan magma, dan sebelum mendingin pada temperatur tersebut, batuan tersebut siap bersatu membentuk massa olivin anhedral yang saling mengikat (Williams dkk., 1954). Terbentuknya batuan yang terdiri dari olivin murni (dunit) misalnya, membuktikan bahwa larutan magma (*liquid*) berkomposisi olivin memisah dari larutan yang lain (Wilson, 1989).

3. Serpentin. Serpentin merupakan batuan hasil alterasi hidrotermal dari batuan ultrabasa, dimana mineral – mineral olivin dan piroksen jika teralterasi akan membentuk mineral serpentin. Serpentin sangat umum memiliki komposisi batuan berupa monomineralik serpentin, batuan tersebut dapat terbentuk dari serpentinisasi dunit, peridotit (Waheed, 2002). Serpentin tersusun oleh mineral grup serpentin > 50 % (Williams dkk., 1954). Menurut Ringwood (1975), bahwa pada prinsipnya kerak serpentin dapat dihasilkan dari mantel oleh hidrasi dari mantel ultrabasa (mantel peridotit dan dunit) di bawah punggung tengah samudera (*Mid Ocean Ridge*) pada temperatur <500°C. Serpentin kemudian

terbawa keluar melalui migrasi litosfer. Serpentinisasi pada mineral olivine menurut Waheed (2002), bahwa Serpentin merupakan suatu pola mineral dengan komposisi $H_4Mg_3Si_2O_9$, terbentuk melalui alterasi hidrothermal dari mineral feromagnesia seperti olivin, piroksen dan amfibol. Umumnya alterasi pada olivin dimulai pada pecahan/retakan pada kristalnya, secepatnya keseluruhan kristal mungkin teralterasi dan mengalami pergantian. Menurut Waheed (2002), bahwa serpentinisasi pada olivin memerlukan penambahan air, pelepasan magnesita atau penambahan silika, pelepasan besi (Mg, Fe) pada olivin, konversi pelepasan besi dari bentuk ferrous (Fe^{2+}) ke ferri (Fe^{3+}) ke bentuk magnetit.

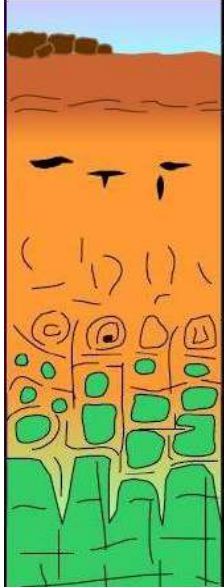
Nikel Laterit

Laterit berasal dari bahasa latin yaitu later, yang artinya bata (membentuk bongkah-bongkah yang tersusun seperti bata yang berwarna merah bata) (Jafar dkk., 2016). Laterit merupakan hasil proses pelapukan dan pengkayaan batuan mafic/ ultramafic di daerah tropis. Oleh karena itu komposisi kimia dan mineraloginya berbeda antara satu endapan dengan endapan lainnya. Nikel dalam bijih nikel laterit berasosiasi dengan besi oksida dan mineral silikat sebagai hasil substitusi *isomorphous* unsur besi dan magnesium dalam struktur kristalnya, sehingga secara kimia dan fisik, bijih nikel laterit dapat digolongkan menjadi dua jenis yaitu bijih jenis saprolit (silikat/ hidro silikat) dan jenis limonit (oksida/ hidroksida) (Subagja dkk., 2016).

Laterit dapat dijumpai terutama pada daerah yang beriklim tropis sampai subtropis yang memiliki suhu tinggi dan curah hujan yang cukup. Akibatnya laterit banyak ditemukan di daerah Indonesia (daerah Sulawesi), serta beberapa wilayah lain yang memiliki iklim tropis dan subtropis.

Bijih nikel laterit biasanya ditemukan pada daerah yang relatif dangkal yaitu berkisar di kedalaman 15 – 20 meter di bawah permukaan tanah. Bijih nikel laterit berkontribusi hingga 60 – 70% dari cadangan nikel dunia dan sebagian besar berada di negara-negara tropis dan subtropis seperti Indonesia, New Caledonia, Australia, Kuba, Brazil, Filipina dan Papua Nugini (Kose, 2010).

Menurut Kyle (2010), secara umum deposit nikel laterit dapat dibagi menjadi empat zona utama, yaitu zona *ferricrete*, zona limonit, zona saprolit dan *bedrock*. Keempat zona ini memiliki kandungan nikel, besi dan magnesita yang berbeda-beda (Gambar 3).

SCHEMATIC LATERITE PROFILE	COMMON NAME	APPROXIMATE ANALYSIS (%)			
		Ni	Co	Fe	MgO
	RED LIMONITE	<0.8	<0.1	>50	<0.5
	YELLOW LIMONITE	0.8 to 1.5	0.1 to 0.2	40 to 50	0.5 to 5
	TRANSITION	1.5 to 4		25 to 40	5 to 15
	SAPROLITE/ GARNIERITE/ SERPENTINE	1.8 to 3	0.02 to 0.1	10 to 25	15 to 35
	FRESH ROCK	0.3	0.01	5	35 to 45

Gambar 3. Ilustrasi profil laterit (Waheed, 2008)

1. Zona *ferricrete*. Zona *ferricrete* merupakan bagian paling atas dari deposit nikel laterit yang terdiri dari humus, oksida besi dan sisa organik. Lapisan ini berwarna coklat tua kehitaman dan bersifat gembur. Kandungan besi pada lapisan ini sangat tinggi (sekitar 60%) dengan komponen mineral utama berupa hematit. Nikel yang terkandung pada zona ini umumnya <0,6%. Biasanya lapisan ini

- menjadi *overburden* pada proses penambangan.
2. Zona limonit. Zona limonit berada di bawah zona *ferricrete*. Zona ini merupakan hasil pelapukan lebih lanjut dari batuan beku ultramafik. Lapisan ini berwarna merah kecoklatan dan mengandung oksida besi yang umumnya dalam bentuk senyawa *goethite* dan *hematite*. Pada zona limonit kandungan nikelnya berkisar antara 0,8 – 1,5%. Sebagian besar nikel berada dalam larutan padat dengan *goethite*. Pada zona limonit kandungan besi nya cukup tinggi berkisar antara 40 – 50%.
 3. Zona saprolite. Zona saprolit berada di bawah lapisan limonit. Zona saprolit merupakan zona dengan kandungan nikel paling tinggi. Mineral utama saprolit adalah *serpentine* ($Mg_3Si_2O_5(OH)_4$) dengan nikel menggantikan Mg untuk membentuk senyawa *garnierite* ($(Mg,Ni)_3Si_2O_5(OH)$). Kandungan nikel pada zona saprolit berkisar 1,5 – 3%.
 4. *Bedrock*. *Bedrock* merupakan zona terbawah. Zona ini terdiri dari bongkahan *peridotite* yang berukuran besar dan sudah tidak mengandung mineral ekonomis untuk diolah.

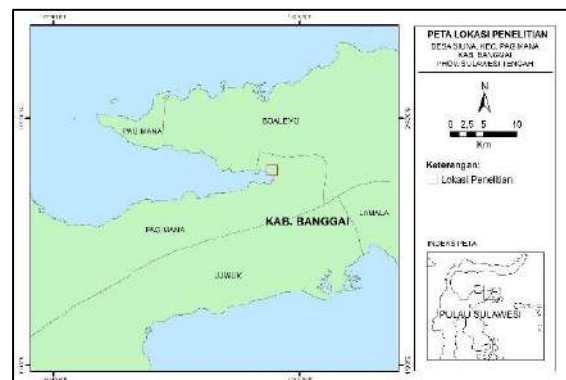
Dari keempat zona di atas, saat ini yang diolah untuk diambil nikelnya adalah zona limonit dan zona saprolit. Bijih saprolit dan bijih limonit memiliki karakter yang berbeda dan bervariasi dari satu tempat ketempat lain.

Metode Penelitian

Lokasi penelitian terletak pada Desa Siuna, Kecamatan Pagimana, Kabupaten Banggai, Provinsi Sulawesi Tengah (Gambar 4). Secara astronomis daerah penelitian terletak pada $122^{\circ}57'30'' - 122^{\circ}58'45''$ BT dan $0^{\circ}43'20'' - 0^{\circ}44'40''$ LS.

Metode penelitian yang digunakan adalah metode kualitatif dan kuantitatif yang

terdiri dari penelitian lapangan dan analisis laboratorium. Penelitian lapangan dilakukan untuk mengambil data lapangan (data primer) dan data sekunder. Data primer adalah data yang diperoleh secara langsung di lapangan, yaitu data singkapan, litologi dan geomorfologi. Pengambilan data primer terdiri dari 13 stasiun meliputi pengambilan sampel batuan sebanyak 9 stasiun dan pengambilan sampel tanah (*tespit*) sebanyak 4 stasiun serta pengamatan profil laterit sebanyak 1 stasiun. Adapun data sekunder berupa data kadar nikel laterit dari 6 titik lubang bor yang diperoleh dari PT. X. Data lubang bor yang berisi data mengenai posisi/koordinat lubang bor berupa *easting* dan *northing* yang berjumlah 6 titik bor. Data kadar nikel laterit yang berisi informasi kadar nikel pada tiap-tiap interval kedalaman 1-10 m pada masing-masing lubang bor.



Gambar 4. Peta lokasi penelitian.

Sampel batuan dan sampel tanah dari penelitian lapangan selanjutnya dipreparasi untuk analisis laboratorium. Sampel batuan dipreparasi menjadi sayatan tipis (*thin section*) kemudian dianalisis laoratorium berupa analisis petrografi untuk menentukan komposisi mineral pada batuan sehingga dapat diketahui karakteristik batuan ultramafik pada daerah penelitian. Sedangkan sampel tanah dianalisis menggunakan metode *X-Ray Fluorescence (Epsilon 3)* untuk menentukan kadar nikel (Ni). Data kadar dari penelitian lapangan kemudian diintegrasikan dengan data kadar nikel (Ni) dari PT. X. Selanjutnya data tersebut diolah menggunakan *software ArcGis 10.5*. dan

diinterpolasi dengan menggunakan metode *Inverse Distance Weight (IDW)* sehingga menghasilkan peta penyebaran nikel laterit di daerah penelitian.

Hasil dan Pembahasan

Geologi Daerah Penelitian

Daerah penelitian termasuk satuan bentangalam Perbukitan Rendah Curam Denudasional. Satuan bentang alam ini dicirikan dengan bentuk lereng miring, dengan bentuk puncak tumpul (Gambar 5).



Gambar 5. Foto citra satelit yang menunjukkan bentang alam daerah penelitian.

Analisis morfometri terhadap satuan ini memperlihatkan presentase kemiringan lereng 14 – 20%, yang termasuk dalam relief tersayat tajam. Satuan ini memiliki beda tinggi rata-rata 200 – 500 m. Adapun proses morfogenesis yang bekerja adalah morfogenesis denudasional berupa pelapukan tinggi sehingga menghasilkan *soil* yang tebal.

Litologi daerah penelitian terdiri atas batuan peridotit terserpentinisasi, dunit terserpentinisasi dan serpentin. Batuan ini dapat dibandingkan dengan Kompleks Mafik yang berumur Kapur (141-100 juta tahun lalu) (Rusmana dkk., 1993).

Penciri struktur geologi tidak dapat diidentifikasi di lapangan akibat pelapukan yang tinggi. Namun, berdasarkan struktur geologi regional daerah penelitian dilewati oleh Sesar Naik Balantak yang berarah menenggara. Struktur geologi yang terbentuk pada batuan dapat mempengaruhi proses pembentukan laterit. Adanya

rekahan dan patahan pada batuan akan mempermudah rembesan air masuk kedalam tanah dan mempercepat proses pelapukan pada batuan induk. Selain itu rekahan dan patahan dapat juga berfungsi sebagai tempat pengendapan larutan yang mengandung nikel laterit.

Karakteristik Batuan Ultramafik

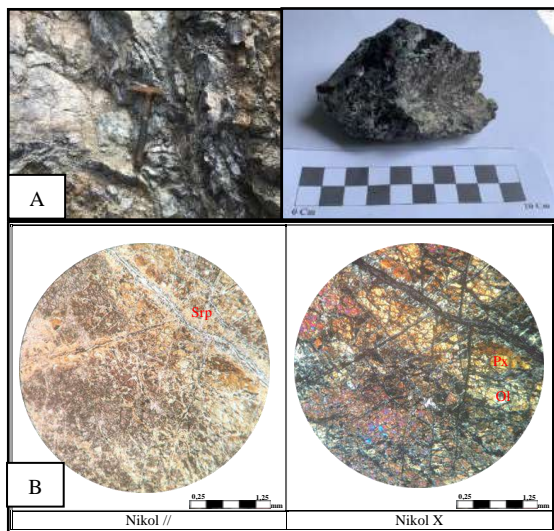
Berdasarkan penelitian lapangan dan analisis petrografi, daerah penelitian tersusun oleh batuan ultramafik yaitu peridotit terserpentinisasi, dunit terserpentinisasi dan *serpentine*. Karakteristik batuan ultramafik tersebut dapat dijelaskan berdasarkan pengamatan megaskopis dan mikroskopis.

Batuan peridotit terserpentinisasi dijumpai pada stasiun 6. Ciri fisik batuan yang teramati di lapangan ini memiliki ciri fisik berwarna abu-abu kehijauan dalam keadaan segar dan abu-abu kecoklatan dalam keadaan lapuk. Kristalinitas batuan ini adalah holokristalin, granularitas berupa faneritik, bentuk mineral subhedral – anhedral. Mineral yang dapat diamati yaitu piroksen, *olivine*, dan serpentin.

Sedangkan dari pengamatan mikroskopis dari sayatan tipis ST6 memperlihatkan warna absorpsi tidak berwarna, warna interferensi abu-abu kekuningan, kristalinitas holokristalin, granularitas faneritik, relasi equigranular, dan struktur massif. Bentuk mineral subhedral – anhedral, ukuran mineral 0,1 mm – 2,25 mm, komposisi mineral penyusun dari batuan ini ini adalah Piroksen 10%, Olivin 70 % dan Serpentin 20%. Batuan ini telah mengalami serpentinisasi tingkat rendah-menengah (Gambar 6).

Batuan dunit terserpentinisasi dijumpai pada stasiun 3, 5, 7 dan 8. Ciri megaskopis batuan ini memiliki ciri fisik berwarna abu-abu kehijauan dalam keadaan segar dan abu-abu kehitaman dalam keadaan lapuk. Kristalinitas batuan ini adalah hipokristalin, granularitas berupa porfiritik, bentuk

mineral subhedral – anhedral. Mineral yang dapat teramati adalah olivine dan serpentin. Sedangkan dari pengamatan mikroskopis dari sayatan tipis ST3, STA5, STA7 dan ST8 memperlihatkan warna absorpsi tidak berwarna, warna interferensi abu-abu kekuningan, kristalinitas holokristalin, granularitas faneritik, relasi equigranular, dan struktur massif. Bentuk mineral subhedral – anhedral, ukuran mineral 0,1 – 1,25 mm, komposisi mineral penyusun dari batuan ini ini adalah piroksen (2 – 5%), olivin (85 – 90%), serpentin (5 – 10%) dan mineral opak (2 – 3%). Batuan ini telah mengalami serpentinisasi tingkat rendah – menengah (Gambar 7).

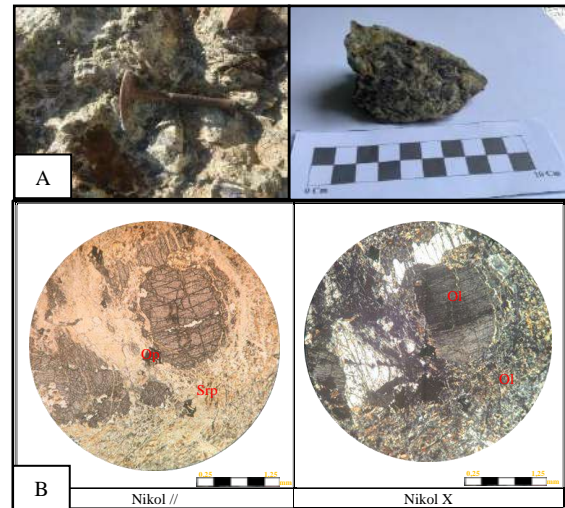


Gambar 6. A. Kenampakan singkapan peridotit terserpentinisasi pada stasiun 6. B. Fotomikrograf peridotit terserpentinisasi dari sayatan tipis ST6 yang menunjukkan komposisi mineral yaitu piroksen (px), olivin (ol) dan serpentin (srp).

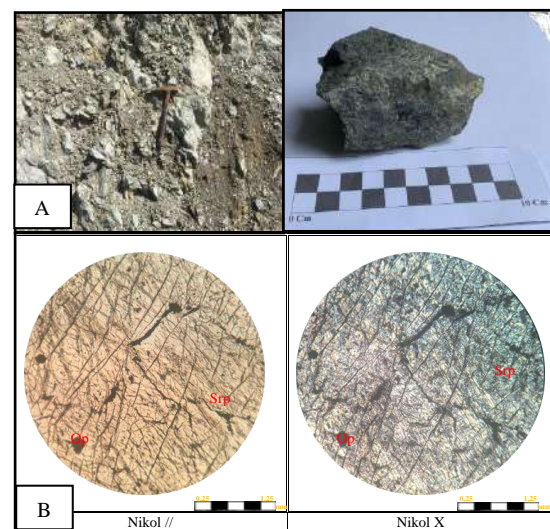
Batuan serpentinit dijumpai pada stasiun 1, 2, 4 dan PIT. Ciri megaskopis batuan ini memiliki ciri fisik berwarna abu-abu kehitaman dalam keadaan segar dan abu-abu kehijauan dalam keadaan lapuk. Memiliki tekstur granoblastik, serta memiliki struktur nonfoliasi, bentuk mineral subhedral – anhedral.

Sedangkan berdasarkan pengamatan mikroskopis dari sayatan tipis ST1, ST2, ST4 dan ST PIT memperlihatkan warna absorpsi kuning kehitaman dan warna interferensi abu-abu, bentuk mineral

subhedral-anhedral, ukuran mineral 0,1 – 2 mm. Memiliki tekstur granoblastik, serta memiliki struktur nonfoliasi. komposisi mineral penyusun dari batuan ini ini adalah piroksen (10 – 20%), Olivin (5-10%), serpentin (80 – 85%) dan Opak (5%). Batuan ini telah mengalami proses serpentinisasi tingkat menengah – tinggi (Gambar 8).



Gambar 7. A. Kenampakan singkapan dunit terserpentinisasi pada stasiun 3. B. Fotomikrograf peridotit terserpentinisasi dari sayatan tipis ST3 yang menunjukkan komposisi mineral yaitu olivin (ol), serpentin (srp), mineral opak (op).



Gambar 8. A. Kenampakan singkapan serpentinit pada stasiun 4. B. Fotomikrograf serpentinit dari sayatan tipis ST4 yang menunjukkan komposisi mineral yaitu serpentin (srp), mineral opak (op).

Pengaruh Serpentinisasi Terhadap Laterisasi

Berdasarkan analisis petrografi, tingkat serpentinisasi pada daerah penelitian telah mengalami proses serpentinisasi dengan tingkat menengah hingga tinggi (>50 – 85%). Mineral penyusunnya telah didominasi oleh mineral serpentin hingga 80, sedikit mineral opak dan sedikit mineral utama dari batuan peridotit tersebut yaitu olivin dan ada pula urat-urat vein yang terisi oleh mineral serpentin dan mineral opak. Batuan terserpentinisasi umumnya akan menjadi lebih magnetik. Peran atau kemunculan mineral serpentin pada batuan dasar penghasil laterit akan memberikan dampak yang sangat signifikan terhadap karakteristik tanah laterit yang ada. Kehadiran mineral serpentin pada batuan ultramafik menjadi suatu peranan penting dalam pembentukan karakteristik tanah laterit yang ada terutama pada pengkayaan unsur logam Ni pada tanah laterit. Proses serpentinisasi akan menyebabkan perubahan tekstur mineralogi dan senyawa pada mineral olivin pengurangan atau perubahan komposisi unsur Mg, Ni dan Fe pada mineralnya.

Penyebaran Nikel Laterit pada Lubang Bor

Penyebaran nikel laterit pada daerah penelitian digambarkan melalui pola distribusi nikel laterit baik dari data lubang bor maupun data analisis XRF. Pola distribusi nikel laterit pada daerah penelitian diperoleh dari PT. X pada 6 titik lubang bor dengan kedalaman 0-10 m (Gambar 9). Diperoleh kadar Ni pada DS_033 (0,2 – 0,4%), DS_42 (0,33 – 0,53%), DS_069 (0,30 – 0,79%), DS_78 (0,69 – 1,18%), DS_87 (0,28 – 0,67%) dan DS_091 (0,40 – 0,72%) (Tabel 1 dan Gambar 10).

Penyebaran nikel laterit pada daerah penelitian diperoleh melalui interpolasi dengan menggunakan metode *Inverse Distance Weight* (IDW) dengan menggunakan data sekunder (data perusahaan). Data-data tersebut diinput dalam aplikasi ArcGis 10.5 dengan menggabungkan data-data yaitu data

lubang bor, data koordinat dan data kadar Ni. Kemudian data tersebut diinterpolasi dengan menggunakan metode IDW untuk mengetahui peta sebaran nikel laterit pada daerah penelitian (Gambar 11).

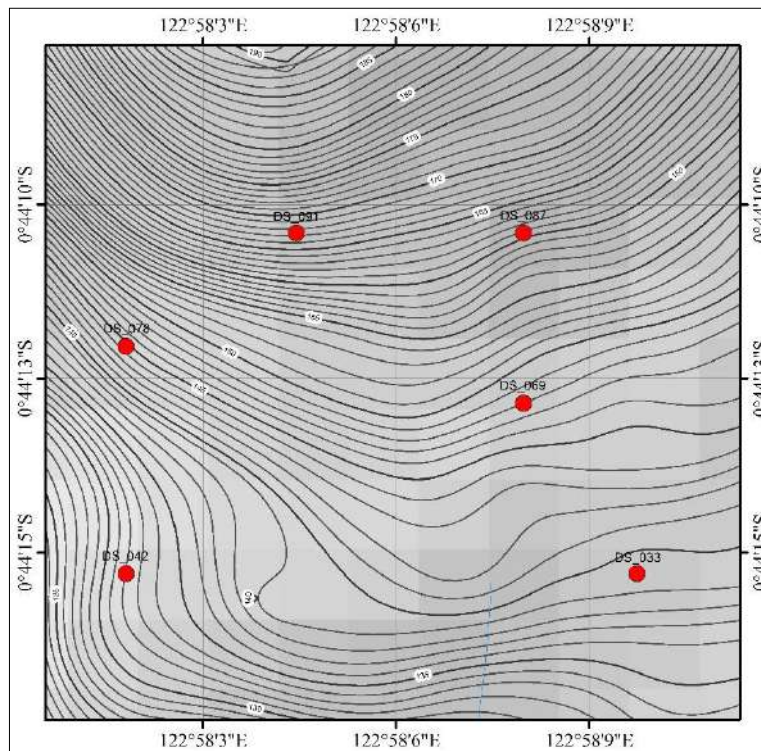
Penyebaran nikel laterit dipengaruhi oleh kemiringan lereng pada daerah penelitian. Semakin besar kemiringan lereng maka ketebalan endapan nikel laterit yang terbentuk akan semakin tipis. Sebaliknya, bila kemiringan lereng sedang sampai landai maka endapan nikel laterit yang terbentuk akan tebal dan penyebaran nikel laterit juga dipengaruhi oleh batuan asal yang dimana mineral serpentin yang berasal dari batuan asal yang terbentuk saat proses laterisasi dan membuat proses laterisasi menjadi lebih cepat. Saat batuan ultramafik menjadi batuan serpentinite, unsur Fe pada mineral akan lepas dan membentuk mineral baru yaitu magnetite. Proses laterisasi yang tujuannya memisahkan unsur Ni-Mg dari unsur Fe akan terbantu karena unsur Fe-nya sudah terpisah saat proses serpentinisasi terjadi.

Endapan nikel laterit yang berasal dari batuan serpentinite akan mengandung lebih banyak mineral serpentin dibandingkan dengan endapan nikel laterit yang berasal dari kelompok ultramafik yang tidak mengalami proses serpentinisasi.

Profil Nikel Laterit pada Lubang Bor

Profil nikel laterit pada lubang bor ditentukan berdasarkan kadar nikel (Ni) dari 6 lubang bor PT X. Profil laterit termasuk dalam zona limonite (red limonite dan yellow limonite), dimana *red limonite* terdapat pada hole id DS_033 kedalaman 1 – 10 m, DS_042 kedalaman 1 – 10 m, DS_069 kedalaman 1 – 10 m, DS_07 kedalaman 1 m, DS_087 kedalaman 1 – 10 m dan DS_091 kedalaman 1 – 10 m. Sedangkan *yellow limonite* hanya terdapat pada DS_078 kedalaman 2 – 10 m (Tabel 2). Dasar klasifikasi zona berdasarkan unsur kimia pada klasifikasi profil laterit

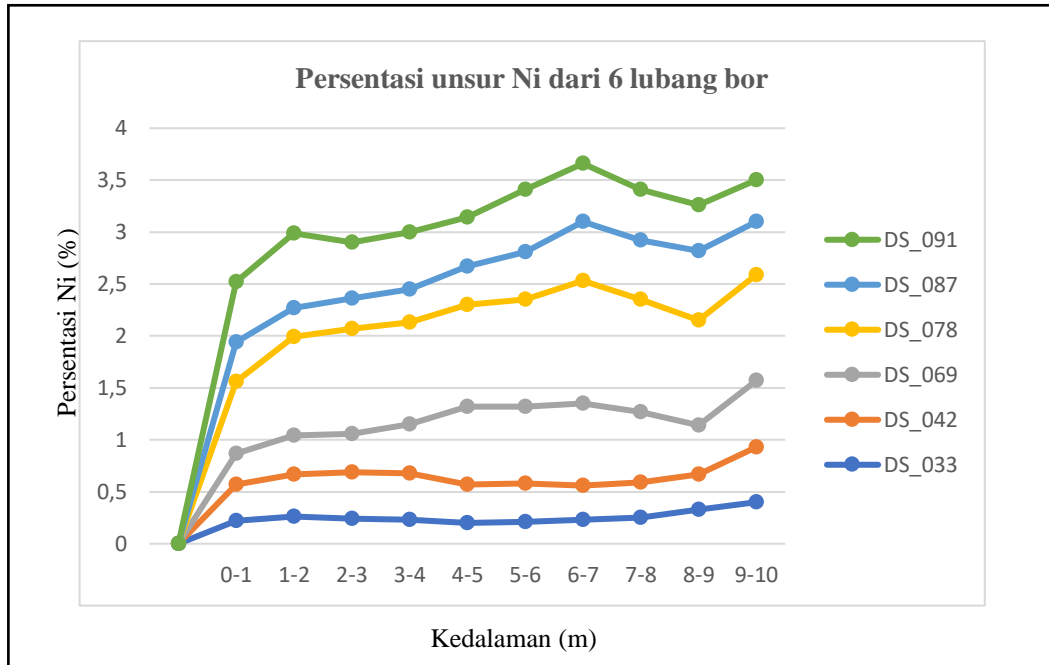
(Waheed, 2008) yaitu: Ni (< 0,8%) *red limonite* dan Ni (> 0,8%) *yellow limonite*.



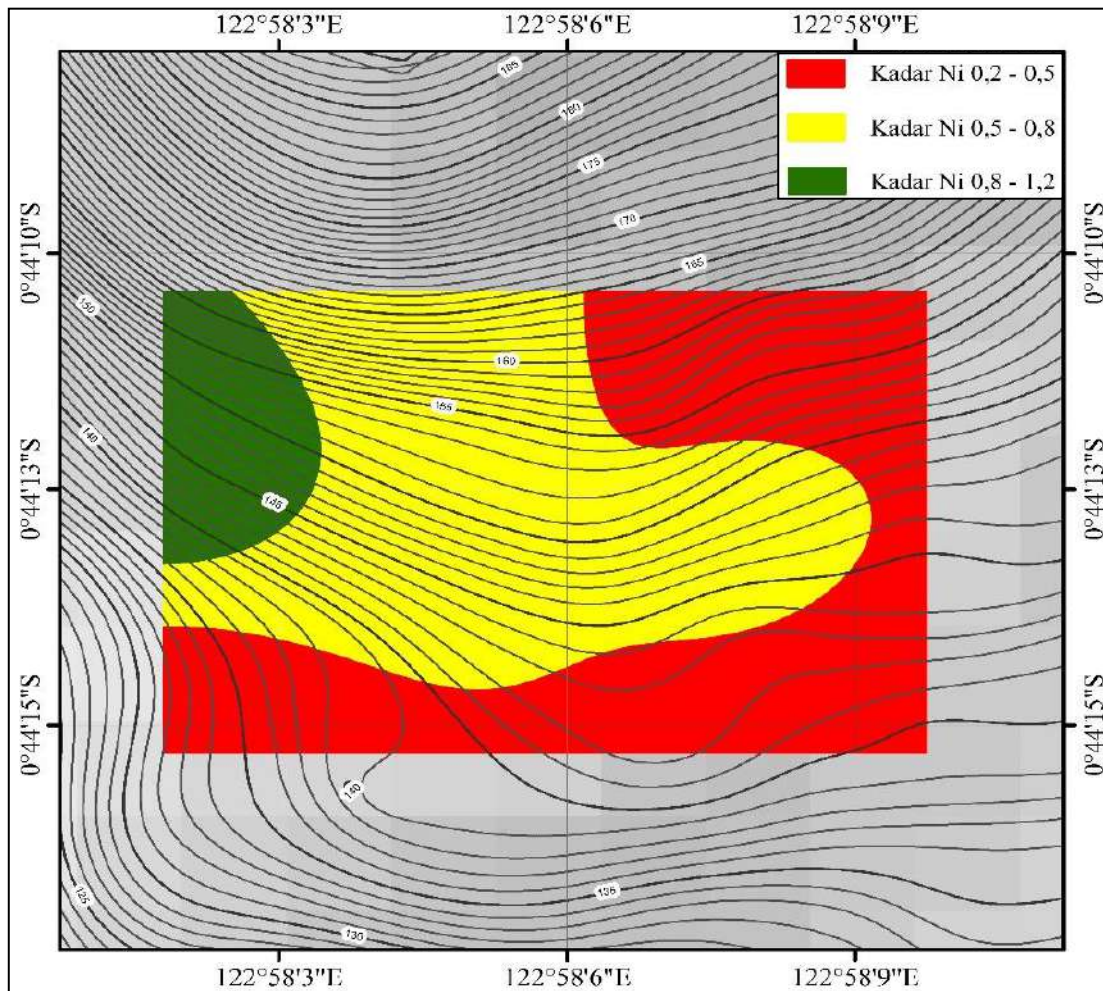
Gambar 9. Titik pengeboran pada daerah penelitian

Tabel 1. Persentasi unsur Ni (%) pada titik bor daerah penelitian berdasarkan analisis XRF.

Kedalaman (Meter)	Hole Id	Ni (%)	Hole Id	Ni (%)	Hole Id	Ni (%)
0-1	DS_033	0,22	DS_069	0,30	DS_087	0,38
1-2	DS_033	0,26	DS_069	0,37	DS_087	0,28
2-3	DS_033	0,24	DS_069	0,37	DS_087	0,29
3-4	DS_033	0,23	DS_069	0,47	DS_087	0,32
4-5	DS_033	0,20	DS_069	0,75	DS_087	0,37
5-6	DS_033	0,21	DS_069	0,74	DS_087	0,46
6-7	DS_033	0,23	DS_069	0,79	DS_087	0,57
7-8	DS_033	0,25	DS_069	0,68	DS_087	0,57
8-9	DS_033	0,33	DS_069	0,47	DS_087	0,67
9-10	DS_033	0,40	DS_069	0,64	DS_087	0,51
0-1	DS_042	0,35	DS_078	0,69	DS_091	0,58
1-2	DS_042	0,41	DS_078	0,95	DS_091	0,72
2-3	DS_042	0,45	DS_078	1,01	DS_091	0,54
3-4	DS_042	0,45	DS_078	0,98	DS_091	0,55
4-5	DS_042	0,37	DS_078	0,98	DS_091	0,47
5-6	DS_042	0,37	DS_078	1,03	DS_091	0,60
6-7	DS_042	0,33	DS_078	1,18	DS_091	0,56
7-8	DS_042	0,34	DS_078	1,08	DS_091	0,49
8-9	DS_042	0,34	DS_078	1,01	DS_091	0,44
9-10	DS_042	0,53	DS_078	1,02	DS_091	0,40



Gambar 10. Grafik persentasi unsur Ni dari 6 titik bor.



Gambar 11. Peta sebaran nikel laterit pada daerah penelitian berdasarkan hasil interpolasi menggunakan metode IDW.

Penyebaran Nikel Laterit pada Tespit

Pola distribusi nikel laterit pada daerah penelitian diperoleh dari hasil analisis XRF pada 4 titik tespit dengan kedalaman 0 – 2 m yang diperoleh kadar Ni pada TS_001 (0,46%), TS_002 (0,35%), TS_003 (0,44%) dan TS_004 (0,43%) (Tabel 3).

Tabel 3. Kadar Ni (%) pada lubang tespit dari analisis XRF.

Hole Id	Kedalaman (Meter)	Ni (%)
TS_001	0 - 2	0,46
TS_002	0 - 2	0,35
TS_003	0 - 2	0,44
TS_004	0 - 2	0,43

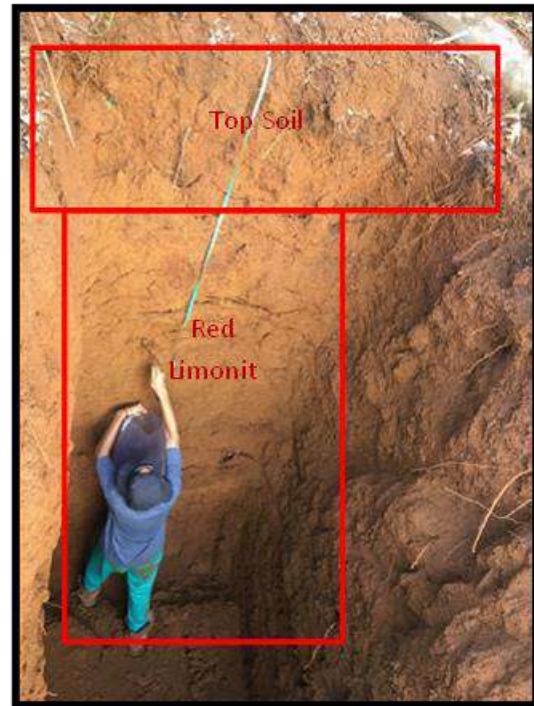
Pembuatan testpit dilakukan di bagian timur daerah penelitian pada stasiun 10 dan 12 dan barat pada stasiun 9 dan 11 dengan kedalaman 0 – 2 m. Berdasarkan kenampakan yang ada di lapangan berupa ciri-ciri dari setiap tespit, dapat diinterpretasi bahwa ada 2 zona laterit yang meliputi *top soil* dan *red limonite* (Gambar 12).

Top soil berwarna coklat tua, tanahnya gembur dan memiliki lapukan-lapukan akar kayu serta mempunyai kadar besi yang tinggi tapi kadar Ni yang rendah. Ketebalan rata-rata zona *top soil* berkisar 10 – 30 cm. *Red limonite* berwarna merah coklat atau kuning, lapisan kaya besi dari *limonite* menyelimuti seluruh area. Lapisan ini tipis pada daerah yang terjal, dan pada daerah datar lapisan ini tebal. Sebagian dari nikel pada zona ini hadir di dalam mineral *hematite*. Ketebalan rata-rata *red limonite* 0,3 – 1,5 meter.

Faktor-Faktor Penyebab Terbentuknya Nikel Laterit

Nikel laterit bukanlah endapan dengan sebaran yang homogen. Ketebalan total nikel laterit di pengaruhi oleh bentukan topografi. Pada topografi landai pada puncak bukit yang landai akan memiliki endapan nikel laterit yang relatif tipis dibandingkan dengan yang ada pada lereng bukit yang landai. Pada daerah yang datar,

yellow limonite akan lebih dominan sedangkan pada daerah yang miring, *red limonite* akan lebih dominan.



Gambar 12. Kenampakan profil endapan nikel laterit pada titik testpit 003 pada stasiun 11.

Berdasarkan struktur regional yang terdapat di daerah penelitian menyebabkan terjadinya rekahan pada Kompleks Mafik. Adanya rekahan pada batuan akan mempermudah rembesan air masuk kedalam tanah dan mempercepat proses pelapukan pada batuan induk.

Curah hujan yang tinggi daerah penelitian mempengaruhi jumlah air yang melewati tanah seiring dengan kecepatan *run off* air tanah akan meningkat dan waktu penyerapan air tanah akan berkurang sehingga mineral *hematite* sebagai penciri *red limonite* akan lebih banyak dari mineral *goetite* yang menjadi penciri *yellow limonite*. Penyerapan air yang lama membuat *limonite* pada daerah penelitian memberikan waktu yang cukup untuk mengubah mineral *hematite* (Fe_2O_3) yang memiliki cerat berwarna merah menjadi mineral *goetite* ($Fe_2O_3 + H_2O$) bercerat kuning kecoklatan. Hal ini menyebabkan *yellow limonite* pada daerah penelitian tersebut lebih sedikit dari pada *red limonite*.

Tabel 2. Profil nikel laterit pada titik bor daerah penelitian.

Titik Bor	Hole Id	Kedalaman (Meter)	Ni (%)	Zona	Titik Bor	Hole Id	Kedalaman (Meter)	Ni (%)	Zona	Titik Bor	Hole Id	Kedalaman (Meter)	Ni (%)	Zona
1	DS_033	0-1	0,22	<i>Red Limonite</i>	2	DS_042	0-1	0,35	<i>Red Limonite</i>	3	DS_069	0-1	0,30	<i>Red Limonite</i>
	DS_033	1-2	0,26			DS_042	1-2	0,41			DS_069	1-2	0,37	
	DS_033	2-3	0,24			DS_042	2-3	0,45			DS_069	2-3	0,37	
	DS_033	3-4	0,23			DS_042	3-4	0,45			DS_069	3-4	0,47	
	DS_033	4-5	0,20			DS_042	4-5	0,37			DS_069	4-5	0,75	
	DS_033	5-6	0,21			DS_042	5-6	0,37			DS_069	5-6	0,74	
	DS_033	6-7	0,23			DS_042	6-7	0,33			DS_069	6-7	0,79	
	DS_033	7-8	0,25			DS_042	7-8	0,34			DS_069	7-8	0,68	
	DS_033	8-9	0,33			DS_042	8-9	0,34			DS_069	8-9	0,47	
	DS_033	9-10	0,40			DS_042	9-10	0,53			DS_069	9-10	0,64	
Titik Bor	Hole Id	Kedalaman (Meter)	Ni (%)	Zona	Titik Bor	Hole Id	Kedalaman (Meter)	Ni (%)	Zona	Titik Bor	Hole Id	Kedalaman (Meter)	Ni (%)	Zona
4	DS_078	0-1	0,69	<i>Red Limonite</i>	5	DS_087	0-1	0,38	<i>Red Limonite</i>	6	DS_091	0-1	0,58	<i>Red Limonite</i>
	DS_078	1-2	0,95			DS_087	1-2	0,28			DS_091	1-2	0,72	
	DS_078	2-3	1,01			DS_087	2-3	0,29			DS_091	2-3	0,54	
	DS_078	3-4	0,98			DS_087	3-4	0,32			DS_091	3-4	0,55	
	DS_078	4-5	0,98			DS_087	4-5	0,37			DS_091	4-5	0,47	
	DS_078	5-6	1,03			DS_087	5-6	0,46			DS_091	5-6	0,60	
	DS_078	6-7	1,18			DS_087	6-7	0,57			DS_091	6-7	0,56	
	DS_078	7-8	1,08			DS_087	7-8	0,57			DS_091	7-8	0,49	
	DS_078	8-9	1,01			DS_087	8-9	0,67			DS_091	8-9	0,44	
	DS_078	9-10	1,02			DS_087	9-10	0,51			DS_091	9-10	0,40	

Mineral serpentin yang berasal dari batuan asal yang terbentuk saat proses laterisasi. Mineral serpentin juga membuat proses laterisasi menjadi lebih cepat. Saat batuan ultramafik menjadi batuan serpentinite, unsur Fe pada mineral akan lepas dan membentuk mineral baru yaitu magnetite. Proses laterisasi yang tujuannya memisahkan unsur Ni-Mg dari unsur Fe akan terbantu karena unsur Fe-nya sudah terpisah saat proses serpentinisasi terjadi. Endapan laterit yang berasal dari batuan serpentinite akan mengandung lebih banyak mineral serpentin dibandingkan dengan endapan nikel laterit yang berasal dari kelompok ultramafik yang tidak mengalami proses serpentinisasi.

Kesimpulan

Pertama, karakteristik batuan pada daerah penelitian memiliki 3 tipe batuan yang pertama satuan peridotit terserpentinisasi, Kedua satuan dunit terserpentinisasi, dan yang ketiga satuan serpentin. Ketiga batuan tersebut telah mengalami serpentinisasi dengan intensitas kuat, mineral penyusunnya telah di dominasi oleh mineral serpentin, sedikit mineral opak, sedikit mineral piroksen, dan sedikit mineral utama dari ketiga batuan tersebut yaitu olivin. Kedua, berdasarkan hasil interpolasi IDW, penyebaran nikel laterit pada bagian barat daerah penelitian dengan 6 titik bor pada kedalaman 0 – 10 m memiliki kadar nikel 0,50 – 1,2 %, sedangkan pada bagian selatan – timur daerah penelitian memiliki kadar nikel 0,20 – 0,5%.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Fakultas Teknik, Universitas Tadulako yang telah memberikan pembiayaan dari hibah penelitian DIPA. Ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya juga disampaikan kepada LPPM Universitas Tadulako yang telah memberikan kesempatan dalam

melaksanakan salah satu tridarma yaitu penelitian dan pengabdian kepada masyarakat.

Daftar Pustaka

- Arifin, M., Widodo, S. dan Anshariah. 2015. *Karakteristik Endapan Nikel Laterit Pada Blok X PT. Bintang Delapan Mineral Kecamatan Bahodopi Kabupaten Morowali Provinsi Sulawesi Tengah*. Jurnal Geomine. 1(1), pp.37-45. <https://doi.org/10.33536/jg.v1i1.7>
- Burger, P.A. 1996. *Origins and Characteristic of Lateritic Deposits*. In: *Proceeding nickel'96* pp.179 – 183, Melbourne: The Australasian Institute of Mining and Metallurgy.
- Hall, R. dan Wilson, M.E. 2000. *Neogene sutures in eastern Indonesia*. Journal of Asian Earth Sciences. 18(6), pp.781-808. [https://doi.org/10.1016/S1367-9120\(00\)00040-7](https://doi.org/10.1016/S1367-9120(00)00040-7)
- Hasria., Hasan, E.S., Deniyatno, Salihin, L.M.I. dan Asdiwam. 2020. *Characteristics of Ultramafic Igneous Rock Ophiolite Complex in Asera District, North Konawe Regency, Southeast Sulawesi Province, Indonesia*. Journal of Geoscience, Engineering, Environment, and Technology. 5(3), pp.108-112. <https://doi.org/10.25299/jgeet.2020.5.3.4113>
- Hutabarat, J. dan Ismawan. 2015. *Tinjauan Keterdapatan Batuan Ultramafik dalam Komplek Ophiolit Ciletuh di Daerah Ciletuh, Jawa Barat*. Bulletin of Scientific Contribution: Geology. 13(3), pp.213-220. <https://jurnal.unpad.ac.id/bsc/article/view/8408>
- Jafar, N., Erwin, M.A. dan Djamaluddin. 2016. *Analisis Perbandingan Kandungan Unsur Nikel (Ni) dan Besi (Fe) dari Data Titik Bor dengan Realisasi Penambangan*. Jurnal

- Geomine. 4(2), pp.63-66.
<https://doi.org/10.33536/jg.v4i2.53>
- Kose, S. 2010. *Hydrometallurgical Processing of Lateritical Nickel Ores*. Master Thesis, Middle East Technical University.
- Kyle, J. 2010. *Nickel laterite processing technologies – where to next?* In: ALTA 2010 Nickel/Cobalt/Copper Conference, 24 – 27 May, Perth, Western Australia.
- Ringwood, A.E. 1975. *Composition And Petrology of The Earth's Mantle*. London, New York, and Sydney : McGraw-Hill, Inc.
- Rusmana, E., Koswara, A. dan Simandjuntak, T.O. 1993. *Peta Geologi Lembar Luwuk 215 – 231 skala 1:250.000*. Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Subagja, R. Prasetyo, A.B. Sari, W.M. 2016. *Peningkatan Kadar Nikel Dalam Laterit Jenis Limonit Dengan Cara Peletasi, Pemanggangan Reduksi Dan Pemisahan Magnet Campuran Bijih, Batu Bara, Dan Na₂SO₄*. Jurnal Metalurgi. 31(2), pp. 103-115.
<https://ejournalmaterialmetalurgi.lipi.go.id/index.php/metalurgi/article/view/156>
- Streckeisen, A.L. 1976. *Classification and Nomenclature of Igneous Rocks*. N. Jahrb. Miner. Abh., 107, 144-240.
- Waheed, A. 2002. *Nickel Laterites-A Short Course: Chemistry, Mineralogy, and Formation of Nickel Laterites*. Sorowako, South Sulawesi: PT. International Nickel Indonesia.
- Waheed, A. 2008. *Laterite : Fundamental of Chemistry, Mineralogy, Weathering Processes, formation and exploration*. Sorowako, South Sulawesi: PT. International Nickel Indonesia.
- Williams, H., Turner, F.J. and Gilbert, M. 1954. *Petrography*. San Francisco: W.H. Freeman and Co.
- Wilson, M. 1989. *Igneous Petrogenesis : a Global Tectonoc Approach*. Springer Nature Switzerland AG.

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

