

**Vol. 5 No. 1**  
**April 2021**

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

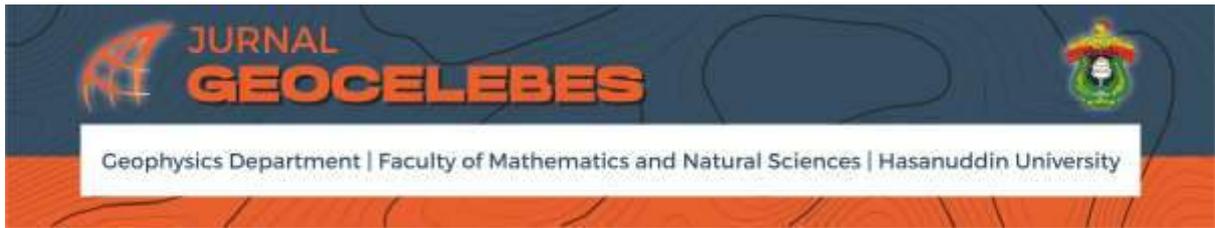


# **Jurnal**

# **Geocelebes**



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



## **Volume 5 Nomor 1, April 2021**

P-ISSN: 2579-5821  
E-ISSN: 2579-5546

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

# JURNAL GEOCELEBES

**Volume 5 Nomor 1, April 2021**

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 4

Dewan Editor / Editorial Board:

Saaduddin/ Universitas Hasanuddin – University of Leeds  
Jamaluddin/ Sekolah Tinggi Teknologi Migas Balikpapan  
Sakka / Universitas Hasanuddin  
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](mailto: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 5, Nomor 1, April 2021

ISSN: 2579 – 5821 (Cetak)

ISSN: 2579 – 5546 (Online)

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

Halaman Judul .....	i
Dewan Redaksi .....	ii
Daftar Isi .....	iii
Kata Pengantar .....	v
<b>Penentuan Kedalaman Lapisan <i>Bedrock</i> di Kawasan Reklamasi Kota Makassar dengan Metode Geolistrik Resistivitas Konfigurasi Wenner-Schlumberger .....</b>	<b>1</b>
<i>Syamsuddin, Titien Haryani, Riyadi, Marniati Ramli, Sabrianto Aswad</i>	
<b>Analisis Pengaruh Substitusi CO<sub>2</sub> dan <i>Brine</i> pada Kecepatan Seismik Menggunakan Persamaan Gassmann Berbasis Matlab .....</b>	<b>9</b>
<i>Khusnul Nur Rochmah, Sekar Fajar Lestari, Aussie Anindya Nari Pinandhita, Ferdian Yoga Aditama, Nadhil Abyan Hilmy, Widya Utama</i>	
<b>Pendugaan Ketebalan Lapisan Gambut di Sekitar Jalan Reformasi Kota Pontianak Menggunakan Metode Geolistrik Tahanan Jenis .....</b>	<b>16</b>
<i>Rizki Fajania, Yudha Arman, Muhardi</i>	
<b>Analisis Model Penanganan Garis Pantai di Pantai Ujung Pandaran Kabupaten Kotawaringin Timur .....</b>	<b>23</b>
<i>Sakka, Baharuddin</i>	
<b>Pengaruh Dinamika Oseanografi Terhadap Ekosistem <i>Mangrove</i> di Desa Pagatan Besar .....</b>	<b>35</b>
<i>Ira Puspita Dewi, Nursalam, Dimas Widyanata</i>	
<b>Analisis Kestabilan Lereng <i>Highwall</i> Menggunakan Metode <i>Bishop Simplified</i> pada Pit 13 PT Belayan Internasional Coal Kecamatan Marangkayu Kabupaten Kutai Kartanegara .....</b>	<b>46</b>
<i>Muhammad Amin Syam, Heriyanto, Hamzah Umar</i>	
<b>Geologi dan Mekanisme Struktur Geologi di Desa Perjiwa Kecamatan</b>	

<b>Tenggarong Seberang Kabupaten Kutai Kartanegara Provinsi Kalimantan Timur</b> -----	55
<i>Resty Intan Putri, Diana Rahmawati, Puspa Indah Rindawati</i>	
<b>Estimasi Sumberdaya Batubara Seam 1 Menggunakan Metode Circular 891 USGS Daerah Tanah Merah, Kota Samarinda Provinsi Kalimantan Timur</b> -----	63
<i>Muhammad Dahlan Balfas, Retno Anjarwati, Koeshadi Sasmito</i>	
<b>Karakteristik Tanah Tempat Pengolahan Sampah Akhir di Kecamatan Kota Bangun Kutai Kartanegara</b> -----	72
<i>Bambang Harimei, Muhammad Altin Massinai, Samsu Arif</i>	
<b>Pemetaan Daerah Rawan Longsor Menggunakan Metode Pencitraan Satelit di Kabupaten Enrekang Sulawesi Selatan</b> -----	80
<i>Paisa, Muh Said L, Ayusari Wahyuni</i>	
<b>Relokasi Gempa Bumi Swarm di Pesawaran-Lampung, Januari 2021</b> -----	91
<i>Izaina Nurfitriana, Adhi Wibowo, Rudianto</i>	

## KATA PENGANTAR

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

Pada edisi Volume 5 Nomor 1 April 2021 terdapat sebelas artikel dengan satu artikel diantaranya telah dipresentasikan pada Seminar Nasional Geofisika 2019 yang telah diselenggarakan oleh Departemen Geofisika FMIPA Universitas Hasanuddin pada tanggal 26 Oktober 2019. Artikel yang diterbitkan yang secara umum membahas implementasi peran geosains khususnya geofisika dalam eksplorasi sumber daya alam dan bidang lainnya yang sesuai dengan fokus dan cakupan bidang yang diterbitkan oleh Jurnal Geocelebes. Jurnal Geocelebes menerima partisipasi dari akademisi, peneliti, praktisi industri, mahasiswa dan lainnya di bidang geosains baik dalam perspektif teoretik maupun aplikasi, baik yang berkaitan tentang bawah permukaan (litosfer) maupun atas permukaan (atmosfer), yang tentunya akan melalui serangkaian proses yaitu *submitting*, *editing*, dan *reviewing*.

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

Makassar, April 2021

Dewan Redaksi Jurnal Geocelebes

# **PENENTUAN KEDALAMAN LAPISAN *BEDROCK* DI KAWASAN REKLAMASI KOTA MAKASSAR DENGAN METODE GEOLISTRIK RESISTIVITAS KONFIGURASI WENNER-SCHLUMBERGER**

Syamsuddin, Titien Haryani\*, Riyadi, Marniati Ramli, Sabrianto Aswad

Departemen Geofisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin, Makassar, Indonesia

\*Corresponding author. Email: [titienharyani1427@gmail.com](mailto:titienharyani1427@gmail.com)

Manuscript received: 11 November 2020; Received in revised form: 9 February 2021; Accepted: 23 February 2021

## **Abstrak**

Lapisan tanah suatu daerah tergantung dari kondisi lapisan geologi dan iklim. Hal tersebut mengakibatkan kondisi struktur lapisan tanah di daerah reklamasi Kota Makassar beraneka ragam. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi batuan dasar (*bedrock*) berdasarkan nilai resistivitas batuan di kawasan reklamasi Kota Makassar. Metode yang digunakan dalam akuisisi data adalah metode geolistrik resistivitas Konfigurasi Wenner-Schlumberger sebanyak dua lintasan. Panjang masing - masing lintasan yaitu 150 meter dengan jarak antar elektroda 5 meter. Data pengukuran menggunakan perangkat lunak Res2DInv sehingga menghasilkan penampang 2D data resistivitas batuan serta Pseudo 3D untuk menghasilkan penampang 3D. Hasil pengolahan data menunjukkan lapisan *bedrock* berada pada kedalaman antara 35 m – 52,4 m dengan nilai resistivitas pada lintasan 1 sekitar 16,5 – 42,4  $\Omega\text{m}$  dan pada lintasan 2 sekitar 35 – 110  $\Omega\text{m}$ . Dari hasil penampang resistivitas diduga terdapat tiga lapisan. Lapisan pertama berupa sedimen reklamasi pada kedalaman bervariasi 1,25 – 12,9 meter, lapisan kedua didominasi oleh pasir sampai *silty sand* (pasir berlanau) pada kedalaman bervariasi 20,5 – 32,6 meter, serta lapisan ketiga dengan kedalaman 32,6 – 52,4 meter diinterpretasikan sebagai lapisan *bedrock* berupa batugamping koral dengan rentang nilai resistivitas 12,3 – 110  $\Omega\text{m}$ .

**Kata Kunci:** *Bedrock*; Reklamasi Kota Makassar; Resistivitas; Wenner-Schlumberger.

## **Abstract**

The soil layer of an area depends on the condition of geology layers and climate. This resulted in the variation of condition of soil layer structure in the reclamation area of Makassar. The research aims to identify bedrock based on rock resistivity value in Makassar City reclamation area. The method used in data acquisition is the geoelectric resistivity method of the Wenner-Schlumberger configuration by as many as two lines. The line length is 150 m with a distance between the electrodes 5 m. The measurement data obtained by using the RES2DINV software resulted in a 2D cross-section of rock resistivity data as well as Pseudo 3D to produce a 3D cross section. The results of data processing show that the bedrock layer is at a depth between 35 – 52.4 m with a resistivity value in the first line around 16.5 - 42.4  $\Omega\text{m}$  and the second line is 35 – 110  $\Omega\text{m}$ . From the results of the resistivity section, it is suspected that there are three layers. The first layer is reclaimed sediment at varying

depths of 1.25 – 12.9 meters, the second layer is dominated by sand to silty sand at varying depths of 20.5 – 32.6 meters, and the third layer with a depth of 32.6 – 52.4 meters is interpreted as a bedrock layer in the form of coral limestone with a resistivity value range 12.3 – 110  $\Omega$ m.

**Keywords:** Layer Bedrock; Reclamation Makassar City; Resistivity; Wenner-Schlumberger.

## Pendahuluan

Metode geolistrik adalah salah satu metode geofisika yang didasarkan pada penerapan konsep kelistrikan pada masalah kebumihan. Untuk mengetahui secara optimal kondisi bawah permukaan sebagai landasan dalam melakukan reklamasi diperlukan suatu metode yang efektif agar dapat memetakan struktur bawah permukaan bumi berdasarkan variasi nilai resistivitas di daerah reklamasi maka dimanfaatkanlah metode geolistrik. Metode ini dapat mengetahui batuan dasar bawah permukaan yang nantinya dapat membantu masyarakat maupun pemerintah Kota Makassar sebagai acuan rancangan pembangunan yang cukup matang di kawasan reklamasi agar kerusakan dini dapat diminimalisir.

## Geologi Regional

Kota Makassar berupa daratan pantai yang dijumpai di sebelah barat dan utara poros jalan utama Kota Makasar – Kabupaten Maros dan berbatasan langsung dengan daratan sungai. Batuan gunungapi Formasi Camba yang terdiri dari batuan breksi, lava, konglomerat, dan tufa yang mendominasi lapisan batuan dasar (*bedrock*) di Kota Makassar.

Berdasarkan peta geologi, Kota Makassar secara umum disusun oleh batuan berikut:

1. Satuan Alluvial, penyebaran satuan batuan alluvial meliputi sekitaran dataran sampai pantai dengan luas

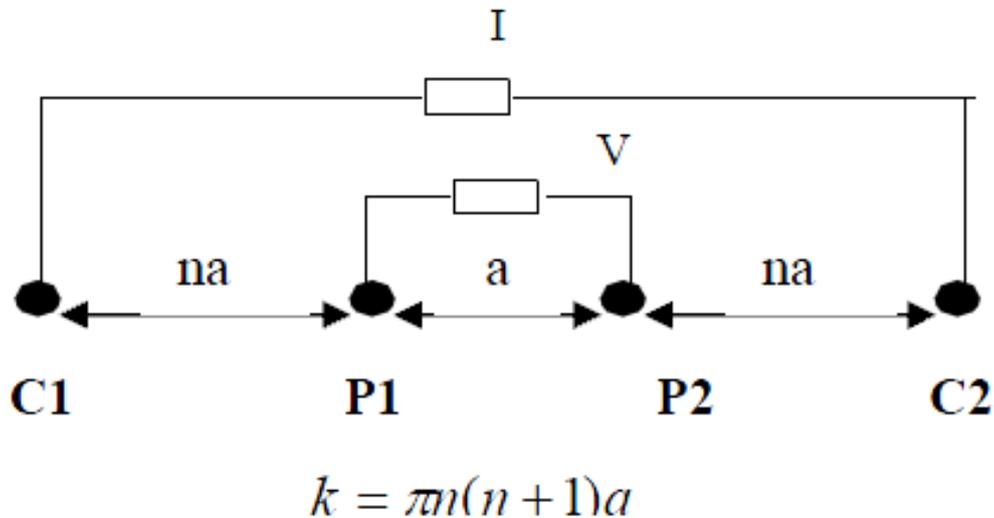
11.693,83 ha hampir di seluruh wilayah Kota Makassar.

2. Satuan Basal, batuan ini tersebar di dua wilayah kecamatan yaitu Kecamatan Biringkanaya dengan luas 25,027 ha dan Kecamatan Tamalate dengan luas sekitar 3,201 ha.
3. Batuan sedimen laut berselingan batuan gunungapi Bawakaraeng, dan Formasi Camba yang terdiri dari konglomerat, lava, tufa dan breksi hasil erupsi dari Gunung api Batturappe – Cindako. Penyebaran satuan batuan breksi dan tufa terdapat di wilayah Kecamatan Tamalate, Kecamatan Biringkanaya, serta wilayah Kecamatan Pannakukang (Soehaimi, 2009).

Daerah pantai Kota Makassar tersusun atas batuan yang berasal dari Formasi Camba berupa satuan batu pasir, tufa, breksi serta batu lempung yang berumur Miosen tengah sampai Miosen akhir.

## Geolistrik Resistivitas Konfigurasi Wenner-Schlumberger

Wenner-Schlumberger merupakan suatu gabungan antara Konfigurasi Wenner dan Schlumberger. Konfigurasi Wenner-Schlumberger juga memiliki cakupan horizontal sedikit lebih baik dibandingkan dengan Konfigurasi Wenner. Pada Gambar 1 menunjukkan susunan konfigurasi elektroda pada akuisisi data Wenner-Schlumberger (Telford et al., 1990).



Gambar 1. Susunan elektroda Konfigurasi Wenner-Schlumberger.

Hukum Ohm menyatakan bahwa beda potensial yang timbul di ujung-ujung suatu medium berbanding lurus dengan arus listrik yang mengalir pada medium dan berbanding terbalik dengan luas penampangnya. Formula dari kedua pernyataan Ohm di atas, dapat dituliskan sebagai berikut (Pratama dkk., 2019):

$$V \propto I \text{ atau } V = I \cdot R \quad (1)$$

$$R \propto \frac{L}{A} \text{ atau } R = \rho \frac{L}{A} \quad (2)$$

Perhitungan resistivitas semu pada tahanan jenis menggunakan persamaan sebagai berikut (Gerkens, 1988):

$$\rho = K \frac{\Delta V}{I} \quad (3)$$

dengan K adalah faktor geometri dari konfigurasi elektroda yang digunakan di lapangan.

Berdasarkan jarak spasi antar elektroda, faktor geometri Konfigurasi Wenner-Schlumberger menjadi sebagai berikut (Saputra dkk., 2020):

$$K = \pi (n + 1) a \quad (4)$$

sehingga *Apparent Resistivity* untuk Konfigurasi Wenner-Schlumberger adalah

$$\rho = \pi (n + 1) a \frac{\Delta V}{I} \quad (5)$$

keterangan:

$\rho$  = *Apparent Resistivity* ( $\Omega\text{m}$ )

$a$  = Jarak spasi elektroda (m)

$I$  = Arus (A)

$\Delta V$  = Beda potensial (V)

## Metodologi Penelitian

### Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian dan akuisisi data geolistrik resistivitas dilakukan pada hari Kamis, 16 Juli 2020 dengan cara pengamatan dan pengukuran secara langsung di kawasan reklamasi Kota Makassar tepatnya di *Center Point of Indonesia* (CPI), Ciputra Yasmin (Gambar 2).

### Peralatan Penelitian

Pada penelitian ini menggunakan alat berupa satu set alat geolistrik *Multi Channel Geomative*, elektroda (*stainless steel*), kabel, roll meter, palu geologi, GPS (*Global Positioning System*), aki, kompas, alat safety, serta perangkat lunak berupa *software Res2DInv*, *Oasis Montaj* dan *Google EarthPro*, *Microsoft Excel*.



Gambar 2. Peta Lintasan Pengukuran.

### Rancangan Penelitian

Tahapan penelitian, seperti pada Gambar 3, meliputi studi literatur berupa peta geologi dan referensi lainnya, penentuan lokasi dan survei lapangan, serta penentuan parameter lapangan. Untuk memperoleh gambaran struktur bawah permukaan secara lateral digunakan Konfigurasi Wenner-Schlumberger. Pada masing – masing elektroda digunakan jarak sebesar 5 m pada satu lintasan. Data yang diperoleh pada alat *resistivity* meter berupa nilai arus dan tegangan serta dilakukan pengukuran koordinat dan elevasi di lapangan.

Untuk memperoleh nilai resistivitas semu (*Apparent Resistivity*), dilakukan proses pengolahan data di Microsoft Excel dengan memasukkan nilai arus, tegangan dan faktor geometri. Data tersebut digabungkan dengan data topografi, kemudian diolah pada *software* Res2DInv dengan *tools* inversi *least square* sehingga memperoleh hasil penampang resistivitas.

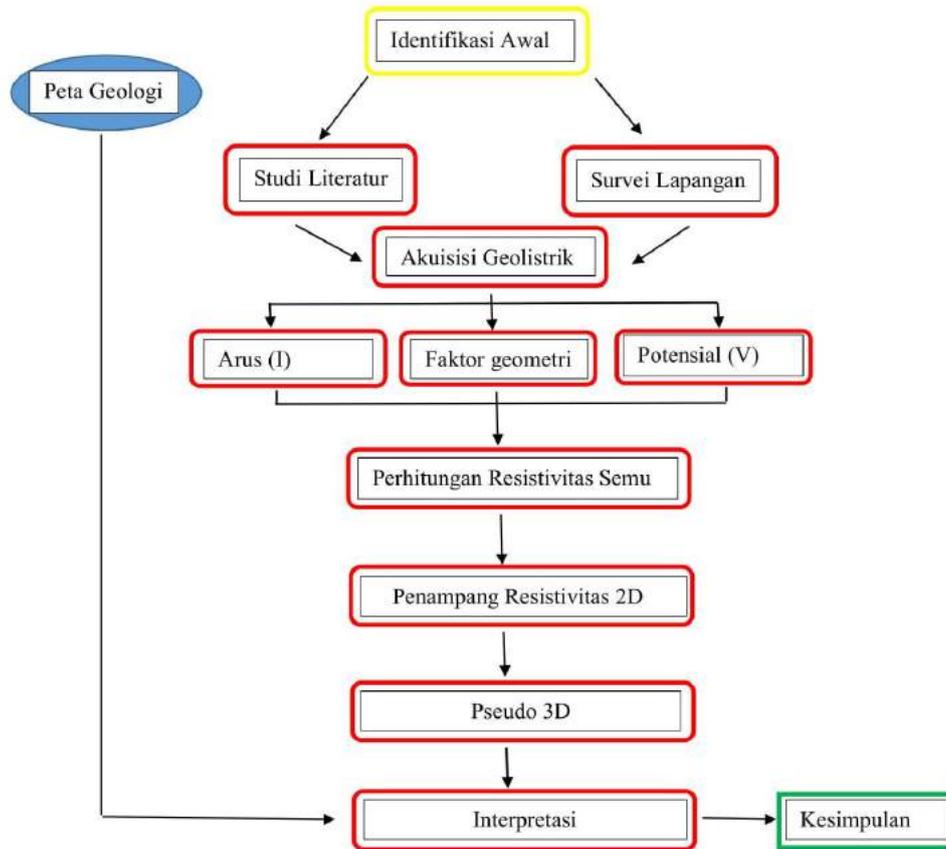
Tabel 1. Nilai Resistivitas Batuan (Telford et al., 1990).

Material	Resistivitas ( $\Omega m$ )
Air Tanah	0,5 – 150
Lempung	1 – 100
Pasir	1 – 1000
Andesit	100 – 200
Aluvium	10 – 800
Breksi	75 – 200
Kerikil	100 – 600
Batu Pasir	200 – 8000
Gamping	50 – (1 x 10 <sup>7</sup> )
Grasite	5 x 10 <sup>3</sup> – 10 <sup>6</sup>
Basalt	10 <sup>3</sup> – 10 <sup>6</sup>
Slate	6 x 10 <sup>2</sup> – 4 x 10 <sup>7</sup>
Sandstone	8 – 4 x 10 <sup>3</sup>
Shale	20 – 2 x 10 <sup>3</sup>
Limestone	5 – 4 x 10 <sup>2</sup>
Tufa Vulkanik	20 – 100
Lava	100 – 5 x 10 <sup>4</sup>
Konglomerat	6 x 10 <sup>3</sup> – 2 x 10 <sup>4</sup>

Proses iterasi dilakukan sebanyak 5 kali iterasi, berguna menurunkan nilai RMS *error* data. Hasil yang diperoleh berupa

penampang resistivitas bawah permukaan 2D dan *software* Oasis Montaj Pseudo 3D berupa gabungan penampang resistivitas 3D. Dengan mengacu pada nilai

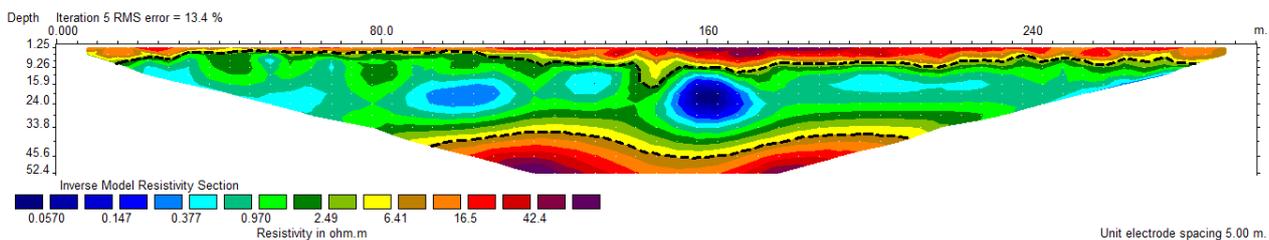
resistivitas jenis batuan seperti pada Tabel 1 maka akan menunjukkan jenis batuan, sifat dan letak batuan di bawah permukaan pada daerah penelitian.



Gambar 3. Bagan Alir Penelitian.

## Hasil dan Pembahasan

### Lintasan 1



Gambar 4. Penampang Resistivitas Lintasan 1.

Lintasan satu titik awal berada pada titik koordinat  $5^{\circ}8'32,51''$ LS dan  $119^{\circ}24'2,04''$ BT serta titik koordinat akhir pada  $5^{\circ}8'42,13''$ LS dan  $119^{\circ}24'1,79''$ BT. Hasil penampang resistivitas yang didapatkan dari pengolahan data inversi pada lintasan 1 dengan melakukan iterasi sebanyak 5 kali maka diperoleh nilai RMS

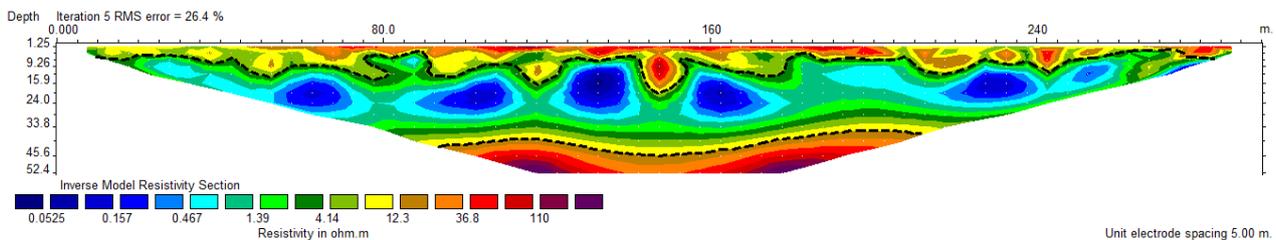
*error* sebesar 13,4% dengan kedalaman 52,4 meter. Pada pengolahan data menggunakan Konfigurasi Wenner-Schlumberger.

Gambar 4. menunjukkan rentang nilai resistivitas yang diperoleh yaitu 0,0570 – 42,4  $\Omega$ m. Berdasarkan hasil analisis dan

interpretasi, pada kedalaman sekitar 35 – 52,4 meter ditandai gradasi warna jingga sampai ungu gelap dengan nilai resistivitas 16,5 – 42,4  $\Omega\text{m}$  diinterpretasikan sebagai batuan *bedrock* atau batuan dasar. Gradasi warna jingga hingga ungu juga terlihat pada kedalaman 1,25 – 15 meter dari permukaan bumi tapi tidak dikategorikan sebagai batuan dasar, hal ini disebabkan karena adanya pemadatan tanah di permukaan daerah reklamasi sehingga nilai resistivitas yang terukur cukup besar. Lapisan pertama dengan rentang nilai resistivitas 4,25 – 45  $\Omega\text{m}$  pada kedalaman bervariasi 1,25 – 10,5 meter dari permukaan bumi berupa *original ground*

*surface* didominasi oleh pasir sampai dengan *silty sand*. Lapisan kedua berada pada kedalaman bervariasi 24,6 - 34,1 meter dengan nilai resistivitas 0,0570 – 2,49  $\Omega\text{m}$  berupa lapisan lempung (*clay*). Lapisan ketiga merupakan lapisan terbawah mulai dari kedalaman 35 – 52,4 meter dengan nilai resistivitas 6,41 – 42,4  $\Omega\text{m}$  berupa batugamping koral. Lapisan ini merupakan lapisan yang tidak terpengaruhi oleh air asin, hal ini terlihat dengan nilai resistivitas yang tinggi dan kemungkinan lapisan di atasnya termasuk lapisan kedap air (permeabilitas sangat kecil) sehingga air asin tidak dapat melaluinya.

### Lintasan 2



Gambar 5. Penampang Resistivitas Lintasan 2.

Lintasan 2 berada pada titik koordinat 5°8'36,52"LS dan 119°23'57,18"BT hingga pada titik koordinat 5°8'38,40"LS dan 119°24'6,57"BT. Lintasan ini memiliki panjang bentangan dari arah barat ke timur sebesar 150 meter dengan menggunakan spasi elektroda 5 meter. Penampang resistivitas hasil pengolahan data dari lintasan 2 setelah 5 kali iterasi dengan kedalaman 52,4 meter. Pada pengolahan data menggunakan Konfigurasi Wenner-Schlumberger.

Diinterpretasikan terdapat 3 lapisan berdasarkan nilai resistivitas yang telah diikat dengan informasi data pendukung, kondisi tanah serta litologinya.

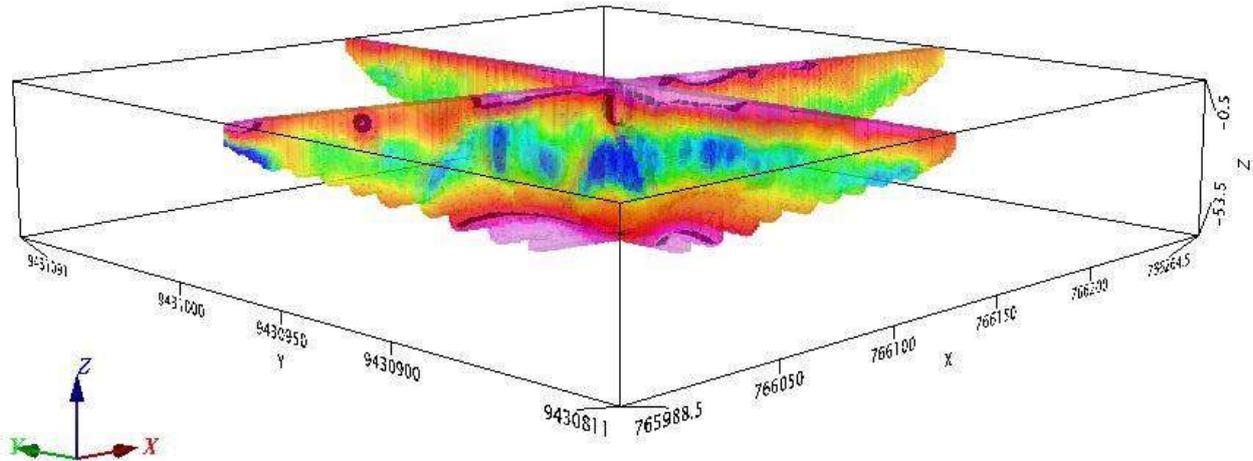
Terlihat pada Gambar 5, rentang nilai resistivitas yang diperoleh pada lintasan 2 yaitu 0,0625 – 110  $\Omega\text{m}$  dengan penetrasi kedalaman 1,25 – 52,4 meter dari permukaan bumi. Berdasarkan hasil analisis dan interpretasi, lapisan bawah permukaan pada lintasan 2 cenderung sama dengan hasil yang diperoleh penampang resistivitas lintasan 1, artinya pada kedua lintasan ini saling berkorelasikan dengan baik.

Lapisan pertama dengan kedalaman mulai dari 1,25 – 12,9 meter dari permukaan. Penentuan lapisan ini berdasarkan hasil interpretasi lintasan satu yang dihubungkan kemenerusannya pada titik persimpangan (*cross section*), diduga lapisan ini didominasi oleh pasir sampai dengan *silty sand* (pasir berlanau). Lapisan kedua dengan kedalaman 20,5 – 32,6 meter dengan nilai resistivitas 0,0525 – 2,10  $\Omega\text{m}$ . Penentuan penyusun lapisan ini berdasarkan informasi data pendukung yang menunjukkan batas lapisan lempung (*clay*). Nilai resistivitas yang sangat kecil menunjukkan lapisan ini merupakan sedimen yang tidak kompak sehingga ruang pori yang ada di antara butirnya terjenuhkan oleh air asin yang merupakan lapisan larutan elektrilitik yang gampang

mengalirkan arus listrik. Lapisan ketiga merupakan lapisan terbawah dengan nilai resistivitas 12,3 – 110  $\Omega\text{m}$  dengan kedalaman 32,6 – 52,4 meter. Lapisan ini diinterpretasikan sebagai lapisan *bedrock* (batuan dasar) berupa batugamping koral berdasarkan dari nilai resistivitas yang dikorelasikan dengan litologi daerah

tersebut. Pada lapisan ini merupakan lapisan yang tidak terpengaruh oleh air asin, hal ini terlihat dengan nilai resistivitas yang tinggi dan ada kemungkinan lapisan di atasnya termasuk kedap air (permeabilitas sangat kecil) sehingga air tidak dapat melaluinya.

### Gabungan Antar Lintasan (3D)



**Gambar 6.** Gabungan Penampang Resistivitas.

Gambar 6 menunjukkan bahwa lintasan 1 dan lintasan 2 terkorelasikan dengan baik, ditandai dengan gradasi warna tiap lintasan terhubung satu sama lain. Hasil penampang resistivitas pada Gambar 6 diolah pada *software* Oasis Montaj dengan memasukkan nilai *Issosurface* 30. *Issosurface* dengan nilai 30 menunjukkan pembacaan lapisan *bedrock* pada kedalaman bervariasi 32,6 – 52,4 meter.

### Kesimpulan

Berdasarkan hasil yang diperoleh dari penelitian ini, maka dapat disimpulkan bahwa pertama, hasil penampang geolistrik yang memiliki resolusi horizontal yang baik dibandingkan dengan data pendukung dapat diperoleh 3 lapisan. Penentuan lapisan ini berdasarkan pengikat data geolistrik dengan data pendukung berupa data bor yang memiliki resolusi vertikal yang sangat baik dibandingkan dengan data geolistrik resistivitas. Lapisan satu merupakan

sedimen reklamasi yang ditandai dengan nilai resistivitas yang besar. Nilai resistivitas yang besar ini berkaitan dengan kurangnya fluida yang terpengaruh oleh air asin dan diduga berkaitan dengan derajat kekompakan tanah. Lapisan ini didominasi oleh pasir sampai dengan pasir berlanau. Lapisan kedua tersusun oleh sedimen klastik dengan didominasi oleh lempung (*clay*). Lapisan tersebut memiliki nilai resistivitas yang kecil yaitu lintasan 1 0,0570 – 2,49  $\Omega\text{m}$  dan lintasan 2 0,0525 – 2,10  $\Omega\text{m}$ , akibatnya lapisan ini terjenuhkan oleh air asin. Lapisan ketiga adalah lapisan yang memiliki nilai resistivitas tinggi sebesar 6,41 – 42,4  $\Omega\text{m}$  pada lintasan 1 dan rentang nilai resistivitas 12,3 – 110  $\Omega\text{m}$  lintasan 2 pada kedalaman bervariasi 32,6 – 52,4 meter. Lapisan ini diduga merupakan lapisan *bedrock* (batuan dasar) berupa batugamping koral, kemungkinan lapisan di atasnya merupakan lapisan kedap air (permeabilitas sangat kecil) sehingga air asin tidak melaluinya

### Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih banyak kepada seluruh pihak yang telah berkontribusi selama penelitian dilaksanakan. Terkhusus kepada pihak LP2M yang telah mendanai penelitian, dosen Departemen Geofisika Universitas Hasanuddin, *Helper* serta pihak lainnya yang telah banyak membantu dalam penyusunan karya ilmiah ini. Tak lupa pula, kami ucapkan terima kasih kepada Allah SWT. sehingga bisa menyelesaikan penelitian ini.

### Daftar Pustaka

- Gerkens, J.C. 1988. *Foundation of Exploration Geophysics*. Elsevier. 527-649.
- Pratama, I.E., Muhtar, I.J., Syamsuddin., dan Aswad, S. 2019. *Identifikasi Batuan Dasar Daerah Pantai Lumpur Kota Parepare Menggunakan Metode Geolistrik Konfigurasi Wenner*. Jurnal Geoelebes. 3(1): 47-50. <https://doi.org/10.20956/geoelebes.v3i1.6397>
- Saputra, F., Baskoro, S.A., Supriyadi, dan Priyantari, N., 2020. *Aplikasi Metode Geolistrik Resistivitas Konfigurasi Wenner dan Wenner-Schlumberger Pada Daerah Mata Air Panas Kali Sengon di Desa Blawan - Ijen*. Berkala Saintek. 8(1): 20-24. <https://doi.org/10.19184/bst.v8i1.11991>
- Soehaimi, A. 2008. *Seismoteknologi dan Potensi Kegempaan Wilayah Makassar*. Jurnal Geologi Indonesia. 3(4): 227-240.
- Telford. W.M., Geldart, L.P., and Sheriff, R.E., 1990. *Applied Geophysics*, Second Edition. Cambridge: Cambridge University Press.

## **ANALISIS PENGARUH SUBSTITUSI CO<sub>2</sub> DAN *BRINE* PADA KECEPATAN SEISMIK MENGGUNAKAN PERSAMAAN GASSMANN BERBASIS MATLAB**

Khusnul Nur Rochmah\*, Sekar Fajar Lestari, Aussie Anindya Nari Pinandhita, Ferdian Yoga Aditama, Nadhil Abyan Hilmy, Widya Utama

Departemen Teknik Geofisika, Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia

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

Manuscript received: 31 December 2020; Received in revised form: 15 March 2021; Accepted: 18 March 2021

### **Abstrak**

Persamaan Gassmann adalah hubungan pendekatan yang digunakan untuk menghitung perubahan kecepatan seismik karena perbedaan saturasi fluida di reservoir. Persamaan Gassmann digunakan dalam menghubungkan modulus *bulk* dengan sifat pori serta fluida dalam batuan. Artikel ini bertujuan untuk membahas aplikasi pendekatan Persamaan Gassmann untuk menganalisis perubahan kecepatan seismik akibat pengaruh substitusi fluida (CO<sub>2</sub> dan *brine*) menggunakan *well data* dari wilayah Lapangan Tapti yang terletak di utara-barat laut (NNW) Mumbai dengan variabel perubahan saturasi CO<sub>2</sub> dan *brine* dari 0% sampai 100%. Beberapa diskusi dibutuhkan mengenai asumsi yang terjadi selama substitusi fluida, yakni modulus geser tetap konstan selama proses substitusi fluida, dan jenis fluida yang disubstitusi memengaruhi nilai modulus *bulk* (Ksat). Analisis dilakukan menggunakan program MATLAB kemudian dilakukan visualisasi grafik menggunakan *Microsoft Excel*. Hasil menunjukkan bahwa kecepatan gelombang P (Vp) terhadap saturasi CO<sub>2</sub> berkurang dari 0% sampai 30% kemudian bertambah sampai tersaturasi 100%, sementara terhadap saturasi *brine* berkurang dari 0% sampai 50% kemudian bertambah sampai tersaturasi 100%. Penurunan kecepatan gelombang P (Vp) dikarenakan penambahan saturasi fluida akan menyebabkan modulus *bulk* (Ksat) berkurang. Kecepatan gelombang S (Vs) bertambah seiring substitusi CO<sub>2</sub> dan *brine*. Penambahan kecepatan Vs karena saturasi CO<sub>2</sub> lebih signifikan daripada saturasi *brine*. Penambahan kecepatan gelombang S (Vs) dikarenakan nilai *bulk density* berkurang seiring penambahan saturasi fluida, dan nilai modulus gesernya tetap konstan. Nilai densitas berkurang seiring substitusi CO<sub>2</sub> dan *brine*. Pengurangan nilai densitas karena saturasi CO<sub>2</sub> lebih signifikan daripada saturasi *brine*. Nilai densitas berkurang dikarenakan volume terisi oleh fluida.

**Kata Kunci:** kecepatan seismik; Persamaan Gassmann; saturasi fluida.

### **Abstract**

The Gassmann equation is a relational approach used to calculate changes in seismic velocity due to differences in fluid saturation in the reservoir. The Gassmann equation is used in a modulus connected by Bulk to the properties of pores and fluids in rocks. This paper aims to discuss Gassmann equation application to analyze seismic velocity using well data from Tapti field area located in north-northwest (NNW) Mumbai with variable changes in CO<sub>2</sub> and brine saturation from 0% to 100%. It takes some discussion of the assumptions that occur during fluid substitution that shear modulus remains constant during the fluid substitution process, and the type of fluid that substituted affects the bulk modulus (Ksat) value. The analysis used the MATLAB program, and graph visualization used Microsoft Excel. The results showed that the velocity of P (Vp) waves against CO<sub>2</sub> saturation decreased from 0% to 30% then increased to 100% saturated, while brine saturation decreased from 0% to 50% then increased to

100% saturated. The decreased P ( $V_p$ ) wave velocity due to the fluid saturation will cause bulk modulus ( $K_{sat}$ ) to decrease. S ( $V_s$ ) wavelength increases with CO<sub>2</sub> and brine substitution, where the increase in  $V_s$  velocity due to CO<sub>2</sub> saturation is more significant than brine saturation. The decrease in S wave velocity ( $V_s$ ) due to bulk density value decreases with the fluid saturation, and the shear modulus value remains constant. Density values decrease with CO<sub>2</sub> and brine substitution, where the reduction in density value due to CO<sub>2</sub> saturation is more significant than brine saturation. The density value decreases because of the volume filled with fluid.

**Keywords:** fluid saturation; Gassmann's equation; seismic velocity.

## Pendahuluan

Seismik refleksi merupakan salah satu metode yang digunakan dalam geofisika. Salah satu penerapan metode seismik refleksi yaitu dalam mengetahui penjalaran gelombang bawah permukaan (Hambali, 2019). Gelombang yang menjalar pada bawah permukaan bumi dalam batuan menggunakan nilai kecepatan yang bergantung terhadap parameter fisis setiap batuan. Gelombang yang melewati suatu fluida akan menunjukkan perilaku yang berbeda. Pada analisis seismik, substitusi fluida digunakan untuk mengetahui kecepatan gelombang seismik batuan bergantung pada saturasi fluidanya (Linzi dan Syaifuddin, 2016). Selain itu, substitusi fluida juga digunakan untuk memodelkan karakteristik seismik berupa kecepatan seismik dan densitas dari reservoir pada suatu kondisi seperti, tekanan, suhu, porositas, jenis mineral, salinitas air dan saturasi fluida pori (Singh et al., 2017). Kecepatan seismik dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti porositas, densitas, tekanan, suhu, dan salinitas (Adler dan Handoko, 2007). Kecepatan seismik dalam suatu reservoir dipengaruhi langsung oleh jumlah fluida yang tersaturasi di dalam batuan. Pada kondisi tersaturasi, gelombang P akan mengalami peningkatan, gelombang S mengalami penambahan seiring saturasi fluida. Kecepatan gelombang tersebut merupakan indikator dalam efek saturasi fluida (Singh et al., 2017). Gelombang seismik tersebut dapat menyebabkan perubahan bentuk dalam batuan serta peningkatan tekanan dalam fluida pori. Peningkatan tekanan tersebut akan membuat batuan menjadi kaku dan

menyebabkan peningkatan modulus bulk (Han and Batzle, 2004). Pada hal ini, Persamaan Gassmann digunakan dalam menghubungkan modulus bulk dengan sifat pori serta fluida dalam batuan. Nolen-Hoeksema (2000) memperkenalkan koefisien fluida yang efektif untuk membedakan modulus bulk dari pori-pori yang berisi fluida. Namun hasilnya tidak dapat dijelaskan karena koefisien fluida tidak hanya dipengaruhi oleh modulus bulk, tapi terdapat parameter batuan lainnya.

Persamaan Gassmann adalah hubungan pendekatan yang digunakan untuk menghitung perubahan kecepatan seismik karena perbedaan saturasi fluida di reservoir. Pada aplikasi persamaan Gassmann dibutuhkan modulus bulk (*dry* dan saturasi) (Han and Batzle, 2004). Perhitungan modulus bulk ( $K_{sat}$ ) memerlukan empat komponen yaitu porositas,  $K_{mat}$  (*bulk modulus* matriks mineral),  $K^*$  (*bulk modulus* kerangka batuan),  $K_f$  (*bulk modulus* fluida pengisi pori) dan  $\theta$  (porositas). Berdasarkan Teori Gassman, modulus bulk dari batuan jenuh dituliskan sebagai berikut:

$$K_{sat} = K^* + \frac{(1 - \frac{K^*}{K_{mat}})^2}{\frac{K^*}{K_{mat}} + \frac{(1 - \theta) - 1 - \frac{K^*}{K_{mat}}}{K_{mat}}} \quad (1)$$

Pada hal ini, kondisi batuan memengaruhi kecepatan seismik. Saturasi fluida berpengaruh terhadap kecepatan gelombang P dan S, hal ini dikarenakan hubungan nonlinier  $V_p$  dan  $V_s$  dengan pembebanan hidrostatik (King, 1966). Bentuk sederhana dari persamaan kecepatan gelombang P dan S diturunkan untuk batuan *non-porous* dan isotropis

(Afianto dkk., 2016). Persamaan kecepatan seismik menggunakan densitas ( $\rho$ ), modulus geser ( $\mu$ ), dan modulus bulk (K) yang dapat dituliskan sebagai berikut

$$V_p = \sqrt{\frac{K + \frac{4}{3}\mu}{\rho}} \quad (2)$$

$$V_s = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}} \quad (3)$$

Pada penelitian ini, Persamaan Gassmann diterapkan untuk mengevaluasi perubahan kecepatan gelombang P ( $V_p$ ), kecepatan gelombang S ( $V_s$ ), densitas dan perbandingan  $V_p/V_s$ .

### Metodologi Penelitian

**Tabel 1.** *Sample data* dengan parameter-parameter fisis (Singh et al., 2017).

<b>Depth:</b>	<i>Avg</i>	2.1
1830.0 – 1933.0	<i>V<sub>s</sub> (ft/s)</i>	12821.8
	<i>V<sub>p</sub> (ft/s)</i>	26028.4
	<i>Avg V<sub>p</sub>/V<sub>s</sub></i>	2.1
	<i>Avg</i>	0.3
	<i>Avg V<sub>sh</sub></i>	0.6
	<i>Avg T</i>	183.2

Penelitian ini menggunakan sampel data berupa *well data* dari wilayah Lapangan Tapti yang terletak di utara-barat laut (NNW) Mumbai yang diperoleh dari artikel yang ditulis oleh Singh et al. (2017) dengan data sampel dan parameter fisis seperti pada Tabel 1. Data sampel berupa *layer* pada kedalaman antara 1830 m sampai 1833 m (Singh et al., 2017). Data sampel berisi informasi mengenai kedalaman, densitas,  $V_s$ ,  $V_p$ , porositas, volume batu serpih, temperatur, tekanan dan salinitas. Metode penelitian adalah studi literatur dan pengolahan data menggunakan program *script* MATLAB. Data sampel diinjeksikan fluida berupa gas CO<sub>2</sub> dan *brine* dari 0%

sampai 100%. Kemudian data hasil MATLAB dilakukan visualisasi berupa grafik menggunakan *Microsoft Excel*.

### Prosedur Penelitian

#### 1. Tahap pengumpulan data

Pada tahap awal penelitian yang dilakukan yaitu studi literatur. Melalui studi literatur, peneliti mengumpulkan literatur-literatur yang mendukung penelitian. Studi literatur yang peneliti gunakan berupa buku serta beberapa jurnal ilmiah.

#### 2. Tahap pengolahan data

Pengolahan data dilakukan dengan menggunakan bantuan *software Microsoft Excel* dan *script* MATLAB. Data-data yang diperoleh berupa data  $V_p$ ,  $V_s$ , *Avg V<sub>p</sub>/V<sub>s</sub>*, *Avg V<sub>sh</sub>*, serta *Avg T*. Setelah pengolahan data dilakukan kemudian didapatkan hasil berupa perubahan  $V_p$ , perubahan  $V_s$ , perubahan resistivitas, serta perubahan  $V_p/V_s$ . Perubahan  $V_s$  merupakan perubahan yang terjadi pada gelombang S, yang didapatkan dari

$$\Delta V_s = \left( \frac{V_{sn} - V_{sn-1}}{V_{sn-1}} \right) + \Delta V_{sn-1} \quad (4)$$

Perubahan  $V_p$  merupakan perubahan yang terjadi pada gelombang P, yang didapatkan dari:

$$\Delta V_p = \left( \frac{V_{pn} - V_{pn-1}}{V_{pn-1}} \right) + \Delta V_{pn-1} \quad (5)$$

Perubahan resistivitas ( $\rho$ ) merupakan perubahan resistivitas pada sampel setelah diberikan fluida. Perubahan resistivitas didapatkan dari persamaan:

$$\Delta \rho = \left( \frac{\rho_n - \rho_{n-1}}{\rho_{n-1}} \right) + \Delta \rho_{n-1} \quad (6)$$

Perubahan  $V_p/V_s$  atau rasio *poisson* merupakan ukuran kompresibilitas material atau perbandingan gelombang P dengan gelombang S, didapatkan dari:

$$\Delta \frac{V_p}{V_s} = \left( \frac{\frac{V_p}{V_s} - \frac{V_p}{V_s}}{\frac{V_p}{V_s}} \right) + \Delta \frac{V_p}{V_s} \quad (7)$$

Sedangkan  $V_p/V_s$  (%) merupakan rasio *poisson* yang didapatkan dari:

$$\frac{V_p}{V_s} = \Delta \frac{V_p}{V_s} \times 100 \quad (8)$$

3. Tahap analisa data

Analisa data dilakukan menggunakan hasil visualisasi grafik, terdapat tiga grafik yakni grafik kecepatan gelombang P atau Vp, kecepatan gelombang S atau Vs, serta nilai densitas terhadap saturasi CO<sub>2</sub> dan *brine*. Analisa pada penelitian ini dilakukan secara kuantitatif dan kualitatif.

Hasil dan Pembahasan

Hasil

Densitas awal CO<sub>2</sub> yang diinjeksikan sebesar 1,5189 g/L, substitusi CO<sub>2</sub> dari 0% sampai 100% menghasilkan nilai kecepatan gelombang P (Vp), kecepatan gelombang S (Vs), serta nilai densitas yang baru akibat penambahan substitusi CO<sub>2</sub> seperti yang tampak pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Parameter Fisis dengan Saturasi CO<sub>2</sub> pada layer 1.

CO <sub>2</sub>	Vp	ΔVp	Vp (%)	Vs	ΔVs	Vs (%)	rho	Δrho	ρ(%)	Vp/Vs	ΔVp/Vs	Vp/Vs (%)
0%	30461	0	0	12819	0	0	2,104	0	0	2,376	0	0
10%	26642	-0,125	-12,537	12873	0,004	0,421	2,086	-0,008	-0,841	2,070	-0,129	-12,904
20%	26430	-0,133	-13,333	12928	0,008	0,849	2,068	-0,017	-1,690	2,044	-0,141	-14,122
30%	26422	-0,134	-13,363	12984	0,013	1,282	2,051	-0,025	-2,546	2,035	-0,146	-14,584
40%	26473	-0,132	-13,170	13040	0,017	1,713	2,033	-0,034	-3,409	2,030	-0,148	-14,821
50%	26550	-0,129	-12,880	13097	0,022	2,150	2,015	-0,043	-4,275	2,027	-0,150	-14,966
60%	26641	-0,125	-12,537	13155	0,026	2,593	1,998	-0,052	-5,153	2,025	-0,151	-15,066
70%	26740	-0,122	-12,165	13214	0,030	3,041	1,980	-0,060	-6,039	2,024	-0,151	-15,143
80%	26845	-0,118	-11,772	13273	0,035	3,488	1,962	-0,069	-6,933	2,023	-0,152	-15,196
90%	26956	-0,114	-11,359	13333	0,039	3,940	1,945	-0,078	-7,830	2,022	-0,152	-15,235
100%	27070	-0,109	-10,936	13394	0,044	4,397	1,927	-0,087	-8,740	2,021	-0,153	-15,269

Densitas awal *brine* yang disubstitusikan sebesar 1,07 g/L, substitusi *brine* dari 0% sampai 100%. menghasilkan nilai kecepatan gelombang P (Vp), kecepatan

gelombang S (Vs), serta nilai densitas yang baru akibat penambahan substitusi *brine* seperti yang tampak pada Tabel 3.

Tabel 2. Hasil Parameter Fisis dengan Saturasi *brine* pada layer 1.

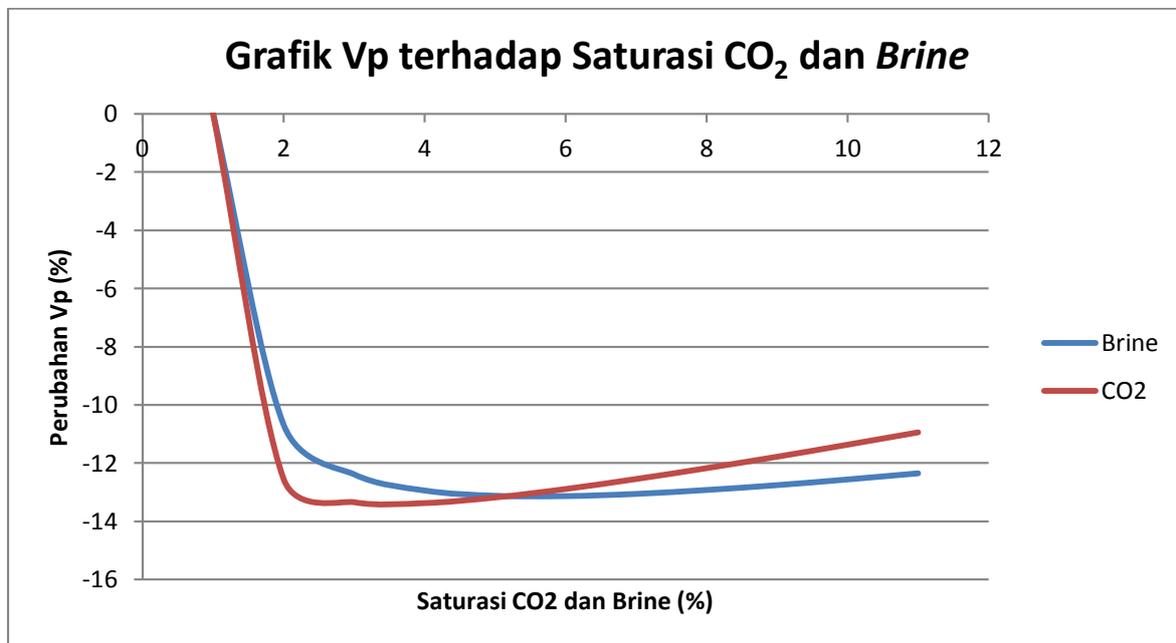
brine	Vp	ΔVp	Vp (%)	Vs	ΔVs	Vs (%)	rho	Δrho	ρ(%)	Vp/Vs	ΔVp/Vs	Vp/Vs(%)
0%	30398	0	0	12819	0	0	2,1037	0	0	2,371	0	0
10%	27150	-0,107	-10,685	12853	0,003	0,265	2,0942	-0,005	-0,452	2,112	-0,109	-10,921
20%	26687	-0,124	-12,390	12888	0,005	0,538	2,0812	-0,011	-1,072	2,071	-0,020	-1,972
30%	26539	-0,129	-12,945	12923	0,008	0,809	2,07	-0,016	-1,611	2,054	-0,008	-0,824
40%	26491	-0,131	-13,126	12958	0,011	1,080	2,0588	-0,022	-2,152	2,044	-0,005	-0,450
50%	26488	-0,131	-13,137	12993	0,014	1,350	2,0476	-0,027	-2,696	2,039	-0,003	-0,281
60%	26508	-0,131	-13,062	13029	0,016	1,627	2,0363	-0,032	-3,247	2,035	-0,002	-0,201
70%	26544	-0,129	-12,926	13065	0,019	1,903	2,0251	-0,038	-3,797	2,032	-0,001	-0,140

80%	26588	-0,128	-12,760	13102	0,022	2,187	2,0139	-0,044	-4,351	2,029	-0,001	-0,117
90%	26640	-0,126	-12,564	13138	0,025	2,461	2,0027	-0,049	-4,907	2,028	-0,001	-0,079
100%	26696	-0,124	-12,354	13175	0,027	2,743	1,9915	-0,055	-5,466	2,026	-0,001	-0,071

**Pembahasan**

Gambar 1 menunjukkan korelasi antara penambahan saturasi terhadap kecepatan gelombang P ( $V_p$ ). Hasil menunjukkan bahwa kecepatan gelombang P ( $V_p$ ) terhadap saturasi  $CO_2$  berkurang dari 0% sampai 30% kemudian bertambah sampai tersaturasi 100%, sementara terhadap saturasi Brine berkurang dari 0% sampai 50% kemudian bertambah sampai

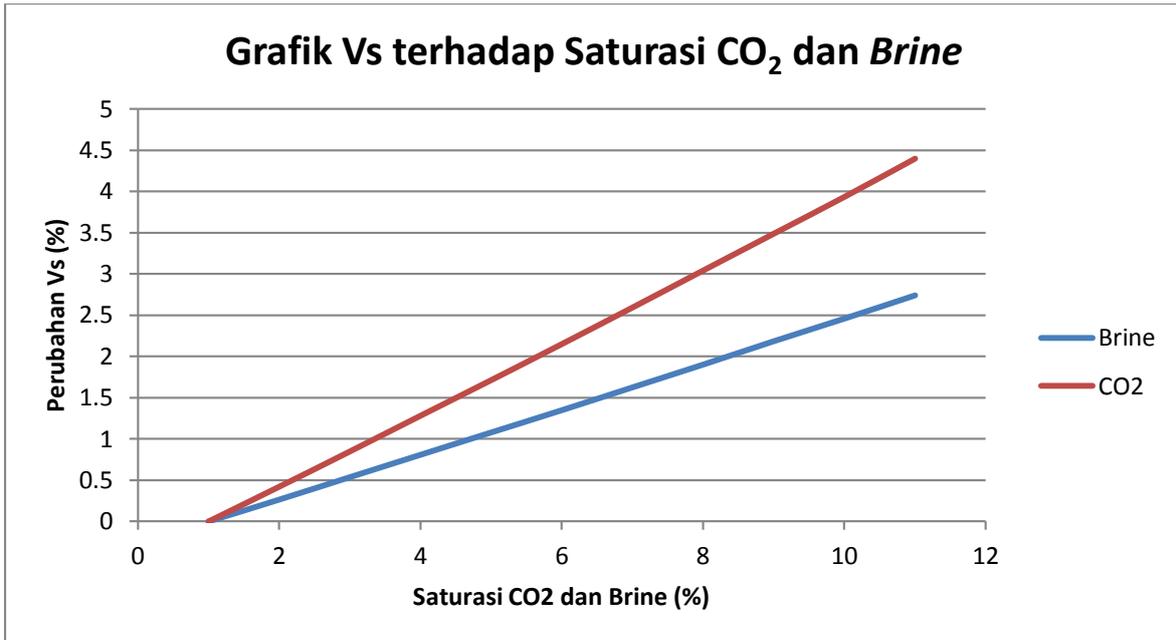
tersaturasi 100%. Penurunan kecepatan gelombang P ( $V_p$ ) dikarenakan penambahan saturasi fluida akan menyebabkan modulus *bulk* ( $K_{sat}$ ) berkurang tetapi pada saat yang sama densitas curah ( $\rho_{sat}$ ) berkurang. Karena hubungan terbalik, maka kecepatan gelombang P akan meningkat. Perbedaan jenis fluida juga akan mempengaruhi modulus *bulk* batuan ( $K_{sat}$ ).



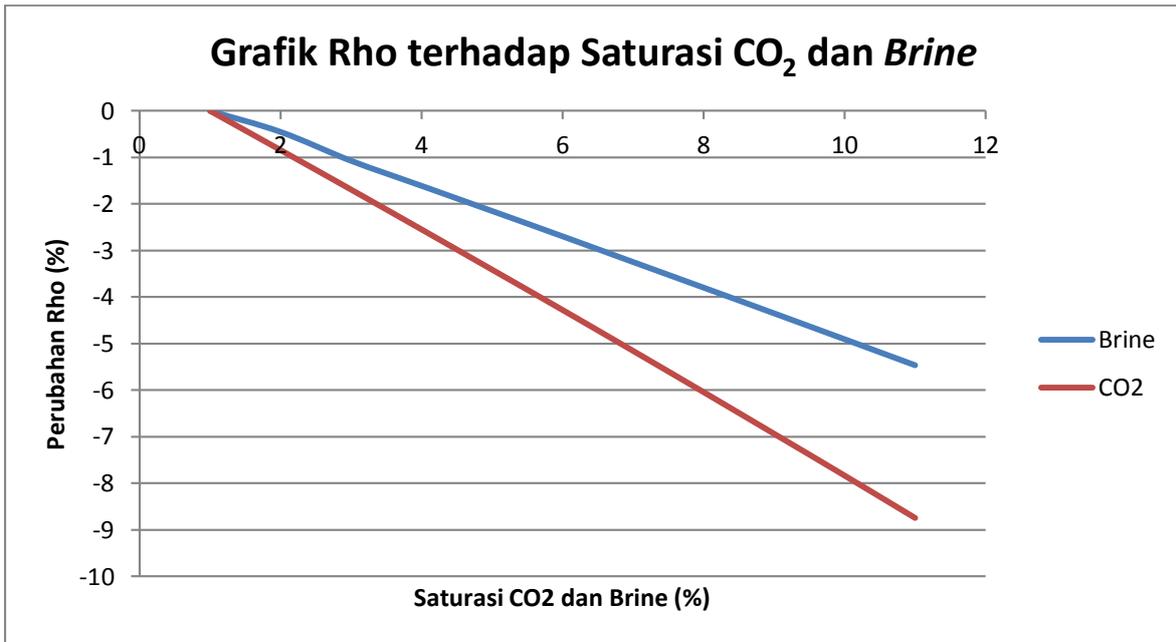
**Gambar 1.** Grafik  $V_p$  terhadap Saturasi  $CO_2$  dan *brine*.

Gambar 2 menunjukkan korelasi antara penambahan saturasi terhadap kecepatan gelombang S ( $V_s$ ). Perubahan kecepatan gelombang S ( $V_s$ ) tidak terlalu signifikan, penambahan kecepatan  $V_s$  karena saturasi  $CO_2$  lebih signifikan daripada saturasi *brine*. Bertambahnya kecepatan gelombang S ( $V_s$ ) dikarenakan nilai *bulk density* berkurang seiring penambahan saturasi fluida, dan nilai modulus gesernya tetap konstan sama dengan nilai modulus kerangka atau *dry*.

Gambar 3 menunjukkan korelasi antara penambahan saturasi terhadap nilai densitas ( $\rho$ ). Nilai densitas berkurang seiring substitusi  $CO_2$  dan *brine*, pengurangan nilai densitas karena saturasi  $CO_2$  lebih signifikan daripada saturasi *brine*. Nilai densitas berkurang seiring dengan jumlah saturasi fluida dikarenakan volume terisi oleh fluida.



Gambar 2. Grafik Vs terhadap Saturasi CO<sub>2</sub> dan *brine*.



Gambar 3. Grafik Rho terhadap Saturasi CO<sub>2</sub> dan *brine*.

### Kesimpulan

Saturasi fluida berpengaruh signifikan terhadap  $V_p$ ,  $V_s$ , dan densitas ( $\rho$ ). Hal tersebut bergantung pada jenis fluida dan kadar fluida. Kecepatan gelombang P ( $V_p$ ) mengalami penurunan pada saturasi CO<sub>2</sub> 0% sampai 30%, mengalami penurunan pada saturasi *brine* 0% sampai 50%, kemudian mengalami kenaikan sampai tersaturasi 100%. Kecepatan gelombang S ( $V_s$ ) bertambah seiring substitusi CO<sub>2</sub> dan

*brine*, penambahan kecepatan  $V_s$  karena saturasi CO<sub>2</sub> lebih signifikan daripada saturasi *brine*. Nilai densitas ( $\rho$ ) berkurang seiring substitusi CO<sub>2</sub> dan *brine*, pengurangan nilai densitas karena saturasi CO<sub>2</sub> lebih signifikan daripada saturasi *brine*.

## Ucapan Terima Kasih

Puji syukur tim penulis haturkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, atas segala karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan artikel ilmiah ini. Penulis menyadari bahwa dalam menyelesaikan artikel ilmiah ini banyak pihak yang turut membantu. Pada kesempatan kali ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Dosen Mata Kuliah Fisika Batuan karena telah memberikan bimbingan kepada penulis dalam menyelesaikan artikel.
2. Orang tua mahasiswa yang senantiasa mendoakan dan memberi dukungan kepada penulis dalam menjalankan perkuliahan.
3. Teman-teman anggota kelompok 2 Fisika Batuan A yang selalu semangat mengerjakan artikel ini.

## Daftar Pustaka

- Adler, J. dan Handoko, B.E.N. 2007. *Pengukuran Parameter Seismik dan Difraksi Sinar-X (XRD) pada Batuan Karbonat Formasi Parigi*. ITB J. Sci. 39:146–165.  
<https://doi.org/10.5614/itbj.sci.2007.39.1-2.8>
- Afianto, M.A., Lestari, W., Syaifuddin, F.S. dan Marianto, F.D. 2016. *Karakterisasi Reservoir pada Litologi Karbonat Menggunakan Analisa Inversi Simultan Di Lapangan "MAF"*. J. Geosaintek. 2(3):213-222.  
<https://doi.org/10.12962/j25023659.v2i3.2111>
- Hambali, M.D. 2019. *Respon AVO dan Pemodelan Substitusi Fluida dengan Menggunakan Teori Gassmann dan Differential Effective Medium pada Batuan Karbonat*. J. Appl. Sci. 1(2):010–017.  
<https://doi.org/10.36870/japps.v1i2.47>
- Han, D. and Batzle, M.L. 2004. *Gassmann's equation and fluid-*

*saturation effects on seismic velocities*. Geophysics. 69(2):398–405.

<https://doi.org/10.1190/1.1439763>

- King, M.S. 1966. *Wave Velocities in Rocks as a Function of Changes in Overburden Pressure and Pore Fluid Saturants*. Geophysics. 31(1):50  
<https://doi.org/10.1190/1.1439763>

- Linzai, N., Syaifuddin, F. dan Widodo, A. 2016. *Analisis Pemodelan Substitusi Fluida pada Sumur*. J. Tek. ITS. 5(2):B344-B47.  
<https://doi.org/10.12962/j23373539.v5i2.18065>

- Nolen-Hoeksema, R.C. 2000. *Modulus-porosity relation, Gassmann's equations, and the low frequency elastic-wave response to fluids*. Geophysics. 65(5):1355–1363.  
<https://doi.org/10.1190/1.1444826>

- Singh, N.P., Singh, R.K., Sarkar, P. and Maurya, S.P. 2017. *Estimating Petrophysical Parameters due to Fluid Substitution in Sandstone Reservoir using Gassmann Equation*. In: Challenges in petro-physical evaluation and rock physics modelling of carbonate reservoirs, likely elucidations & way forward, 3th November – 1<sup>st</sup> December, India, Bombay.

# PENDUGAAN KETEBALAN LAPISAN GAMBUT DI SEKITAR JALAN REFORMASI KOTA PONTIANAK MENGUNAKAN METODE GEOLISTRIK TAHANAN JENIS

Rizki Fajania, Yudha Arman, Muhardi\*

Program Studi Geofisika, Universitas Tanjungpura, Pontianak, Indonesia

\*Corresponding author. Email: [muhardi@physics.untan.ac.id](mailto:muhardi@physics.untan.ac.id)

Manuscript received: 15 February 2021; Received in revised form: 19 March 2021; Accepted: 25 March 2021

## Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi ketebalan lapisan gambut di sekitar Jalan Reformasi Kota Pontianak berdasarkan sebaran nilai tahanan jenis bawah permukaan. Pengukuran menggunakan metode geolistrik tahanan jenis dengan konfigurasi *Wenner-Schlumberger*. Penelitian ini mengaplikasikan empat lintasan dengan panjang masing-masing 115 m dan spasi antar elektroda sejauh 5 m. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai tahanan jenis yang diperoleh yaitu 0,73 – 1,218  $\Omega\text{m}$  hingga kedalaman 6 – 12,5 m. Lapisan bawah permukaan di lokasi penelitian diinterpretasi sebagai gambut, lempung, dan tanah liat berpasir. Lapisan gambut diperkirakan memiliki rentang nilai tahanan jenis sebesar 18,8 – 126  $\Omega\text{m}$  dan merupakan lapisan paling atas yang diduga mempunyai ketebalan sebesar 3 – 15 m.

**Kata Kunci:** gambut; Pontianak; tahanan jenis; Wenner-Schlumberger

## Abstract

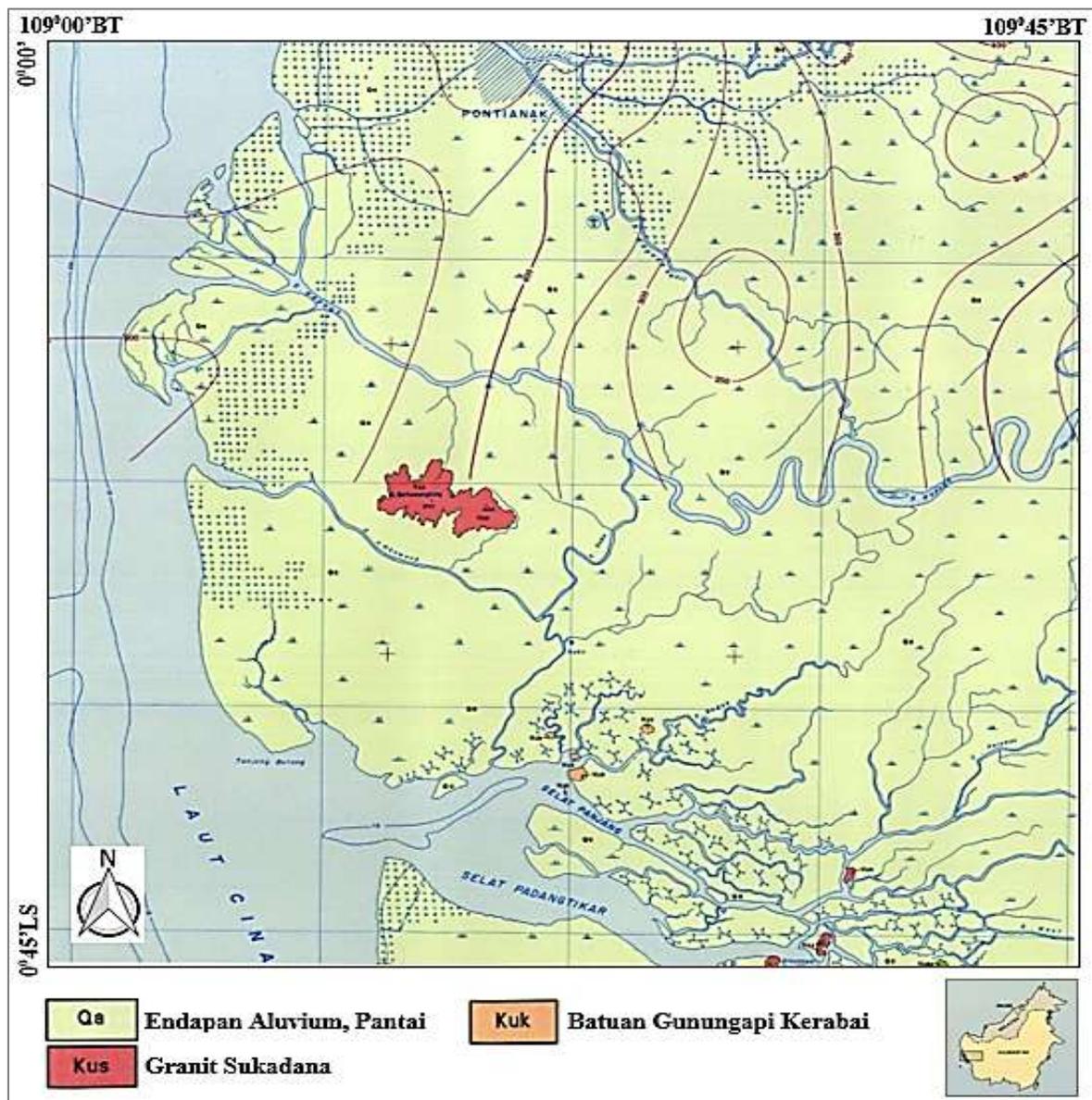
This study aims to identify the thickness of the peat layer around Reformasi Street, Pontianak City, based on the distribution of subsurface resistivity values. Measurements using the geoelectric resistivity method by the Wenner-Schlumberger configuration. This study applied four lines with a length of 115 m each and a space between the electrodes of 5 m. The results showed that the resistivity values about 0.73 – 1.218  $\Omega\text{m}$  to a depth of 6 – 12.5 m. The subsurface layers at the study area were interpreted as peat, clay, and sandy clay. The peat layer is estimated to have a resistivity value range of 18.8 – 126  $\Omega\text{m}$ , and it is the top layer, which is guessed to have a thickness of 3 – 15 m.

**Keywords:** peat; Pontianak; resistivity; Wenner-Schlumberger.

## Pendahuluan

Kalimantan Barat merupakan provinsi terluas kedua se-Kalimantan yang memiliki total ekosistem gambut sekitar 1.729.980 Ha (Agus and Subiksa, 2008). Pada 2018, tercatat luas gambut di Provinsi Kalimantan Barat adalah 1.543.752 Ha. Pemanfaatannya di provinsi ini mengalami peningkatan setiap tahunnya walaupun belum menjangkau daerah yang luas.

Pontianak memiliki lahan gambut dengan luas 1056 Ha per tahun 2018 (BPS, 2019), hal ini karena secara geologi, Kota Pontianak umumnya merupakan endapan alluvial, pantai yang tersusun atas lumpur, pasir, kerikil, dan sisa tumbuhan (Santoyo and Pieters, 1993) seperti pada Gambar 1. Pontianak merupakan salah satu kota dengan pembangunan yang relatif pesat. Pemanfaatan lahan gambut di daerah ini berupa pengembangan wilayah perkotaan.



Gambar 1. Peta Geologi Kota Pontianak dan sekitarnya (dimodifikasi dari Santoyo and Pieters, 1993).

Gambut merupakan suatu lapisan yang lunak, sehingga akan beresiko apabila dibangun gedung di atasnya. Penyebabnya ialah sifat gambut yang *compressible* sehingga berpotensi mengalami *settlement* atau penurunan (Muliadi et al., 2019). Tanah gambut memiliki karakteristik yang berbeda dari lapisan lain yang berada di bawahnya. Karakteristik terkait adalah sifat kelistrikkannya. Tanah gambut memiliki nilai tahanan jenis dengan nilai tertentu yang dapat dijadikan acuan dalam interpretasi, yakni sekitar 60-100  $\Omega\text{m}$  (Sirait and Ihwan, 2015), 14,9-107  $\Omega\text{m}$  (Ramadhaningsih and Sampurno, 2017), dan 40-709.6  $\Omega\text{m}$  (Muliadi et al., 2019).

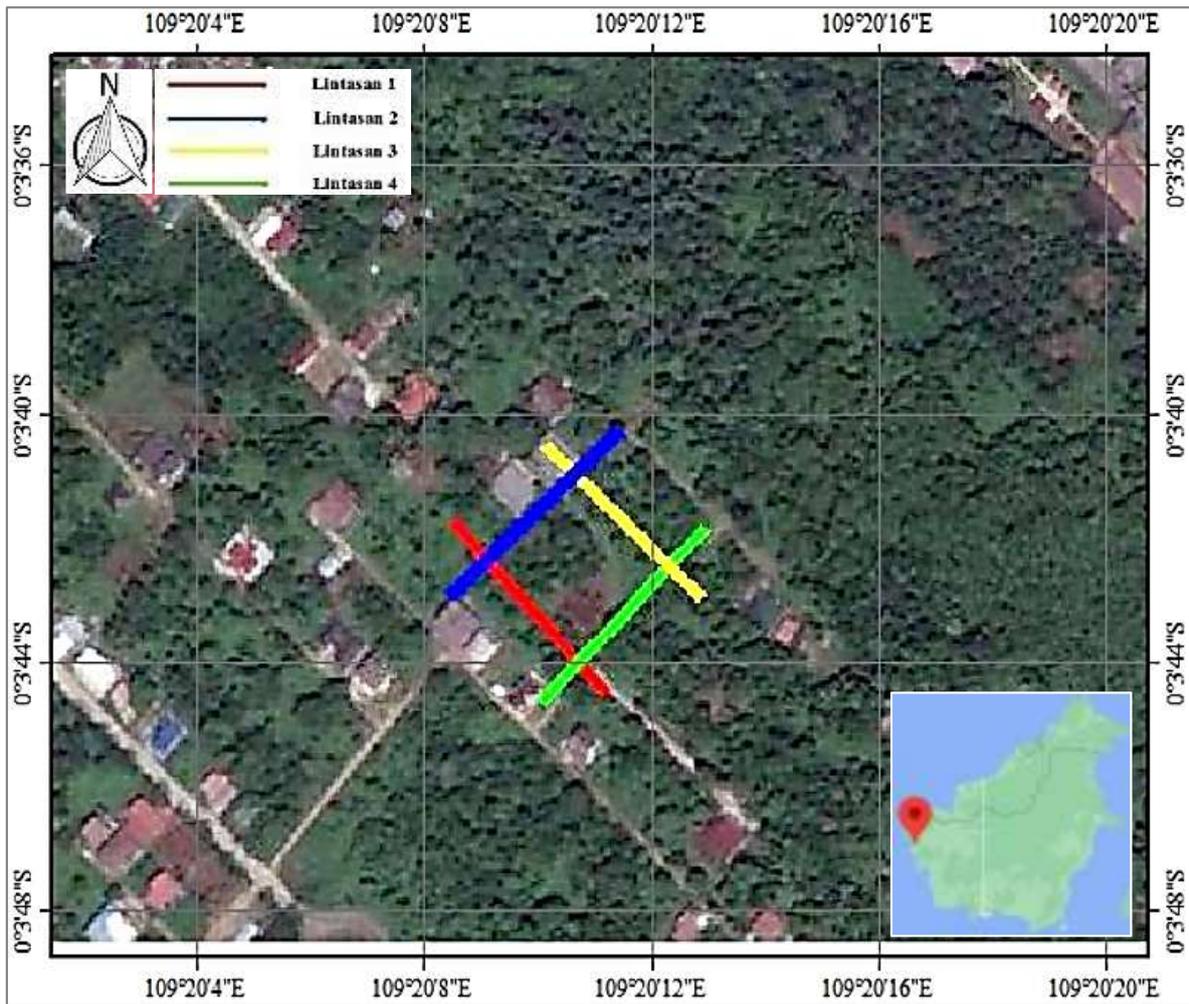
Metode geolistrik tahanan jenis dapat digunakan untuk mengidentifikasi lapisan bawah permukaan, misalnya litologi batuan (Muhardi and Wahyudi, 2019), struktur bawah permukaan (Anas et al., 2020), lapisan akuifer (Nurfalaq et al., 2018; Muhardi et al., 2019), sebaran lindi (Muhardi et al., 2020), potensi longsor (Nurfalaq and Jumardi, 2019), dan sebaran mineral (Ferial et al., 2019). Konfigurasi *Wenner-Schlumberger* dapat digunakan dalam penelitian ini karena memiliki sensitivitas yang baik untuk survei kedalaman (Loke, 2000). Metode ini mengamati medan potensial listrik bawah permukaan (Milsom, 2002). Tujuannya

adalah untuk mengetahui sebaran tahanan jenis (resistivitas) bawah permukaan.

Penelitian terhadap ketebalan lapisan gambut yang berada di sekitar Jalan Reformasi, Kota Pontianak perlu dilakukan karena lokasi ini merupakan pengembangan kawasan perkotaan. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi ketebalan lapisan gambut sebagai acuan dalam penentuan konstruksi bangunan yang tepat di lokasi penelitian.

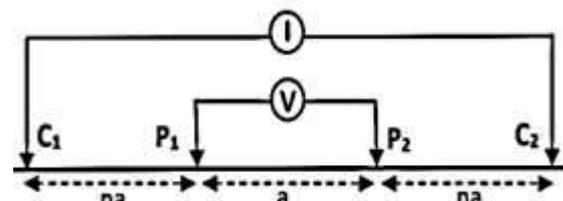
### Metode Penelitian

Lokasi penelitian terletak di sekitar Jalan Reformasi, Kota Pontianak, Propinsi Kalimantan Barat. Pengukuran di lapangan mengaplikasikan 4 lintasan dengan panjang masing-masing 115 meter dan spasi antar elektroda sejauh 5 meter. Desain lintasan dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Desain survei di lokasi penelitian.

Penelitian ini menggunakan konfigurasi Wenner-Schlumberger yaitu susunan elektroda dengan spasi yang konstan untuk jarak elektroda  $P_1$ - $P_2$ ,  $C_1$ - $P_1$ , dan  $P_2$ - $C_2$ , dengan faktor rasio  $n$ . Konfigurasi Wenner-Schlumberger dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Konfigurasi Wenner-Schlumberger (Loke, 2000).

Faktor geometri  $k$  ditentukan oleh susunan elektroda, untuk konfigurasi *Wenner-Schlumberger* dapat dirumuskan sebagai (Loke, 2000)

$$k = (n + 1)\pi na \quad (1)$$

Interpretasi ketebalan lapisan gambut dilakukan berdasarkan sebaran tahanan jenis yang diperoleh, kondisi geologi, dan penelitian sebelumnya di sekitar lokasi penelitian. Sebaran tahanan jenis yang sesungguhnya dihasilkan dari proses inversi tahanan jenis semu  $\rho_a$  dan dirumuskan sebagai

$$\rho_a = k \left( \frac{V}{I} \right) \quad (2)$$

Setiap lapisan batuan yang dilewati aliran listrik akan menunjukkan sebaran nilai tahanan jenis yang khas baik secara vertikal maupun horizontal, karena hal ini sangat dipengaruhi oleh material penyusun batuan. Lapisan gambut yang memiliki kandungan air akan memiliki nilai tahanan jenis lebih kecil dibandingkan lapisan gambut yang tidak mengandung air. Nilai tahanan jenis gambut dan beberapa material lain dapat dilihat pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Nilai tahanan jenis beberapa material (Sirait and Andi, 2015; Muliadi et al., 2019; Telford et al., 1990)

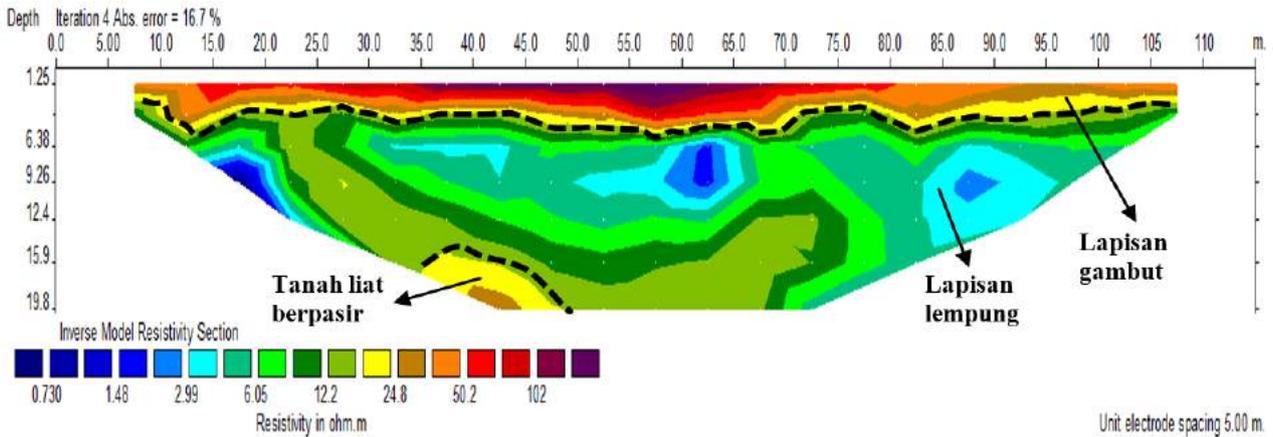
Material	Tahanan Jenis ( $\Omega m$ )
Pirit	0,01 - 100
Pirotit	0,001 - 0,01
Magnetit	0,01 - 1.000
Lempung	1 - 100
Kerikil	100 - 600
Pasir	1 - 1000
Batu Pasir	200 - 8.000
Gamping	500 - 10.000
Basal	200 - 100.000
Kuarsa	500 - 800.000
Tanah liat berpasir	124 – 1107
	14,9 - 107
Gambut	40 - 709,6

## Hasil dan Pembahasan

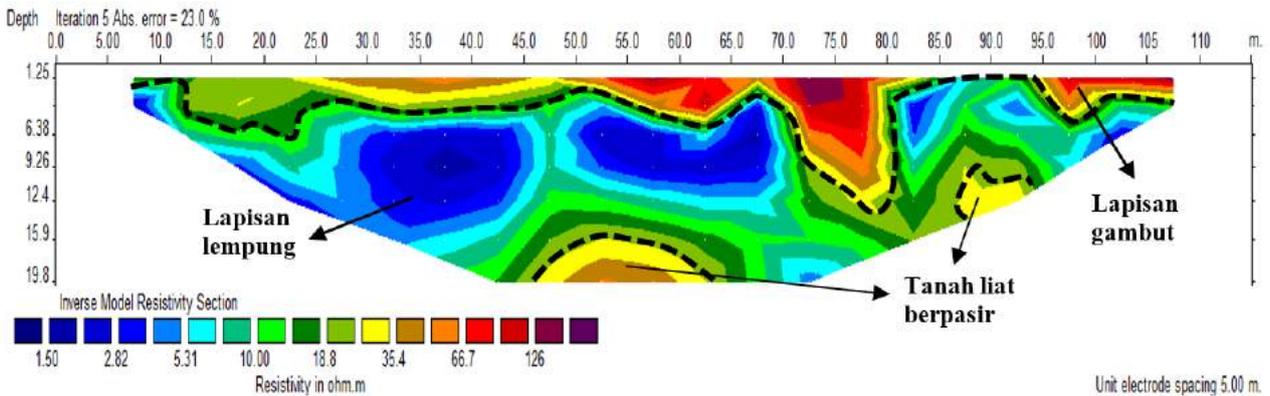
Hasil penelitian pada lintasan 1 hingga lintasan 4 telah mengidentifikasi lapisan gambut dengan ketebalan yang bervariasi. Selain itu, juga telah teridentifikasi lapisan lain yang berada di bawah lapisan gambut. Setiap lapisan mempunyai nilai tahanan jenis yang berbeda, dan interpretasi mengacu pada penelitian sebelumnya (Masudi et al., 2021).

Lintasan 1 berada pada koordinat 0°3'52,949" LS 109°20'28,640" BT - 0°3'50,425" LS 109°20'26,167" BT. Pada lintasan ini diperoleh nilai tahanan jenis 0,73 – 102  $\Omega m$ . Ketebalan lapisan gambut pada lintasan 1 dapat dilihat pada Gambar 4. Lapisan dengan rentang nilai tahanan jenis 24,8 – 102  $\Omega m$  diinterpretasi sebagai lapisan gambut, yang memiliki ketebalan dari permukaan hingga mencapai kedalaman 6 meter. Nilai tahanan jenis 0,73 – 2,99  $\Omega m$  pada kedalaman 6 – 19,8 m diinterpretasi sebagai lempung. Sedangkan nilai tahanan jenis sekitar 24,8  $\Omega m$  pada kedalaman 15,9 – 19,8 m yang ditunjukkan oleh warna kuning hingga coklat diinterpretasi sebagai lapisan tanah liat berpasir.

Lintasan 2 berada pada koordinat 0°3'51,570" LS 109°20'26,070" BT - 0°3'49,129" LS 109°20'28,831" BT. Ketebalan lapisan gambut pada lintasan 2 dapat dilihat pada Gambar 5. Nilai tahanan jenis yang diperoleh pada lintasan ini memiliki rentang tahanan jenis 1,50 – 126  $\Omega m$ . Lapisan gambut diperkirakan memiliki ketebalan hingga 12,5 meter. Pada lintasan ini lapisan gambut ditunjukkan oleh warna hijau hingga ungu dengan rentang nilai tahanan jenis 18,8 – 126  $\Omega m$ . Nilai tahanan jenis 1,50 – 10  $\Omega m$  diinterpretasi sebagai lapisan lempung dengan mengacu pada rentang nilai tahanan jenis lempung pada Tabel 1. Sedangkan nilai tahanan jenis 35,4  $\Omega m$  dengan warna kuning hingga coklat pada kedalaman 15,9 – 19,8 m diinterpretasi sebagai lapisan tanah liat berpasir.



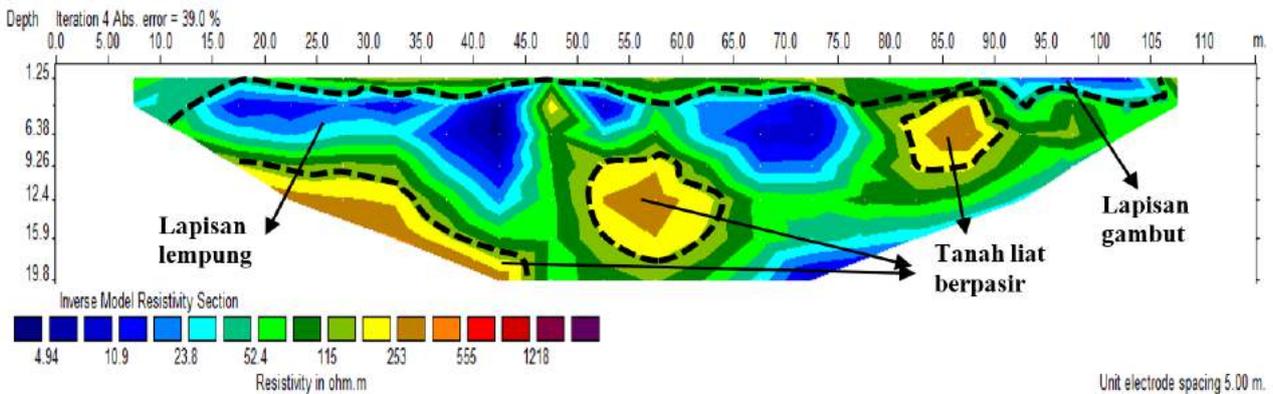
Gambar 4. Penampang 2D tahanan jenis pada lintasan 1.



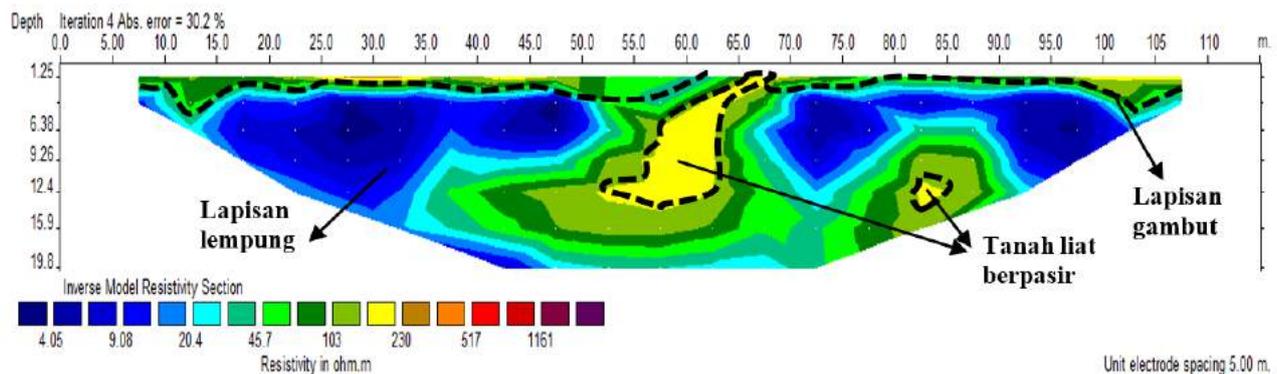
Gambar 5. Penampang 2D tahanan jenis pada lintasan 2.

Lintasan 3 berada pada koordinat  $0^{\circ}3'49,298''$  LS  $109^{\circ}20'27,658''$  BT -  $0^{\circ}3'51,563''$  LS  $109^{\circ}20'30,145''$  BT. Ketebalan lapisan gambut pada lintasan 2 dapat dilihat pada Gambar 6. Nilai tahanan jenis yang diperoleh  $4,94 - 253 \Omega\text{m}$ . Lapisan gambut berada di permukaan dan mencapai kedalaman hingga 6 m. Lapisan gambut diperkirakan berada pada rentang nilai tahanan jenis  $23,8 - 115 \Omega\text{m}$  yang

ditunjukkan oleh warna biru hingga hijau. Nilai tahanan jenis  $4,94 - 10,9 \Omega\text{m}$  diinterpretasi sebagai lapisan lempung, yang berada pada kedalaman  $1,5 - 12,4$  m. Sedangkan nilai tahanan jenis sekitar  $253 \Omega\text{m}$  merupakan tanah liat berpasir yang berada hingga kedalaman  $19,8$  m.



Gambar 6. Penampang 2D tahanan jenis pada lintasan 3.



Gambar 7. Penampang 2D tahanan jenis pada lintasan .

Lintasan 4 berada pada koordinat  $0^{\circ}3'53,100''$  LS  $109^{\circ}20'7,571''$  BT -  $0^{\circ}3'50,551''$  LS  $109^{\circ}30,181''$  BT. Ketebalan lapisan gambut pada lintasan 2 dapat dilihat pada Gambar 7. Nilai tahanan jenis yang diperoleh adalah  $4,05 - 230 \Omega\text{m}$ . Lapisan gambut diperkirakan berada pada rentang nilai tahanan jenis  $20,4 - 103 \Omega\text{m}$  dengan warna biru hingga hijau. Lapisan gambut berada di permukaan dan mencapai kedalaman hingga  $6,3$  m. Nilai tahanan jenis  $4,05 - 20,4 \Omega\text{m}$  diinterpretasi sebagai lapisan lempung yang berada pada kedalaman  $1,5 - 19,8$  m. Sedangkan nilai tahanan jenis sekitar  $253 \Omega\text{m}$  merupakan tanah liat berpasir yang berada pada kedalaman hingga  $13$  m.

Lapisan gambut di lokasi penelitian umumnya mempunyai nilai tahanan jenis lebih besar jika dibandingkan dengan lapisan lempung yang tepat berada di bawahnya (Masudi et al., 2021). Hal ini diduga disebabkan karena porositas lapisan gambut yang relatif lebih besar (Muliadi et al., 2019). Kedalaman lapisan gambut mulai dari sedang ( $100 - 200$  cm) hingga sangat dalam (lebih dari  $300$  cm). Lapisan lempung memiliki nilai tahanan jenis yang relatif lebih kecil karena ion mineral lempung dan adanya polarisasi membran (Kurniawan, 2014). Lapisan yang lain adalah tanah liat berpasir yang dapat meloloskan fluida karena bersifat permeabel, dan interpretasi nilai tahanan jenisnya mengacu pada penelitian sebelumnya di sekitar lokasi penelitian (Ramadhaningsih and Sampurno, 2017).

## Kesimpulan

Dari hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa nilai tahanan jenis yang diperoleh yaitu  $0,73 - 1,218 \Omega\text{m}$  hingga kedalaman  $6 - 12,5$  m. Lapisan bawah permukaan di lokasi penelitian diinterpretasi sebagai gambut, lempung, dan tanah liat berpasir. Lapisan gambut diperkirakan memiliki rentang nilai tahanan jenis sebesar  $18,8 - 126 \Omega\text{m}$  dan merupakan lapisan paling atas yang diduga mempunyai ketebalan sebesar  $3 - 15$  m.

## Daftar Pustaka

- Agus, F. and Subiksa, I. M. 2008. *Lahan Gambut: Potensi untuk Pertanian dan Aspek Lingkungan*. Bogor, Indonesia: Balai Penelitian Tanah dan World Agroforestry Center (ICRAF).
- Anas, N. A., Syamsuddin, Harime, B. and Nasri, M. 2020. *Identifikasi Struktur Bawah Permukaan di Sekitar Manifestasi Panas Bumi Reatoa Kabupaten Maros Menggunakan Survey Geolistrik Resistivitas*. Jurnal Geoelebes, 4(1):23–32.
- BPS. 2019. *Propinsi Kalimantan Barat dalam Angka*. Pontianak: Badan Pusat Statistik Kalimantan Barat.
- Ferial, D., Natalisanto, A. I. and Lazar, P. A. 2019. *Identifikasi Sebaran Mineral Bijih Besi dengan Menggunakan Metode Resistivitas dan Induced (IP) di Kecamatan Muara Uya, Kabupaten Tabalong*,

- Provinsi Kalimantan Selatan. Jurnal Geosains Kutai Basin*, 2(2):1–9.
- Kurniawan, A. 2014 *Sifat Resistivitas Rendah Mineral Lempung*. Masyarakat Ilmu Bumi Indonesia, 1(2):1–9.
- Loke, D. M. 2000. *Electrical Imaging Surveys for Environmental and Engineering Studies*. Geoelectrical.com.
- Masudi, Nurhasanah and Muhandi. 2021. *Identifikasi Kedalaman Lapisan Tanah Keras Menggunakan Metode Geolistrik Tahanan Jenis (Studi Kasus: Jalan Perdana Kota Pontianak)*. Jurnal Ilmu dan Inovasi Fisika, 5(1):59–64.
- Milsom, J. 2002. *Field Geophysics*. Third Edit. England: Wiley.
- Muhandi, Muliadi and Zulfian. 2020. *Model 3D Sebaran Lindi pada Lapisan Tanah di Area TPA Batulayang Pontianak Kalimantan Barat Berdasarkan Nilai Resistivitas*. Jurnal Fisika Flux, 17(2):73–79.
- Muhandi, Perdhana, R. and Nasharuddin. 2019. *Identifikasi Keberadaan Air Tanah Menggunakan Metode Geolistrik Resistivitas Konfigurasi Schlumberger (Studi Kasus: Desa Clapar Kabupaten Banjarnegara)*. Prisma Fisika, 7(3):331–336.
- Muhandi and Wahyudi. 2019. *Identifikasi Litologi Area Rawan Longsor di Desa Clapar-Banjarnegara Menggunakan Metode Geolistrik Resistivitas Konfigurasi Schlumberger*. Jurnal Fisika, 9(2):52–59.
- Muliadi, Zulfian and Muhandi. 2019. *Identifikasi Ketebalan Tanah Gambut Berdasarkan Nilai Resistivitas 3D: Studi Kasus Daerah Tempat Pembuangan Akhir Batu Layang Kota Pontianak*. Positron, 9(2):86–94.
- Nurfalaq, A., Nawir, A., Manrulu, R. H. and Umar, E. P. 2018. *Identifikasi Akuifer Daerah Pallantikang Kabupaten Jeneponto dengan Metode Geolistrik*. Jurnal Fisika Flux, 15(2):117–127.
- Nurfalaq, A. and Jumardi, A. 2019. *Identifikasi Batuan Bawah Permukaan Daerah Longsor Kelurahan Kambo Kota Palopo Menggunakan Metode Geolistrik Konfigurasi Dipole-Dipole*. Jurnal Geocelbes, 3(2): 66–74.
- Ramadhaningsih, L. and Sampurno, J. 2017. *Identifikasi Struktur Lapisan Bawah Permukaan Lahan Gambut di Desa Arang Limbung Kecamatan Sungai Raya Kabupaten Kubu Raya dengan Metode Resistivitas Konfigurasi Dipole-Dipole*. Physics Communication, 1(2): 29–35.
- Santoyo, P. and Pieters, P. E. 1993. *Peta Geologi Lembar Pontianak/Nangataman, Kalimantan*. Bandung: Badan Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Sirait, F. and Ihwan, A. 2015. *Identifikasi struktur lapisan tanah gambut sebagai informasi awal rancang bangunan dengan metode geolistrik*. Prisma Fisika, 3(2):8–12.
- Telford, W. M., Geldart, L. P. and Sheriff, R. E. 1990. *Applied Geophysics*. Second Edition. New York: Cambridge University Press.

## ANALISIS MODEL PENANGANAN GARIS PANTAI DI PANTAI UJUNG PANDARAN KABUPATEN KOTAWARINGIN TIMUR

Sakka<sup>1</sup>, Baharuddin<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Geofisika, Universitas Hasanuddin, Indonesia.

<sup>2</sup>Program Studi Ilmu Kelautan, Universitas Lambung Mangkurat, Indonesia.

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

Manuscript received: 2 January 2020\*); Received in revised form: 25 March 2021; Accepted: 1 April 2021

### Abstrak

Wilayah Pantai Ujung Pandaran Kecamatan Teluk Sampit Kabupaten Kotawaringin Barat telah mengalami abrasi pantai sebesar 3,262 Ha selama tahun 2014 – 2017. Hal tersebut dapat diantisipasi dengan penanganan baik secara struktur lunak maupun keras. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui model penanganan abrasi Pantai Ujung Pandaran. Berdasarkan hasil analisis menunjukkan bahwa penanganan pantai yang terabrasi dapat dilakukan dengan struktur keras melalui sabuk pantai dan *revetment*. Sabuk pantai dibangun berada pada kedalaman 0,9 – 1,5 meter MSL dengan lebar celah sejauh 10 – 20 meter, sedangkan *revetment* di bangun pada celah antara sabuk pantai. Bentuk bangunan tersebut dapat mengurangi abrasi pantai dan akan terbentuk *cusplate* di belakang bangunan pantai.

**Kata Kunci:** Perubahan garis pantai; penanganan pantai; *revetment*; sabuk pantai

### Abstract

Ujung Pandaran Coastal Area, Teluk Sampit Subdistrict, Kotawaringin Barat District have experienced coastal abrasion of 3,262 ha during 2014-2017. To anticipate this, it needs to be handled both soft and hard structures. This research was conducted to determine the model for handling the Ujung Pandaran beach abrasion. Based on the results of the analysis shows that the handling of abrasive beaches can be done with hard structures through beach belts and revetments. The beach belt is built at a depth of 0.9 - 1.5 meters MSL with a gap width of 10 - 20 meters, while the revetment is built at the gap between the beach belts. With the shape of the building can reduce beach abrasion and cusplate will form behind the beach building.

**Keywords:** coast belt; revetment; shoreline change; shore treatment

### Pendahuluan

Wilayah pesisir merupakan salah satu wilayah yang mengalami degradasi buruk akibat pengelolaan yang tidak terencana dengan baik dalam kurun waktu yang lama. Konversi lahan *mangrove* menjadi lahan produktif dan pemukiman, serta tekanan aktivitas yang tinggi di wilayah pesisir

menyebabkan berbagai dampak seperti erosi/ abrasi, sedimentasi, pencemaran, ROB, penurunan produktivitas perikanan dan berbagai masalah sosial yang memerlukan penanganan secara menyeluruh dan lintas sektor (Djunaedi dan Basuki, 2002).

Upaya dan langkah adaptasi bagi masyarakat yang hidup dan memiliki penghidupan di wilayah pesisir sangat diperlukan. Ada tiga cara adaptasi yang dapat dilakukan, yaitu: proteksi (melindungi garis pantai), alokasi (memberikan ruang bagi air yang masuk ke darat) serta relokasi (memindahkan permukiman maupun aset lainnya yang terdampak ke lokasi lain). Ketiga metode ini juga dapat dikombinasikan sesuai dengan situasi dan kondisi wilayah yang terdampak.

Wilayah Pantai Ujung Pandaran Kecamatan Teluk Sampit Kabupaten Kotawaringin Barat Provinsi Kalimantan Tengah memiliki tipe pantai yang unik karena merupakan dataran pantai landai yang tumbuh dan berkembang secara alami berupa lidah pasir (*sand spit*) yang membentang sejauh  $\pm 5$  km dengan lebar 10 – 500 m yang membujur ke arah timur laut dan menghadap ke arah tenggara (Laut Jawa) di bagian selatan dan Teluk Sampit di bagian timur dan utara. Wilayah tersebut merupakan salah satu wilayah yang mengalami dampak perubahan iklim (KKP, 2018), sehingga sebagian besar mengalami abrasi yang cukup besar dan menyebabkan kerusakan permukiman maupun obyek wisata sebagai akibat peningkatan paras muka laut (*sea level rise*) dan peningkatan frekuensi gelombang besar yang disertai oleh cuaca ekstrim seperti badai.

Berdasarkan data dari RZWP-3-K Provinsi Kalimantan Tengah (DKP, 2017) Pantai Ujung Pandaran merupakan salah satu bagian wilayah pantai dari 460,36 km atau (65,40%) dari total panjang pantai Kalimantan Tengah 703,91 km yang memiliki Indeks Kerentanan Pantai (IKP) kategori tinggi.

Berbagai upaya telah dilakukan untuk penanganan abrasi pantai seperti pemasangan bronjong (*revetment*), *geobag* (isian pasir), *breakwater* dan bangunan pengaman pantai dalam bentuk sabuk

pantai Karung Geotekstil Memanjang (KGM). Akan tetapi dari berbagai bangunan tersebut wilayah pantai Ujung Pandaran masih mengalami abrasi. Secara keseluruhan abrasi pada periode tahun 2014 – 2017 untuk posisi HWS (*High Water Springs*) sebelum dibangunnya sabuk pantai, wilayah pantai yang terabrasi sepanjang 4,819 km (85,75%) lebih dominan dibandingkan yang mengalami sedimentasi hanya 0,801 km (14,25%). Pada periode ini wilayah daratan telah mengalami abrasi sebesar 3,262 ha atau rata-rata 1,087 Ha/tahun dengan lebar abrasi dapat mencapai 1 – 25 m. Sedangkan pada periode tahun 2017 – 2018 setelah adanya sabuk pantai, abrasi pada posisi HWS hanya sebesar 0,423 Ha. Pada wilayah belakang sabuk pantai abrasi berkisar 1 – 10 m, sedangkan di luar sabuk pantai berkisar 1 – 8,5 m (KKP, 2018).

Analisis abrasi pantai dan penanganannya telah dilakukan oleh beberapa peneliti sebelumnya seperti Supriyanto (2003); Aziz dkk. (2016); Munandar dan Ika (2017). Akan tetapi hasil penelitian tersebut masih dilakukan terpisah dengan antara penyebab dan penanganannya.

Oleh karena itu penelitian ini dilakukan bertujuan untuk memodelkan penanganan abrasi Pantai Ujung Pandaran Kabupaten Kotawaringin Timur, sehingga dapat memberikan rekomendasi untuk mengurangi dampak abrasi yang terjadi.

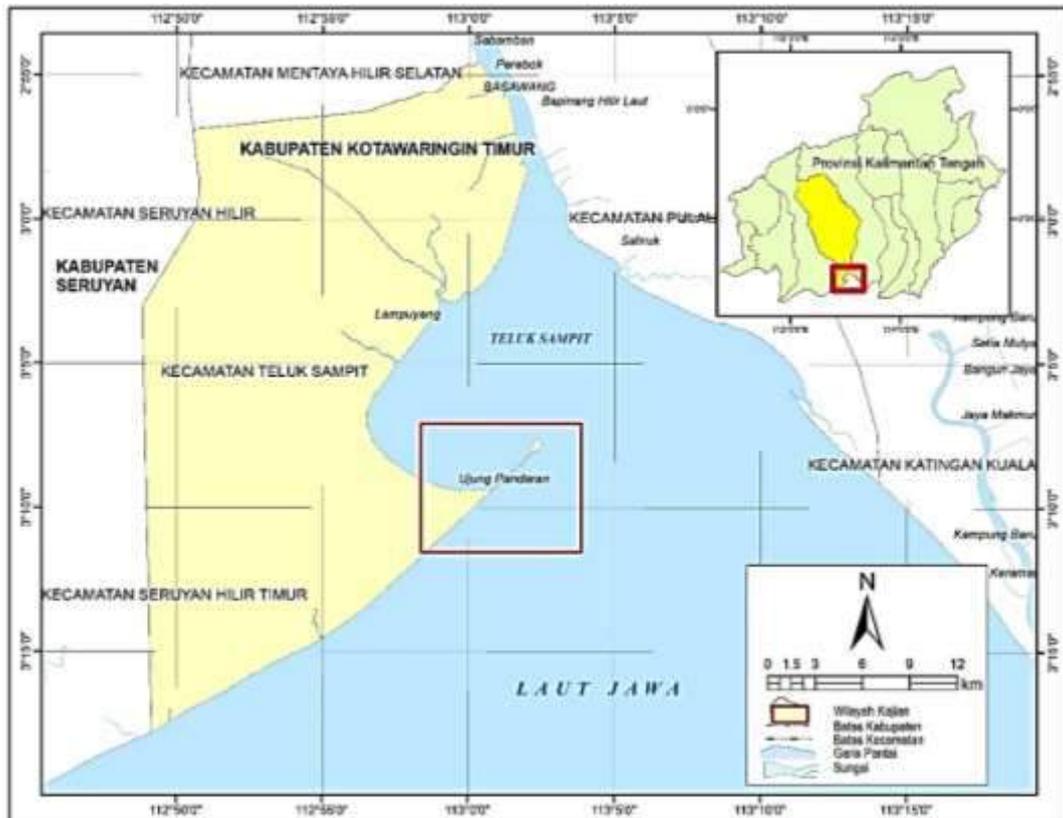
### Metode Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Pantai Ujung Pandaran Kecamatan Kumai Kabupaten Kotawaringin Timur Provinsi Kalimantan Tengah Tahun 2018 (Gambar 1). Data – data yang dikumpulkan meliputi batimetri, angin, topografi dan pasang surut.

Analisis parameter gelombang laut dalam menggunakan metode SMB (Sverdrup Munk Bretschneider) yang dimodifikasi oleh CHL (2006). Metode ini dikenalkan

oleh Sverdrup dan Munk pada 1947 dan dilanjutkan oleh Bretschneider pada 1958, yang dibangun berdasarkan pertumbuhan energi gelombang. Kecepatan angin yang digunakan adalah kecepatan angin maksimum harian yang dapat membangkitkan gelombang, yakni kecepatan  $\geq 10$  knot dari arah barat, timur, tenggara, selatan dan barat daya, sedangkan

arah lain tidak dihitung karena berasal dari darat. Data angin yang diperoleh dari Stasiun Meteorologi Kelas IV H. Asan – Kotawaringin Timur tersebut terlebih dahulu dikoreksi menjadi data angin yang dapat membangkitkan gelombang. Analisis yang digunakan adalah mengikuti petunjuk dari CHL (2006).



Gambar 1. Lokasi Penelitian.

Parameter gelombang perairan dalam dari metode SMB adalah:

Tinggi gelombang signifikan

$$H_s = 1,6 \times 10^{-3} F_*^{0,5} \frac{U_A^2}{g} \quad (1)$$

$$H_s = 0,243 \frac{U_A^2}{g}; \text{ untuk } F_* > 2 \times 10^4 \text{ (fully developed waves)} \quad (2)$$

Periode gelombang signifikan:

$$T_s = 0,2857 F_*^{1/3} \frac{U_A}{g} \quad (3)$$

$$\text{dan } T_s = 8,13 \frac{U_A}{g}; \text{ untuk } F_* > 2 \times 10^4 \text{ m}$$

$$\text{(fully developed waves)} \quad (4)$$

$$\text{Dalam hal ini, } F_* = \frac{g F_{eff}}{U_A^2} = \text{fetch tak}$$

berdimensi;  $U_A$  = faktor tegangan angin;  $t$  = durasi pertumbuhan gelombang (detik);  $F_{eff}$  = panjang *fetch* efektif (m);  $g$  = percepatan gravitasi ( $\text{m/s}^2$ ).

Analisis model gelombang dilakukan dengan menggunakan model CMS Wave yakni salah satu modul perangkat lunak pemodelan numerik *Surface Modeling System (SMS Versi 11)*. CMS Wave memiliki kemampuan untuk memodelkan

beberapa fenomena terkait gelombang seperti difraksi, refraksi, *Run-up*, *Set-up*, *Overtopping*, *wave generation* dan interaksi gelombang dengan struktur pantai (*groin*, *jetty*, *breakwater*).

Perhitungan rencana sabuk ditentukan dengan menentukan beberapa parameter sebagai berikut (Azhar dkk., 2012):

- 1) Jarak Sabuk dari garis pantai ( $X_{brw}$ )  
 Jarak  $X_{brw}$  dari pantai ke sabuk dapat diestimasi dengan:  $X_{brz} < X_{brw} < 300$  m dengan  $X_{brw}$ : jarak dari garis pantai yang sebenarnya menuju sabuk (m), dan  $X_{brz}$ : lebar zona sabuk (m).
- 2) Panjang Sabuk ( $L_{brw}$ )  
 Panjang sabuk dapat diestimasi dengan  $L_{brw} \approx 0,65 X_{brw}$
- 3) Jarak antar/ *gap* ( $L_{gap}$ ) Sabuk terdekat:  
 Jarak antar sabuk terdekat dijumlahkan dengan  $L_{gap} = 0,5 L_{brw}$

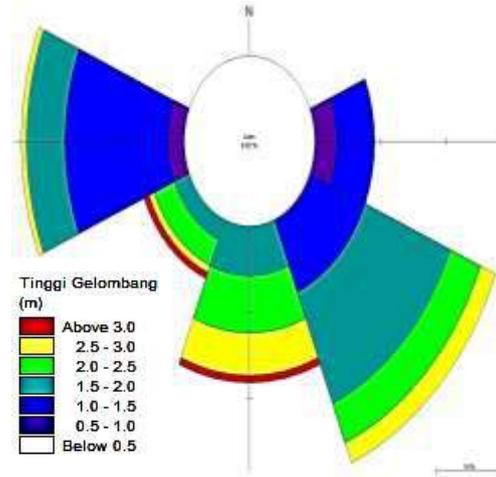
## Hasil dan Pembahasan

### Karakteristik Gelombang

Berdasarkan prediksi gelombang harian di perairan Ujung Pandaran selama tahun 2017 – 2018 dari arah angin yang membangkitkan gelombang menunjukkan bahwa gelombang lebih dominan berasal dari tenggara (34,50%), selanjutnya dari arah selatan 23,10% dan dari barat 17,54%. Akan tetapi tinggi dan periodenya dari arah barat daya lebih besar yakni berkisar 1,0 m – 3,3 m dan 4,4 s – 6,6 s dengan frekuensi hanya 9,65%, sedangkan dari tenggara hanya berkisar 0,9 m – 2,1 m dan 4,1 s – 5,5 s (Gambar 2).

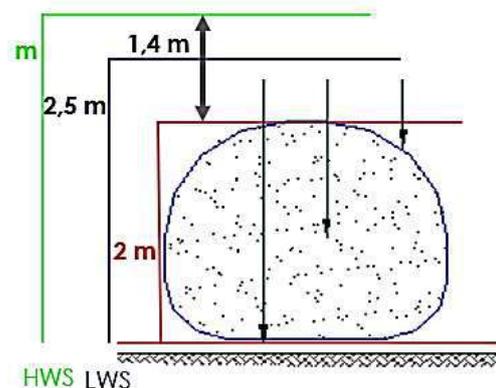
Hasil prediksi gelombang menunjukkan bahwa setiap musim parameter gelombang yang terbentuk terjadi perbedaan. Hal ini disebabkan karena adanya perbedaan faktor yang mempengaruhi dan membangkitkan gelombang seperti kecepatan angin, durasi, arah angin, dan *fetch* (CHL, 2006). Pada lokasi penelitian diperoleh *fetch* dari arah selatan lebih besar yakni 194,189 m, sedangkan dari arah barat daya 161,161 m

dan tenggara hanya 130,415 m. Akan tetapi kecepatan angin ( $U_w$ ) dari barat daya lebih besar yakni 4,7 – 13,9 m/s, selatan 4,7 – 10,4 m/s dan tenggara hanya berkisar 4,7 – 10,4 m/s.



Gambar 2. Mawar gelombang maksimum harian selama tahun 2017 – 2018

Perairan Ujung Pandaran Kabupaten Kotawaringin Timur merupakan daerah yang relatif cukup terbuka dari serangan gelombang laut karena berhadapan dengan Laut Jawa di bagian selatan. Berdasarkan hasil analisis di atas, menunjukkan bahwa bentuk dan tata letak konstruksi bangunan pantai harus memperhatikan faktor dinamika gelombang tersebut. Hal ini akan sangat berpengaruh terhadap bangunan pantai misalnya *breakwater* atau sabuk pantai.



Gambar 3. Posisi sabuk yang dibangun tahun 2017 terhadap kedalaman

Sabuk pantai yang dibangun pada tahun 2017 – 2018 memiliki ketinggian 2 m yang dipasang pada kedalaman 2 – 2,5 m LWS (*Low Water Spring*), sehingga pada saat

HWS sabuk pantai berada pada kedalaman 3,7 – 4,3 m HWS. Kondisi pantai saat HWS dengan adanya sabuk pantai belum berfungsi efektif dalam meredam energi gelombang akibat posisi sabuk masih terendam sedalam 1 – 1,4 m (Gambar 3 – 4).

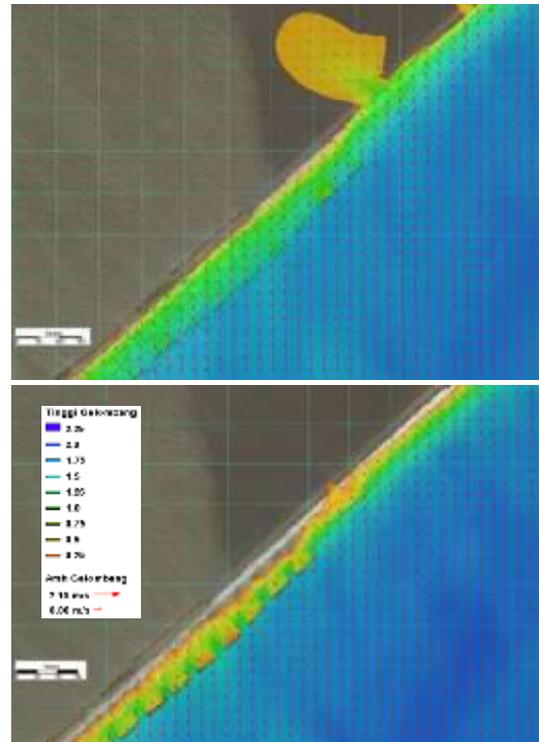


**Gambar 4.** Gelombang yang masih terjadi di belakang bangunan sabuk pantai (muncul ke permukaan) pada saat posisi air MSL (*Mean Sea Level*).

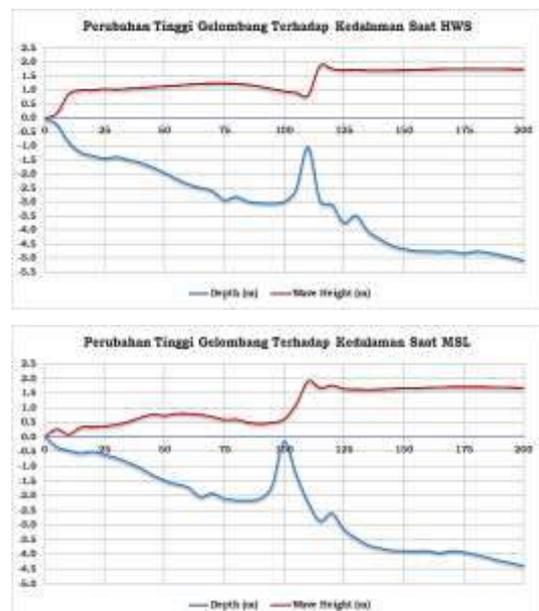
Kondisi gelombang cukup tinggi dari arah selatan dan tenggara selama periode Juli 2017 – 2018, berkisar 0,9 – 2,7 m dengan persentase kejadian 57,6% dan jika melihat karakteristik pasang surut di wilayah Ujung Pandaran yang bertipe semi diurnal condong kehariian tunggal sehingga posisi sabuk akan terendam (di bawah MSL) selama  $\pm 6$  jam – 12 jam saat menuju pasang dan menuju surut di atas MSL. Dengan demikian selama waktu tersebut, jika gelombang yang terjadi  $> 1$  m maka gelombang akan pecah di daerah garis pantai pasang tertinggi, sehingga menyebabkan abrasi di sepanjang pantai Ujung Pandaran.

Hasil yang diperoleh tersebut sesuai dengan hasil permodelan CMS *Wave* yang dilakukan baik saat posisi HWS maupun MSL, sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 5 dan 6. Dengan input gelombang dari laut dalam sebesar 2 m, setelah mengalami transformasi maka saat di wilayah sabuk pantai gelombang akan pecah setinggi 1,9 m dan di belakang bangunan menurun 0,9 m dan gelombang tersebut akan menjalar terus ke pantai dan kemudian akan pecah kembali. Sedangkan saat MSL, gelombang akan mengalami

penurunan cukup drastis di belakang bangunan ( $< 50\%$ ). Untuk gelombang diantara celah bangunan sabuk pantai akan pecah sampai ke daerah pantai.



**Gambar 5.** Perbandingan model perubahan gelombang saat HWS (atas) dan MSL (bawah) dari arah selatan.



**Gambar 6.** Perbandingan perubahan tinggi gelombang saat HWS dan MSL di daerah sabuk pantai dari arah selatan.

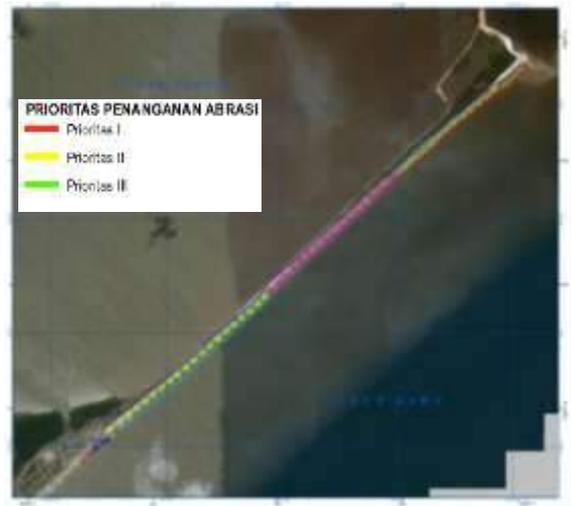
Hasil penelitian ini sama yang dilakukan oleh Baharuddin dkk. (2009) dengan menggunakan model RCPWave maupun Abdallah et al. (2006) menggunakan program ACES dengan menggunakan persamaan *mild slope* diselesaikan dalam tiga parameter yaitu tinggi gelombang, sudut gelombang dan fase gelombang. Gelombang akan pecah pada saat berbenturan dengan bangunan pantai.

#### Model Penanganan Abrasi Pantai

Berdasarkan hasil identifikasi yang telah dilakukan oleh KKP pada tahun 2017, bentuk penanganan pantai yang dapat dilakukan di Pantai Ujung Pandaran hanya berupa penanganan keras.

Bangunan pantai seperti *groin*, *revetment* dan tanggul banjir sesuai untuk melindungi perumahan atau bangunan dari erosi/ abrasi musiman, serangan gelombang atau banjir. Abrasi bangunan pantai dapat dihentikan untuk sementara namun abrasi sebenarnya akan terus terjadi karena jumlah sedimen yang berpindah di zona *breaker* tidaklah berubah. Akibatnya gerusan terus menerus terjadi di depan bangunan dan secara langsung mengancam bangunan yang terletak di pantai yang erosi karena kikisan oleh gerusan di depan bangunan. Upaya mitigasi dengan cara buatan perlu direncanakan secara cermat, karena dapat mengakibatkan terjadinya perubahan pola dan karakteristik gelombang yang dalam jangka panjang bisa mengakibatkan terjadinya erosi atau sedimentasi di tempat lain.

Hasil analisis matriks penilaian prioritas pembangunan bangunan pengaman pantai di Pantai Ujung Pandaran terbagi atas 3 (tiga) bagian yakni : Prioritas 1 pada bagian tengah, Prioritas II pada bagian barat (kawasan permukiman sampai sebelum garis pantai terputus) dan Prioritas III Bagian Timur (daerah Makam sampai Tanjung Pandaran), sebagaimana disajikan pada Gambar 7.



**Gambar 7.** Rekomendasi lokasi sabuk penanganan abrasi Pantai Ujung Pandaran

Untuk melihat tingkat pengaruh bangunan pantai terhadap dinamika hidrooseanografi terutama proses transformasi gelombang, maka dilakukan simulasi. Berdasarkan hasil *review* yang telah dijelaskan seperti di atas, bahwa posisi sabuk pantai yang telah dibangun pada tahun 2017 – 2018 berada pada kedalaman 2 – 2,5 m LWS atau berada pada kedalaman 3,7 – 4,3 m HWS, sehingga posisi sabuk pantai masih tenggelam 1 – 1,5 m HWS. Kondisi tersebut menyebabkan gelombang akan sampai ke pantai di belakang bangunan, meskipun energi dan tinggi gelombang sudah berkurang. Akan tetapi energi gelombang masih cukup besar untuk menyebabkan abrasi pantai.

Oleh karena itu perlu dipertimbangkan lokasi penempatan sabuk terhadap kedalaman maupun lebar antar sabuk pantai untuk mengurangi dampak abrasi dan mempercepat proses terbentuk *cusate* dan *tombolo*. Dengan asumsi bahwa tinggi bangunan sabuk pantai 2 m dengan panjang sabuk 60 meter dan lebar celah antar sabuk sebesar 15 dan 25 m, maka pada saat pasang tertinggi bangunan tersebut maksimal -0,5 m dari HWS, sehingga posisi sabuk berada pada kedalaman (-2) – (-2,5) m HWS atau (-1,2) – (-1,7) MSL. Di wilayah pantai yang terputus, sabuk ditempatkan pada kedalaman -1,1 MSL, hal ini dilakukan agar

pengaruh gelombang tidak semakin menggerus pantai, akan tetapi proses difraksi gelombang di belakang bangunan semakin kecil, sehingga proses terbentuknya sedimentasi semakin cepat dan garis pantai yang terputus akan tersambung kembali.

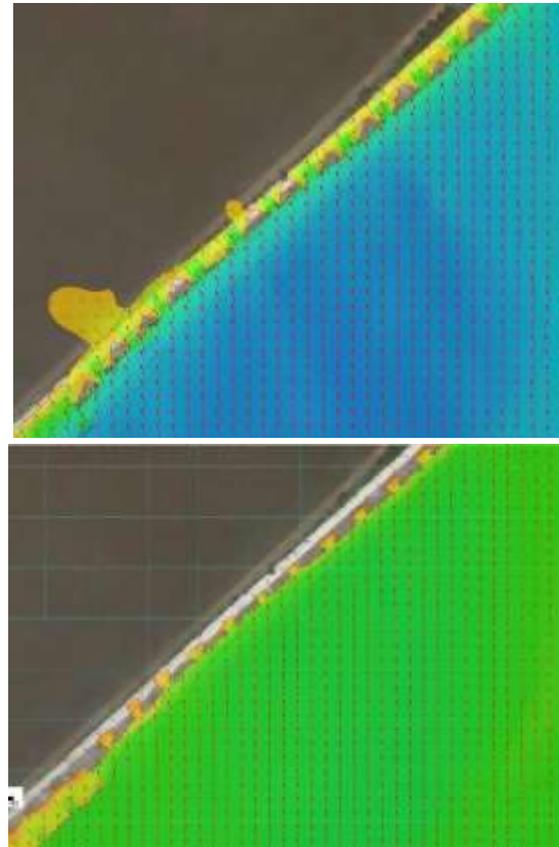
Prioritas I terletak pada wilayah bagian tengah (belakang Segmen 20 sampai Daerah Makam) sepanjang 1.463,90 m. Hasil simulasi gelombang baik dari arah selatan maupun tenggara menunjukkan bahwa tinggi gelombang di belakang bangunan sabuk pantai pada saat HWS cukup besar mengalami penurunan tinggi gelombang ( $< 0,5$  m), sehingga energi gelombang dalam menggerus pantai akan semakin berkurang, akan tetapi di celah antara bangunan sabuk pantai, tinggi gelombang masih tinggi (0,75 – 1 m) dan cukup berpotensi dalam menggerus dan menyebabkan abrasi pantai. Hal ini sebagai akibat lebar antar sabuk masih cukup lebar yakni 25 m, sedangkan pada daerah pantai yang terputus dibuat dengan jarak 15 m tinggi gelombang sedikit lebih kecil yakni  $< 0,75$  m, sebagaimana disajikan pada Gambar 8.

Untuk wilayah depan makam, panjang sabuk dibuat sepanjang 120 m, terlihat bahwa gelombang tidak lagi terbentuk di posisi MSL, sedangkan pada saat HWS gelombang sudah sangat jauh menurun ( $< 0,25$  m). Dengan hasil simulasi tersebut menunjukkan bahwa potensi abrasi akan sangat jauh menurun di wilayah ini.

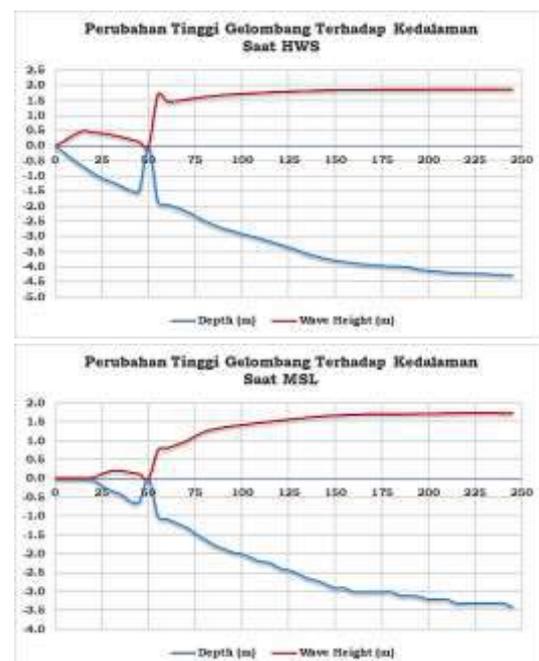
Hasil ini dapat disimpulkan bahwa dengan posisi sabuk berada pada kedalaman -1,2 MSL dan lebar celah antar sabuk  $< 20$  m akan lebih efektif dalam meredam energi gelombang dan abrasi pantai dibandingkan posisi sabuk pantai dibangun pada kedalaman yang tidak terlihat atau  $> 0,5$  HWS.

Untuk mengetahui pola transformasi perubahan tinggi gelombang terhadap

kedalaman dan posisi sabuk, maka dilakukan ekstraksi hasil model baik saat HWS maupun MSL untuk prioritas I dan II, sebagaimana disajikan pada Gambar 9.



**Gambar 8.** Simulasi perbandingan model perubahan gelombang saat HWS dan MSL dari arah selatan.



**Gambar 9.** Perbandingan model perubahan gelombang saat HWS dan MSL

Gambar tersebut memperlihatkan bahwa terjadi penurunan tinggi gelombang di belakang bangunan sabuk pantai, dibandingkan dengan tinggi gelombang di antara celah sabuk pantai. Demikian halnya dengan adanya ketinggian sabuk pantai rencana yang akan dibangun pada kedalaman -1,1 MSL atau puncak sabuk pantai masih terendam minimal -0,5 HWS cukup efektif dalam meredam energi gelombang dan abrasi pantai.

Perubahan tinggi gelombang terjadi pada posisi sabuk pantai rencana saat HWS, gelombang sudah pecah dan ketika sampai di pantai ketinggiannya menurun (<0,4 m) dibandingkan pada posisi antara celah sabuk, tinggi gelombangnya masih berada >0,75 m. Sedangkan saat MSL, gelombang sudah pecah jauh dari pasang tertinggi. Potensi terbentuknya *cusplate* dan lama kelamaan akan terbentuk *tombolo* di belakang bangunan sabuk pantai.

Untuk mengetahui perubahan garis pantai, maka dilakukan simulasi pengaruh bangunan sabuk pantai terhadap perubahan garis pantai. Simulasi dilakukan terhadap dua prioritas yakni Prioritas I dengan dua skenario dan Prioritas II dengan satu skenario, sebagaimana disajikan pada Tabel 1 dan Tabel 2.

**Tabel 1.** Skenario permodelan perubahan garis pantai di Prioritas I.

Uraian	Skenario	
	1	2
Panjang Segmen Sabuk Pantai (m)	60 m dan 120 m (depan makam)	60 dan 120 (depan makam)
Jumlah Segmen Sabuk	18	16
Lebar Celah Antar Segmen (m)	10 m (wilayah pantai terputus/Segmen 1 – 5) dan 20 m (Segmen 6 – 18)	25

**Tabel 2.** Skenario permodelan perubahan garis pantai di Prioritas II.

Uraian	Skenario	
	1	2
Panjang Segmen Sabuk Pantai (m)	60 m (Segmen 1) dan 40 m (Segmen 2 – 18)	
Jumlah Segmen Sabuk	18	
Lebar Celah Antar Segmen (m)	45	

Berdasarkan skenario tersebut, diperoleh hasil yang menunjukkan bahwa pada Skenario 1 dengan lebar celah 10 m, tingkat abrasi jauh lebih kecil 2,1 m dibanding 7 m, akan tetapi untuk tingkat sedimentasi atau terbentuknya *cusplate* pada Skenario 2 lebih besar 9,5 m berbanding 6,4 m. Sedangkan di depan makam, terbentuk *cusplate* sejauh 5,3 m di Skenario 1 (20 m) dan 3,6 m di Skenario 2 (25 m), sebagaimana disajikan pada Tabel 3.

**Tabel 3.** Hasil perbandingan abrasi dan sedimentasi pada berbagai skenario. A: abrasi; S: sedimentasi

Segmen	Skenario 1					
	(10 meter)		(20 meter)		(25 meter)	
	A (m)	S (m)	A (m)	S (m)	A (m)	S (m)
1	2,1	6,4			7	9,5
3	4,3	6			7,7	8,1
5 (ujung HWS Skenario 2)	5,1	6,3			7,8	8,3
7 (ujung HWS Skenario 1)	4,6	5,7			6,8	8
10			6,7	6	8,6	8
17/15 (makam)			6,2	5,3	7,3	3,6
18/16			6,8	1	7,3	1

Karena dalam model memiliki keterbatasan tanpa masukan pengaruh dari arus hanya mempertimbangkan gelombang, sehingga kemungkinan besar untuk terbentuk *cusplate* dan *tombolo* di wilayah pantai yang terputus sangat besar. Hal ini diduga karena pola arus dari teluk dominan mengarah ke

arah tenggara saat surut dan posisi sabuk pantai rencana dipasang berhadapan dengan arah aliran tersebut, sehingga aliran keluar yang membawa sedimen akan tertahan oleh bangunan sabuk dan lama kelamaan *tombolo* akan terbentuk dan

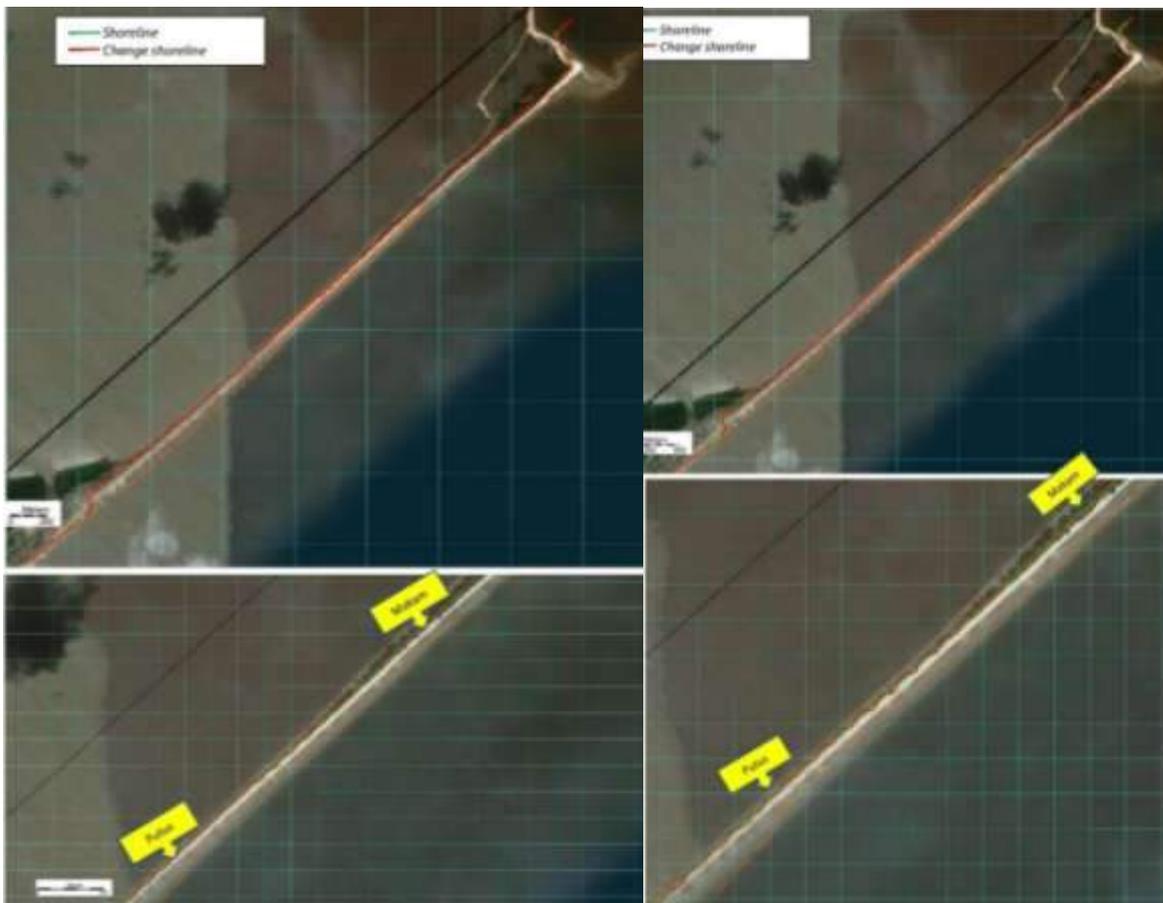
pantai yang terputus akan tersambung kembali.

Untuk simulasi perubahan garis pantai 1 tahun dan 3 tahun diperlihatkan pada Tabel 4. Hasil ini menunjukkan bahwa proses terbentuknya *cusplate* akan selalu bervariasi

berdasarkan arah datang gelombang dan bentuk serta penempatan lokasi sabuk pantai rencana. Lokasi terbentuknya *cusplate* terbesar terjadi pada sabuk pantai rencana daerah depan makam yakni sebesar 15 m.

**Tabel 4.** Hasil perubahan garis pantai di Prioritas I dengan simulasi 1 tahun - 3 tahun.

Segmen	1 Tahun		3 Tahun	
	Abrasi (m)	Sedimentasi (m)	Abrasi (m)	Sedimentasi (m)
10 meter				
1	2,1	6,4	3,8	10
5	5,1	6,3	6,8	7,7
10	6,7	6	7,2	7,1
20 meter				
14	7,7	7,5	9	6
17	6,2	5,3	10,2	15
18	6,8	5	15,7	8



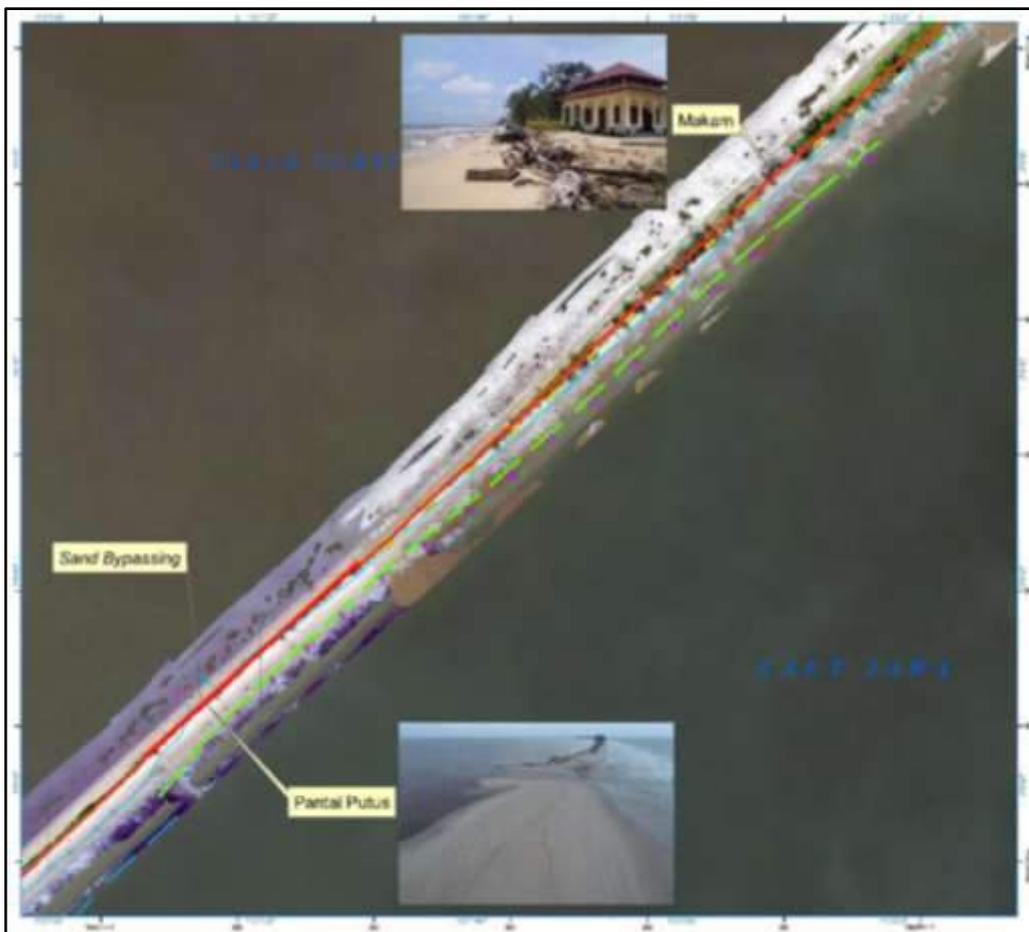
**Gambar 10.** Hasil simulasi selama 1 tahun dan 3 tahun model perubahan garis pantai saat posisi HWS di Prioritas 1 Skenario 1 sampai ke daerah makam.

Gambar 10 – 11 memperlihatkan skenario apabila Segmen 17 dan 18 yakni di depan makam tidak dibangun. Gambar tersebut menunjukkan bahwa apabila wilayah makam tidak ditangani dengan segera maka

kemungkinan besar wilayah ini akan terkena abrasi yang cukup besar (5,3 m), dengan pada Agustus 2018 terlihat posisi bangunan tersisa 1 meter dari pasang tertinggi.



**Gambar 11.** Hasil simulasi selama 1 tahun dan 3 model perubahan garis pantai saat posisi MSL di Prioritas 1 Skenario 1 sampai ke daerah makam.



**Gambar 12.** Rekomendasi penanganan abrasi pantai di Prioritas I Pantai Ujung Pandaran.

Hasil model tersebut menunjukkan bahwa abrasi masih akan terjadi di daerah celah sabuk pantai rencana, sehingga untuk mengurangi abrasi tersebut diperlukan penanganan berupa pemasangan revetment atau bronjong di sepanjang celah sabuk pantai rencana, seperti diperlihatkan pada Gambar 12.

### Kesimpulan

Pada saat kondisi pasang tertinggi (HWS) posisi sabuk pantai yang dibangun sebelumnya masih tenggelam sedalam 1 – 1,4 meter. Akibatnya gelombang masih dapat mencapai daratan pantai dan sabuk pantai belum mampu secara maksimal meredam energi gelombang ekstrim sehingga abrasi masih terjadi.

Pembangunan pengaman pantai dalam bentuk sabuk pantai untuk prioritas I sebanyak 18 segmen dengan lebar celah antar segmen maksimum 10 m dari pantai yakni Segmen 1 – 6 dengan panjang segmen  $\pm$  60 m, sedangkan segmen 7 – 18 dengan lebar maksimum 20 m. Khusus segmen 17 yakni di depan makam, panjang sabuk pantai sebesar 120 m.

Jika tinggi rencana bangunan sabuk pantai 2 m, maka penempatan bangunan sabuk pantai pada posisi HWS, direkomendasikan puncak tub maksimal masih terendam -0,5 m HWS. Hasil analisis model gelombang menunjukkan di puncak tub gelombang sudah pecah, sehingga tinggi dan energi gelombang di belakang bangunan sudah sangat berkurang dan pengerusan gelombang terhadap pantai pada posisi pasang tertinggi juga akan sangat berkurang. Hasil model perubahan garis pantai menunjukkan daerah belakang bangunan sabuk pantai maupun di pantai akan terbentuk *cusate* dan lama-kelamaan akan terbentuk *tombolo*.

Penempatan sabuk pantai di Prioritas I direkomendasikan pada kedalaman 0,9 – 1,5 MSL. Wilayah pantai di bagian antar

celah sabuk pantai, resiko untuk terjadinya abrasi akan tetap terjadi, sehingga untuk mengurangi abrasi tersebut diperlukan pemasangan *revetment* berupa tumpukan batu/ beton bertingkat.

### Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih ditujukan kepada Direktorat Pendayagunaan Pesisir dan Pulau-pulau Kecil Ditjen Pengelolaan Ruang Laut Kementerian Kelautan dan Perikanan atas penyediaan data dalam penelitian ini.

### Daftar Pustaka

- Abdallah, A.M., Sharaf El-Din, S.H., Shereet, S.M. 2006. *Analysis Wave Observations and Wave Transformations in Abu-Qir Bay, Egypt*, Egyptian Journal Aquatic Research, 32 (1):22-33.
- Azhar, M.R., Suntoyo, Musta'in, M. 2012. *Analisa Perubahan Garis Pantai Tuban, Jawa Timur dengan Menggunakan Empirical Orthogonal Function (EOF)*. JURNAL Teknik ITS, 1(1):G286-G291.
- Aziz, M.K., Lesmi, S.A., Pranoto, S., dan Parmantoro, P.N. 2016. *Penanganan Abrasi Pantai Desa Sei Raja Kabupaten Sukamara Kalimantan Tengah*. Jurnal Karya Teknik Sipil, 5(2):63–74.
- Baharuddin., Pariwono, J.I., Nurjaya, I.W. 2009. *Pola Transformasi Gelombang Dengan Menggunakan Model RCPWave pada Pantai Bau-Bau, Provinsi Sulawesi Tenggara*. E-Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis, 1(2):60-71.
- [CHL] Coastal Hydraulic Laboratory. 2006. *Coastal Engineering Manual, Part I-VI*. Washington DC: Department of the Army. U.S. Army Corp of Engineers.
- [DKP] Dinas Kelautan dan Perikanan Provinsi Kalimantan Tengah. 2017. *Rencana Zonasi Wilayah Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil Provinsi Kalimantan Tengah*.

- Djunaedi, A. dan Basuki, M.N. 2002. *Perencanaan Pengembangan Kawasan Pesisir*. Jurnal Teknologi Lingkungan, 3(3):225-231.
- [KKP] Kementerian Kelautan dan Perikanan. 2018. *Review terhadap Perencanaan Pembuatan Sabuk Pantai untuk Adaptasi Perubahan Iklim di Kabupaten Kotawaringin Timur*. Direktorat Jenderal Pengelolaan Ruang Laut Direktorat Pendayagunaan Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil. Jakarta.
- Munandar, M., dan Kusumawati, I. 2017. *Studi Analisis Faktor Penyebab dan Penanganan Abrasi Pantai di Wilayah Pesisir Aceh Barat*. Jurnal Perikanan Tropis, 4(1):47–56. DOI: <https://doi.org/10.35308/jpt.v4i1.55>
- Supriyanto, A. (2003). *Analisis Abrasi Pantai dan Alternatif Penanggulangannya di Perairan Pesisir Perbatasan Kabupaten Kendal-Kota Semarang*. Tesis. Program Pascasarjana Universitas Diponegoro. Semarang.
- \*<sup>)</sup> Artikel ini telah dipresentasikan di Seminar Nasional Geofisika 2019 yang dilaksanakan oleh Dept. Geofisika FMIPA Universitas Hasanuddin di Science Building FMIPA Universitas Hasanuddin pada tanggal 26 Oktober 2019.

## **PENGARUH DINAMIKA OSEANOGRAFI TERHADAP EKOSISTEM *MANGROVE* DI DESA PAGATAN BESAR**

Ira Puspita Dewi\*, Nursalam, Dimas Widyanata

Prodi Ilmu Kelautan Fakultas Perikanan dan Kelautan ULM, Jl. Jend. A. Yani Km. 36 Banjarbaru, Indonesia

\*Corresponding author. Email: irapuspitadewi@ulm.ac.id

Manuscript received: 26 November 2020; Received in revised form: 24 March 2021; Accepted: 5 April 2021

### **Abstrak**

Ekosistem *mangrove* di pesisir Desa Pagatan Besar telah berkembang menjadi kawasan ekowisata *mangrove* yang membentang sepanjang 1 km di Pesisir Barat Desa Pagatan Besar. Desa Pagatan Besar dengan berbagai dinamika biofisiknya mempunyai potensi terjadinya perubahan bentang alam, yang umumnya dipengaruhi oleh gelombang dari Laut Jawa. Penelitian ini secara umum bertujuan (1) menganalisis riwayat gelombang maksimum 21 tahun, (2) menganalisis arus rata-rata selama 4 tahun terakhir, (3) mengamati pengaruh dinamika oseanografi terhadap perubahan garis pantai dan tutupan *mangrove*. Metode penelitian meliputi penelusuran literatur, pengumpulan data, pengolahan dan analisis data. Data gelombang diperoleh dari peramalan gelombang menggunakan data angin dari situs ECMWF dianalisis dengan *plot series* dan *wave rose*. Data arus diolah dengan metode *least square* pada *software* WTWC MATLAB untuk mengetahui pola distribusi arus total, pasang surut, dan residu setiap komponen arus. Analisis terhadap perubahan garis pantai dan tutupan *mangrove* menggunakan tumpang susun citra satelit Landsat tahun 1999, 2009 dan 2019. Hasil penelitian ini adalah (1) gelombang maksimum selama 21 tahun dominan terjadi pada Musim Barat (Desember – Februari) dengan ketinggian rata-rata 1,515 meter. Gelombang maksimum tertinggi terjadi pada tahun 2001 yaitu 2,03 meter, (2) Rata-rata kecepatan arus total pada Musim Barat mencapai 14,91 cm/s, arus pasut sebesar 13,88 cm/s dan arus residu sebesar 6,17 cm/s, dengan pola dominan ke arah timur laut dan tenggara, (3) Terjadi perubahan garis pantai (sedimentasi dan abrasi) serta penurunan luasan *mangrove* sebesar 4,68 Ha selama periode 1999 – 2009.

**Kata Kunci:** arus; garis pantai; gelombang maksimum; *mangrove*; oseanografi

### **Abstract**

The mangrove ecosystem on the coast of Pagatan Besar Village has developed into a mangrove ecotourism area that stretches 1 km along the west coast of Pagatan Besar Village. Pagatan Besar Village with its various biophysical dynamics has the potential for changes in the landscape, which are generally influenced by waves from the Java Sea. This study generally aims (1) to analyze the maximum wave history of 21 years, (2) to analyze the average current during the last 4 years, (3) to observe the effect of oceanographic dynamics on changes in shoreline and mangrove cover. The research method includes literature search, data collection, data processing and analysis. Wave data obtained from wave forecasting using wind data from the ECMWF site were analyzed by plot series and wave rose. Flow data were processed using the least square method in the WTWC MATLAB software to determine the distribution pattern of the total flow, tides, and residues of each current component. Analysis of changes in shoreline and mangrove cover using overlaying Landsat satellite imagery in 1999, 2009 and 2019. The results of this study are (1) the maximum waves for 21 years are dominant in the western season (December - February) with an average height of 1.515 meters. The highest maximum wave occurred in 2001, namely 2.03 meters, (2) The average total flow velocity in the west season reaches 14.91 cm/s,

tidal current is 13.88 cm/s and residual current is 6.17 cm/s, with a dominant pattern towards the northeast and southeast, (3) There has been a change in the coastline (sedimentation and abrasion) and a decrease in mangrove area by 4.68 Ha during the 1999 - 2009 period..

**Keywords:** current; mangrove; maximum wave; oceanography; shoreline

## Pendahuluan

Indonesia secara garis besar memiliki 13 ancaman bencana, baik di darat maupun di pesisirnya. Salah satu ancaman bencana terhadap pesisir yaitu ancaman terhadap gelombang ekstrim dan abrasi (PERKA BNPB, 2012). Desa Pagatan Besar dengan berbagai dinamika biofisiknya mempunyai potensi terjadinya perubahan bentang alam. Dulunya, wilayah ini mengalami abrasi yang cukup besar, mencapai 150 – 200 meter dari garis pantai selama rentang waktu tahun 1997 – 2006. Soendjoto dan Arifin (1999) dalam Primatianti (2002) menyatakan sejak tahun 1985 pantai sepanjang 800 m dan selebar 150 m tersebut diabrasi oleh gelombang pasang. Hasil diskusi dengan masyarakat (2019) bahwa abrasi pada musim gelombang besar (Oktober – Januari) mencapai lebih 2 meter dalam kurun waktu 1997 – 2001. Sebagian penduduk yang bermukim di pesisir mengalami dampak pengikisan pantai yang cukup parah.

Kestabilan pesisir pantai di wilayah ini dan Kalimantan Selatan pada umumnya dipengaruhi oleh gelombang dari Laut Jawa dan Selat Makassar. Tekanan akibat dinamika oseanografi yang berasal dari laut sangat mempengaruhi kerentanan pantai (Dewi dan Baharuddin, 2019). Tekanan ini dapat dikurangi dengan mempertahankan vegetasi yang tumbuh di sepanjang pesisir pantai, seperti *mangrove*. Secara fisik, hutan *mangrove* berfungsi sebagai pelindung pantai dari pengaruh gelombang laut. Secara ekologi, hutan *mangrove* menyediakan habitat bagi berbagai macam spesies karena fungsinya sebagai daerah asuhan (*nursery ground*), daerah pemijahan (*spawning ground*), serta tempat untuk mencari makan (*feeding ground*) bagi biota

perairan yang terdapat di dalamnya (Bengen, 2004).

Ekosistem *mangrove* di pesisir Desa Pagatan Besar seluas 276,58 Ha yang tersebar di sepanjang pantai dan muara sungai (Ponaru, Syahdan dan Nursalam, 2017), dengan jenis *mangrove* yang ditemukan sebanyak 5 jenis (Setiawan, 2017). Desa Pagatan Besar telah berkembang menjadi kawasan lindung atau kawasan ekowisata *mangrove* yang membentang sepanjang 1 km di Pesisir Barat Desa Pagatan Besar. Kawasan ekowisata ini memiliki luas  $\pm 10$  ha. Jenis *mangrove* yang terdapat di lokasi tersebut didominasi oleh jenis *Avicennia alba* dan *A. marina* (Nursalam, Syahdan dan Akbar, 2019). Sejak tahun 2015 masyarakat mulai aktif melakukan penanaman *mangrove* untuk merehabilitasi wilayah *mangrove* yang rusak.

Meskipun keberadaan ekosistem *mangrove* yang terbukti dapat melindungi pantai, tetapi ancaman terhadap gelombang besar/ ekstrim yang bisa mengakibatkan abrasi tetap saja ada. Apalagi, ekosistem *mangrove* tergolong dinamis karena dapat terus berkembang serta mengalami suksesi sesuai dengan perubahan tempat tumbuhnya, *mangrove* juga tergolong labil karena mudah sekali rusak dan sulit untuk pulih kembali (Arief, 2003).

Besarnya energi gelombang dipengaruhi oleh kondisi di sekitarnya dan akan mempengaruhi kedudukan garis pantai. Menurut Pratikto, Armino dan Suntoyo (1997), gelombang yang datang mendekati pantai cenderung mengepung tanjung, dan mengkonsentrasikan energinya di sisi muka dan samping tanjung tersebut. Perlindungan ekstra sangat diperlukan untuk daerah pantai yang memiliki bagian

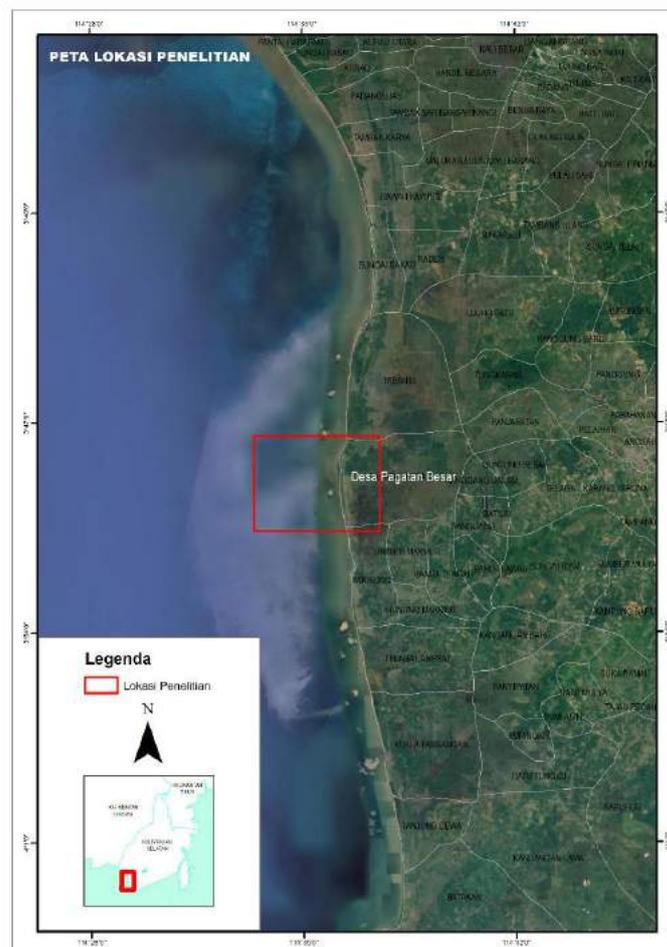
yang menjorok ke laut. Sementara di daerah teluk, garis pantai lebih panjang dibanding tanjung, energi gelombang cenderung disebar ke sepanjang garis pantai. Kerentanan merupakan suatu kondisi dari suatu komunitas atau masyarakat yang mengarah atau menyebabkan tidak mempunya dalam menghadapi ancaman bencana. Kerentanan ekosistem *mangrove* merupakan suatu gejala yang berpotensi menimbulkan ancaman kerusakan, kelangsungan hidup dan pertumbuhan *mangrove*.

Ruang lingkup penelitian ini adalah pengaruh dinamika oseanografi selama 22 tahun terhadap perubahan luasan *mangrove* dan perubahan garis pantai di kawasan ekowisata Desa Pagatan Besar, yang nantinya akan digunakan untuk menentukan indeks kerentanan ekosistem *mangrove* terhadap ancaman gelombang ekstrim sebagai dasar menyusun

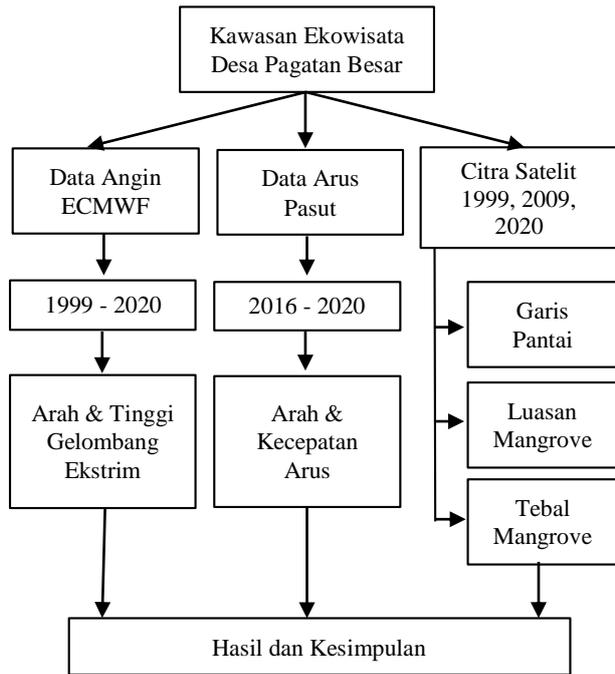
rekomendasi untuk mitigasi bencana pesisir dan laut. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis riwayat kejadian gelombang maksimum selama 21 tahun (1999 – 2020), menganalisis arus rata-rata selama 4 tahun terakhir (2016 – 2020), mengamati pengaruh dinamika oseanografi terhadap perubahan garis pantai sertautupan *mangrove* di Desa Pagatan Besar tahun 1999, 2009 dan 2019.

### Metode Penelitian

Penelitian dilaksanakan pada tahun 2020 dengan lokasi kajian yaitu kawasan ekowisata *mangrove* di Desa Pagatan Besar Provinsi Kalimantan Selatan (Gambar 1). Metode penelitian meliputi penelusuran data sekunder, perolehan data angin dan data citra, pengolahan dan analisis data angin dan citra satelit. Alur penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 2 berikut.



Gambar 1. Lokasi Penelitian.



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian.

#### Perolehan Data

Data gelombang ekstrem diperoleh dari *Data Reanalysis ERA5* yang memiliki resolusi spasial sebesar  $1^{\circ} \times 1^{\circ}$  dan resolusi temporal bulanan dari situs *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF)* angin selama Januari 1999 – Juli 2020. Informasi data arus laut diperoleh melalui data instan yang diperoleh melalui situs <http://marine.copernicus.eu> dengan resolusi spasial  $1/120$  (9,25 km) pada koordinat lintang  $3.75^{\circ}$  LS dan  $114.58^{\circ}$  BT. Arus yang diolah memiliki resolusi temporal 1 jam selama satu bulan di musim yang berbeda dan rata-rata bulanan pada tahun 2016 – 2020. Informasi perubahan garis pantai, luas tutupan *mangrove* serta kondisinya diperoleh dari citra satelit Landsat 7 dan Landsat 8 pada tahun 1999, 2009 dan 2019.

#### Pengolahan dan Analisis Data

Data dengan file ekstensi *.nc* diekstrak menjadi format *.txt* menggunakan perangkat lunak *Ocean Data View (ODV)*. Data gelombang dianalisis dengan *plot series* dan *wave rose*) dari tinggi

gelombang selama 22 tahun diambil dari satu titik koordinat, yaitu titik  $4^{\circ}$ LS dan  $114^{\circ}$ BT. Hasil sebaran spasial gelombang berlokasi di Perairan Selatan Provinsi Kalimantan Selatan dengan domain wilayah sebesar  $3 - 6^{\circ}$  LS dan  $112 - 115^{\circ}$  BT berupa tinggi gelombang signifikan, tinggi gelombang maksimum dan arah rambatan gelombang. *Plot series* dan spasial gelombang dianalisis dengan menggunakan data interval 1 jam. *Wave rose*, tabulasi dan grafik dari kelas distribusi frekuensi rerata bulanan gelombang dianalisis menggunakan perangkat lunak *WRPlot View*.

Pada peramalan gelombang, kecepatan angin yang diperoleh dikonversi menjadi kecepatan angin di atas permukaan laut. Data angin yang digunakan dalam peramalan gelombang adalah data angin di atas permukaan laut sebagai tegangan angin (*wind stress*). Hasil peramalan gelombang yang terlalu besar perlu direduksi, maka dilakukan analisis *fetch* (Savile et al., 1962 dalam CERC, 1984).

Arus yang diperoleh merupakan total, arus total merupakan penjumlahan arus pasang surut dan arus non pasang (residu). Resolusi temporal 1 jam digunakan untuk memisahkan data arus pasang surut dengan arus residu. Arus total dipisahkan komponen timur – barat (u) dan komponen utara – selatan (v). Pengolahan data arus menggunakan metode *least square* yang disajikan pada *software World Tide and World Current (WTWC)* di *MATLAB* untuk mengetahui pola distribusi arus total, pasang surut, dan residu pada setiap komponen arus. Visualisasi data dilakukan dalam bentuk *stickplot* arus total, arus pasang, dan arus non pasang (residu).

Analisis perubahan garis pantai dan kondisi tutupan *mangrove* menggunakan citra satelit Landsat 7 dan Landsat 8 pada tahun 1999, 2009 dan 2019. Hasil analisis dari 3 tahun yang berbeda tersebut ditumpang

disusun untuk melihat dampak perubahan yang diakibatkan oleh dinamika oseanografi dalam hal ini gelombang dan arus terhadap perubahan garis pantai dan tutupan vegetasi *mangrove*.

**Hasil dan Pembahasan**

*Kejadian Gelombang Ekstrim 21 tahun (1999 – 2020)*

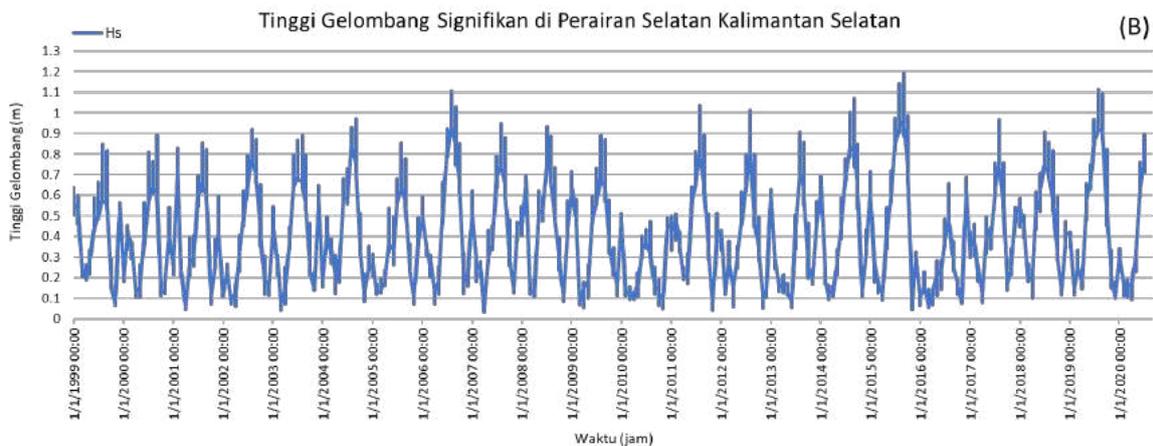
Tinggi gelombang maksimum dan gelombang signifikan selama 20 tahun memiliki nilai yang berfluktuatif. Tinggi gelombang maksimum memiliki rentang nilai 0,45 – 2,39 m (Gambar 3) dengan nilai rerata tinggi gelombang sebesar 1,21 m, sedangkan tinggi gelombang signifikan memiliki rentang nilai yang berkisar antara 0,03 – 1,19 m dengan rerata tinggi gelombang sebesar 0,42 m. Tinggi gelombang maksimum dan gelombang

signifikan tertinggi terjadi pada bulan September 2015 (Gambar 4).

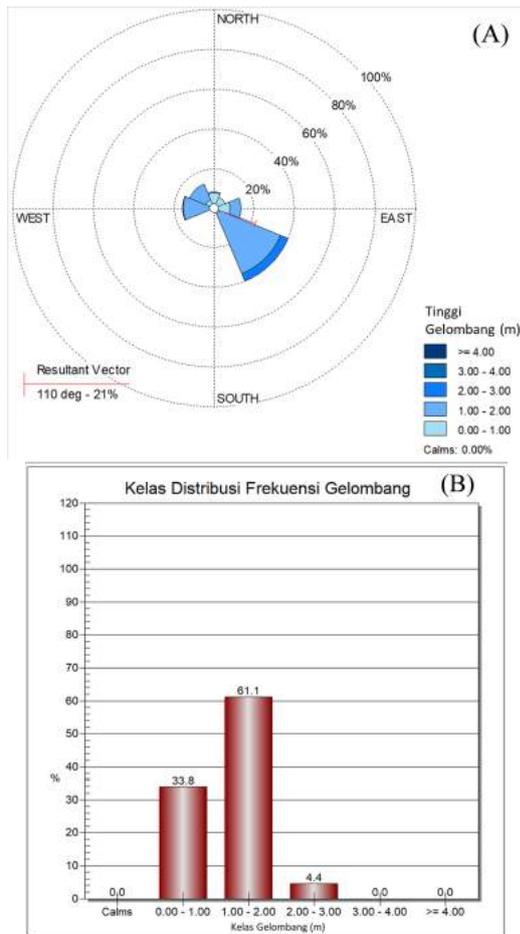
*Wave rose* dan grafik distribusi gelombang maksimum pada Musim Barat disajikan pada Gambar 5. Arah gelombang maksimum pada Musim Barat dominan merambat menuju timur, arah lainnya menuju ke tenggara dan selatan dengan persentase yang lebih kecil. Resultan vektor *wave rose* bernilai 85% dengan arah 295 derajat (Gambar 5a). Grafik distribusi frekuensi gelombang (Gambar 5b) menunjukkan bahwa kelas tinggi gelombang yang mendominasi pada Musim Barat yaitu 1 – 2 meter dengan nilai persentase sebesar 77,5%, kelas tinggi gelombang 0 – 1 meter memiliki persentase sebesar 21,2% dan kelas tinggi gelombang 2 – 3 meter sebesar 1,3%.



**Gambar 3.** Kejadian Gelombang Maksimum di Daerah Ekowisata *Mangrove* Desa Pagatan Besar selama 20 tahun.



**Gambar 4.** Kejadian Gelombang Signifikan di Daerah Ekowisata *Mangrove* Desa Pagatan Besar selama 20 tahun.



**Gambar 5.** (a) *Wave rose* maksimum dan (b) distribusi frekuensi gelombang (Januari 1999 – Juli 2020).

Tabulasi kelas distribusi frekuensi gelombang maksimum pada Musim Barat. Arah yang dominan pada Musim Barat adalah arah barat, dengan nilai presentase total sebesar 53,27%, yang didominasi oleh kelas tinggi gelombang maksimum 1 – 2 meter dengan persentase sebesar 48,97%.

Berdasarkan Gambar 5 di atas dapat diketahui gelombang yang mempengaruhi kerentanan pantai di Desa Pagatan Besar adalah yang berasal dari barat dan barat daya, orientasi pantai desa ini menghadap ke arah barat. Pada Tabel 1 dapat dilihat data kejadian gelombang maksimum per tahun dominan terjadi di Musim Barat antara bulan Desember hingga Februari. Selama 20 tahun ketinggian gelombang maksimum rata-rata 1,515 meter. Gelombang maksimum tertinggi terjadi pada tahun 2001 yaitu 2,03 meter. Tinggi gelombang 1 – 2,5 meter dikategorikan sebagai salah satu ancaman terhadap vegetasi *mangrove* (PERKA BNPB, 2012).

**Tabel 1.** Gelombang Maksimum Tahunan (Musim Barat) di Desa Pagatan Besar

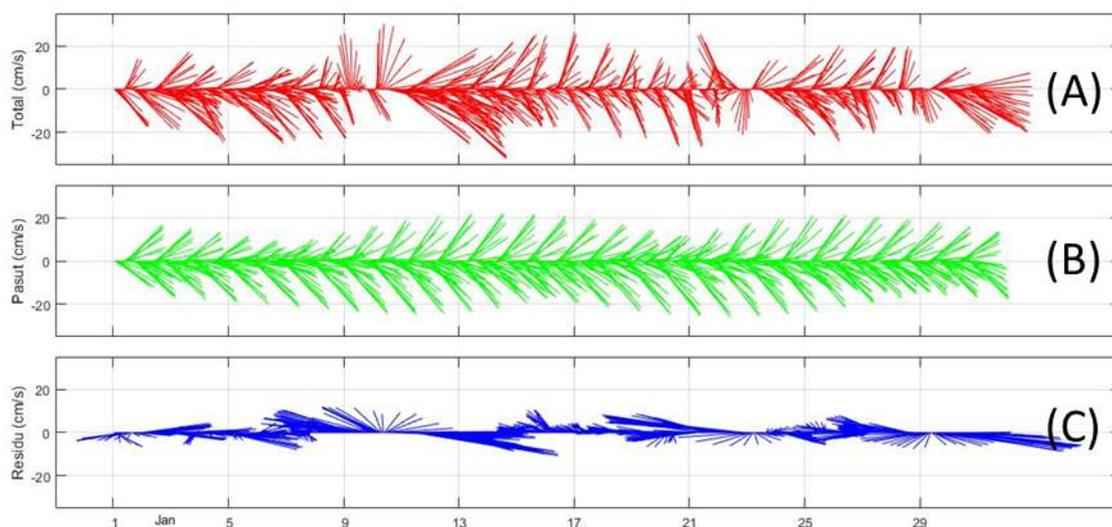
Tahun	H max (meter)	Waktu Kejadian	Keterangan
1999	1,709	Jan-99	Musim Barat
2000	1,302	Feb-00	Musim Barat
2001	2,03	Feb-01	Musim Barat
2002	1,166	Feb-02	Musim Barat
2003	1,514	Jan-03	Musim Barat
2004	1,378	Feb-04	Musim Barat
2005	1,17	Jan-05	Musim Barat
2006	1,619	Jan-06	Musim Barat
2007	1,565	Jan-07	Musim Barat
2008	1,856	Feb-08	Musim Barat
2009	1,837	Jan-09	Musim Barat
2010	1,5	Dec-10	Musim Barat
2011	1,477	Jan-11	Musim Barat
2012	1,5	Jan-12	Musim Barat
2013	1,775	Jan-13	Musim Barat
2014	1,833	Jan-14	Musim Barat
2015	1,853	Jan-15	Musim Barat
2016	1,784	Dec-16	Musim Barat
2017	0,984	Feb-17	Musim Barat
2018	1,926	Feb-18	Musim Barat
2019	1,392	Jan-19	Musim Barat
2020	1,134	Jan-20	Musim Barat
<b>Rerata</b>	<b>1,515</b>		

Sumber: Hasil Analisis (2020)

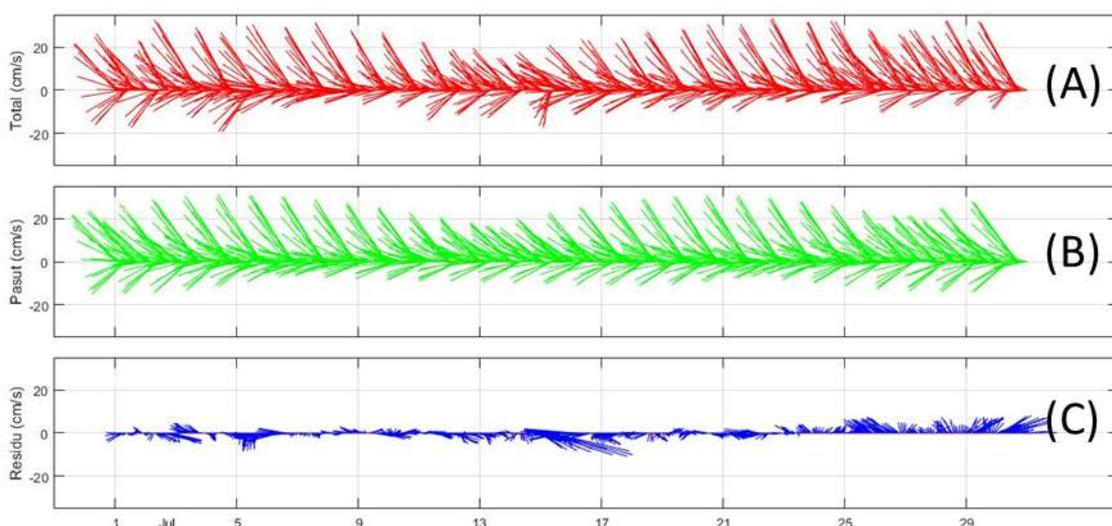
*Arus Laut (2016 – 2019)*

Pola arus total, pasang surut dan residu disajikan pada Musim Barat (Gambar 6) dan Musim Timur (Gambar 7). Arus Musim Barat memiliki pola dominan ke arah timur laut dan tenggara yang ditunjukkan pada Gambar 6(a). Rata-rata kecepatan arus total pada Musim Barat 14,91 cm/s, arus pasut sebesar 13,88 cm/s dan arus residu sebesar 6,17 cm/s. Musim Timur menunjukkan pola arus dominan ke arah barat daya dan barat laut yang ditunjukkan pada Gambar 7(a). Musim Timur memiliki rata-rata kecepatan arus total 14,27 cm/s, arus pasut sebesar 14,04 cm/s dan arus residu sebesar 3,00 cm/s. Perbandingan rata-rata arus pasang surut dengan residu pada Musim Barat atau pun

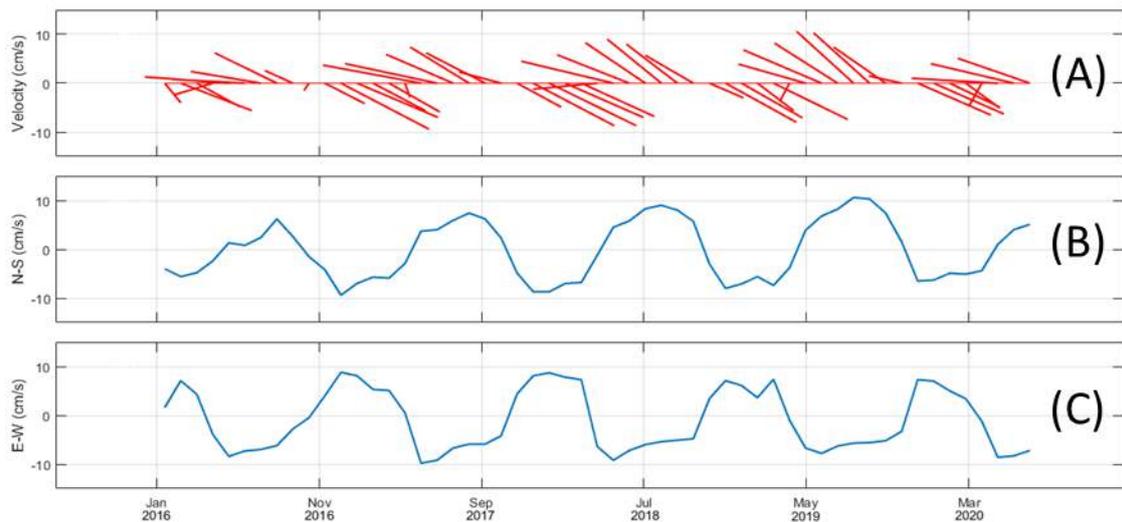
Timur menunjukkan arus pasang surut yang lebih dominan dibandingkan arus residu. Arus di kawasan ekowisata *mangrove* lebih dominan dipengaruhi oleh arus pasang surut, terlihat pada Gambar 6 dan Gambar 7, pola arus total menyerupai pola arus pasang surut dibandingkan arus residu. Arus yang menunjukkan pola fluktuatif mengikuti pola pasang surut, maka arus pasang surut merupakan arus yang dominan di perairan tersebut (Thurmann, 2007). Pola *stickplot* arus bulanan ditunjukkan pada Gambar 8, terdapat perbedaan arah arus yang terjadi pada setiap bulan. Pada Musim Barat (Desember - Februari) pola arus dominan bergerak ke arah tenggara dengan rata-rata arus dan arus maksimum bulanan tertinggi terjadi pada bulan Desember sebesar 11,31 cm/s dan 12,88 cm/s.



**Gambar 6.** (a) Arus Total, (b) Arus Pasang Surut, dan (c) Arus Residu Musim Barat.



**Gambar 7.** (a) Arus Total, (b) Arus Pasang Surut, dan (c) Arus Residu Musim Timur.



**Gambar 8.** *Stickplot* Arus (A), Arus Zonal (B), dan Meridional (C) Bulanan Tahun 2016 - 2020.

Pada musim peralihan I (Maret - Mei) terdapat perbedaan arah arus pada setiap bulannya yang cenderung menuju arah Barat atau menjauhi pantai. Arus rata-rata dan arus maksimum bulanan tertinggi terjadi pada bulan Mei sebesar 9,28 cm/s dan 10,48 cm/s. Sedangkan pada Musim Timur (Juni - Agustus) menunjukkan pola arus dominan ke arah barat laut dengan kecepatan arus rata-rata dan arus maksimum bulanan tertinggi berada pada bulan agustus sebesar 10,19 cm/s dan 12,04 cm/s. Arus pada musim Peralihan II memiliki arah yang berbeda setiap bulannya, dengan kecepatan arus rata-rata dan arus maksimum bulanan tertinggi terjadi pada bulan September dengan nilai 8,40 cm/s dan 11,72 cm/s ke arah barat laut.

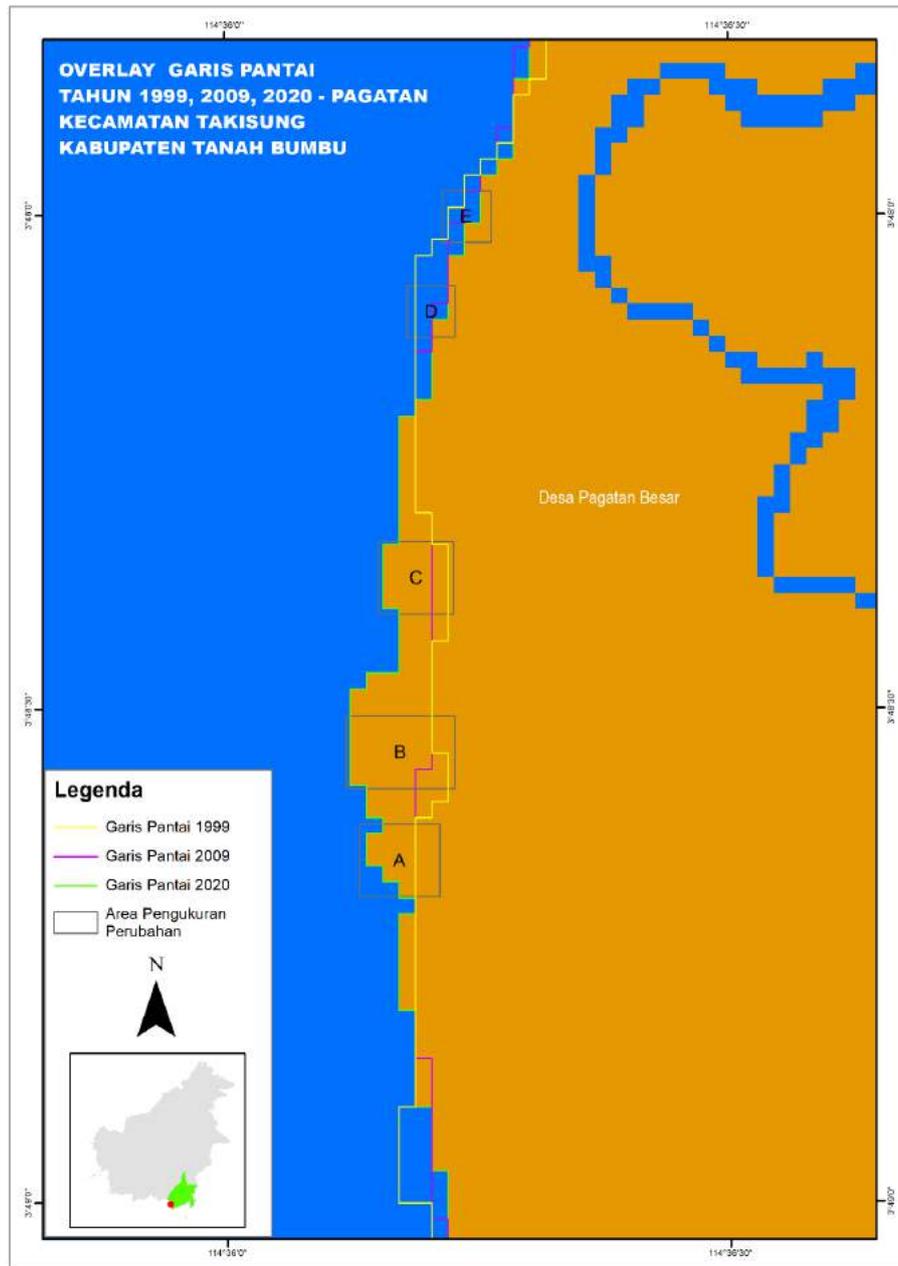
#### *Bentuk dan Perubahan Garis Pantai (1999, 2009 dan 2019)*

Bentuk garis pantai kawasan ekowisata *mangrove* Desa Pagatan Besar ada yang mengalami penambahan, tetapi dominan berkurang di beberapa titik (Tabel 2 dan Gambar 9) berdasarkan analisis citra satelit tahun rekam 1999, 2009 dan 2020. Garis pantai pada titik A, B dan C berubah dan bertambah dengan jarak yang cukup tebal dengan variasi jarak 60 – 120 meter. Sedangkan pada titik C, D dan E cenderung berkurang (abrasi) dengan jarak rata-rata 30 meter. Bentuk garis pantai yang lurus seperti pada pesisir kawasan ini rentan mengalami pengerusan (abrasi) oleh arus menyusur pantai maupun tegak lurus pantai.

**Tabel 2.** Perubahan Garis Pantai Hasil Tumpang Susun Tahun 1999, 2009 dan 2020

Lokasi	Tahun	Jarak (m)	Keterangan
A	1999 ke 2020	90	Bertambah
	2009 ke 2020	120	Bertambah
B	1999 ke 2009	60	Bertambah
	1999 ke 2009	30	Berkurang
C	2009 ke 2020	30	Berkurang
	1999 ke 2009	30	Berkurang
D	2009 ke 2020	30	Berkurang
	1999 ke 2009	30	Berkurang
E	1999 ke 2009	30	Berkurang
	2009 ke 2020	30	Berkurang

Sumber: Hasil Analisis (2020)



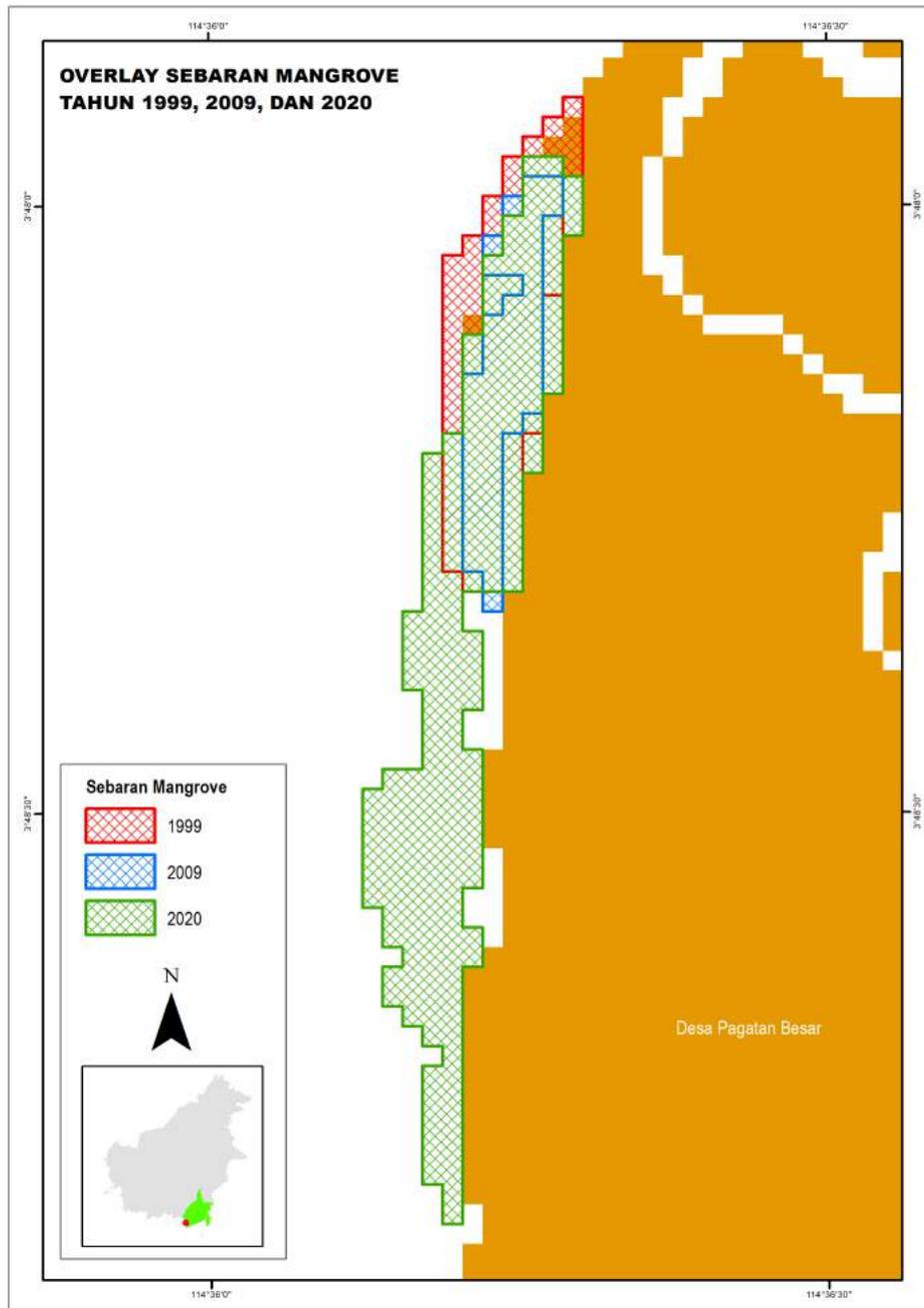
**Gambar 9.** Perubahan Garis Pantai Hasil Tumpang Susun Tahun 1999, 2009 dan 2020.

### *Perubahan Tutupan Vegetasi Mangrove*

Kondisi ekosistem *mangrove* berdasarkan hasil komposit dan analisis citra satelit Landsat 7 dan 8 didapatkan bahwa luas tutupan *mangrove* pada tahun 1999 mencapai 9,36 ha, namun pada tahun 2009 menurun drastis menjadi 4,68 ha. Hal ini merupakan dampak akibat terjadinya gelombang ekstrim di wilayah tersebut. Daerah ekowisata *mangrove* ini rawan abrasi karena bentuk geomorfologi pantai yang lurus dan berada di bagian Selatan

pantai Kalimantan Selatan yang berhadapan langsung dengan Laut Jawa, dengan orientasi pantai menghadap ke barat seperti terlihat pada Gambar 10.

Hasil penelurusan masyarakat dan hasil analisis riwayat kejadian gelombang, bahwa dalam kurun waktu 1997 – 2001 terjadi gelombang ekstrim mencapai lebih 2 m yang menyebabkan abrasi. Hal tersebut dipengaruhi oleh terjadinya anomali iklim global di laut atau kejadian El Nino dan La Lina di Samudera Pasifik.



**Gambar 10.** Hasil perubahan sebaran/ tutupan *mangrove* dan ketebalan vegetasi *mangrove* selama 21 tahun (2019 – 2020) di Desa Pagatan Besar.

**Tabel 3.** Perubahan Luas Tutupan *Mangrove* di Kawasan Ekowisata Desa Pagatan Besar

No	Tahun Rekam	Luas (Ha)
1	1999	9,36
2	2009	4,68
3	2020	18,27

Sumber: Hasil analisis citra Landsat 7 dan 8 (2020)

Namun demikian, tutupan *mangrove* di tahun 2020 mengalami peningkatan luas tutupan menjadi 18,27 Ha (Tabel 3). Hal ini menunjukkan sebagian kawasan ekowisata

*mangrove* Desa Pagatan Besar mengalami pertumbuhan sekunder yang signifikan karena melalui hasil rehabilitasi.

### Kesimpulan

Gelombang maksimum selama 20 tahun di Desa Pagatan Besar dominan terjadi pada musim barat di bulan Desember hingga Februari dengan ketinggian rata-rata 1,515 meter. Gelombang maksimum tertinggi

terjadi pada tahun 2001 yaitu 2,03 meter. Rata-rata kecepatan arus total 2016 – 2020 pada Musim Barat mencapai 14,91 cm/s, arus pasut sebesar 13,88 cm/s dan arus residu sebesar 6,17 cm/s, dengan pola dominan ke arah timur laut dan tenggara. Terjadi perubahan garis pantai (sedimentasi dan abrasi) serta penurunan luasan mangrove sebesar 4,68 Ha selama periode 1999 – 2009.

### Ucapan Terima Kasih

Terima kasih kepada Rektor Universitas Lambung Mangkurat, LPPM ULM, Dekan FPK ULM, Kepala Desa Pagatan Besar, Tim Peneliti serta masyarakat Desa Pagatan Besar yang telah mendanai dan membantu kelancaran penelitian ini.

### Daftar Pustaka

- Arief, A. 2003. *Hutan Mangrove Fungsi dan Manfaatnya*. Yogyakarta. Kanisius.
- Bengen, G.D. 2004. *Pedoman Teknis Pengenalan dan Pengelolaan Ekosistem Mangrove*. PKSPL-IPB. Bogor.
- [CERC] Coastal Engineering Research Center. 1984. *Shore Protection Manual Volume I, Fourth Edition*. Washington: U.S. Army Coastal Engineering Research Center.
- Dewi, I.P. dan Baharuddin. 2019. *Analisis Indeks Kerentanan Pantai Kalimantan Selatan*. Seminar Nasional Perikanan dan Kelautan Tahun 2019. Fakultas Perikanan dan Kelautan. Universitas Lambung Mangkurat. Banjarbaru.
- Nursalam., Syahdan, M., Akbar, Z. 2019. *Kandungan Biomassa pada Struktur Tegakan Mangrove Jenis *Avicennia marina* di Desa Pagatan Besar*. Makalah Seminar Nasional Perikanan dan Kelautan VI. Banjarbaru.
- [PERKA BNPB] Peraturan Kepala Badan Nasional Penanggulangan Bencana Nomor 02 Tahun 2012 Tentang Pedoman Umum Pengkajian Risiko Bencana.
- Ponaru., Syahdan, M. dan Nursalam. 2017. *Pemantauan Sebaran dan Luasan Vegetasi Mangrove Menggunakan Citra Landsat di Pesisir Kabupaten Tanah Laut*. Jurnal MCSIJ. 1(1).
- Pratikto, W.A., Armino, H.D. dan Suntoyo. 1997. *Perencanaan fasilitas pantai dan laut*. Edisi pertama. Bpfe. Yogyakarta. 226 hlm.
- Primatianti, M. 2002. *Kajian Partisipasi Masyarakat Dalam Pengelolaan Ekosistem Mangrove (Studi Kasus di Kecamatan Kintap dan Kecamatan Takisung, Kabupaten Tanah Laut Provinsi Kalimantan Selatan)*. Tesis. IPB. Bogor.
- Setiawan, M.A.N. 2017. *Analisis Vegetasi Mangrove dan Hubungannya dengan Parameter Lingkungan di Kecamatan Takisung Kabupaten Tanah Laut*. Jurnal MCSIJ. 1(1).
- Thurmann, H.V. 2007. *Introductory Oceanography*. Bell and Howell Company Columbus Ohio.

# ANALISIS KESTABILAN LERENG *HIGHWALL* MENGUNAKAN METODE *BISHOP SIMPLIFIED* PADA PIT 13 PT BELAYAN INTERNASIONAL COAL KECAMATAN MARANGKAYU KABUPATEN KUTAI KARTANEGARA

Muhammad Amin Syam\*, Heriyanto, Hamzah Umar

Teknik Geologi, Universitas Mulawarman, Jl. Sambaliung No.9 Samarinda 75119, Indonesia.

\*Corresponding author. Email: muhammadamin.syam24@gmail.com

Manuscript received: 2 March 2021; Received in revised form: 25 April 2021; Accepted: 27 April 2021

## Abstrak

PT Belayan Internasional Coal merupakan perusahaan yang bergerak dalam bidang pertambangan dengan sistem tambang terbuka. Salah satu kegiatannya dalam geoteknik adalah pembentukan lereng. Analisis kestabilan lereng menggunakan metode *Bishop Simplified* yang disederhanakan dengan tujuan untuk mendapatkan nilai faktor keamanan dinamis ( $\geq 1,1$ ). Saat ini nilai Faktor Keamanan (FK) merupakan indikator pada penentuan apakah lereng stabil atau tidak. Parameter yang digunakan dalam analisis kestabilan lereng adalah sifat fisik dan sifat mekanik batuan yaitu bobot isi ( $\gamma$ ), nilai kohesi ( $c$ ), dan sudut geser dalam ( $\phi$ ). Dari hasil perhitungan lereng keseluruhan (*overall slope*) dinamis, lereng keseluruhan (*overall slope*) yang direkomendasikan adalah dibentuk dengan sudut lereng individu  $55^\circ$ , lebar *bench* 5 meter, tinggi 10 meter, dan jumlah lereng individu sebanyak 8 lereng. Desain ini akan menghasilkan lereng keseluruhan dengan dimensi sudut lereng  $41^\circ$ , tinggi 80 meter, dan memiliki nilai faktor keamanan dinamis yaitu 1,102 dengan keadaan jenuh air. Dengan demikian, lereng termasuk ke dalam kondisi stabil.

**Kata Kunci:** analisis kestabilan lereng; *Bishop Simplified*; faktor keamanan dinamis.

## Abstract

PT Belayan Internasional Coal is an an open pit system mining company, one of its geotechnical activities is the construction of the slopes. Slope stability analysis used the Bishop Simplified method to obtain the value of the dynamic safety factor ( $\geq 1,1$ ). Currently, the value of the Safety Factor (FK) is an indicator in determining whether the slope is stable or not. The parameters used in the slope stability analysis are the physical and mechanical properties of the rock, namely weight ( $\gamma$ ), cohesion value ( $c$ ), and internal shear angle ( $\phi$ ). From the results of dynamic overall slope calculations, the recommended overall slope is constructed with an individual slope angle of  $55^\circ$ , a bench width of 5 meters, a height of 10 meters, and the number of individual slopes of 8 slopes. This design will produce dimensions of overall slope with  $41^\circ$  slope angle, 80 meters high, and has a dynamic safety factor value of 1,102 with water saturated condition. Thus, the slopes is in the stable condition.

**Keywords:** *Bishop Simplified*; dynamic safety factor; slope stability analysis.

## Pendahuluan

Sehubungan dengan hasil kegiatan eksplorasi dan rencana optimalisasi

penambangan batubara pada area kerja PT Belayan Internasional Coal, maka dilakukan pengkajian studi geoteknik untuk menentukan perancangan geometri

tambang yang aman sesuai dengan prosedur teknis yang benar.

Banyaknya kasus longsoran lereng tambang menjadi perhatian khusus pada kegiatan penambangan di Indonesia. Selain dapat merugikan perusahaan secara meteril, kasus longsoran lereng tambang dapat menghambat eksplorasi yang berakibat pada lingkup keamanan pekerjaan yang dilaksanakan di lapangan (Arif, 2010). Penyelidikan geoteknik mutlak diperlukan untuk mengurangi resiko tersebut.

Analisis kestabilan lereng untuk kepentingan tambang terbuka bertujuan untuk menentukan geometri lereng, yaitu sudut dan tinggi lereng. Faktor utama penentu geometri lereng adalah struktur geologi, sifat fisik, sifat mekanik batuan, dan kondisi air tanah (Bester et al., 2013). Longsoran merupakan proses perpindahan massa tanah secara alami dari tempat yang tinggi ke tempat yang lebih rendah. Pergerakan tanah ini terjadi karena perubahan keseimbangan daya dukung tanah dan akan berhenti setelah mencapai keseimbangan baru (Johansson, 2014). Longsoran umumnya terjadi jika tanah sudah tidak mampu menahan berat lapisan tanah di atasnya karena ada penambahan beban pada lereng dan berkurangnya kohesi antara butiran tanah/ batuan (Golder Associates, 2018).

Oleh karena itu, diperlukan suatu model/ desain lereng tambang yang sudah memperhitungkan kemantapan dan kestabilan lereng pada daerah penelitian jika operasi penambangan dilaksanakan (LAPI ITB, 2017). Metode *Bishop Simplified* digunakan dalam memodelkan kestabilan lereng pada penelitian ini. Metode ini menerapkan kesetimbangan momen gaya dan adanya gaya normal antar irisan yang bekerja sehingga hasil pemodelan dapat mendekati model sebenarnya.

Daerah penelitian secara administratif

terletak di daerah Perangat, Kecamatan Marangkayu, Kabupaten Kutai Kartanegara, Secara astronomis terletak antara  $0^{\circ} 13' 26.7''$  LU dan  $117^{\circ} 16' 35.1''$  BT.

Kondisi morfologi daerah penelitian dibagi menjadi dua satuan bentuk lahan, yaitu: perbukitan terkikis dan dataran alluvial. Satuan batuan pada daerah penelitian mengikuti tata nama satuan litostratigrafi tidak resmi menurut Sandi Stratigrafi Indonesia dengan urutan dari muda sampai tua, yaitu endapan alluvial Perangat dan satuan Batulempung Perangat. Berdasarkan penarikan sebaran lapisan batuan, memperlihatkan adanya pola garis dengan arah timurlaut – baratdaya (Gambar 1). Data pengamatan singkapan, juga didapatkan kedudukan lapisan batuan, yaitu berarah timurlaut – baratdaya dengan besar kemiringan yang relatif sama, maka ditafsirkan struktur geologi yang terdapat di daerah telitian adalah sayap lipatan.

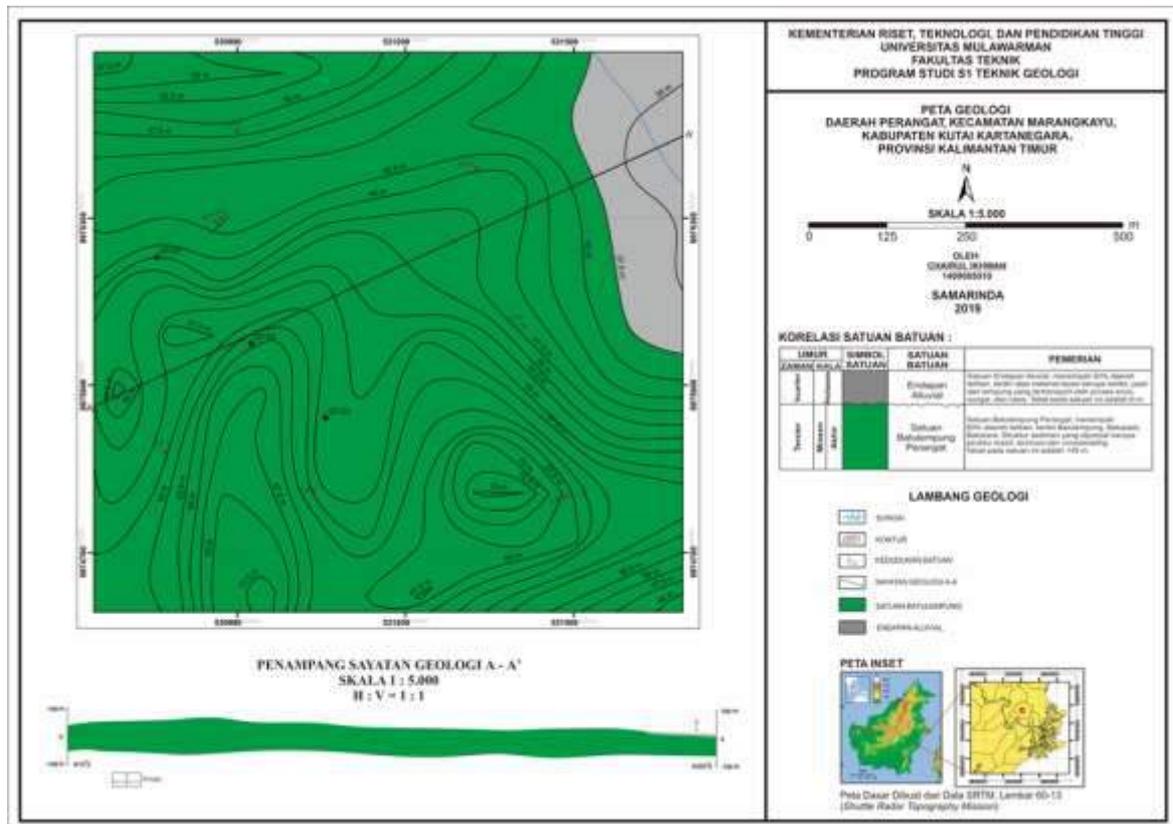
### Metode Penelitian

Pada tahap ini, data yang didapat dari lapangan dan uji laboratorium akan dianalisis. Adapun metode dalam penelitian ini dijelaskan sebagai berikut:

- Pengambilan data primer; data ini langsung diambil di lapangan terdiri dari data litologi dari log bor dan *coring* dan geometri lereng awal.
- Uji laboratorium; data *coring* selanjutnya dibedakan berdasarkan jenis litologinya, kemudian dilakukan uji sifat fisik untuk mengetahui bobot isi batuan dan uji kuat geser batuan untuk menghitung nilai kohesi (c) dan sudut geser dalam ( $\phi$ ) batuan.
- Desain lereng; lereng didesain menjadi 2 (dua), yakni lereng tunggal (*single slope*) dan lereng keseluruhan (*overall slope*). Data hasil uji laboratorium dimasukkan (*material properties*) berdasarkan jenis litologinya.
- Analisis kestabilan lereng menggunakan *software Slide* versi

*trial*; lereng dianalisis menggunakan kriteria keruntuhan *Mohr-Coulomb* dan menggunakan metode *Bishop Simplified* dengan kondisi tersaturasi air dan dinamis yaitu lereng mendapatkan tambahan beban kegempaan dan beban kendaraan.

e. Hasil dan kesimpulan; dari hasil analisis kestabilan lereng diperoleh nilai faktor keamanan baik pada lereng tunggal (*single slope*) maupun pada lereng keseluruhan (*overall slope*).



Gambar 1. Peta Geologi Daerah Penelitian

Mengacu pada Keputusan Menteri ESDM Nomor 827K/30/MEM/2018 tentang Pedoman Pelaksanaan Kaidah Teknik Pertambangan yang Baik, maka nilai faktor keamanan untuk lereng keseluruhan (*overall slope*) dapat diterima jika nilai faktor keamanan (FK) dinamis yakni minimal 1,1. Apabila nilai faktor keamanan (FK) kurang dari 1,1 maka dilakukan kembali perhitungan nilai faktor keamanan dari desain geometri lereng penambangan yang berbeda hingga mendapatkan nilai faktor keamanan (FK) yang sesuai dengan kriteria yang dapat diterima yakni minimal 1,1. Adapun persamaan matematis dari metode *Bishop Simplified* dituliskan sebagai berikut:

$$FK = \frac{\sum [c.l + (P - ul) \tan \phi]}{\sum W \cdot \sin \alpha} \quad 1$$

dengan:

- c : kohesi efektif
- l : panjang dasar irisan
- P : gaya normal pada dasar irisan
- u : tekanan air pori
- $\phi$  : sudut gesek dalam
- W : berat irisan
- $\alpha$  : sudut irisan terhadap sumbu y

### Hasil dan Pembahasan

Tujuan dilakukannya analisis kestabilan lereng penambangan adalah untuk menentukan geometri (tinggi dan sudut kemiringan) lereng yang stabil (Sugianti,

2013). Data masukan yang digunakan untuk analisis ini adalah geometri lereng, perlapisan batuan, sifat fisik, dan mekanik batuan pembentuk lereng (Muntohar dan Saputro, 2014).

Longsoran yang akan terjadi diasumsikan berbentuk busur dan analisis dilakukan dengan metode *Bishop Simplified*. Perhitungan dilakukan pada lereng tunggal (*single slope*) dan lereng keseluruhan (*overall slope*).

Pada penambangan batubara, untuk mengupas lapisan tanah penutup akan terbentuk lereng *highwall* yang terdiri dari lereng tunggal (*single slope*) dan lereng keseluruhan (*overall slope*).

*Material properties* yang digunakan untuk pembentuk lereng berdasarkan data log bor dan uji laboratorium di daerah penambangan PT Belayan Internasional Coal adalah sebagai berikut (Tabel 1):

**Tabel 1.** Material Properties pada titik GT-01

Material	Unit Weight	Direct Shear Test		Friction Angle	Cohesion
	KN/m <sup>3</sup>	Peak $\phi_p$ (°)	Residu $\phi_r$ (°)	(°)	KPa
Claystone 1	19,141	30,96	0	15,48	57,303922
Claystone 2	16,915074	30,54	0	15,27	40,490196
Siltstone 1	21,062944	43,97	33,24	38,60	192,94118
Claystone 3	20,003914	37,66	20,58	29,12	252,45098
Siltstone 2	21,013915	45,77	35,7	40,73	343,13725
Claystone 4	18,121192	40,71	28,55	34,63	275,04902
Siltstone 3	19,768573	42,77	29,03	35,9	200,58824

**1. Lereng Tunggal (Single Slope)**

Perhitungan kestabilan lereng dilakukan untuk tiap jenis material pembentuk lereng, yaitu untuk material batupasir, batulanau, dan batulempung dengan menggunakan dua parameter, yakni:

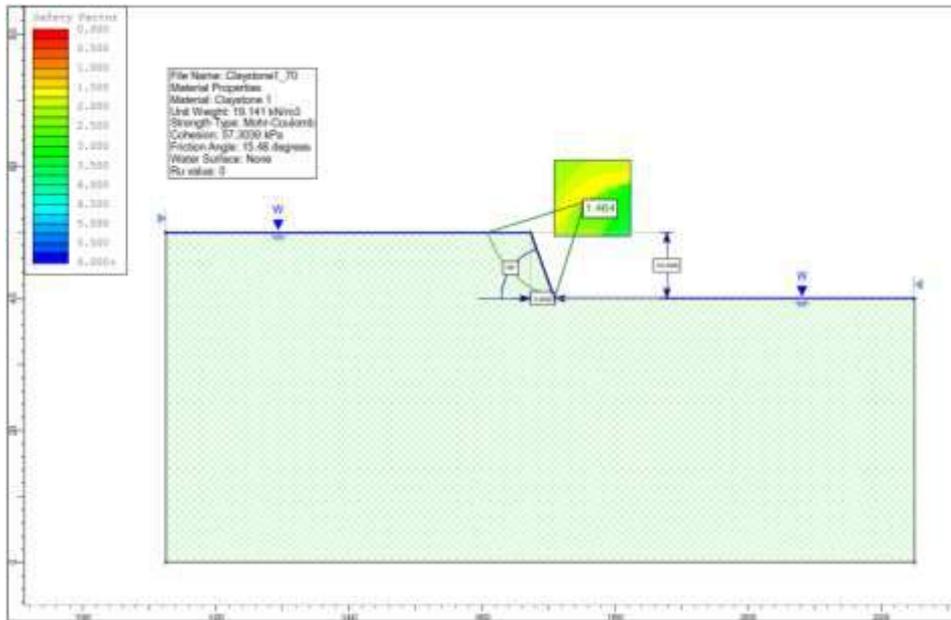
- a. Tinggi lereng tunggal (h)  
Penggaruan material menggunakan *Excavator Komatsu PC-300* dengan *Maximum Cutting Height* sebesar 10 meter.
- b. Sudut lereng tunggal ( $\alpha$ )  
Perhitungan simulasi kestabilan lereng tunggal dilakukan dengan sudut lereng sebesar 55°, 60°, 65°, dan 70° pada tinggi 10 meter.

Hasil perhitungan kestabilan lereng tunggal sebagai rekomendasi untuk penggalan lapisan batuan penutup pada *Highwall GT-01* dijelaskan sebagai berikut:

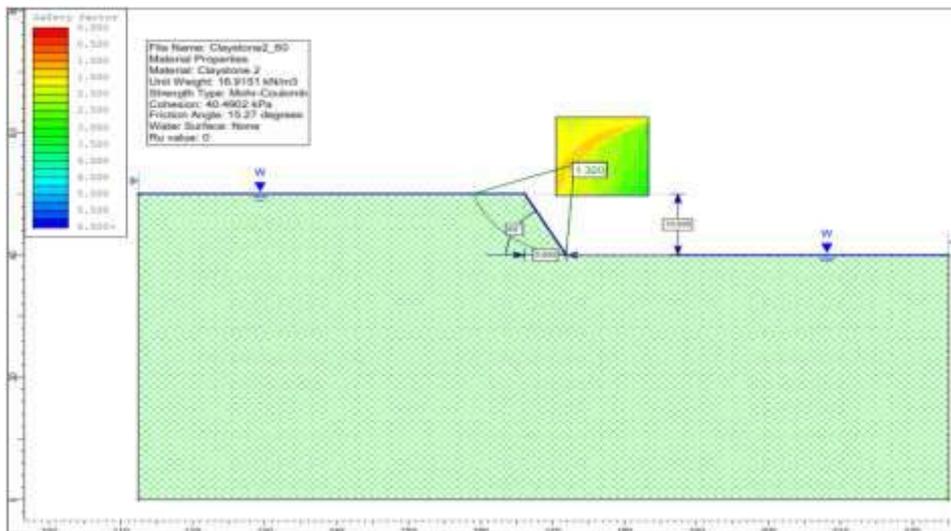
- Pada material *Claystone 1* (Gambar 2) disarankan menggunakan geometri lereng dengan tinggi (h) = 10 m dan sudut lereng ( $\alpha$ ) = 70° dengan hasil

perhitungan faktor keamanan (FK) = **1,464**.

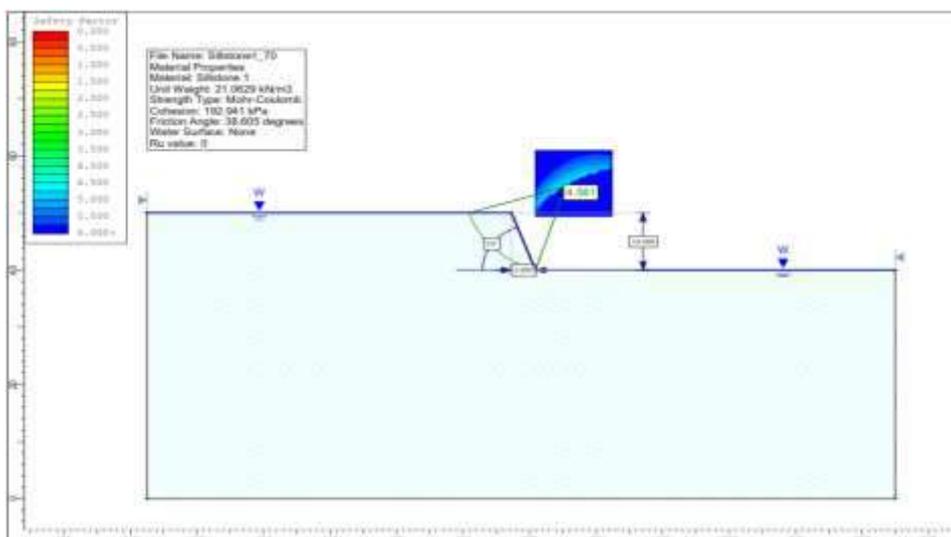
- Pada material *Claystone 2* (Gambar 3) disarankan menggunakan geometri lereng dengan tinggi (h) = 10 m dan sudut lereng ( $\alpha$ ) = 60° dengan hasil perhitungan faktor keamanan (FK) = **1,320**.
- Pada material *Siltstone 1* (Gambar 4) disarankan menggunakan geometri lereng dengan tinggi (h) = 10 m dan sudut lereng ( $\alpha$ ) = 70° dengan hasil perhitungan faktor keamanan (FK) = **4,561**.
- Pada material *Claystone 3* (Gambar 5) disarankan menggunakan geometri lereng dengan tinggi (h) = 10 m dan sudut lereng ( $\alpha$ ) = 70° dengan hasil perhitungan faktor keamanan (FK) = **6,158**.
- Pada material *Siltstone 2* (Gambar 6) disarankan menggunakan geometri lereng dengan tinggi (h) = 10 m dan sudut lereng ( $\alpha$ ) = 70° dengan hasil faktor keamanan (FK) = **8,030**.



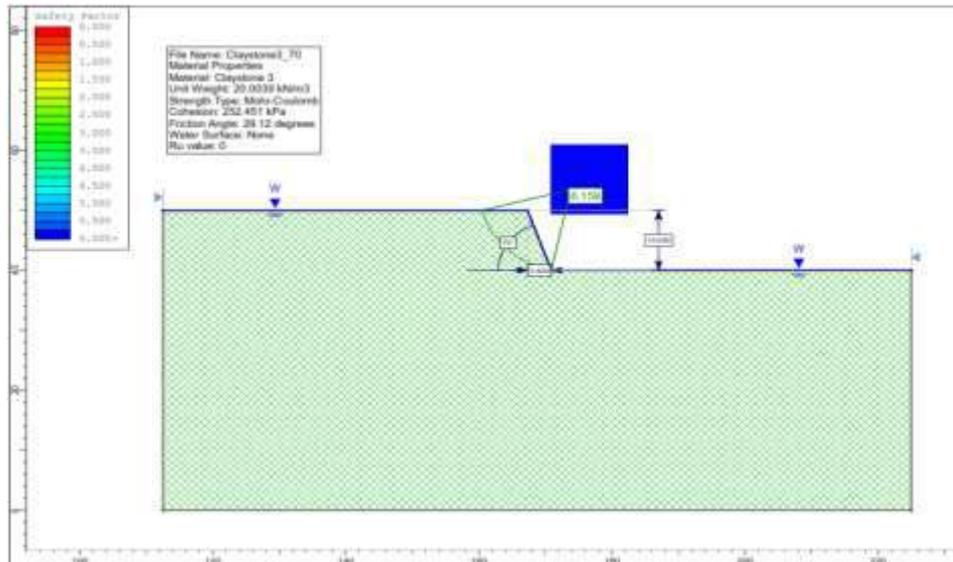
**Gambar 2.** Rekomendasi Geometri Lereng Tunggal pada Material *Claystone 1*



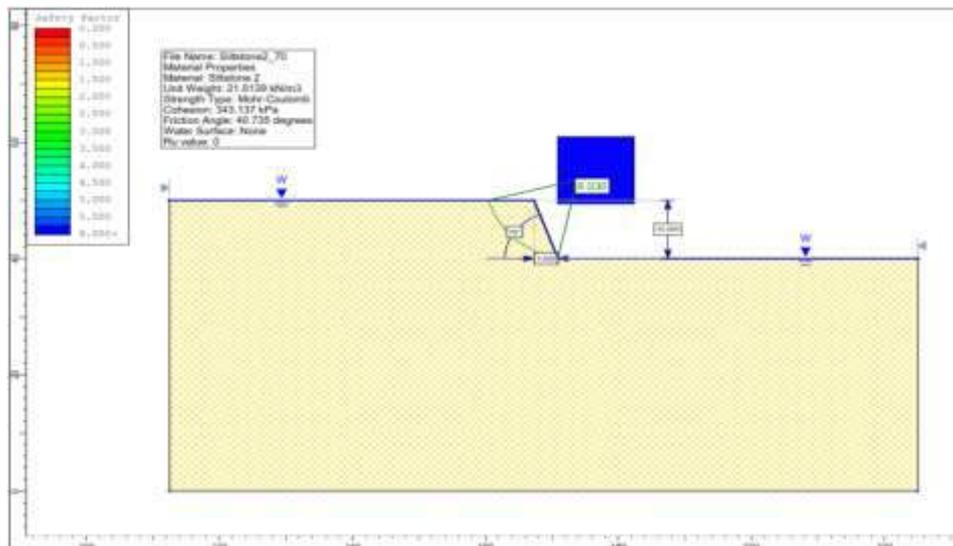
**Gambar 3.** Rekomendasi Dimensi Lereng Tunggal Pada Material *Claystone 2*



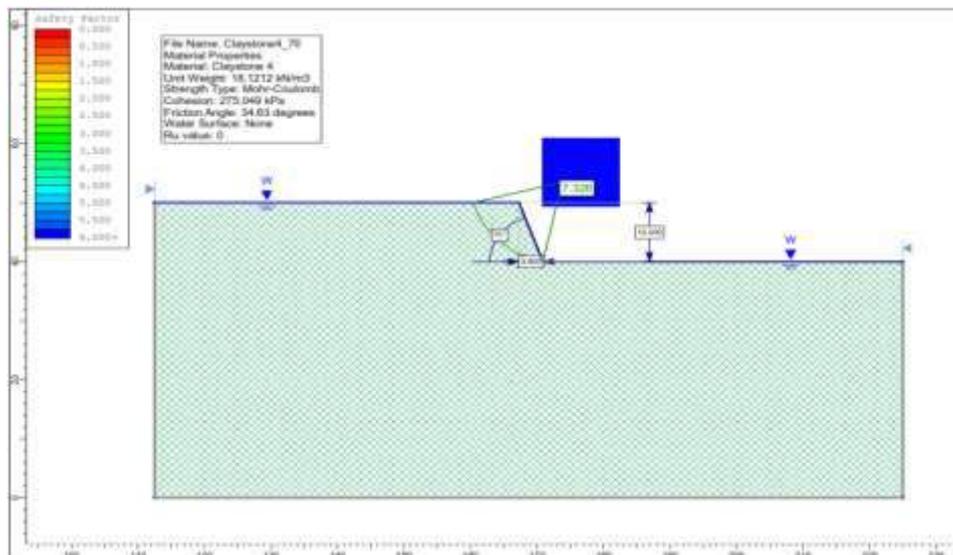
**Gambar 4.** Rekomendasi Dimensi Lereng Tunggal Pada Material *Siltstone 1*



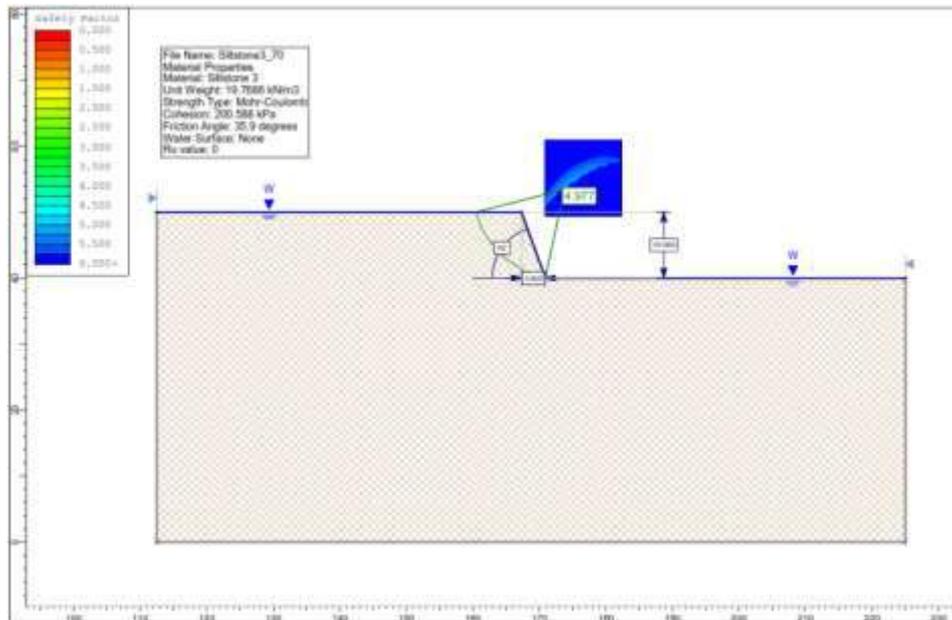
**Gambar 5.** Rekomendasi Dimensi Lereng Tunggal Pada Material *Claystone 3*



**Gambar 6.** Rekomendasi Dimensi Lereng Tunggal Pada Material *Siltstone 2*



**Gambar 7.** Rekomendasi Dimensi Lereng Tunggal Pada Material *Claystone 4*



**Gambar 8.** Rekomendasi Dimensi Lereng Tunggal Pada Material *Siltstone 3*

- Pada material *Claystone 4* (Gambar 7) disarankan menggunakan geometri lereng dengan tinggi ( $h$ ) = 10 m dan sudut lereng ( $\alpha$ ) =  $70^\circ$  dengan hasil faktor keamanan (FK) = **7,326**.
- Pada material *Siltstone 3* (Gambar 8) disarankan menggunakan geometri lereng dengan tinggi ( $h$ ) = 10 m dan sudut lereng ( $\alpha$ ) =  $70^\circ$  dengan hasil faktor keamanan (FK) = **4,977**.

Rekomendasi lereng tunggal hasil perhitungan kestabilan untuk penggalian lapisan batuan penutup pada Highwall GT-01 diringkas dalam Tabel 2.

**Tabel 2.** Rekomendasi Lereng Tunggal

Material	Slope	Tinggi Lereng	FK
<i>Claystone 1</i>	$70^\circ$	10 m	1,464
<i>Claystone 2</i>	$60^\circ$	10 m	1,320
<i>Siltstone 1</i>	$70^\circ$	10 m	4,561
<i>Claystone 3</i>	$70^\circ$	10 m	6,158
<i>Siltstone 2</i>	$70^\circ$	10 m	8,030
<i>Claystone 4</i>	$70^\circ$	10 m	7,326
<i>Siltstone 3</i>	$70^\circ$	10 m	4,977

## 2. Lereng Keseluruhan (Overall Slope)

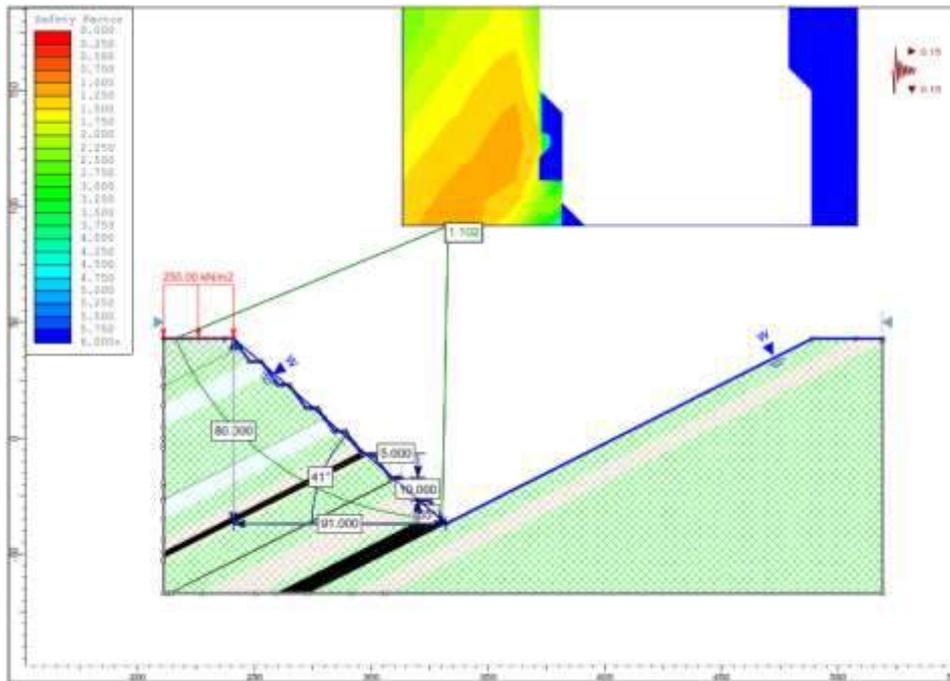
Pendekatan analisis dalam perhitungan lereng keseluruhan adalah:

- Pada analisis lereng keseluruhan, tubuh lereng terdiri dari beberapa

material penyusun dan mempunyai sudut kelerengan stabil yang direkomendasikan berdasarkan hasil analisis dan simulasi lereng tunggal.

- Nilai kohesi ( $c$ ) dan sudut geser dalam ( $\phi$ ) digunakan dalam analisis kemantapan lereng diambil dari analisis statistik, yaitu dipilih nilai masing-masing material. Begitu juga dengan nilai bobot isi natural ( $\gamma_{nat}$ ) dan bobot isi jenuh ( $\gamma_{sat}$ ).
- Material pada *Weathering Zone* dianggap sebagai material satuan batuan di bawahnya.
- Tinggi muka air tanah pada kondisi jenuh adalah sepenuhnya terisi air dengan menyesuaikan bentuk lereng.
- Analisis desain lereng keseluruhan secara dinamis.
- Desain lereng keseluruhan jenuh dinamis mendapatkan tambahan *seismic load* (H&V: 0.15g) dan *distributed load* (250.000 KN/m<sup>2</sup>).
- Rekomendasi teknis adalah hasil dari analisis simulasi lereng jenuh dinamis.
- Dalam melakukan perhitungan simulasi, tipe longsoran adalah longsoran busur.
- Untuk semua lereng yang dianalisa menggunakan nilai  $\phi$ ,  $c$ ,  $\gamma_{nat}$  dan  $\gamma_{sat}$  merupakan nilai rata-rata masing-

- masing pengujian yang diperoleh dari laporan uji laboratorium.
- j. Penggaruan material diasumsikan menggunakan *Excavator Komatsu PC-300* dengan *Maximum Cutting Height* sebesar 10 meter. Maka tinggi dimensi lereng tunggal adalah 10 meter.
  - k. Perhitungan simulasi kemantapan lereng keseluruhan dilakukan dengan sudut lereng sebesar  $45^\circ$ ,  $50^\circ$ ,  $55^\circ$  dan  $60^\circ$ .
  - l. Analisis kestabilan lereng keseluruhan dihitung sampai diperoleh lereng dengan  $FK \geq 1,100$ .



**Gambar 9.** Rekomendasi Dimensi Lereng Keseluruhan *Highwall*

Menurut hasil perhitungan lereng keseluruhan dinamis, lereng keseluruhan disarankan dibentuk dengan sudut lereng individu  $55^\circ$ , lebar *bench* 5 m, tinggi 10 m, dan jumlah lereng individu sebanyak 8 lereng, akan menghasilkan lereng keseluruhan dengan dimensi sudut lereng  $41^\circ$ , tinggi 80 m, dan memiliki nilai **FK Dinamis 1,102** dengan dalam keadaan jenuh air (Gambar 9). Dengan demikian, lereng termasuk ke dalam kategori stabil.

### Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan di PT. Belayan Internasional Coal pada area *Pit 13* diperoleh kesimpulan sebagai berikut: Pertama, menurut perhitungan uji sifat fisik dan uji sifat mekanik pada tujuh sampel batuan diperoleh nilai kohesi (c) berkisar antara 40

KPa hingga 343 KPa, sudut geser dalam ( $\phi$ ) berkisar antara  $15^\circ - 40^\circ$  dan nilai bobot isi natural ( $\gamma_{nat}$ ) berkisar antara  $16 \text{ KN/m}^3$  hingga  $21 \text{ KN/m}^3$ . Kedua, rekomendasi geometri lereng tunggal (*Single Slope*) untuk setiap litologi adalah tinggi lereng sama sebesar 10 meter dan dengan sudut lereng antara  $60^\circ - 70^\circ$ . Dari geometri lereng tersebut diperoleh kondisi lereng stabil dengan nilai faktor keamanan antara 1,320 – 8,030. Ketiga, lereng keseluruhan (*Overall Slope*) dalam kondisi dinamis disarankan dibentuk dengan sudut lereng individu  $55^\circ$ , lebar *bench* 5 meter, tinggi 10 meter, dan jumlah lereng individu sebanyak 8 lereng. Geometri lereng ini menghasilkan lereng keseluruhan dengan sudut lereng  $41^\circ$ , tinggi 80 meter, dan memiliki nilai faktor keamanan dinamis dan tersaturasi air sebesar 1,102. Dengan demikian, lereng termasuk ke dalam kondisi stabil.

## Daftar Pustaka

- Arif, I. 2010. *Geoteknik Tambang*. Program Studi Teknik Pertambangan ITB. Bandung. 2010.
- Bester, M., Nel, E., & Gavigan, G. 2013. *A Strategic Approach to the Design and Implementation of an Effective Mine Dewatering System, Slope Stability (page.1-16)*. Australian Centre for Geomechanics. Brisbane.
- Golder Associates. 2018. *Geotechnical Investigation for Pitand Waste Dump Studies Report*.
- Johansson, J. 2014. *Impact of Water-Level Variations on Slope Stability*. Lulea University of Technology.
- LAPI ITB, PT. 2017. *Studi Pengaruh Getaran Peledakan Terhadap Perumahan Penduduk dan Evaluasi Kestabilan Lereng Tambang PT Kuansing Inti Makmur Site Muara Bungo*. Jambi.
- Muntohar, A.S. dan Saputro, R.I. 2014. *Pengaruh Kedalaman Muka Air Tanah Awal Terhadap Analisis Stabilitas Lereng Tak Jenuh*. Seminar Nasional X – 2014. Teknik Sipil ITS Surabaya pp. 985-990.
- Sugianti, K. 2013. *Pengaruh Muka Airtanah terhadap Kestabilan Lereng pada Ruas Jalan Raya Cadaspangeran, Sumedang*. Riset Geologi Tambang, 22(2), 117-125. <https://doi.org/10.14203/risetgeotam2012.v22.62>

# **GEOLOGI DAN MEKANISME STRUKTUR GEOLOGI DI DESA PERJIWA KECAMATAN TENGGARONG SEBERANG KABUPATEN KUTAI KARTANEGARA PROVINSI KALIMANTAN TIMUR**

Resty Intan Putri, Diana Rahmawati\*, Puspa Indah Rindawati

Teknik Geologi, Universitas Mulawarman, Jl. Sambaliung No.9 Samarinda 75119, Indonesia

\*Corresponding author. Email: [diana.geologi.unmul@gmail.com](mailto:diana.geologi.unmul@gmail.com)

Manuscript received: 3 March 2021; Received in revised form: 27 April 2021; Accepted: 30 April 2021

## **Abstrak**

Daerah penelitian terletak di Desa Perjiwa, Kecamatan Tenggarong Seberang, Kabupaten Kutai Kartanegara. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kondisi geologi meliputi kondisi geomorfologi, struktur geologi, stratigrafi dan mekanisme struktur geologi dari daerah penelitian. Metode pengambilan data difokuskan pada pengambilan data – data geologi permukaan, yang terdiri atas studi literatur, akuisisi data, analisa data. Geomorfologi daerah penelitian dibagi menjadi 2 (dua) bentuk asal yakni, bentuk asal struktural, dan bentuk asal fluvial. Bentuk asal struktural dengan bentuk lahan perbukitan tersayat, dan bentuk asal fluvial bentuk lahan dataran alluvial. Di daerah penelitian terdapat 3 satuan batuan yaitu satuan batuan batulempung Perjiwa, satuan batuan batupasir Bukit Raya dan endapan alluvial. Struktur geologi yang berkembang pada daerah penelitian adalah antiklin Perjiwa, sinklin Perjiwa, antiklin Separi, sinklin Bukit Raya, sesar naik Bukit Raya, sesar naik Tanjung Batu, sesar mendatar Tanjung, sesar naik KM 5. Mekanisme struktur geologi pertama adalah terbentuknya lipatan pada daerah penelitian. Semakin lama gaya yang bekerja semakin kuat sehingga batuan melewati batas elastisitasnya sehingga terbentuk sesar naik pada daerah penelitian, gaya semakin meningkat sehingga terbentuk sesar mendatar.

**Kata Kunci:** geologi; struktur geologi; mekanisme struktur geologi.

## **Abstract**

The research area is located in the village of Perjiwa, Tenggarong Seberang District, Kutai Kartanegara Regency. This research aims to know the geological conditions such as geomorphology, structural geology, stratigraphy, and geological structure mechanisms of the research area. The data acquisition method is focused on surface geological data, consisting of literature study, data acquisition, and data analysis. The geomorphology of the research area is divided into 2 landforms, structural and fluvial. The structural landform formed slashed hills, and fluvial landform created alluvial land. There are three lithological units in the research area, namely the claystone Perjiwa, the sandstone Bukit Raya and the alluvial deposits. The geological structure that constructed in the research area is the anticline Perjiwa, syncline Perjiwa, anticline Separi, syncline Bukit Raya, trust fault Bukit Raya, trust fault Tanjung Batu, strike-slip Tanjungbatu, and trust fault K.M 5. The first geological structural mechanism was formed folds in the research area. The longer the force that worked stronger so that the rocks pass through the elasticity boundary so that formed the trust fault in the research area, the force was increasing so that formed strike-slip fault.

**Keywords:** geology; geological structure, mechanism of geological structure.

## Pendahuluan

Geologi struktur merupakan salah satu cabang ilmu yang mempelajari proses dinamika bumi (Allen & Chambers, 1998). Studi struktur geologi banyak digunakan dalam berbagai bidang contohnya seperti di bidang pertambangan, perminyakan, kebencanaan dan lain-lain. Munculnya unsur – unsur struktur seperti kekar, sesar, cermin sesar dan lain sebagainya sering menunjukkan pola yang kompleks dengan orientasi yang beragam (Nugraha, 2016). Merupakan suatu hal yang menarik untuk mengetahui penyebab terjadinya kompleksitas dan mempelajari proses yang bekerja pada produk geologi.

Di dalam Peta Geologi Regional Samarinda (Supriatna dkk., 1995), Kecamatan Tenggarong Seberang berada di daerah antiklin dan di dalam peta struktur geologi terdapat patahan/ sesar pada daerah tersebut (McClay dkk., 2000).

Berangkat dari latar belakang ini menyebabkan keingintahuan untuk membuktikan kebenaran di daerah tersebut terdapat struktur geologi yang begitu kompleks dengan melakukan penelitian pemetaan geologi di daerah Kecamatan Tenggarong Seberang, Kabupaten Kutai Kartanegara, Provinsi Kalimantan Timur untuk mengetahui tektonik dan proses pembentukan struktur pada lokasi tersebut.

## Metode Penelitian

1. Studi literatur; kegiatan ini dimaksudkan untuk mencari literatur yang berhubungan dengan penelitian sehingga dapat membantu dalam pelaksanaan penelitian ini. Literatur dapat berupa buku, jurnal, skripsi yang berkaitan dengan penelitian ini serta menggunakan peta geologi regional untuk mengetahui lebih mendalam kondisi geologi di daerah penelitian.
2. Akuisisi data; pengambilan data primer dan data sekunder. Data primer

merupakan data yang diambil di lapangan seperti pengamatan bentuk lahan, pengukuran kedudukan batuan, pengukuran bidang sesar dan kekar, pengukuran dan pengambilan contoh batuan. Data sekunder merupakan data citra satelit yang mendukung pengambilan data di lapangan.

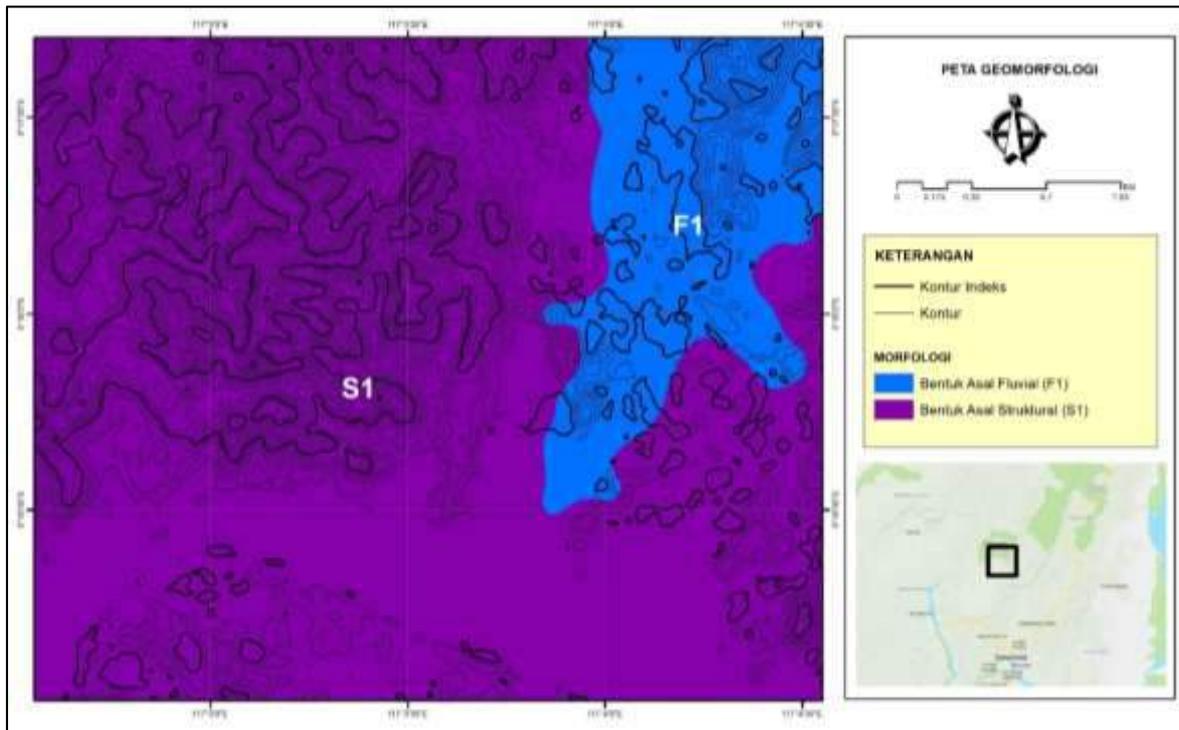
3. Analisis data; tahap analisis geomorfologi terdiri atas pembagian satuan bentuk lahan, pembagian satuan bentuk lahan dibagi berdasarkan bentuk asal. Tahap analisis stratigrafi untuk mengetahui lingkungan pengendapan dari setiap satuan batuan. Tahap analisis struktur geologi menggunakan metode stereografis dan rekonstruksi lipatan. Tahap analisis mekanisme struktur geologi dengan cara merekonstruksi kejadian struktur geologi yang terjadi

## Hasil dan Pembahasan

### *Geomorfologi Daerah Penelitian*

Daerah penelitian dibagi menjadi 2 (dua) bentuk asal yakni bentuk asal struktural dan bentuk asal fluvial. Bentuk asal struktural memiliki satu bentuk lahan (Gambar 1) yaitu perbukitan tersayat disimbolkan dengan S1 dan bentuk asal fluvial memiliki bentuk lahan dataran alluvial dengan disimbolkan F1 yang dijelaskan sebagai berikut:

1. Bentuk asal struktural; bentuk asal struktural yang terbentuk akibat struktur geologi yang berkembang. Bentuk lahan ini merupakan bentuk lahan perbukitan tersayat. Bentuk lahan ini dicirikan adanya topografi yang bergelombang sedang hingga kuat dengan pola aliran yang berhubungan dengan kekar dan patahan. Hal ini tampak pada di lapangan yang banyak dijumpai patahan/ sesar dan kekar. Satuan bentuk lahan ini menempati 80% dari keseluruhan daerah penelitian. Morfologinya berupa perbukitan yang bergelombang dengan kelerengan sekitar 14-20%.



**Gambar 1.** Peta geomorfologi daerah penelitian.

2. Bentuk asal fluvial; bentuk asal fluvial yang terjadi akibat aktivitas sungai berupa pengikisan, pengangkutan dan pengendapan (sedimentasi) membentuk bentukan-bentukan deposisional yang berupa bentangan dataran alluvial. Satuan bentuk lahan merupakan dataran alluvial dan menempati 20% dari keseluruhan daerah penelitian. Bentuk lahan alluvial (F1) tersusun atas endapan alluvial material lepas pasir dan lempung serta dicirikan dengan tanah yang subur yang dapat dijadikan lahan pertanian, pemukiman maupun perkebunan. Hal ini didukung karena ketersediaan air di dataran rendah yang melimpah karena endapan alluvial yang ada mampu menyerap air dan menahannya.

#### *Stratigrafi Daerah Penelitian*

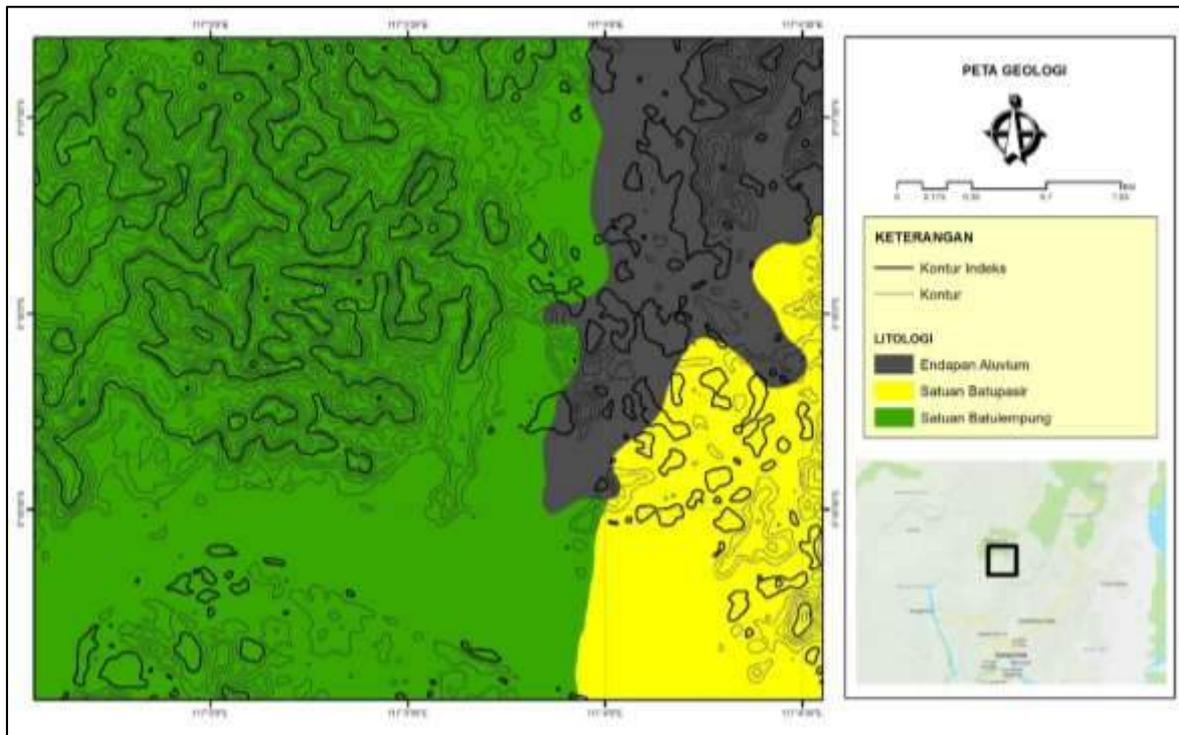
Klasifikasi penamaan satuan stratigrafi daerah penelitian menggunakan sistem penamaan stratigrafi resmi yang didasarkan atas ciri litologi dominan yang diamati di lapangan, dan hasil analisa laboratorium (Martodjojo & Djuheni, 1996). Penamaan satuan batuan pada daerah penelitian

berdasarkan ciri – ciri litologi yang terdapat pada lapangan dan lokasi terdapatnya litologi. Secara umum stratigrafi daerah penelitian dibagi menjadi 3 satuan batuan tua ke muda (Gambar 2) adalah sebagai berikut:

1. Satuan batulempung Perjiwa; satuan batuan menempati  $\pm 50\%$  daerah penelitian yang berada di daerah barat lokasi penelitian dan ditandai dengan warna hijau pada peta geologi. Berdasarkan rekonstruksi penampang geologi ketebalan satuan batulempung Perjiwa  $\pm 1,5$  meter. Satuan batuan ini beranggotakan batulempung, batupasir, batupasir karbonat, batubara, dan batugamping. Batulempung dengan warna lapuk coklat keabu-abuan, warna segar coklat dengan tekstur ukuran butir lempung, derajat pemilahan terpilah baik, derajat pembundaran membundar dengan kemas tertutup, struktur perlapisan dengan tebal 18 cm – 4 m. Batupasir dengan warna segar kuning keputihan, tekstur ukuran butir pasir sedang derajat pemilahan terpilah baik, derajat pembundaran membundar dengan tebal 1 – 2 m. Batubara dengan

warna lapuk abu abu, warna segar hitam, tekstur amorf cerah coklat, kilap lilin pecahan kubikal, *cleath* ada *parting*, tidak ada komposisi karbo, ketebalan 14 – 45 cm. Batupasir karbonat dengan warna abu-abu kehitaman, padat ukuran butir pasir

halus, terpilah baik, membundar, kemas terbuka, fragmen kuarsa, matriks kalsit, semen silika, struktur perlapisan, dan tebal 4 m. Batugamping dengan warna lapuk kuning, warna segar abu abu, struktur *fossiliferous*, tebal 3 cm – 2,40 m.



Gambar 2. Peta geologi daerah penelitian.

2. Satuan batupasir Bukit Raya; satuan batuan menempati  $\pm 30\%$  daerah penelitian yang berada di daerah timur lokasi penelitian dan ditandai dengan warna kuning pada peta geologi. Berdasarkan rekonstruksi penampang geologi ketebalan satuan batupasir Bukit Raya  $\pm 550$  meter. Anggota satuan batuan batupasir Bukit Raya terdiri atas batupasir kuarsa dengan sisipan konglomerat, batubara, batupasir sedang dan batulempung. Batupasir kuarsa dengan warna lapuk *orange* keputihan, warna segar putih, tekstur ukuran butir pasir kasar, derajat pemilahan terpilah buruk, derajat pembundaran agak bundar, kemas terbuka, komposisi fragmen kuarsa, matriks orthoklas, semen silika, struktur silang siur tebal 1 – 3 m. Konglomerat dengan warna lapuk

kuning ke-*orange*-an, tekstur ukuran butir kerikil, derajat pemilahan terpilah buruk, derajat pembundaran agak membundar, kemas terbuka, komposisi fragmen rijang, matriks mineral lempung, semen silika, struktur perlapisan tebal 4 – 2 m. Batulempung dengan warna lapuk abu abu kehitaman, warna segar abu abu, ukuran butir lempung, terpilah baik, membundar, kemas tertutup, komposisi terdiri dari mineral lempung, semen karbonat, struktur laminasi, dan nama batuan batulempung, tebal 1.5 m. Batupasir sedang memiliki warna lapuk orange keputihan, warna segar putih, ukuran butir pasir sedang, terpilah buruk, agak bundar, kemas terbuka, komposisi fragmen kuarsa, matriks orthoklas, semen karbonat, struktur perlapisan, dan

- nama batuan batupasir.
- Endapan alluvial ini merupakan endapan darat yang memiliki fragmen material lepas berukuran krakal hingga lempung serta material hasil erosi batuan yang lebih tua dan dikontrol oleh sungai yang memiliki stadia dewasa. Satuan alluvial ini merupakan endapan termuda yang dijumpai pada daerah penelitian. Satuan ini menempati 20% berupa material lepas – lepas berukuran pasir, kerikil sampai bongkah. Pada peta geologi satuan ini ditandai dengan warna abu-abu. Satuan ini memiliki hubungan yang tidak selaras dengan satuan yang ada di bawahnya. Satuan ini berumur Holosen-Resen karena pengendapan satuan ini masih terus berlangsung sampai saat ini.

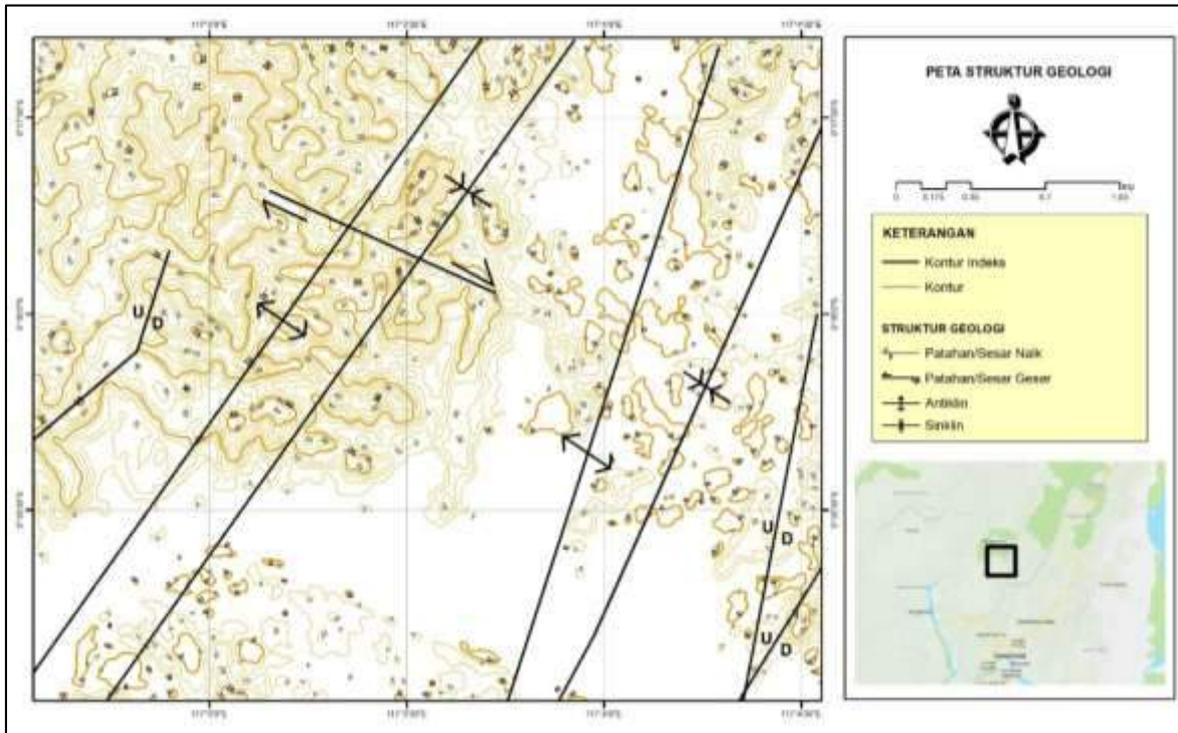
#### *Struktur Geologi Daerah Penelitian*

Struktur geologi yang ditemui di lapangan berupa antiklin, sinklin, sesar naik dan sesar mendatar. Berikut merupakan hasil dari analisis data struktur geologi (Gambar 3):

- Antiklin Perjiwa, antiklin pada daerah penelitian memiliki arah dominan NE-SW. Antiklin ini pada daerah penelitian dapat dilihat dari kedudukan batuan yang berlawanan. lipatan yang ditemukan pada singkapan tersebut. Klasifikasi lipatan pada di bawah adalah *upright horizontal fold* (Fluety, 1964). Sedangkan pada stasiun pengamatan 24 dan 25 setelah direkonstruksi lipatannya klasifikasi lipatan yang disimpulkan yaitu *upright horizontal fold* (Fluety, 1964). Arah gaya dari kedua lipatan dominan NW-SE.
- Sinklin Perjiwa, sinklin pada daerah penelitian memiliki arah dominan NE-SW. Sinklin ini pada daerah penelitian dapat dilihat dari kedudukan batuan yang bertemu. Arah gaya yang membentuk sinklin dominan dari arah SE-NW.
- Antiklin Separi, antiklin pada daerah penelitian memiliki arah dominan NE-SW. Antiklin ini dicirikan adanya perbedaan kedudukan batuan. Klasifikasi lipatan pada antiklin Separi adalah *steeply inclined horizontal fold* (Fluety, 1964). Antiklin ini menerus ke arah utara dan arah gaya dominan pada antiklin ini berasal dari NW- SE.
- Sinklin Bukit Raya, sinklin pada daerah penelitian memiliki arah dominan NE-SW. Sinklin ini pada daerah penelitian dapat dilihat dari kedudukan batuan yang bertemu. Arah gaya yang membentuk sinklin dominan dari arah SE-NW.
- Sesar naik Tanjung Batu, sesar naik pada daerah penelitian memiliki arah kelurusan NE-SW yang merupakan sesar naik (*Thrust Fault*). Indikasi sesar ini dapat dilihat dengan adanya pola sesar ganda dengan bidang sesar yang searah dengan sumbu lipatan, lalu pada sesar ditemukannya mineral karbonat tipis berwarna putih yang mengisi sepanjang zona sesar yang diindikasikan merupakan hasil dari penggerusan oleh sesar.
- Sesar naik Bukit Raya, sesar naik pada daerah penelitian memiliki arah kelurusan NE-SW yang merupakan sesar naik (*Thrust Fault*). Indikasi sesar ini dapat dilihat dengan adanya pola sesar ganda dengan bidang sesar yang searah dengan sumbu lipatan, lalu pada sesar ditemukannya mineral karbonat tipis berwarna putih yang mengisi sepanjang zona sesar yang diindikasikan merupakan hasil dari penggerusan oleh sesar.
- Sesar naik mengangan KM 5, sesar naik mengangan pada daerah penelitian memiliki arah kemenerusan *west – east* yang merupakan sesar naik mengangan. Indikasi sesar naik mengangan ini dijumpai adanya cermin sesar pada daerah penelitian dengan adanya mineral lempung tipis ditengah-tengah bidang sesar. Di bidang sesar juga ditemukan adanya bekas seretan yang merupakan hasil dari penggerusan batuan pada saat terbentuk sesar tersebut.
- Sesar mendatar Tanjung Batu, sesar mendatar pada daerah penelitian

memiliki arah kelurusan NW-SE yang merupakan sesar mendatar menganan. Indikasi sesar mendatar ini ditemukannya *drag fold* (lipatan seretan) lalu terlihat adanya perbedaan warna batuan pada batugamping yang secara

kontras dan terlihat bahwa antiklin pada lokasi penelitian terpotong oleh sesar mendatar menganan. Data data tersebut menunjukkan sesar mendatar menganan Tanjung Batu.

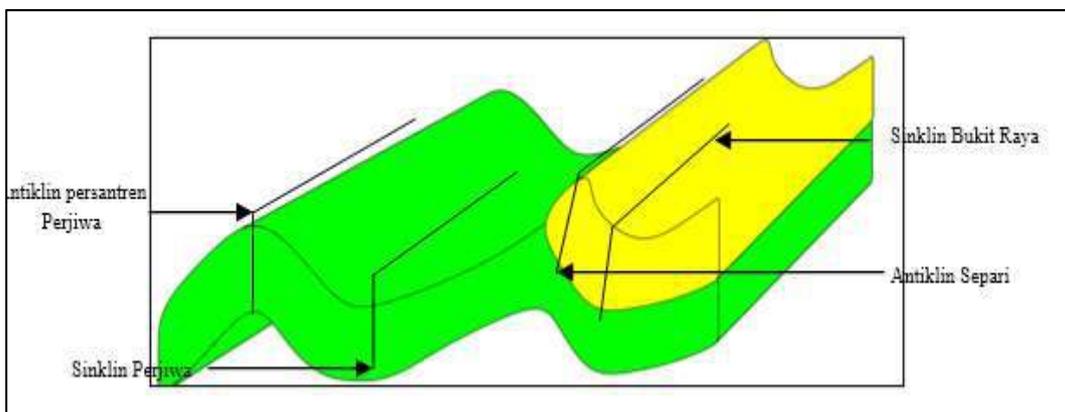


Gambar 3. Peta geologi struktur daerah penelitian.

### Mekanisme Struktur geologi

1. Pembentukan lipatan (Gambar 4); adanya gaya tektonik yang menghasilkan gaya kompresi dengan arah tegasan utama baratlaut – tenggara menyebabkan terbentuknya perlipatan

pada daerah penelitian. Terbentuknya lipatan ini searah dengan arah tegasan utama dengan gaya kompresi. Lipatan ini terbentuk pada saat kala Pliosen.



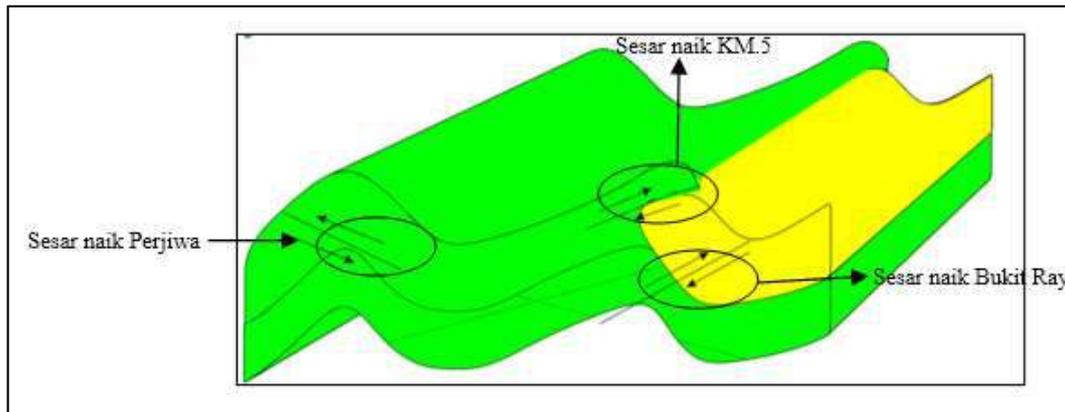
Gambar 4. Mekanisme pembentukan lipatan.

2. Pembentukan sesar naik (Gambar 5), gaya yang terus bekerja menyebabkan

batas elastisitas batuan yang berada pada daerah penelitian hilang dan

mengakibatkan batuan tersebut mengalami fasa deformasi plastis yaitu dengan terbentuknya kekar, gaya kompresi terus berlanjut hingga menghasilkan gaya tarik yang relatif tegak lurus dengan tegasan maksimum. Apabila tekanan pada batuan terus ditingkatkan maka rekahan batuan akan membentuk patahan. Berdasarkan data lapangan yang diperoleh arah gaya sesar

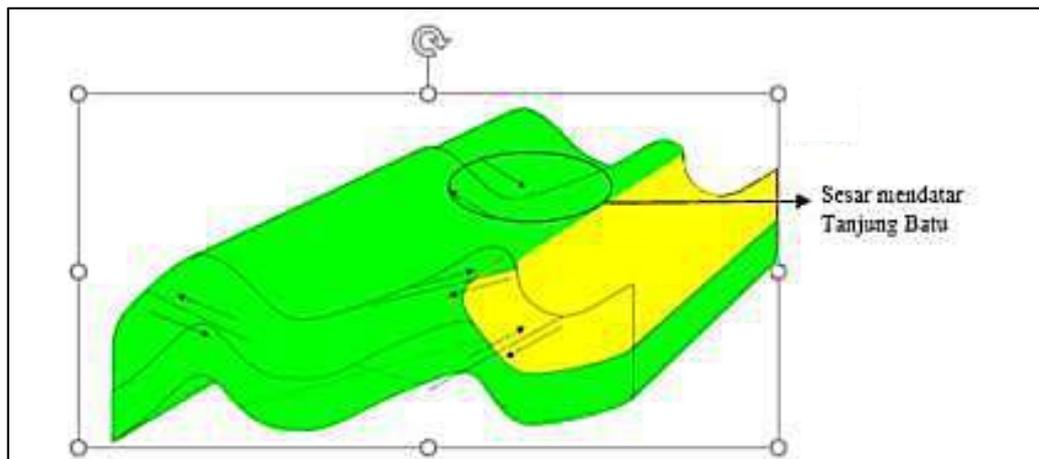
yang diperoleh berasal dari baratdaya – tenggara, sehingga membentuk sesar naik pada daerah penelitian. Sesar naik diperkirakan terbentuk pada umur Plistosen. Sesar naik yang terbentuk pada daerah penelitian adalah sesar naik Bukit Raya lalu terbentuk sesar naik KM 5 dan sesar naik yang terakhir terbentuk adalah sesar naik Perjiwa.



Gambar 5. Mekanisme pembentukan sesar naik.

3. Pembentukan sesar mendatar (Gambar 6), selanjutnya gaya kompresi terus bekerja dan semakin meningkat yang mengakibatkan batuan tersebut akan patah dan bergeser dan membentuk sesar mendatar manganan. Sumbu utama

tegasan relatif berarah tenggara – baratlaut dan bidang sesarnya relatif tenggara – baratlaut. Sesar mendatar ini terbentuk pada saat Pliosen. Setelah terbentuknya sesar naik, gaya kompresi yang bekerja tersebut berhenti.



Gambar 6. Mekanisme pembentukan sesar mendatar.

### Kesimpulan

Hasil penelitian terdapat 3 satuan batuan antara lain satuan batulempung Perjiwa, satuan batupasir Bukit Raya, satuan

endapan alluvial. Satuan bentuk asal dibagi menjadi 2 yaitu bentuk asal struktural dan fluvial. Pada lokasi penelitian terdapat antiklin Perjiwa, sinklin Perjiwa, antiklin Separi, sinklin Separi, sesar naik Perjiwa,

sesar naik Bukit Raya, sesar naik KM 5 dan sesar mendatar Tanjung Batu. Mekanisme struktur geologi yang terbentuk pertama yaitu terbentuknya lipatan lalu terbentuk sesar naik dan terakhir terbentuk sesar mendatar. Pengaruh struktur geologi terletak pada kedudukan batuan yaitu semakin menuju ke arah antiklin kedudukan batuan semakin terjal dan semakin menuju ke arah sinklin lapisan batuan menjadi datar.

Supriatna S., Sukardi R., dan Rustandi E. 1995. *Peta Geologi Lembar Samarinda, Kalimantan*. Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.

### Daftar Pustaka

- Allen, G.P dan Chambers, J.L.C. 1998. *Sedimentation in the Modern Delta and Miocene Mahakam Delta*. Jakarta, Indonesia: Indonesian Petroleum Association.
- Fluety, M.J. 1964. *The Description of Folds*. Proceedings of the Geologists Association. 75(4), pp.461–492.  
[https://doi.org/10.1016/S0016-7878\(64\)80023-7](https://doi.org/10.1016/S0016-7878(64)80023-7)
- Martodjojo, S. dan Djuheni. 1996. *Sandi Stratigrafi Indonesia*. Bandung: Komisi Sandi Stratigrafi Indonesia. IAGI. <https://www.iagi.or.id/wp-content/uploads/2012/04/Sandi-Stratigrafi-Indonesia-1996.pdf>
- McClay, K., Dooley, T., Ferguson, A. dan Poblet, J. 2000. *Tectonic Evolution of the Sanga-Sanga Block, Mahakam Delta, Kalimantan, Indonesia*. AAPG Buletin. 84(6), pp.765-786.  
<http://dx.doi.org/10.1306/A96733EC-1738-11D7-8645000102C1865D>
- Nugraha, A., Pambudi, F., Septia, V.S., Sugiarto, S. dan Hussein, S. 2016. *Karakteristik Deformasi Struktur pada Sistem Kompleks Sesar Mendatar Trembono di Dusun Sumberan, Kecamatan Ngawen Kabupaten Gunung Kidul*. In Seminar Nasional kebumian Ke-9, 6-7 Oktober 2016, Yogyakarta, pp.21-33

# ESTIMASI SUMBERDAYA BATUBARA *SEAM 1* MENGUNAKAN METODE *CIRCULAR 891* USGS DAERAH TANAH MERAH, KOTA SAMARINDA PROVINSI KALIMANTAN TIMUR

Muhammad Dahlan Balfas\*, Retno Anjarwati, Koeshadi Sasmito

Teknik Geologi, Universitas Mulawarman, Jl. Sambaliung No.9 Samarinda 75119, Indonesia

\*Corresponding author. Email: [mdbalfas@yahoo.com](mailto:mdbalfas@yahoo.com)

Manuscript received: 4 March 2021; Received in revised form: 27 April 2021; Accepted: 30 April 2021

## Abstrak

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui tonase batubara berdasarkan tingkat kepercayaan geologi ke dalam kategori sumberdaya teraka, tertunjuk, dan terukur menggunakan metode *Circular 891* USGS. Penelitian ini juga dilakukan melalui pemetaan geologi detail daerah penelitian yaitu di Desa Tanah Merah, Kota Samarinda, kemudian dilakukan korelasi antar singkapan batubara guna mengetahui sebaran batubara tersebut. Setelah mengetahui sebaran batubara dapat dilakukan perhitungan sumberdaya teraka, tertunjuk dan terukur. Data yang diperoleh dari penelitian ini yaitu data singkapan batubara yang ditemukan di daerah penelitian. Data hasil pengamatan lapangan yang telah didapatkan kemudian diolah menggunakan rumus perhitungan volume dan tonase batubara, untuk sumberdaya teraka diperoleh hasil 945.468,74 m<sup>3</sup>, tertunjuk diperoleh hasil 700.020,23 m<sup>3</sup>, sedangkan untuk sumberdaya terukur diperoleh hasil 349.335,77 m<sup>3</sup>, kemudian dikalikan dengan densitas batubara yaitu 1,3 ton/m<sup>3</sup>. Estimasi sumberdaya teraka dengan radius 750 m diperoleh tonase sebesar 1.229.109,36 ton, sumberdaya tertunjuk dengan radius 500 m diperoleh tonase sebesar 910.026,30 ton. Sedangkan sumberdaya terukur dengan radius 250 m diperoleh tonase sebesar 454.136,50 ton.

**Kata Kunci:** batubara; estimasi; metode *Circular 891* USGS; sumberdaya.

## Abstract

The purpose of this study was to determine the tonnage of coal based on the level of geological confidence in the inferred, indicated, and measured resource categories using the *Circular 891* USGS method. This research was also carried out through detailed geological mapping of the research area, it is in Tanah Merah, City of Samarinda, then the correlation between coal outcrops was carried out to determine the distribution of the coal. After knowing the distribution of coal, it is possible to calculate inferred, indicated and measured resources. The data obtained from this study are coal outcrop data found in the study area. The data from field observations that have been obtained are then processed using the formula for calculating the volume and tonnage of coal, for inferred resources the results are 945,468.74 m<sup>3</sup>, indicated that the results are 700,020.23 m<sup>3</sup>, while for the measured resource the result is 349,335.77 m<sup>3</sup>, then multiplied by the density of coal that is 1.3 ton / m<sup>3</sup>. The estimated inferred resource with a radius of 750 m obtained a tonnage of 1,229,109.36 tons, an indicated resource with a radius of 500 m obtained a tonnage of 910,026.30 tons. While the measured resource with a radius of 250 m obtained tonnage of 454,136.50 tons.

**Keywords:** estimation; resources, coal; circular 891 USGS method

## Pendahuluan

Indonesia merupakan salah satu dari sepuluh negara penghasil batubara terbesar di seluruh dunia, memiliki cadangan sumberdaya batubara yang sangat melimpah, beberapa di antaranya yang terbesar terdapat di Pulau Sumatera dan Pulau Kalimantan (Balfas, 2015). Di Pulau Kalimantan hampir di setiap provinsi memiliki sumberdaya batubara. Salah satu di antara adalah Provinsi Kalimantan Timur.

Batubara merupakan suatu campuran padat yang heterogen dan terdapat di alam dalam tingkatan yang berbeda mulai dari lignit, subbitumit dan antrasit (Sukandarrumidi, 1995). Sumberdaya batubara (*Coal Resources*) adalah bagian dari endapan batubara yang diharapkan dapat dimanfaatkan. Sesuai Undang-Undang Dasar 1945 Pasal 33 ayat (3) menegaskan bahwa bumi, air, dan kekayaan alam yang terkandung di dalamnya dikuasai oleh negara dan dipergunakan untuk sebesar-besar kemakmuran rakyat. Mengingat mineral dan batubara sebagai kekayaan alam yang terkandung di dalam bumi merupakan sumberdaya alam yang tak terbarukan, pengelolaannya perlu dilakukan seoptimal mungkin, efisien, transparan, berkelanjutan dan berwawasan lingkungan, serta berkeadilan agar memperoleh manfaat sebesar-besar bagi kemakmuran rakyat secara berkelanjutan (Balfas, 2015).

Perhitungan sumberdaya yang akurat membantu para perancang tambang dapat membuat rencana penambangan yang optimal, baik dari segi produksi, segi waktu dan segi efisiensi biaya, bermuara pada pengambilan keputusan dalam teknis eksploitasi cadangan yang bernilai ekonomis (Jeremic, 1985). Prinsip perhitungan sumberdaya adalah berdasarkan pendekatan dari kondisi yang sebenarnya yang dihasilkan dari kegiatan eksplorasi (Horne et al., 1978).

Oleh karena itu, berdasarkan penjelasan di atas maka perlu dan penting estimasi sumberdaya batubara untuk dilakukan agar setiap kegiatan eksplorasi mulai dari awal hingga ke tahapan selanjutnya berjalan sesuai dengan standar yang ditetapkan pemerintah yang bersifat transparan karena batubara merupakan kekayaan negara yang dipergunakan untuk kemakmuran rakyat.

Studi ini dititikberatkan pada singkapan yang berada pada daerah penelitian yang memiliki kemenerusan yang sama dan diasumsikan satu *seam* yang sama berdasarkan kedudukan, *roof* dan *floor*, dan kenampakan secara fisik. Penelitian ini dilakukan di Daerah Tanah Merah, Kecamatan Samarinda Utara, Kota Samarinda, Provinsi Kalimantan Timur. Penelitian ini dilakukan karena sumberdaya yang dianggap prospek pada daerah penelitian.

## Metode Penelitian

Penelitian berlokasi di daerah Tanah Merah, Kota Samarinda. Pada proses melakukan estimasi sumberdaya batubara metode yang digunakan adalah dengan membuat *circular* dari titik informasi berupa data singkapan dengan jarak antar titik informasi mengikuti kompleksitas geologi berdasarkan acuan SNI 5015:2011 (BSN, 2011). Metodologi dalam penelitian yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

1. Tahap Pralapangan; tahap pralapangan ini terdiri dari studi literatur, perumusan masalah, dan pengamatan lapangan.
2. Tahap Lapangan; pada tahap ini dilakukan pengumpulan data yang nantinya akan digunakan untuk mengetahui kondisi geologi dan melakukan estimasi sumberdaya batubara serta pola sebarannya dengan data yang digunakan berupa data primer dan data sekunder.
3. Tahap Pasca lapangan; pada tahap pasca lapangan ini dilakukan pengolahan data yang telah didapatkan melalui tahap

sebelumnya yaitu: pemetaan geologi, permodelan endapan batubara, korelasi, membuat pola sebaran batubara, dan estimasi sumberdaya batubara, hingga sampai ke hasil penelitian dan kesimpulan. Rumus untuk menghitung sumberdaya batubara menggunakan rumus *Circular* 891 USGS adalah sebagai berikut (GSC, 1983):

$$T = (L/\cos \alpha) \times t \times D \quad (1)$$

Keterangan:

- T = tonase Batubara (ton)  
 t = tebal batubara (m)  
 D = berat batubara per volume  
 L = luas area batubara (m<sup>2</sup>)  
 A = dip lapisan batubara (°)

## Hasil dan Pembahasan

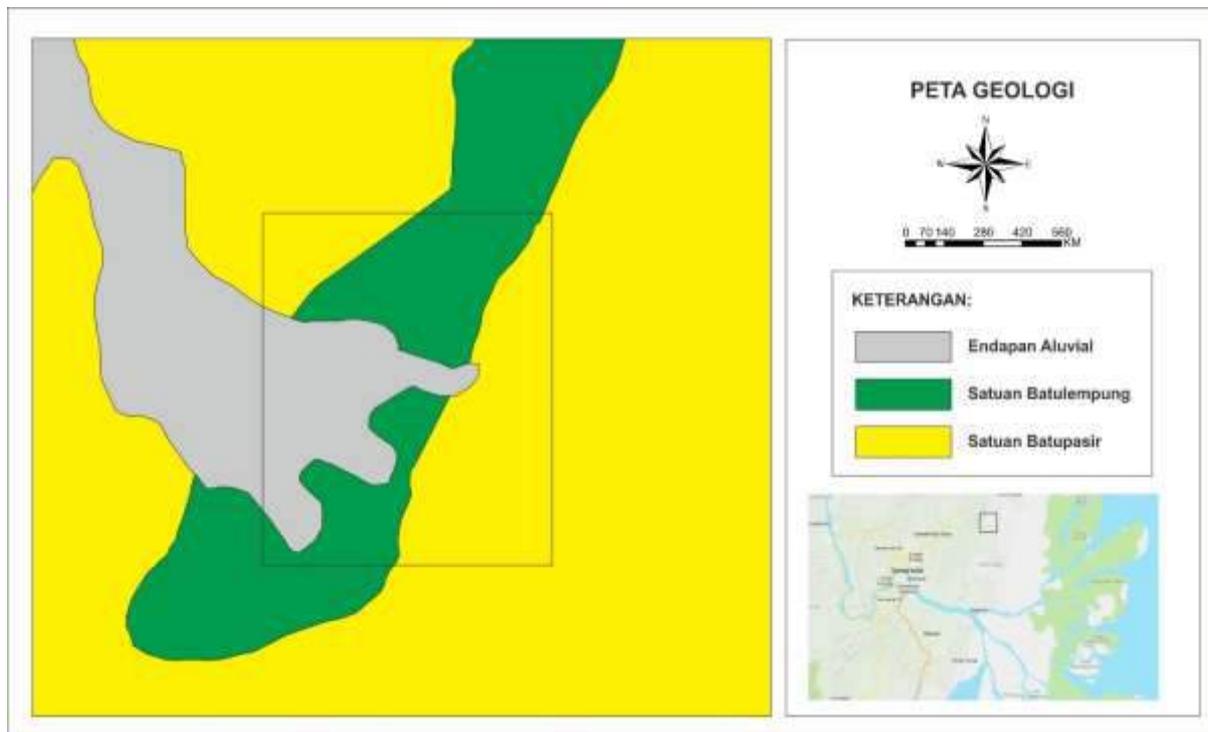
### *Geologi Daerah Penelitian*

Penentuan satuan batuan pada daerah penelitian didasarkan pada kesatuan ciri litologi dominan yang ada di daerah

penelitian. Istilah satuan batuan digunakan berdasarkan ciri litologi serta posisi stratigrafi antar satuan batuan tersebut. Berdasarkan dari hasil pengamatan di lapangan terhadap litologi yang ada, satuan batuan pada daerah penelitian dibagi menjadi 3 (tiga) satuan batuan. Penamaan satuan batuan mengikuti tata nama litostratigrafi tidak resmi menurut Sandi Stratigrafi Indonesia dengan urutan muda sampai tua, sebagai berikut (Zaenal, 2019):

1. Endapan Aluvial
2. Satuan Batulempung Tanah Merah
3. Satuan Batupasir Tanah Merah

Secara umum pada daerah penelitian (Gambar 1) terdiri atas satuan batupasir tanah merah memiliki luasan 69% dan merupakan satuan yang paling tua, lalu di atasnya terendapkan secara selaras satuan batulempung tanah merah yang memiliki luasan 16%, dan yang terakhir endapan alluvium.



**Gambar 1.** Peta geologi daerah penelitian.

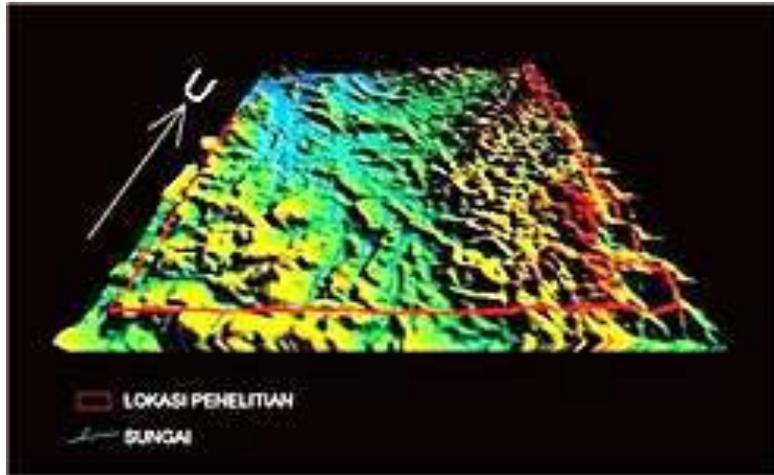
### *Topografi*

Perbedaan relief pada bentang alam di daerah penelitian (Gambar 2) disebabkan

oleh adanya perbedaan tingkat ketahanan batuan (resistensi) terhadap proses erosi yang terjadi di permukaan. Morfologi tanggian yang memiliki relief sedang

hingga kasar dengan pola kontur yang sedang hingga rapat mencerminkan ekspresi dari litologi yang cukup resisten yaitu litologi yang berupa batupasir, sedangkan untuk morfologi dataran dan

lembah yang memiliki relief halus hingga sedang dengan pola kontur yang jarang mencerminkan ekspresi dari litologi yang relatif kurang resisten, yaitu litologi yang berupa batulempung.



**Gambar 2.** Digital Elevation Model daerah penelitian

### Singkapan Batubara Daerah Penelitian

Pada daerah penelitian, berdasarkan dari hasil pengamatan lapangan terdapat 3 titik singkapan batubara yang difokuskan yaitu pada Lokasi pengamatan 39, Lokasi pengamatan 40, dan Lokasi pengamatan 41 yang diasumsikan merupakan satu lapisan (*seam*) batubara yang sama berdasarkan kondisi *roof* dan *floor*, kedudukan lapisan batubara, dan kenampakan sifat fisik beserta nilai kalori batubara/ kualitas (Wood et al., 1983).

1. Lokasi Pengamatan 39, lokasi berada pada daerah Tanah Merah (dekat kuburan), Kondisi singkapan bekas kerukan alat berat dan sedikit lapuk. Kedudukan lapisan  $N204^{\circ}E/72^{\circ}$ . Pengukuran kedudukan dilakukan pada top batubara. Tebal 6,10 m, warna: hitam, gores: coklat kehitaman, *blocky*, rekahan (*cleat*) terbentuk tegak lurus terhadap bidang perlapisan, kusam (*dull*), pengotor: resin, komposisi: karbon, *roof/ top*: batulempung, *floor/ bottom*: karbonan, singkapan berada pada dinding lereng, bentuk lapisan batubara melebar.
2. Lokasi Pengamatan 40, lokasi berada pada daerah Tanah Merah (dekat

kuburan), Kondisi singkapan bekas kerukan alat berat dan sedikit lapuk, kedudukan lapisan  $N205^{\circ}E/70^{\circ}$ , pengukuran kedudukan dilakukan pada top batubara, tebal: 5,87 m, warna: hitam, gores: coklat kehitaman, *blocky*, rekahan (*cleat*) terbentuk tegak lurus terhadap bidang perlapisan, kusam (*dull*), *roof/ top*: batulempung, *floor/ bottom*: batulempung, singkapan berada pada dinding lereng yang pada bagian top batubara mengalami longsor.

3. Lokasi Pengamatan 41, lokasi berada pada daerah Tanah Merah, kondisi singkapan bekas penambangan dan sedikit lapuk, kedudukan lapisan  $N207^{\circ}E/74^{\circ}$ , pengukuran kedudukan dilakukan pada top batubara, tebal: 3,20 m, warna: hitam, gores: coklat kehitaman, *blocky*, rekahan (*cleat*) terbentuk tegak lurus terhadap bidang perlapisan, kusam (*dull*), *roof/ top*: batulempung, *floor/ bottom*: karbonan, singkapan ini berada pada lereng bekas penambangan.

### Karakteristik Lapisan Batubara Daerah Penelitian

1. Ketebalan; ketebalan lapisan batubara merupakan unsur penting yang langsung berhubungan dengan perhitungan atau estimasi sumberdaya. Lapisan batubara di daerah penelitian mempunyai ketebalan yang bervariasi yakni berkisar antara 0,30 meter hingga 6,76 meter.
2. Kemiringan Lapisan Batubara; hasil pengamatan singkapan di lapangan (data singkapan) lapisan batubara memiliki kemiringan yang bervariasi yakni antara  $27^{\circ}$  –  $80^{\circ}$  dan termasuk
3. Pola Sebaran Batubara Daerah Penelitian; hal ini terlihat dari kemiringan lapisan dan variasi ketebalan yang relatif beragam. Rekonstruksi data lapangan diketahui bahwa lapisan batubara mengikuti pola struktur yang ada berupa struktur lipatan, pola jurus relatif berarah timurlaut – baratdaya dengan kisaran kemiringan lapisan 70 (Gambar 3), dan memiliki arah kemiringan yang sama.



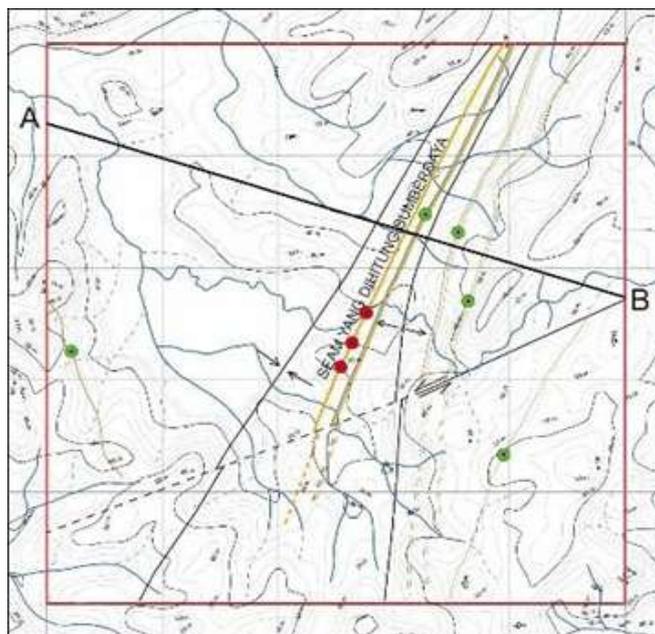
**Gambar 3.** Kenampakan batubara daerah penelitian (Lokasi Pengamatan 41)

4. Kemenerusan Lapisan Batubara; kemenerusan lapisan batubara di daerah penelitian masih dapat diikuti hingga beberapa ratus meter. Kejadian yang mempengaruhi kemenerusan lapisan batubara yang ada di lokasi penelitian ini juga dipengaruhi oleh proses-proses geologi, Faktor – faktor pengendali kemenerusan lapisan batubara adalah sedimentasi dan tektonik, pembahasan mengenai faktor pengendali kemenerusan lapisan batubara adalah sebagai berikut:
  - Sedimentasi; kemenerusan lapisan batubara relatif normal dengan pola sebaran mengikuti pola kemenerusan batuan di sekitarnya yaitu ke arah timurlaut – baratdaya. Proses pengendapan lapisan batubara yang cenderung
  - menipis ke arah timurlaut daerah penelitian.
  - Tektonik; proses struktur geologi juga berkembang yang dibuktikan dengan terdapatnya lipatan dan patahan berdasarkan rekonstruksi struktur geologi yang telah dilakukan, sehingga mempengaruhi pola kemenerusan lapisan batubara yang membelok dan bergeser pada bagian selatan daerah penelitian, dapat dilihat dari pola sebaran batubara yang relatif ke arah timurlaut-baratdaya.
5. Bentuk; berdasarkan pengamatan lapangan, singkapan batubara di daerah penelitian diinterpretasikan bahwa lapisan batubara memiliki bentuk melebar dan meluas. Hal ini dikarenakan tidak terdapatnya data

- penunjang geologi bawah permukaan untuk mengetahui apakah lapisan batubara memiliki bentuk lain seperti *horseback*, *fault* ataupun *fold*.
6. Rekahan (*Cleat*); rekahan lapisan batubara memiliki kedudukan  $N345^{\circ}E/36^{\circ}$ ,  $N0^{\circ}E/70^{\circ}$ ,  $N10^{\circ}E/62^{\circ}$ ,  $N215^{\circ}E/75^{\circ}$ ,  $N290^{\circ}E/55^{\circ}$ ,  $N340^{\circ}E/75^{\circ}$ ,  $N305^{\circ}E/50^{\circ}$ ,  $N245^{\circ}E/57^{\circ}$  dengan lebar bukaan antara 1 – 6 mm dan rekahan ini terbentuk tegak lurus dengan bidang perlapisan batubara.
  7. Pelapukan; singkapan batubara di daerah penelitian termasuk ke dalam tingkat pelapukan lemah dikarenakan banyak lapisan batubara yang baru terbuka oleh aktivitas penambangan atau pun pembukaan lahan. Sehingga secara umum lapisan batubara dalam kondisi segar.
  8. Kondisi *Roof* dan *Floor*; kontak batubara antara *roof* dan *floor* di

daerah penelitian menunjukkan kontak yang berangsur yang mengindikasikan bahwa proses pengendapan berlangsung secara perlahan, tetapi di beberapa tempat menunjukkan proses yang berlangsung secara tiba-tiba pada bagian *roof* yang terendapkan litologi batupasir.

9. Keteraturan Lapisan Batubara; keteraturan lapisan batubara ditentukan oleh pola kedudukan lapisan batubara (jurus dan kemiringan) di daerah penelitian dengan kedudukan yakni  $N204^{\circ}E/72^{\circ}$ ,  $N205^{\circ}E/70^{\circ}$   $N207^{\circ}E/74^{\circ}$ . Pola lapisan batubara di permukaan menunjukkan pola yang teratur dengan garis menerus yang lurus dan meliuk/ melengkung pada elevasi yang sama.



Gambar 4. Sebaran lapisan batubara *seam 1* daerah penelitian.

10. Korelasi; metode korelasi yang dilakukan yaitu lithokorelasi yang menghubungkan unit yang sama litologi dan posisi stratigrafinya. Berdasarkan kolom stratigrafi daerah penelitian, korelasi dilakukan pada *seam 1* yang diwakili oleh 3

singkapan yaitu LP 39, LP 40, dan LP 41 (Gambar 4). *Roof* dan *floor* batubara pada tiap singkapan yang dikorelasikan memiliki karakteristik yang sama, yaitu berupa batulempung dan karbonan. Lapisan batubara juga mengalami perubahan

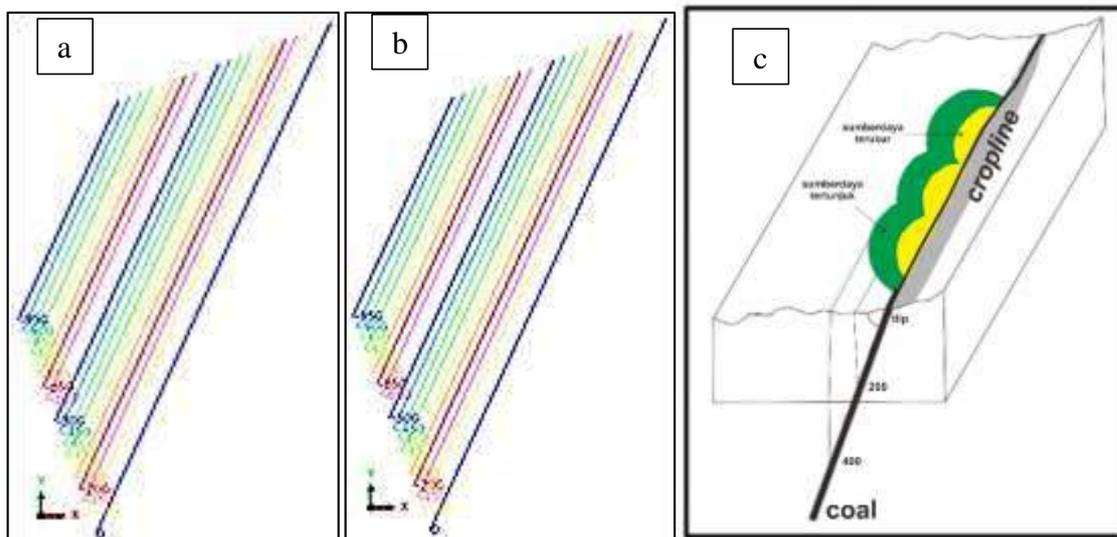
dimensi yaitu menipis ke kanan (timurlaut daerah penelitian) dan menebal pada bagian tengah (atau ke arah relatif baratdaya daerah penelitian) dari lapisan batubara. Total panjang singkapan yang dikorelasikan yaitu 423 m dengan skala horizontal 1:1500 dan skala vertikal 1:100.

#### Permodelan Endapan Batubara

Permodelan batubara dilakukan untuk mengetahui gambaran secara 2D atau 3D dari lapisan batubara yang telah diketahui keberadaannya. Permodelan endapan batubara dilakukan berdasarkan data

singkapan yang didapatkan di lapangan kemudian dilakukan permodelan dengan bantuan *software* geologi.

Selanjutnya kontur struktur ini dibuat berdasarkan data singkapan yang diolah dengan menggunakan bantuan *software* geologi kemudian diekstrapolasi dengan jarak 400 meter. Blok model kemudian dibuat yang merupakan gambaran proyeksi dari setiap sumberdaya dengan kemiringan lapisan batubara yang ditentukan berdasarkan karakteristik/ kompleksitas geologi di daerah penelitian yakni moderat, yang menjadi radius koreksi dalam perhitungan sumberdaya. Hasilnya dapat dilihat pada Gambar 5.



**Gambar 5.** (a) Kontur struktur *Roof*. (b) Kontur struktur *Floor*. (c) Blok model lapisan batubara.

#### Estimasi Sumberdaya Batubara Daerah Penelitian

Estimasi sumberdaya batubara di daerah penelitian menggunakan metode estimasi *Circular USGS* yang dipengaruhi oleh kemiringan perlapisan batubara yaitu  $70^\circ$ . Hasil perhitungan sumberdaya batubara diperoleh sebagai berikut (Gambar 6):

##### 1. Sumberdaya Tereka

Luas area (L) batubara diperoleh dari hasil perhitungan menggunakan *ArcGis* 10.2 dengan membuat radius daerah pengaruh 750 m dari titik informasi, maka diperoleh luas area (L') sebesar  $547.399,14 \text{ m}^2$ . Luas area terkoreksi (L)

batubara diperoleh dari hasil perkalian L' dengan nilai cosinus kemiringan perlapisan batubara yaitu  $70^\circ$ . Maka diperoleh hasil  $187.221,53 \text{ m}^2$ .

Volume batubara pada daerah penelitian dihitung dengan menggunakan variabel luas area terkoreksi dikalikan dengan tebal rata-rata tiap singkapan batubara (tebal rata-rata = 5,05 m), maka diperoleh total volume batubara tereka yaitu  $945.468,74 \text{ m}^3$ .

Tonase sumberdaya tereka batubara diperoleh dari hasil perhitungan volume batubara dikalikan dengan densitas batubara ( $1,3 \text{ ton/m}^3$ ), maka diperoleh

tonase sumberdaya tereka batubara yaitu 1.229.109,36 ton.

## 2. Sumberdaya Tertunjuk

Luas area (L) batubara diperoleh dari hasil perhitungan menggunakan *software* geologi dengan membuat radius daerah pengaruh 500 m dari titik informasi, maka diperoleh luas area (L') sebesar 405.291,53 m<sup>2</sup>. Luas area terkoreksi (L) batubara diperoleh dari hasil perkalian L' dengan nilai cosinus kemiringan perlapisan batubara yaitu 70°. Maka diperoleh hasil 138.617,87 m<sup>2</sup>.

Volume batubara pada daerah penelitian dihitung dengan menggunakan variabel luas area terkoreksi dikalikan dengan tebal rata-rata tiap singkapan batubara (tebal rata-rata = 5,05 m), maka diperoleh total volume batubara tertunjuk yaitu 700.020,23 m<sup>3</sup>. Tonase sumberdaya tereka batubara diperoleh dari hasil perhitungan volume batubara dikalikan dengan densitas batubara (1,3 ton/m<sup>3</sup>), maka diperoleh Tonase sumberdaya tereka batubara yaitu 910.026,30 ton.

## 3. Sumberdaya Terukur

Luas area (L') batubara diperoleh dari hasil perhitungan menggunakan *software* geologi dengan membuat radius daerah pengaruh 250 m dari titik informasi, maka diperoleh luas area (L') sebesar 202.225,34 m<sup>2</sup>. Luas area terkoreksi (L) batubara diperoleh dari hasil perkalian L' dengan nilai cosinus kemiringan perlapisan batubara yaitu 70°. Maka diperoleh hasil 69.175,40 m<sup>2</sup>. Volume batubara pada daerah penelitian dihitung dengan menggunakan variabel luas area terkoreksi dikalikan dengan tebal rata-rata tiap singkapan batubara (tebal rata-rata = 5,05 m), maka diperoleh total volume batubara terukur yaitu 349.335,77 m<sup>3</sup>. Tonase sumberdaya tereka batubara diperoleh dari hasil perhitungan volume batubara dikalikan dengan densitas batubara (1,3 ton/m<sup>3</sup>), maka diperoleh tonase

sumberdaya tereka batubara yaitu 454.136,50 ton.

Terjadi perbedaan hasil perhitungan sumberdaya batubara, mulai dari sumberdaya tereka, tertunjuk, dan terukur disebabkan jarak perhitungan sumberdaya batubara. Jarak ini dianggap sebagai kemenerusan lapisan batubara di bawah permukaan. Semakin jauh jaraknya, semakin besar sumberdaya yang dihasilkan, namun bisa kurang akurat karena kompleksitas kondisi geologi bawah permukaan yang tidak terekam oleh data lapangan. Oleh karena itu, jarak yang semakin kecil memberikan hasil lebih akurat disebabkan jarak yang diambil masih dalam batas kemenerusan batubara tanpa atau dengan sedikit kompleksitas geologi bawah permukaan.

## Kesimpulan

Pola sebaran lapisan batubara di daerah Tanah Merah dikontrol oleh struktur lipatan dan sesar yang intensif. Lipatan yang terdapat di daerah penelitian berupa sinklin dan antiklin. Persebaran batubara memiliki pola yang teratur dengan orientasi relatif berarah timurlaut – baratdaya dengan mengikuti litologi batuan di sekitarnya.

Kontur struktur batubara dibuat berdasarkan data singkapan yang menunjukkan hasil berupa garis – garis yang memiliki pola kemenerusan yang sama dan menggambarkan kedalaman lapisan batubara dari permukaan.

Besar sumberdaya tereka yaitu sebesar 1.229.109,36 ton, besar sumberdaya tertunjuk yaitu sebesar 910.026,30 ton, besar sumberdaya terukur yaitu sebesar 454.136,50 ton.

## Daftar Pustaka

BSN (Badan Standarisasi Nasional). 2011. *Klasifikasi Sumberdaya dan*

- Cadangan Batubara. Rancangan Standarisasi Nasional Indonesia.*
- Balfas, M.D. 2015. *Geologi untuk Pertambangan Umum*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- GSC (Geology Survey Circular 891). 1983. *Coal Resource Classification System of U.S. Geological Survey*. USGS. <https://pubs.usgs.gov/circ/1983/0891/report.pdf>
- Horne, J.C., Ferm, J.C., Caruccio, F.T. and Baganz, B.P. 1978. *Depositional Models in Coal Exploration and Mine Planning in Appalachian Region*. AAPG Bulletin. 62(12), pp.2379 –2411. <https://doi.org/10.1306/C1EA5512-16C9-11D7-8645000102C1865D>.
- Jeremic, M.L. 1985. *Strata Mechanics in Coal Mining*. London: CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781003079170>
- Sukandarrumidi. 1995. *Batubara dan Gambut*. Yogyakarta: Gajah Mada University Press.
- Wood, G.H., Kehn, T.M., Carter, M.D. and Culbertson, W.C. 1983. *Coal Resource Classification System of the U.S. Geological Survey*. USGS. <https://pubs.usgs.gov/circ/c891/>
- Zaenal, M.M. 2019. *Geologi Daerah Tanah Merah dan Sekitarnya Kecamatan Samarinda Utara, Samarinda, Kalimantan Timur*. (unpublished)

# KARAKTERISTIK TANAH TEMPAT PENGOLAHAN SAMPAH AKHIR DI KECAMATAN KOTA BANGUN KUTAI KARTANEGARA

Bambang Harimei<sup>1\*</sup>, Muhammad Altin Massinai<sup>1</sup>, Samsu Arif<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Laboratorium Geofisika Padat Departemen Geofisika Fakultas MIPA Universitas Hasanuddin, Makassar  
90245, Indonesia

<sup>2</sup>Laboratorium Geoinformatika Departemen Geofisika Fakultas MIPA Universitas Hasanuddin, Makassar  
90245, Indonesia

\*Corresponding author. Email: bambang.harimei@gmail.com

Manuscript received: 16 March 2021; Received in revised form: 27 April 2021; Accepted: 30 April 2021

## Abstrak

Penelitian ini mengenai karakteristik tanah pada areal perencanaan pengolahan sampah. Metode yang digunakan adalah SPT, CPT dan uji laboratorium. Hasilnya adalah sebagai berikut: ke-empat titik CPT mempunyai nilai *Cone Resistance Conus* dari kedalaman 1 meter antara 19,78 -23,73 kg/cm<sup>2</sup> dan pada kedalaman 4 meter bernilai 201,75 – 205,68 kg/cm<sup>2</sup>. Sedangkan nilai SPT pada kedalaman 1 meter antara 2 – 18 *Blows/feet* dan pada kedalaman 4 meter nilai N antara 29 – 45 *Blows/feet*. Uji laboratorium menunjukkan sifat tanah lunak tanah tersebut berwarna, dan batas *Atterberg* (LL dan PL) makin membesar.

**Kata Kunci:** batas *Atterberg*; tahanan; tahanan *conus*.

## Abstract

Research on soil characteristics in the planning area for waste processing. The methods used are SPT, CPT and laboratory tests. The results are as follows: The four points of CPT have a cone resistance conus value from a depth of 1 meter between 19.78 -23.73 kg/cm<sup>2</sup> and at a depth of 4 meters between the value of Cone Resistance Conus has a value of 201.75 - 205.68 kg/cm<sup>2</sup>. While the SPT value at a depth of 1 meter between 2 – 18 *Blows/feet* and at a depth of 4 meters N value between 29 – 45 *Blows/feet*. Laboratory tests showed the soft soil properties of the soil were colored, and the *Atterberg* limit (LL and PL) was increasing.

**Keywords:** *Atterberg* Limit; Conus Cone Resistance; resistance.

## Pendahuluan

Tumpukan sampah di jalan poros Kecamatan Kota Bangun dan Ibukota Kabupaten Kutai terlihat berserakan. Pemerintah Kabupaten Kutai memutuskan untuk membangun tempat sampah di Desa Lelong untuk menangani hal itu. Langkah yang telah diambil meneliti karakteristik

tanah berlapis, agar pondasi yang digunakan tidak mudah roboh.

Tujuan dari penelitian adalah mengetahui karakteristik tanah melalui parameter *resistance cone* dalam satuan *Blows/feet*. Metode yang digunakan *Cone Penetration Test* (CPT), parameter N dalam satuan jumlah pukulan palu, digunakan metode

*Standart Penetration Test* (SPT), dan parameter Attenberg, butiran dan tekanan *triaxial* metode pengujian laboratorium.

Sampel diberikan kode untuk memudahkan dalam melakukan analisis. Pada uji SPT sampel mempunyai kode BH01, BH02, BH03 dan BH04, sedangkan untuk uji CPT sampel diberikan kode S01, S02, S03 dan S04, pada pengujian laboratorium sampel tidak diberikan kode. Metode pengujian ini telah digunakan (Harimei, 2018).

### Metode Penelitian

Langkah – langkah yang diambil dalam penelitian adalah menentukan titik koordinat tempat pembuangan sampah, metode yang digunakan dalam menentukan titik koordinat titik koordinat digunakan drone, Bentuk fisik dari lamplan tanah rencana tempat pembuangan tanah luas 16 Ha dan topografi tanah berbukit dengan kemiringan 13 sampai 15%. Titik koordinat pengambilan Tabel 1. Peta koordinat sampel dan Peta Geologi dapat dilihat dalam Lampiran 3.

**Tabel 1.** Titik koordinat lokasi penelitian

No	Uji		Titik Koordinat	
	CPT	SPT	Northing	Eastthing
1	S01	BH01	0465662	9966504
2	S02	BH02	0465588	9966514
3	S03	BH03	0465711	996602
4	S04	BH04	4657688	9966648.

Setelah menentukan titik koordinat langkah selanjutnya melakukan uji sondir atau uji CPT. Uji sondir atau *Cone Penetration test* (CPT). Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui perlawanan penetrasi tekanan konus (tekanan berasal dari ujung tongkat yang ditanjapkan dalam tanah) dan daya geser tanah. Bukan hanya itu, letak lapisan tanah yang keras sekaligus daya dukung serta daya lekat tiap kedalaman perlu diketahui secara spesifik. Setelah hasil tes didapatkan, uji sondir digunakan untuk memenuhi prosedur keselamatan bangunan saat perencanaan

daya dukung pondasi terhadap beban bangunan.

Uji sondir merupakan alat yang sederhana dan praktis. Kelebihan uji sondir antara lain; cepat, murah, dan menghasilkan data yang akurat dan detail. Sondir sangat cocok untuk tanah di Indonesia karena kondisi tanah di Indonesia sebagian besar berupa lempung lanauan. Kekurangannya antara lain; Sampel tidak dapat langsung diklasifikasikan sehingga diperlukan uji laboratorium. Pengujian tidak dapat mengetahui batas pelapisan batuan. Lapisan tanah berupa pasir maka alat ini kurang representatif dan tidak dapat menembus lensa gravel/pasir yang cukup tebal dan padat, sehingga bila di bawah lensa pasir terdapat tanah lunak maka sulit untuk terdeteksi. (Hernaningsih, 2010).

Uji CPT merupakan pengujian penetrasi statis. Pengujian ini untuk mendapatkan parameter nilai perlawanan konus/ *Conus Resistance*, perlawanan geser/ *Local Resistance*, geseran total/ *total resistance*, sesuai dengan SNI 2827-2008/ASTM D3441. Setelah didapatkan data dari sampel, berikutnya menghitung  $Q_c$  dengan menggunakan Persamaan 1:

$$Q_c = \frac{C_w \times A_{pi}}{A_c} \quad (1)$$

$Q_c$  : Perlawanan konus ( $\text{kg/cm}^2$ )

$C_w$  : Pembacaan manometer untuk nilai perlawanan konus ( $\text{kg/cm}^2$ )

$A_{pi}$  : Luas penampang piston ( $\text{kg/cm}^2$ )

$A_c$  : Luas penampang konus ( $\text{kg/cm}^2$ )

Uji SPT biasanya disebut *borehole* dilaksanakan dengan menggunakan bor mesin yang dimasukkan ke dalam tanah sampai kedalaman tanah yang ditentukan atau sampai jenis kepadatan tanah *very hard* ( $N\text{-SPT} > 50$ ), atau kondisi lapangan tidak bisa lagi dilakukan pengeboran. Pekerjaan boring berfungsi untuk membantu pelaksanaan uji SPT dan pengambilan sampel uji (SNI

4153:2008/ASTM-D-1586-84(2010)). Uji SPT (*Standard Penetration Test*) merupakan pengujian penetrasi dinamis. Pengujian ini untuk mendapatkan parameter bor lapisan tanah (*bore log exploration*) dan jumlah pukulan ( $N-SPT = Blows/feet$ ) untuk memasukkan 1 *feet* (12 inchi atau 30,48 cm) dengan memakai suatu beban penumbuk seberat 140 *pound* (63,5 kg) yang dijatuhkan dengan ketinggian 30 inchi (76,2 cm). Pelaksanaan SPT (*Standard Penetration Test*) dilakukan setiap kedalaman 2 meter, atau sesuai kondisi lapangan (SNI 4153:2008/ASTM-D-1586-84(2010)).

SPT adalah suatu metode uji yang dilaksanakan bersamaan dengan pengeboran untuk mengetahui, baik perlawanan dinamik tanah maupun pengambilan contoh terganggu dengan teknik penumbukan. Uji SPT terdiri atas uji pemukulan tabung belah dinding tebal ke dalam tanah, disertai pengukuran jumlah pukulan untuk memasukkan tabung belah sedalam 300 mm vertikal. Beban jatuh ini digunakan palu dengan berat 63,5 kg, yang dijatuhkan secara berulang dengan tinggi jatuh 0,76 m. Pelaksanaan pengujian dibagi dalam tiga tahap, yaitu berturut-turut setebal 150 mm untuk masing – masing tahap. Tahap pertama dicatat sebagai dudukan, sementara jumlah pukulan untuk memasukkan tahap ke-dua dan ke-tiga dijumlahkan untuk memperoleh nilai pukulan N atau perlawanan SPT Sampel tanah dari pemboran dianalisis di laboratorium dan hasilnya dibandingkan dengan parameter tanah yang dihasilkan secara empiris dari hasil tes sondir yang dikaitkan parameter lainnya. Sampel tanah di laboratorium dianalisis untuk mengetahui sifat-sifat dari contoh tanah yang diambil melalui sample tak terganggu (*undisturbed*) atau terganggu (*disturbed*). Sifat tanah tersebut meliputi sifat fisis dan sifat mekanis. Metoda yang digunakan dalam pengujian mengikuti standard ASTM D1586 (2010).

Setelah mendapatkan data pengukuran, berikutnya menghitung jumlah pukulan per kedalaman dengan menggunakan persamaan yang dapat dilihat pada Persamaan 2:

$$N = \frac{\sum_{i=1}^m t_i x N_i}{t_i} \quad (2)$$

Dengan:

N : Nilai Pukulan rata-rata (*Blows/feet*)

$t_1$  : Kedalaman (*feet*).

$N_1$  : Pukulan pada kedalaman (*Blows/feet*)

Pelaksanaan Uji Laboratorium memiliki hasil penyelidikan antara lain meliputi: *Index Physical properties*, *Natural Water Content* ( $\omega$ ) (SNI 03-1965-2008), *Unit Weight* ( $\gamma$ ) (SNI 03-3637-1994), *Specific Gravity* (SNI-03-1964-2008), *Atterberg Limits* (SNI.03-1964-2008), *Soil Proportion* (SNI 3423-2008/ASTM 422-72).

## Hasil Dan Pembahasan

Setelah sampel didapatkan selanjutnya melakukan pengolahan data untuk diketahui Nilai N dan jenis tanahnya, Rekapitulasi data boring dapat dilihat dalam koordinat lokasi dalam Tabel 1. Hasil pengukuran di lapangan dapat dilihat dalam Lampiran 2. Kemudian data tersebut diolah dengan menggunakan persamaan 1. Adapun hasilnya dapat dilihat pada Tabel 2.

**Tabel 2.** Nilai N dalam *Blows/feet* uji SPT.

Ked. (m)	BH01	BH02	BH03	BH04
-2	20	18	21	19
-4	45	27	29	35
-6	>50	>50	>50	>50
-8	>50	>50	>50	>50
-10	>50	>50	>50	>50
-12	>50	>50	>50	>50

Tabel 2 memperlihatkan hasil pengujian pada sampel BH01, BH02, BH03 dan BH04. Hasil uji BH01 kedalaman 0,00 – 1,00 meter nilai N sebesar 5 – 10

*Blows/feet*, material yang terkandung lempung kelanauan berwarna kuning kecolakan dengan ketebalan 0,5 meter.

Kedalaman antara 1 – 2 meter terdapat lempung dengan sifat fisik kaku dan berwarna kuning kecoklatan. Nilai N 10 – 20 *Blows/feet*.

Kedalaman 2 – 6 meter terdapat lempung dengan sifat fisik kaku, ketebalan sampel 1 meter warna kecoklatan.

Kedalaman 8 – 12 meter terdapat batuan lempung dengan sifat fisik kaku, warna pekat kecoklatan, nilai N sebesar 50 *Blows/feet*.

Selanjutnya, diperoleh hasil pengujian CPT pada titik sampel S01, S02, S03 dan S04. Hasil pengukuran di lapangan dapat dilihat dalam lampiran 1, kemudian diolah dengan persamaan 2. Adapun hasil dari pengolahan dapat dilihat dalam Tabel 3.

**Tabel 3.** Rekapitulasi hasil Uji Sondir.

Titik	Kedalaman (m)	Cone Resistance (Kg/cm <sup>2</sup> )
S01	1	32,63
	3	79,11
	4,8	201,73
S02	1,00	19,78
	5,00	108,77
	6,40	202,72
S03	1,00	23,73
	3,00	89,00
	4,20	204,69
S04	1,00	23,73
	3,00	79,11
	4,40	205,68

Tabel 3. memperlihatkan hasil pada pengambilan data pada titik Sondir S01, S02, S03 dan S04. Jenis kepadatan tanah Keras/ *hard* didapatkan sampai pada kedalaman 4,80 m (nilai *cone resistance* = 201.73 kg/cm<sup>2</sup>). Setelah dikonfirmasi dengan tabel dalam Terzaghi dan Peck (1948) didapatkan konsistensi tanah hasil

pengujian di lapangan beberapa jenis kepadatan yaitu: jenis kepadatan tanah “*very soft*” dengan nilai konus (0 – 10 kg/cm<sup>2</sup>) berada pada kedalaman 0,00 – 0,30 m. Jenis kepadatan tanah “*soft*” dengan nilai konus (10 – 20 kg/cm<sup>2</sup>) berada pada kedalaman 0,30 – 0,70 m. Jenis kepadatan tanah “*medium*” dengan nilai konus (20 – 40 kg/cm<sup>2</sup>) berada pada kedalaman 0,70 – 1,50 m. Jenis kepadatan tanah “*stiff*” dengan nilai konus (40 – 75 kg/cm<sup>2</sup>) berada pada kedalaman 1,50 – 2,90 m. Jenis kepadatan tanah “*very stiff*” dengan nilai konus (75 – 150 kg/cm<sup>2</sup>) berada pada kedalaman 2,90 – 4,30 m. Jenis kepadatan tanah “*hard*” dengan nilai konus (>150 kg/cm<sup>2</sup>) berada pada kedalaman 4,30 – 4,80 m. Hasil langsung di lapangan dapat dilihat dalam Lampiran 2.

Langkah ke-tiga dalam penelitian tanah yaitu mengambil sampel untuk diuji di laboratorium. Adapun hasil uji laboratorium dapat dilihat pada Tabel 4.

**Tabel 4.** Hasil Uji Laboratorium

Uji	Simbol satuan	Kedalaman (m)	Kedalaman (m)
		0,5 – 1,5	1,5 - 4,5
Index Properties	w %	30.464	40.322
	$\Gamma$ t/m <sup>3</sup>	1,708	1,949
	E	1,217	1,466
	Gs	2,655	2,688
Atterberg	LL %	26,93	47,80
	PL %	19,60	26,42
	PI %	7,33	21,38
Butiran	Kr %	1	1
	Ps %	10	10
	Lanau %	93,67	90,49
Triaxial	Clay %	70,05	76,54
	C kg/cm <sup>2</sup>	0,15	0,17
	Cc	0,76	1,12
Consol	Pc kg/cm <sup>2</sup>	1,65	1,78
	Cv cm <sup>2</sup> /s	0,68 x 10 <sup>-3</sup>	0,96 x 10 <sup>-3</sup>

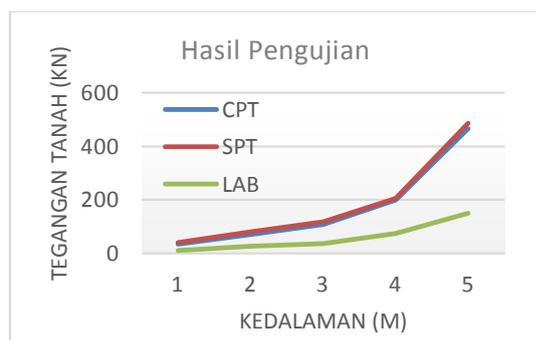
Hasil uji sampel di laboratorium: kadar air berkisar antara 17,65 – 58,73 % dengan rata-rata 41,15 %. Kondisi batas plastis dan

elastis berkisar antara 94,62 – 99,93 % dengan rata-rata 97,28 %.

Jenis tanah lapisan permukaan pada titik bor sampai kedalaman 3,50 m berjenis lanau dengan persentase antara 55 – 60 % dengan rata-rata 57,50 %, lempung 20,50 %. Berikutnya hasil ketiga metode di-plot untuk menentukan kedalaman tanah keras. Nilai JHL pada kedalaman 1 meter rata-rata 35,45 kg/cm. Pada kedalaman 4 meter JHL sebesar 634,42 – 908,23 kg/cm. Sifat tanah kedalaman 4 meter: kadar air asli tanah di lapangan berkisar pada nilai rata-rata 41,15 % dan tanah dalam kondisi pada batas plastis mendekati batas cair (*liquid limit*) dengan nilai rata-rata 97,28 %.

Jenis tanah lapisan permukaan pada titik bor sampai kedalaman 3,50 m merupakan jenis lanau dengan persentase antara rata-rata 57,50 % dan lempung dengan persentase rata-rata 20,50 %.

Hasil dari pengujian CPT, SPT dan laboratorium dapat dilihat dalam Gambar 2. Pada kedalaman tanah mulai 0,5 sampai 2 meter bersifat lunak karena berisi lempung kelanauan, dari kedalaman 2 meter sampai kedalaman 3,5 meter tanah mulai bersifat keras. Tanah makin keras saat kedalaman 4 meter. Pada kedalaman 4 meter lebih tanah makin keras.



Gambar 1. Hasil ketiga metode pengujian.

#### Pembahasan

Adapun hasil nilai SPT, CPT dan laboratorium makin meningkat. Hasil pengujian bor, sondir dan hasil uji laboratorium pada tanah cenderung naik. Ke-empat titik CPT mempunyai nilai *Cone*

*Resistance Conus* dari kedalaman 1 meter rata-rata 20,73 kg/cm<sup>2</sup> dan pada kedalaman 4 meter nilai *Cone Resistance Conus* mempunyai nilai rata-rata 202,14 kg/cm<sup>2</sup>.

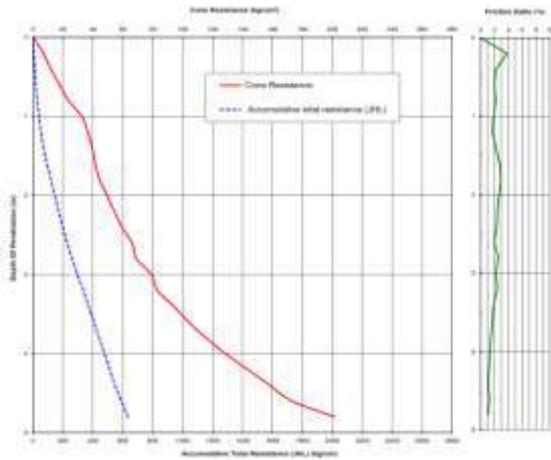
#### Kesimpulan

Ke-empat titik CPT mempunyai nilai *Cone Resistance Conus* dari kedalaman 1 meter antara 19,78 – 23,73 kg/cm<sup>2</sup> dan pada kedalaman 4 meter nilai *Cone Resistance Conus* mempunyai nilai 201,75 – 205,68 kg/cm<sup>2</sup>. Sedangkan nilai SPT pada kedalaman 1 meter antara 2 – 18 *Blows/feet* dan pada kedalaman 4 meter nilai N antara 29 – 45 *Blows/feet*. Uji laboratorium menunjukkan sifat tanah lunak, tanah tersebut berwarna, dan batas Atterberg (LL dan PL) makin membesar.

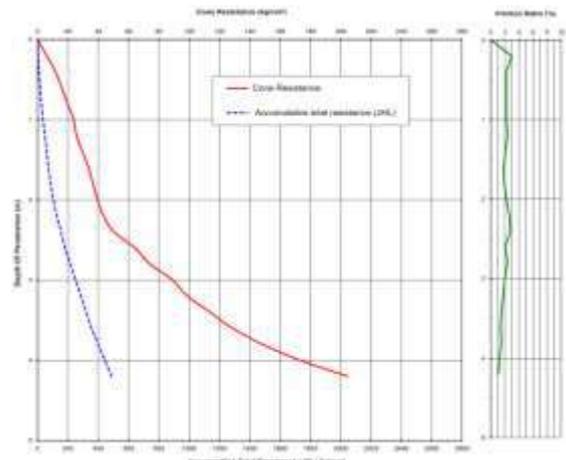
#### Daftar Pustaka

- ASTM D1586 / D1586M – 18. 2010. *Standard Test Method for Standard Penetration Test (SPT) and Split-Barrel Sampling of Soils*. Annual Book of ASTM (America Standard Test Method) Internasional. [Online]. Available from: <https://www.astm.org/Standards/D1586.htm>
- Harime, B. 2018. Analisis Tanah Pada Perencanaan Prasarana Umum. *Jurnal Geocebes*, 2(1), pp.42–46. <https://doi.org/10.20956/geocebes.v2i1.3993>
- Hernaningsih, T. 2010. Penelitian Tanah sebagai Pendukung Pengembangan Instalasi Pengolahan Limbah Cair Domestik di Kantor BPP Teknologi. *Jurnal Air Indonesia*, 6(1), pp. 94–102. <https://doi.org/10.29122/jai.v6i1.2459>
- Terzaghi, K. dan Peck, R.B. 1948. *Soil Mechanics in Engineering Practice*. New York: John Wiley & Sons; London: Chapman & Hall.

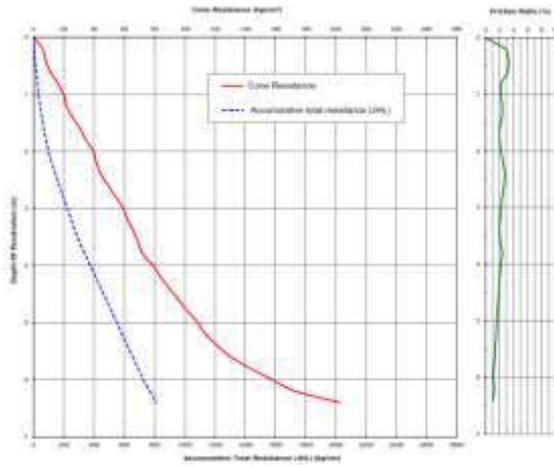
**Lampiran 1:** Data Lapangan *Cone Penetration Test (CPT)*



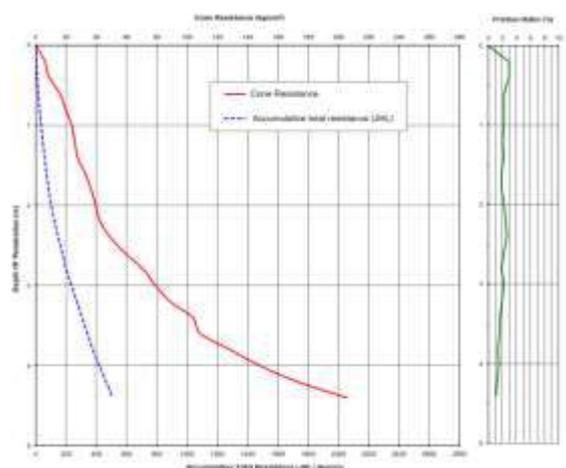
Lampiran 1a. Titik Sondir S01



Lampiran 1c. Titik Sondir S03

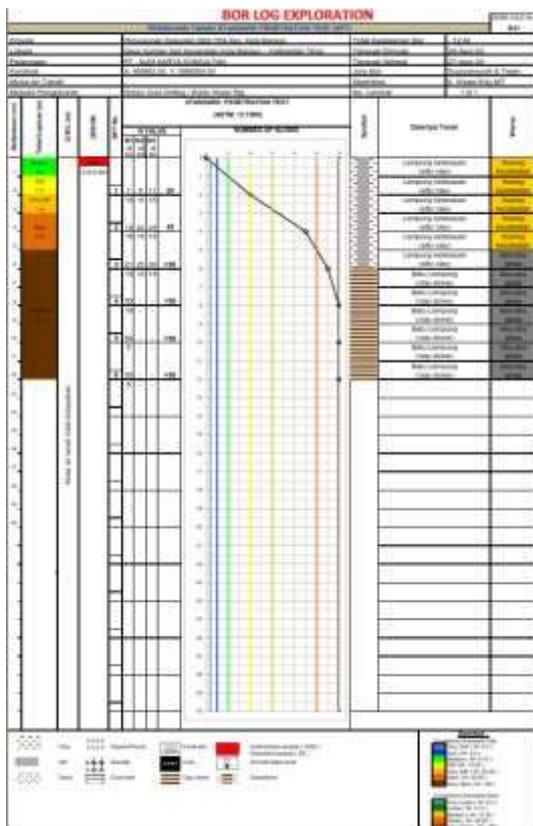


Lampiran 1b. Titik Sondir S02

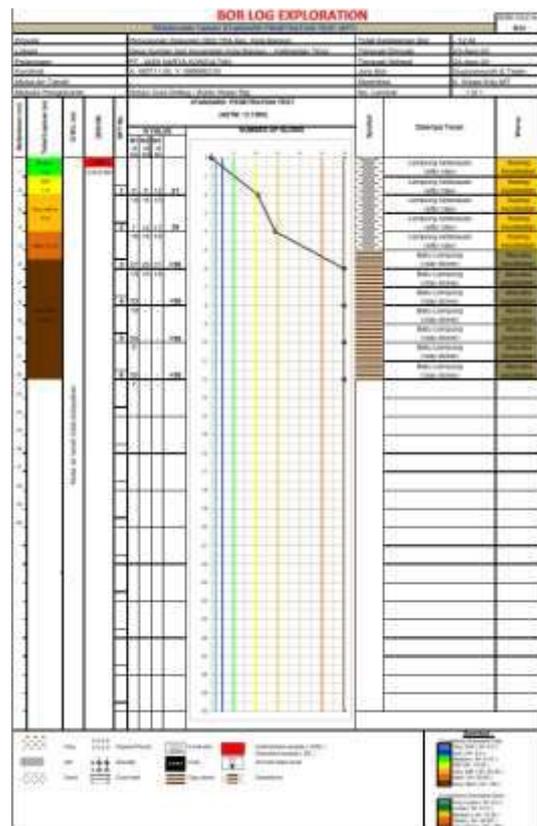


Lampiran 1d. Titik Sondir S04

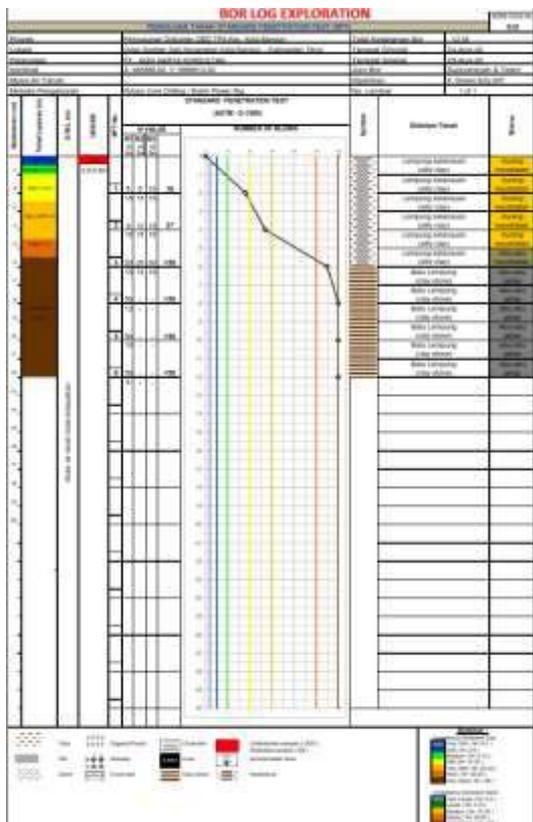
**Lampiran 2: Data Lapangan *Standart Penetration Test* (SPT).**



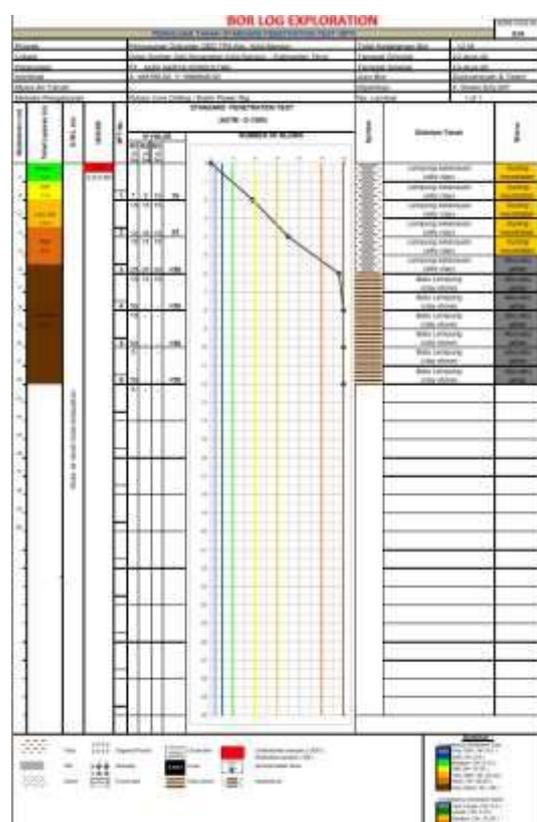
Lampiran 2a. Titik Bor BH01



Lampiran 2c. Titik Bor BH03



Lampiran 2b. Titik Bor BH02



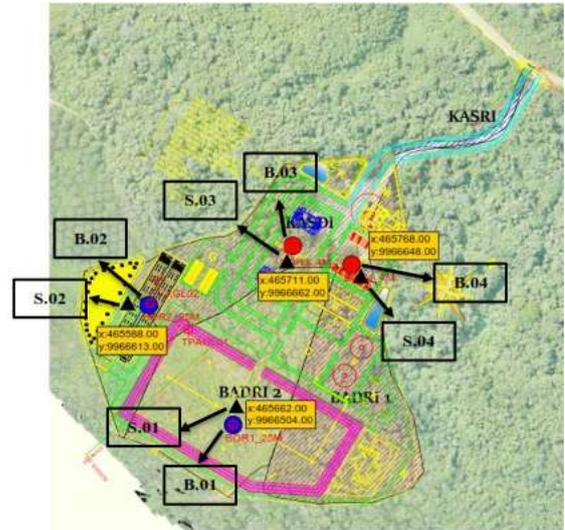
Lampiran 2d. Titik Bor BH04

**Lampiran 3a:** Peta Geologi Lokasi Penelitian



Lampiran 3a. Peta Geologi Lokasi Penelitian

**Lampiran 3b:** Titik Pengambilan Sampel



Lampiran 3b. Titik Koordinat Pengambilan Sampel

## PEMETAAN DAERAH RAWAN LONGSOR MENGUNAKAN METODE PENCITRAAN SATELIT DI KABUPATEN ENREKANG SULAWESI SELATAN

Paisa\*, Muh Said L, Ayusari Wahyuni

Jurusan Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Alauddin Makassar, Indonesia

\*Corresponding author. Email: [paisalakami02@gmail.com](mailto:paisalakami02@gmail.com)

Manuscript received: 12 January 2021; Received in revised form: 17 April 2021; Accepted: 30 April 2021

### Abstrak

Telah dilakukan penelitian yang bertujuan untuk pembuatan peta zona rawan longsor di Kabupaten Enrekang. Daerah yang dianggap rawan terhadap longsor dapat dianalisis dan diinterpretasi dengan menggunakan data raster berupa citra penginderaan jauh satelit dan SIG (Sistem Informasi Geografis). Penelitian ini menggunakan beberapa data seperti curah hujan, geologi, jenis tanah, penggunaan lahan, geomorfologi vegetasi serta kemiringan lereng. Hasil yang diperoleh dari analisis data tersebut berupa peta rawan longsor di Kabupaten Enrekang Sulawesi Selatan yang diklasifikasikan menjadi tiga kelas yaitu kelas tidak rawan, kelas rawan dan kelas sangat rawan. Tingkat tertinggi adalah rawan sebesar 56,19% atau sekitar 101.364,81 Ha yang meliputi Kecamatan Butu Batu, Maiwa, Kulo, Pancariajang, Pituriawa, Bungi, Baraka, Aggaraja, Alla, Masselle, Curio, dan sebagian kecil daerah di Kecamatan Enrekang serta Candana.

**Kata Kunci:** citra; Landsat 8; pemetaan; SIG; tanah longsor.

### Abstract

Research has been carried out aimed at making a landslide-prone zone map in Enrekang district. Areas that are considered prone to landslides can be analyzed and interpreted using raster data in the form of satellite remote sensing images and GIS (Geographic Information System). This research using data such as rainfall, geology, soil type, land use, vegetation, geomorphology and slope. From the data analysis in the form of landslide hazard maps in Enrekang district, South Sulawesi which are classified into three classes, namely the non-prone class, the vulnerable class and the very vulnerable class. The highest level is prone at 56.19% or around 101364.81 Ha which includes sub-districts Butu Batu, Maiwa, Kulo, Pancariajang, Pituriawa, Bungi, Baraka, Aggaraja, Alla, Masselle, Curio, and a few areas in Enrekang and Candana.

**Keywords:** GIS; image; Landsat 8; landslides; mapping.

### Pendahuluan

Tanah longsor adalah salah satu bencana yang sering terjadi di Indonesia khususnya di daerah perbukitan dan pegunungan yang memiliki intensitas curah hujan yang sangat tinggi. Selain itu, kemiringan lereng yang curam dan struktur geologi suatu wilayah

juga merupakan faktor penyebab terjadinya longsor. Tanah longsor terjadi akibat perpindahan material pembentuk lereng berupa batuan, bahan rombakan, tanah, atau material campuran tersebut, bergerak ke bawah atau keluar lereng dan salah satu dari tipe gerakan tanah (*mass movement/*

*mass wasting*) berupa fenomena alam yang mengakibatkan terjadinya gerakan tanah yang mengikuti kemiringan lereng (Wahyuni et al., 2019; Selby, 1985).

Badan Pengendalian Dampak Lingkungan Daerah (Bapedalda) Sulawesi Selatan telah mengkategorikan beberapa wilayah di Sulawesi Selatan sebagai daerah rawan longsor terutama pada musim penghujan. Enrekang merupakan salah satu daerah tersebut.

Data yang diambil dari Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) 2019, memperoleh hasil analisis bahwa jumlah penduduk yang tinggal di daerah bahaya longsor dari sedang sampai tinggi sebesar 40,9 juta jiwa. Data tersebut memberikan informasi bahwa masih banyak masyarakat Indonesia yang tinggal di daerah yang masuk dalam kategori rawan longsor. Hal ini dapat terjadi karena masyarakat masih kekurangan informasi yang jelas tentang daerah rawan terhadap longsor, yang berdampak pada banyaknya masyarakat yang membangun rumah di sekitar titik rawan longsor, jika daerah rawan longsor menjadi daerah yang padat penduduk maka hal tersebut dapat mengakibatkan tingginya resiko kerugian bagi masyarakat sekitar apabila sewaktu-waktu longsor terjadi secara tiba-tiba. Antisipasi yang dapat dilakukan adalah dengan melakukan pemetaan daerah rawan longsor sebagai upaya mitigasi bencana dan sumber informasi bagi masyarakat sekitar tentang daerah yang memiliki resiko longsor yang rendah hingga tinggi untuk mengetahui wilayah yang aman untuk bermukim atau wilayah yang aman membangun tempat tinggal secara permanen.

Salah satunya dengan memanfaatkan perkembangan Sistem Informasi Geografis (SIG) yang mampu menyediakan informasi data berupa data geospasial yang menampilkan obyek di permukaan bumi secara cepat, dan menyediakan sistem analisis keruangan yang akurat. Sehingga

dapat dilakukan upaya mitigasi yang bertujuan mencegah risiko yang berpotensi menjadi bencana atau mengurangi efek dari bencana ketika bencana itu terjadi, salah satunya adalah tanah longsor (Laurenz et al., 2019).

Sistem Informasi Geografis (SIG) merupakan sistem yang dapat menganalisis data berupa spasial yang dapat digunakan dalam berbagai keperluan dalam menampilkan informasi permukaan bumi. Salah satu penggunaan dalam SIG berupa peta rawan longsor (Leng et al., 2017). Salah satu data yang dapat digunakan dalam pembuatan peta adalah data citra/penginderaan jauh. Data ini menggunakan energi gelombang elektromagnetik. Energi gelombang ini selain didapatkan dari sinar matahari, juga didapatkan dari sumber energi lain, baik itu sumber yang sifatnya alamiah yang digunakan dalam penginderaan jauh sistem pasif, juga sumber energi buatan manusia yang digunakan dalam penginderaan jauh sistem aktif (Sutanto, 1987).

Data citra yang digunakan berupa data *raster* sensor optis Landsat 8. Ada pun kelebihan Landsat 8 menggunakan kombinasi RGB (*Red, Green, Blue*) sebagai penunjuk lokasi yang tepat yakni kanal atau band *Near Infra Red* (NIR-Kanal 5) (LAPAN, 2015). Dalam pengolahan data citra landsat 8, beberapa koreksi perlu dilakukan yakni berupa koreksi *geometric*. Koreksi ini menyamakan proyeksi citra pada suatu bidang datar (peta) yang sama dengan sistem proyeksi peta. Selain itu, koreksi *radiometric* juga sering dilakukan agar nilai piksel dengan mempertimbangkan faktor gangguan atmosfer sebagai sumber kesalahan utama dapat diperbaiki (Ati, 2016; LAPAN, 2015).

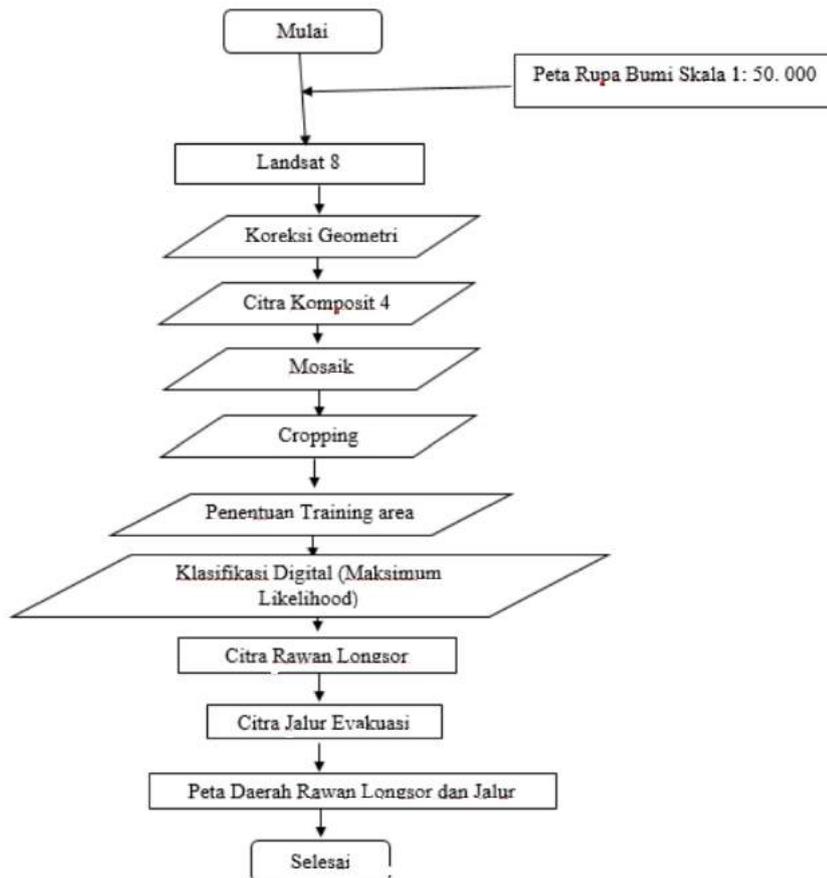
### Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Kabupaten Enrekang, Provinsi Sulawesi Selatan. Secara geografis Kabupaten Enrekang

terletak antara koordinat  $3^{\circ}14'36''$  –  $3^{\circ}50'00''$  Lintang Selatan, dan antara  $119^{\circ}40'53''$  –  $120^{\circ}06'33''$  Bujur Timur dengan luas wilayah 1.786,01 Km<sup>2</sup>. Kabupaten Enrekang dengan ibukota Enrekang terletak ± 235 Km sebelah utara Makassar. Batas wilayah kabupaten ini adalah sebelah utara berbatasan dengan Kabupaten Tana Toraja, sebelah timur dengan Kabupaten Luwu dan Sidrap, sebelah selatan dengan Kabupaten Sidrap dan; sebelah barat dengan Kabupaten Pinrang. Secara administratif Kabupaten Enrekang terbagi ke dalam 9 wilayah kecamatan dengan 111 desa/ kelurahan. Kecamatan terluas adalah Kecamatan Maiwa dengan luas 392,87 km<sup>2</sup> atau sekitar

22,0 % dari luas wilayah Kabupaten Enrekang, sedangkan kecamatan terkecil adalah Kecamatan Malua yaitu sebesar 40,36 km<sup>2</sup> atau hanya sekitar 2,26 % dari luas total Kabupaten Enrekang (SLHD, 2006).

Data yang digunakan adalah data sekunder yaitu data citra Landsat 8 yang diperoleh dari Lembaga Antariksa Nasional (LAPAN) Pare-pare tahun 2020, data DEM Kabupaten Enrekang tahun 2020, data harian dan bulanan curah hujan Kabupaten Enrekang tahun 2018, data *shapefile* (SHP) penggunaan lahan, jenis tanah, dan geologi. Bagan alir dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Bagan alir penelitian.

## Hasil dan Pembahasan

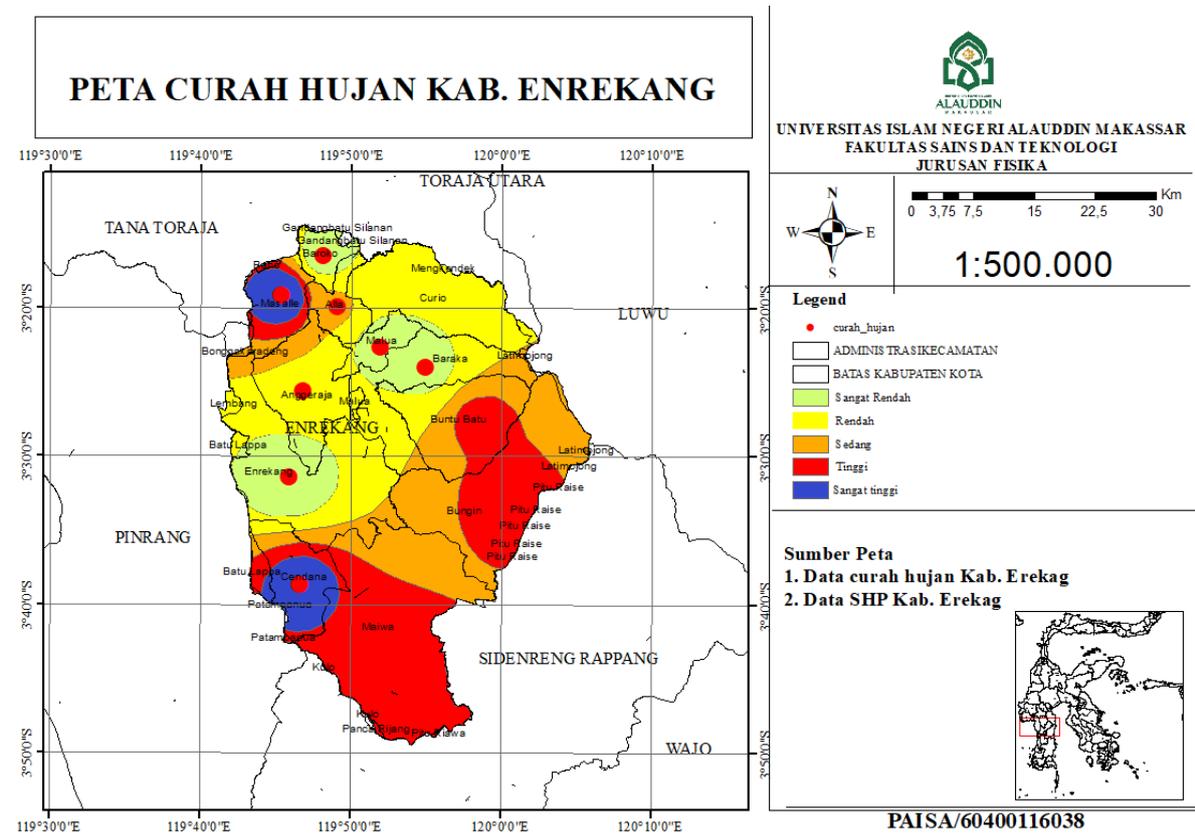
Peta rawan longsor diperoleh dari hasil dari pengolahan data parameter – parameter yang dapat menyebabkan longsor seperti curah hujan, geologi, jenis tanah, penggunaan lahan, dan vegetasi.

### A. Peta Curah Hujan

Tabel 1 menampilkan persentase intensitas curah hujan dan Gambar 2 adalah Peta Sebaran Curah Hujan Harian tahun 2018 di Kabupaten Enrekang.

**Tabel 1.** Persentase intensitas curah hujan di Kabupaten Enrekang.

Kelas	Curah Hujan	Luas (Ha)	Persentase (%)
Sangat Rendah	< 13,6	235.615.018,3	12,94
Rendah	13,6 – 20,7	548.281.119,4	30,10
Sedang	20,7 – 27,7	423.947.520,5	23,28
Tinggi	27,7 – 34,8	511.471.995,2	28,08
Sangat Tinggi	> 34,8	102.069.887,1	5,60
Jumlah		1.821.385.541	100



**Gambar 2.** Peta Curah Hujan Kabupaten Enrekang.

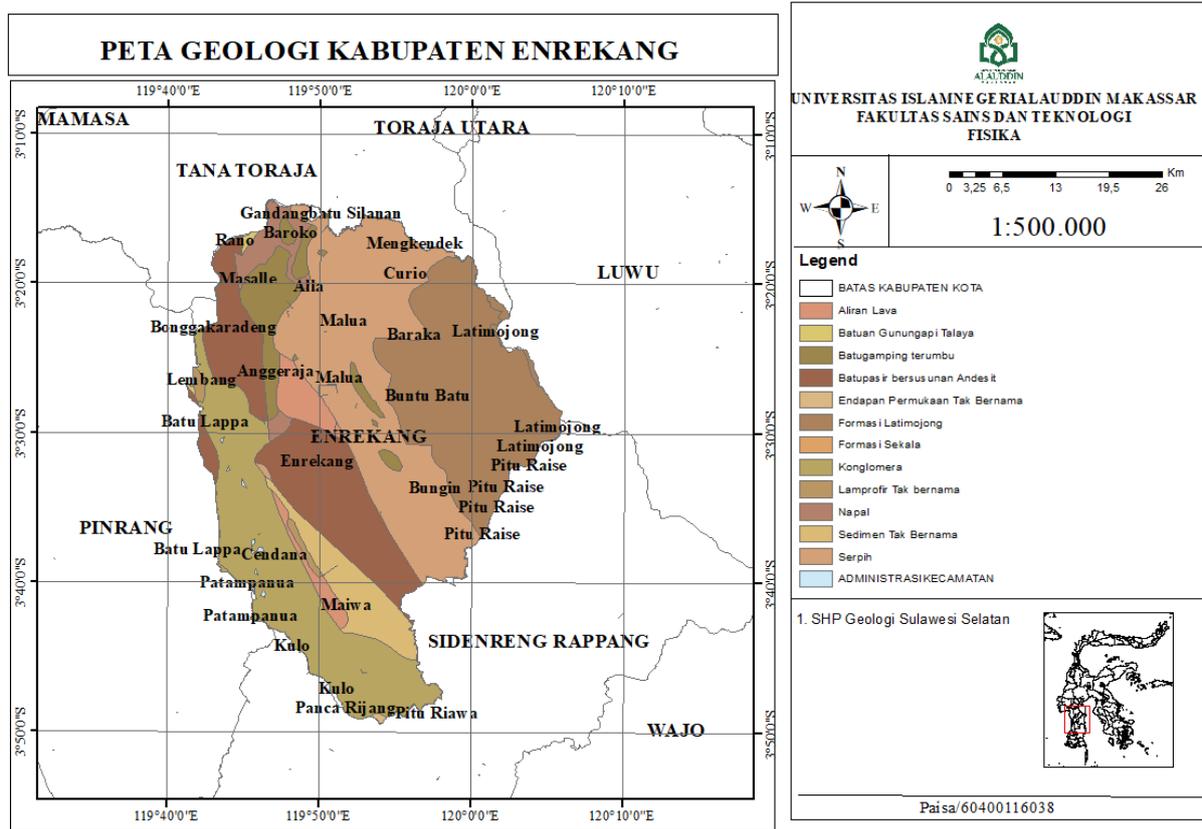
**B. Geologi**

**Tabel 2.** Sebaran Geologi di Kabupaten Enrekang.

Simbol	Formasi	Luas (Ha)	Persentase (%)
Kls	Formasi Latimojong	40180,51	22,09
Qa	Endapan permukaan tak bernama	133,68	0,07
Tets	Serpil	48397,21	26,6
Tmod	Napal	4455,545	2,45
Tmps1	Formasi Sekala	45,28	0,02
Tmpss	Batupasir bersusunan andesit	28554,71	15,7
Tmpv	Aliran lava	5714,23	3,14
Tms1	Sedimen tak bernama	8901,81	4,89
Tmtv	Batuan Gunungapi Talaya	288,06	0,16
Tom11	Batugamping terumbu	8.920,701	4,9
Tpl	Lamprofir tak bernama	1.057,38	0,58
Tpw	Konglomerat	35.284,02	19,39
Jumlah		181.933,136	100

Peta geologi diperoleh dengan menggabungkan antara *shapefile* geologi Provinsi Sulawesi Selatan dengan *shapefile* administrasi Kabupaten Enrekang, setelah itu melakukan pemotongan atau *cropping* sehingga diperoleh Peta Geologi Kabupaten Enrekang.

Tabel 2 menampilkan formasi geologi pada Kabupaten Enrekang. Peta Geologi Kabupaten Enrekang dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Peta Geologi Kabupaten Enrekang.

### C. Jenis Tanah

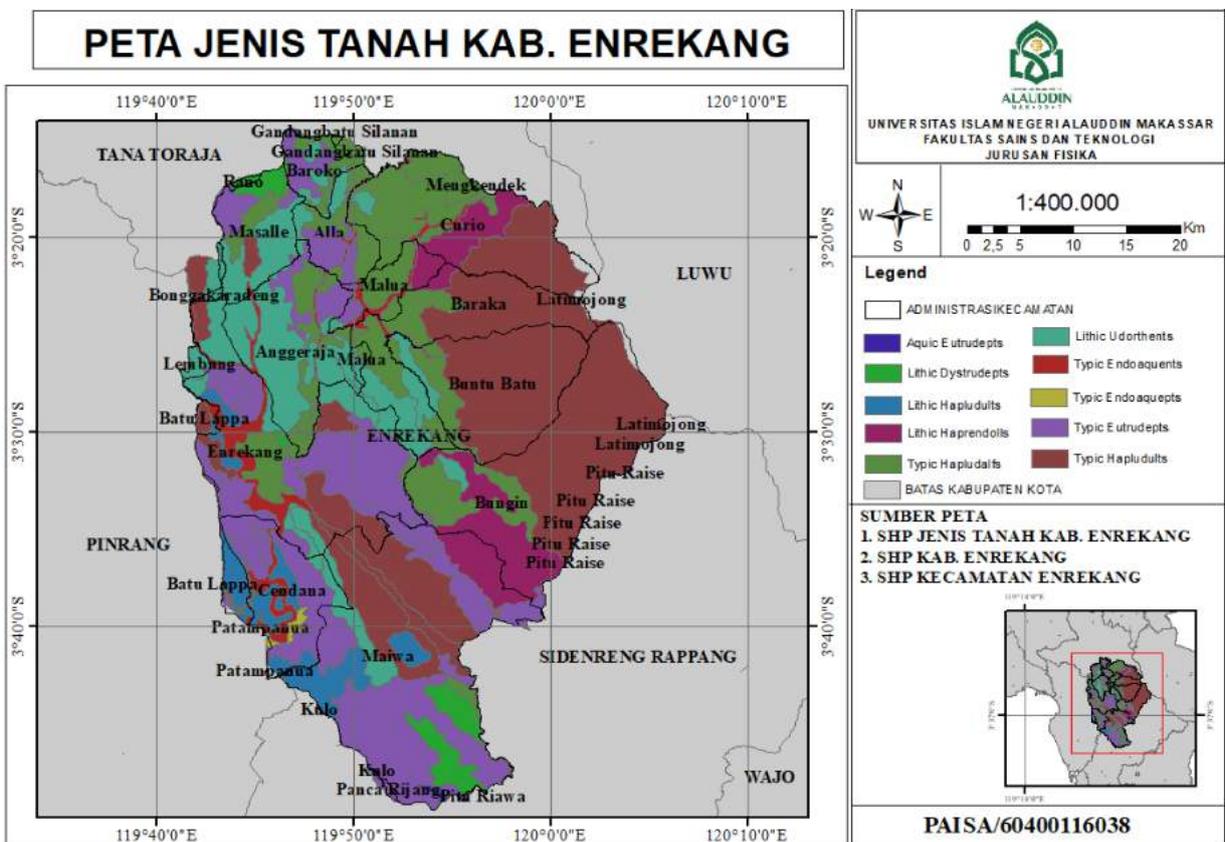
Peta jenis tanah diperoleh dengan cara *overlay* antara *shapefile* jenis tanah Provinsi Sulawesi Selatan dengan *shapefile* administrasi Kabupaten Enrekang. Kemudian hasil *overlay* tersebut dipotong

agar diperoleh peta jenis tanah Kabupaten Enrekang. Tabel 3 merupakan tabel jenis tanah yang diperoleh dari tabel atribut. Sebaran jenis tanah yang ada di Kabupaten Enrekang termuat dalam peta jenis tanah pada Gambar 4 di bawah ini.

Tabel 3. Jenis Tanah di Kabupaten Enrekang.

Tanah1	Tanah2	Luas (Ha)	Persentase (%)
Typic Endoaquepts	Typic Endoaquepts	6.749,33754	3,697430917
Typic Endoaquepts	Aquic Eutrudepts	167,863419	0,091959157
Typic Eutrudepts	Lithic Udorthents	547,086025	0,299705381
Typic Eutrudepts	Lithic Udorthents	6.116,68023	3,35084776
ROC	Lithic Udorthents	18.837,6253	10,31965252
Typic Eutrudepts	Typic Hapludults	11.399,2617	6,244758441
Typic Eutrudepts	Typic Hapludults	1.786,70515	0,97879515

<i>Aquic Eutrudepts</i>	<i>Typic Endoaquepts</i>	409,319583	0,224233989
<i>Typic Eutrudepts</i>	<i>Typic Eutrudepts</i>	11.187,9276	6,128985141
<i>Typic Eutrudepts</i>	<i>Typic Hapludalfs</i>	3.361,80979	1,841671034
<i>Lithic Dystrudepts</i>	<i>Lithic Hapludults</i>	7.402,81823	4,055421562
<i>Typic Eutrudepts</i>	<i>Lithic Dystrudepts</i>	3.236,62072	1,773089795
<i>Vertic Hapludalfs</i>	<i>Typic Eutrudepts</i>	7.878,80965	4,316179802
<i>Typic Hapludults</i>	<i>Typic Eutrudepts</i>	9.932,13428	5,441034786
<i>Typic Eutrudepts</i>	<i>Typic Hapludalfs</i>	5.654,53637	3,097675509
<i>Typic Eutrudepts</i>	<i>Typic Hapludalfs</i>	6.318,47327	3,461394288
<i>Typic Eutrudepts</i>	<i>Typic Hapludults</i>	3.388,60486	1,856349943
<i>Typic Eutrudepts</i>	<i>Typic Hapludalfs</i>	14.561,1269	7,976895588
<i>Typic Hapludults</i>	<i>Typic Eutrudepts</i>	9.885,67572	5,415583801
<i>Typic Eutrudepts</i>	<i>Typic Hapludults</i>	40.176,5053	22,00954569
<i>Lithic Dystrudepts</i>	<i>Lithic Haprendolls</i>	12.330,8082	6,755079464
<i>Typic Eutrudepts</i>	<i>Lithic Dystrudepts</i>	1.211,54522	0,663710284
Jumlah		182.541,275	100



Gambar 4. Peta Jenis Tanah Kabupaten Enrekang.

#### D. Kemiringan Lereng

Peta kemiringan lereng diperoleh dari klasifikasi data DEM. Data tersebut diklasifikasikan menjadi lima kelas yaitu datar, landai, agak curam, curam, dan sangat curam. Daerah dengan kemiringan lereng yang terjal memiliki potensi longsor yang besar dibandingkan dengan daerah

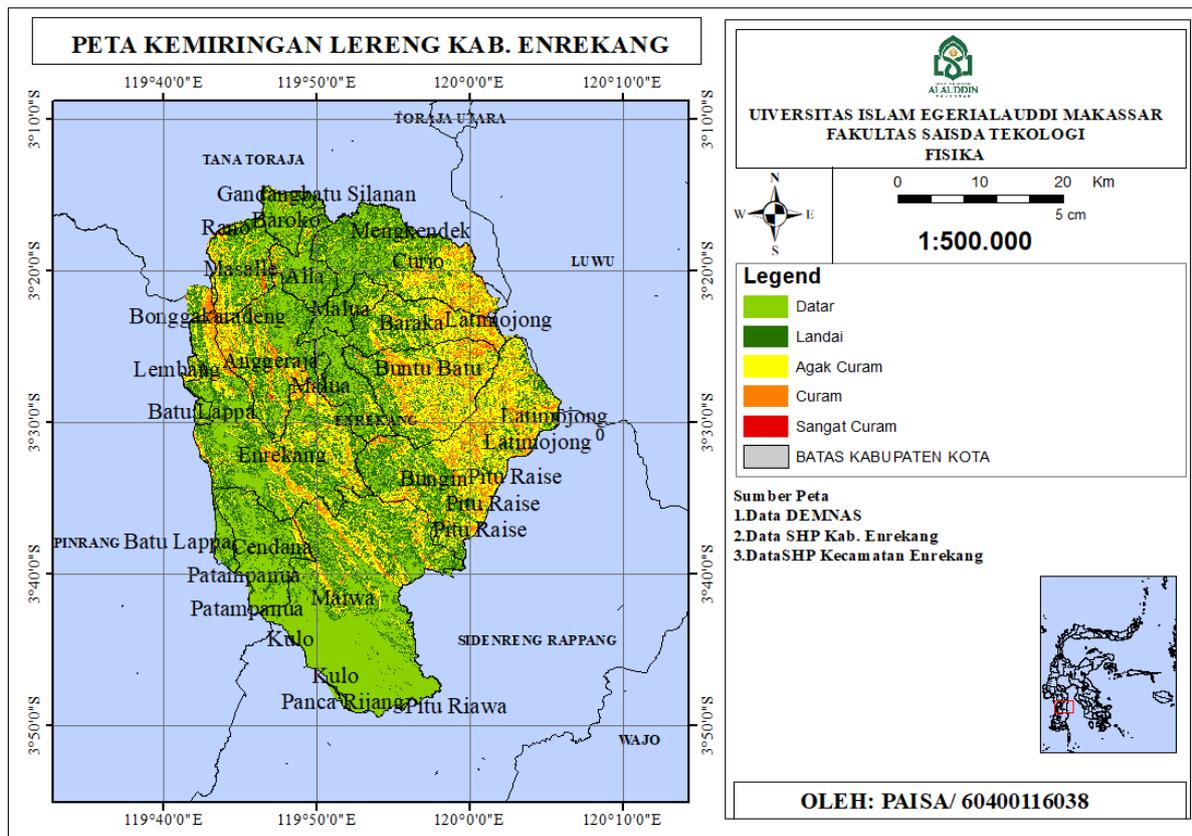
yang memiliki kemiringan lereng yang sedang atau pun datar. Kemiringan lereng pada Kabupaten Enrekang dapat dilihat pada Tabel 4 yang merupakan klasifikasi lereng sehingga diketahui kemiringan lereng serta persentase kemiringan lereng di Kabupaten Enrekang dari datar hingga sangat curam.

Gambar 5 di bawah ini merupakan gambar peta sebaran kemiringan lereng di wilayah Kabupaten Enrekang. Gambar tersebut memperlihatkan daerah dengan kemiringan lereng datar sampai sangat curam dengan

memperhatikan warna pada legenda. Warna kuning menunjukkan kemiringan lereng datar, warna *orange* landai, hijau tua agak curam, hijau muda curam dan merah sangat curam.

Tabel 4. Kemiringan Lereng Kabupaten Enrekang.

<i>Slope</i>	Klasifikasi	Luas (Ha)	Persentase (%)
0 – 8%	Datar	62775,47	34,34
8 – 15%	Landai	56196,25	30,74
15 – 25%	Agak curam	47968,37	26,24
25 – 45%	Curam	15430,9	8,44
> 45%	Sangat curam	419,98	0,23
Jumlah		182.791.01	100



Gambar 5. Peta Kemiringan Lereng Kabupaten Enrekang.

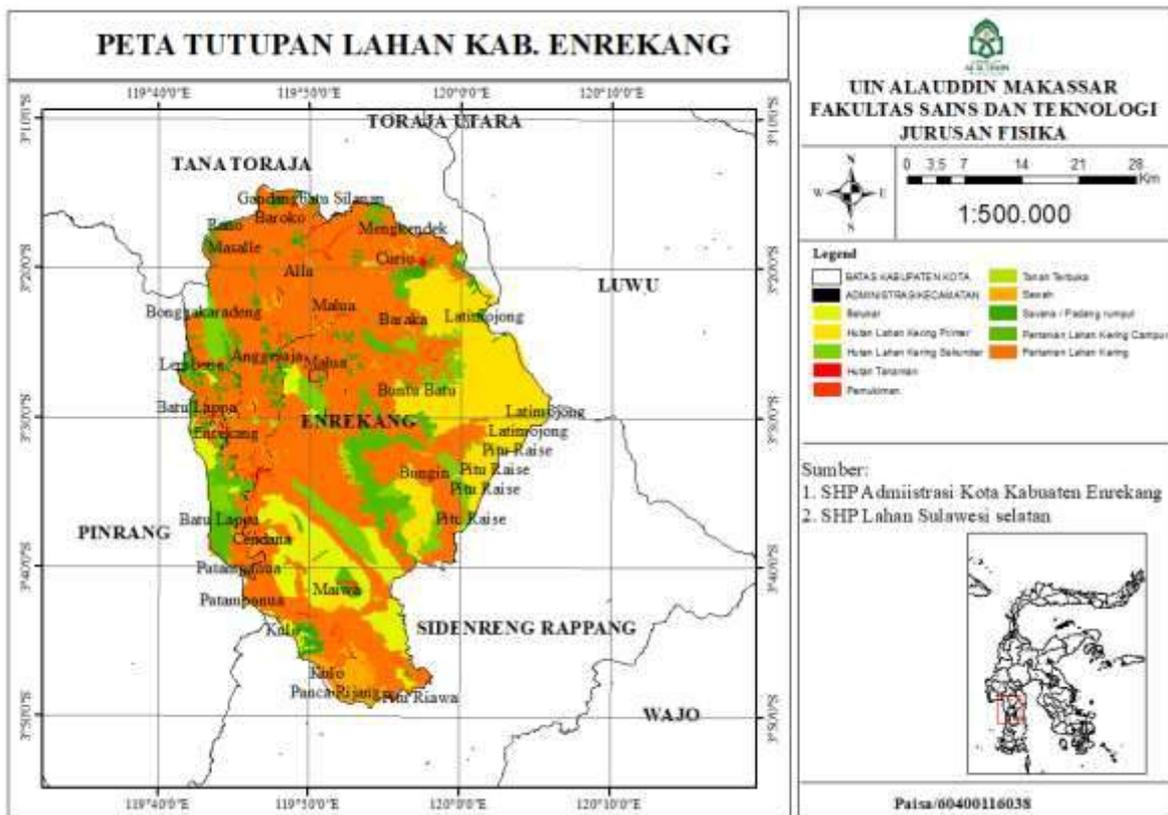
### E. Peta Penggunaan Lahan

Peta penggunaan lahan merupakan hasil *overlay shapefile* penggunaan lahan Provinsi Sulawesi Selatan dengan *shapefile* administrasi Kabupaten Enrekang. Kedua data tersebut dipotong untuk menghasilkan peta penggunaan lahan Kabupaten

Enrekang. Peta penggunaan lahan diperlukan sebagai data pendukung untuk mengetahui tingkat kerawanan bencana tanah longsor. Di bawah ini Tabel 5 memperlihatkan penggunaan lahan di Kabupaten Enrekang. Sedangkan Gambar 6 merupakan gambar peta sebaran penggunaan lahan di Kabupaten Enrekang.

**Tabel 5.** Penggunaan Lahan Kabupaten Enrekang.

Tipe Penggunaan Lahan	Luas (Ha)	Persentase (%)
Hutan Lahan Kering Primer	28.430,03	13,99
Hutan Lahan Kering Sekunder	35.149,09	17,30
Tanah Terbuka	1.114,86	0,55
Hutan Tanaman	104,68	0,05
Belukar	14.075,58	6,93
Pertanian Lahan Kering	99.967,76	49,19
Savana / Padang rumput	6.168,05	3,04
Pertanian Lahan Kering Campur	12.371,65	6,09
Sawah	5.847,13	2,88
Jumlah	203.228,83	100

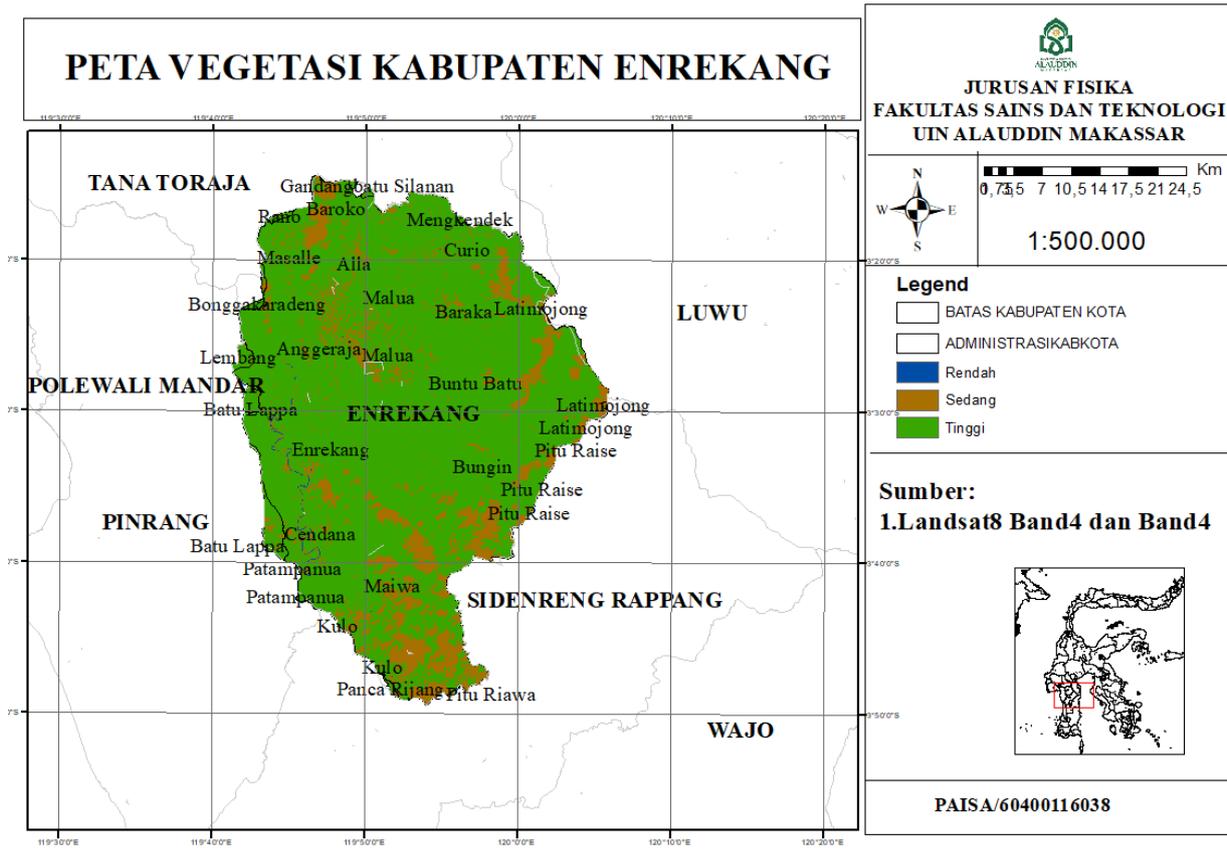


**Gambar 6.** Peta Tutupan Lahan Kabupaten Enrekang.

**F. Peta Vegetasi**

Vegetasi diperoleh dari data Landsat 8 yang dioleh dengan metode *bandmath band Red* dan *band Nir* atau *band 4* dan *band 5*. Kemudian dilakukan pengklasifikasian menjadi tiga kelas yaitu vegetasi kelas

rendah, vegetasi kelas sedang dan vegetasi kelas tinggi seperti pada Gambar 7. Vegetasi dengan kelas rendah memiliki warna biru, sedangkan pada kelas sedang memiliki warna coklat dan vegetasi dengan kelas tertinggi berwarna hijau.



Gambar 7. Peta Vegetasi Kabupaten Enrekang.

G. Peta Daerah Rawan Longsor

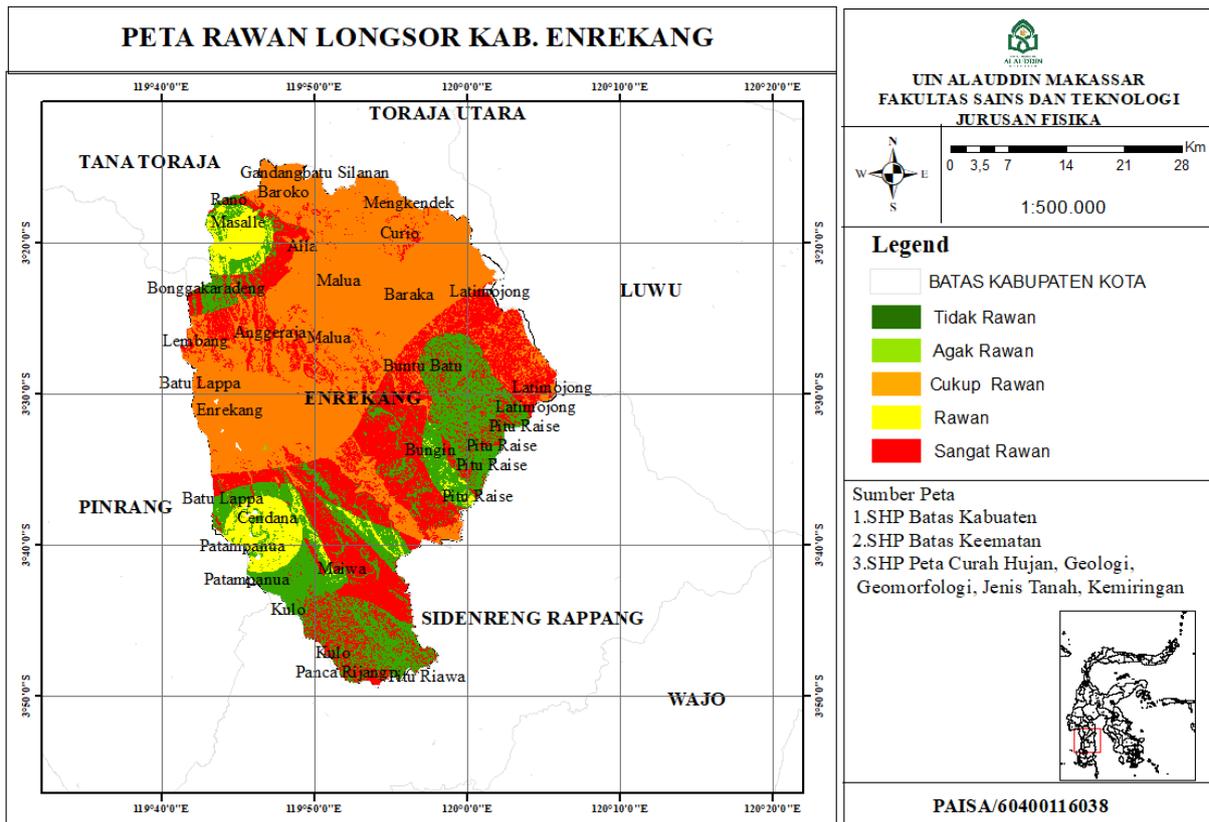
Zona rawan longsor diperoleh dengan cara meng-*overlay* semua data peta yang telah dibuat. Data tersebut diolah menjadi daerah rawan longsor dengan memberi bobot setiap kelas. Tabel 6 adalah kelas rawan longsor yang diperoleh setelah pembobotan kemudian dianalisis untuk mengetahui

persentase terbesar zona bencana longsor di Kabupaten Enrekang.

Gambar 8 merupakan peta rawan longsor di Kabupaten Enrekang. Warna hijau tua menunjukkan daerah tidak rawan longsor, hijau muda agak rawan, *orange* cukup rawan, kuning rawan dan merah sangat rawan.

Tabel 6. Kelas Rawan Longsor.

Kelas Rawan Longsor	Luas (Ha)	Persentase (%)
Tidak Rawan	56.427,05	31,28
Rawan	101.364,81	56,19
Sangat Rawan	22.595,003	12,53
Jumlah	180.386,86	100



Gambar 8. Peta Daerah Rawan Longsor Kabupaten Enrekang.

## Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengolahan dan analisis data yang dilakukan di Kabupaten Enrekang, sehingga memperoleh kesimpulan bahwa didapatkan tiga kelas rawan longsor yakni tidak rawan sebesar 31,28%, meliputi sebagian besar Enrekang, Baraka, Malua, Gadang Batu Silana, Baroko, Mengkedek, Curio, dan sebagian kecil Anggeraja. Kelas rawan sebesar 56,19% terdiri dari sebagian besar Mulo, Pancara Riaja, Kulo, Pitu Riawa, Pitu Riase, Latimojong, Bungi, Buntu Batu, Alla, Bongkar Adeng, serta sebagian kecil Curi, Mangkedek dan Cendana. Sangat rawan sebesar 12,35% meliputi Candaa, Maselle, dan sebagian kecil Maiwa, Bungi, Pitu Riase, Latimojong dan Buntu Batu. Data tersebut diperoleh dari penggabungan data curah hujan, kelerengan, jenis tanah, penutupan lahan, dan geologi serta vegetasi sebagai data pendukung.

## Daftar Pustaka

- Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB). 2019. *Daerah Rawan Longsor*.
- Ati, J.S. 2016. *Pemanfaatan Citra Landsat 8 untuk Identifikasi Kawasan Rawan Longsor*. Skripsi, ITN Malang.
- LAPAN. 2015. *Pedoman Pengolahan Data dan Penginderaan Jauh Landsat 8 untuk Mangrove*. Jakarta: Pusat Pemanfaatan Penginderaan Jauh.
- Laurensz, B., Lawalata, F. dan Prasetyo, S.Y.J. 2019. *Potensi Resiko Banjir dengan Menggunakan Citra Satelit (Studi Kasus : Kota Manado, Provinsi Sulawesi Utara)*. Indonesian Journal of Computing and Modeling. 2(1), pp.17-24. Retrieved from <https://ejournal.uksw.edu/icm/article/view/2536>
- Leng, M., Tanesib, J.L. dan Warsito A. 2017. *Pemetaan Daerah Rawan*

- Longsor dengan Pengindraan Jauh dan Sistem Informasi Geografis di Kabupaten Timor Tengah Utara Provinsi Nusa Tenggara Timur Indonesia.* Jurnal Fisika: Fisika Sains dan Aplikasinya. 2(1), pp.24-28. Retrieved from <https://ejurnal.undana.ac.id/FISA/article/view/539>
- Selby, M.J. 1985. *Earth's Changing Surface: an Introduction to Geomorphology.* Oxford [Oxfordshire]: Clarendon Press; New York: Oxford University Press.
- SLHD, 2006. *Buku 2 Basis Data.* Lingkungan. Enrekang: Stasiun Lingkungan Hidup Daerah.
- Sutanto. 1987. *Penginderaan Jauh Jilid 1.* Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Wahyuni, A., Saka, B., dan Rahmaniah, R. 2019. *Mitigasi Bencana Geologi (Gempabumi dan Tanah Longsor Di Kabupaten Toraja Utara dan Tana Toraja dalam Mengurangi Risiko Bencana.* Neutrino. 1(2), pp.33 - 38. Retrieved from <http://journals.ukitoraja.ac.id/index.php/neo/article/view/512>

## RELOKASI GEMPA BUMI SWARM DI PESAWARAN-LAMPUNG, JANUARI 2021

Izaina Nurfitriana<sup>1\*</sup>, Adhi Wibowo<sup>2</sup>, Rudianto<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Program Studi Teknik Geofisika, Jurusan Teknologi Produksi dan Industri, Institut Teknologi Sumatera, Lampung Selatan, 35365, Indonesia

<sup>2</sup> Stasiun Geofisika Kelas III Lampung Utara, Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG), Lampung Utara, 34519, Indonesia

\*Corresponding author. Email: [izaina.nurfitriana@tg.itera.ac.id](mailto:izaina.nurfitriana@tg.itera.ac.id)

Manuscript received: 20 March 2021; Received in revised form: 29 April 2021; Accepted: 30 April 2021

### Abstrak

Pesawaran, Lampung telah diguncang rentetan gempa bumi magnitudo rendah pada bulan Januari 2021. Gempa bumi tersebut tidak disertai dengan gempa utama dengan magnitudo besar sehingga dapat disebut dengan gempa bumi *swarm*. Relokasi hiposenter telah dilakukan dengan menggunakan data dari jaringan stasiun BMKG untuk mengetahui sumber dari gempa bumi *swarm* tersebut. Metode *double-difference* digunakan dan didapatkan hasil relokasi 19 dari 22 gempa bumi *swarm* yang terjadi. Distribusi kedalaman hiposenter berkisar pada kedalaman 1,5 – 4,5 km sehingga dapat disebut dengan gempa bumi kerak dangkal. Berdasarkan sayatan melintang terhadap kedalaman teramati bahwa sebaran gempa bumi memiliki kemiringan ke arah Timur Laut. Lokasi gempa bumi yang presisi juga menunjukkan adanya deliniasi dan tepat berada di atas terduga Sesar Menanga. Berdasarkan analisis hasil relokasi hiposenter dapat disimpulkan bahwa gempa bumi *swarm* Pesawaran disebabkan oleh aktivitas Sesar Menanga.

**Kata Kunci:** Pesawaran; relokasi hiposenter; Sesar Menanga; *swarm*;

### Abstract

Pesawaran, Lampung, had been shocked by the multiple small magnitude earthquakes in January 2021. These earthquakes occurred without any following big earthquake, leads to a term of swarms. We investigated these swarms by precise relocation using data recorded by the BMKG station network. The double-difference method was used to relocate and generate 19 out of 22 events. The distribution of event depths varies in 1.5 – 4.5 km, leads to the shallow crustal earthquake, and tends to have a dip towards NE direction. The precise location showed well delineation of the inferred Menanga fault line. Based on the relocating hypocenter we concluded that the source of the swarms is the activity of Menanga fault.

**Keywords:** hypocenter relocation; Menanga Fault; Pesawaran; *swarm*;

### Pendahuluan

#### 1.1 Observasi seismik

Kejadian rentetan gempa bumi dengan magnitudo kecil dan tanpa adanya gempa bumi utama dengan magnitudo besar

dikenal dengan gempa bumi *swarm* (Zobin & Ivanova, 1994). Gempa bumi *swarm* beberapa kali teramati di Indonesia, seperti gempa bumi *swarm* Bogor di kaki Gunung Salak pada 23 Agustus 2019, gempa bumi *swarm* di Mamasa, Sulawesi Barat pada November 2018, gempa bumi *swarm* di

Jailolo, Halmahera Barat pada Desember 2015, dan gempa bumi *swarm* di Klangon, Madiun pada Juni 2015 (BMKG, 2018). Beberapa kasus gempa bumi *swarm* menimbulkan kerusakan pada rumah – rumah warga.

Mekanisme sumber gempa bumi *swarm* masih belum dipahami dengan baik oleh para peneliti kegempaan. Gempa bumi ini memiliki mekanisme sumber yang berbeda dengan gempa bumi besar yang terjadi akibat sesar atau subduksi *megathrust*. Gempa bumi *swarm* umumnya dapat dipicu dari aktivitas fluida, vulkanik ataupun sesar aktif. Menurut Sianipar dkk. (2020), gempa bumi *swarm* yang terjadi di kaki Gunung Salak dipicu oleh aktivitas fluida, meskipun belum diketahui jenis aktivitas fluida apa yang mengontrol gempa bumi *swarm* tersebut. Gempa bumi *swarm* yang terjadi di Jailolo Halmahera diketahui disebabkan oleh aktivitas magma dari Gunung Jailolo yang dianggap *dormant* selama 200 tahun (Passarelli dkk., 2018). Pada pembahasan yang lain, menurut Vavryčuk & Hrubcová (2017), gempa bumi *swarm* bisa disebabkan oleh sesar aktif yang mengalami rayapan (*creeping*). Pergerakan rayapan pada sesar dapat menimbulkan gempa berskala kecil namun dangkal dan berjumlah banyak yang dapat dikategorikan sebagai gempa bumi *swarm*.

Berdasarkan beberapa kemungkinan sumber gempa bumi *swarm* tersebut, maka perlu diadakan penelitian lebih lanjut tentang mekanisme terbentuknya gempa bumi *swarm* yang terjadi di Pesawaran. Hal ini dapat menjadi langkah awal baik dalam mitigasi bencana maupun dalam memahami kondisi geologi daerah Pesawaran.

Berdasarkan informasi yang dihimpun dari BMKG Kotabumi, Lampung Utara, tercatat 22 kejadian gempa bumi yang berulang dengan magnitudo 1,7 – 4 dengan kedalaman 1 – 4 km. Gempa bumi ini berpusat di daerah Pesawaran, dan

berlangsung selama 11 hari. Gempa bumi mulai terasa pada tanggal 5 Januari 2021, kemudian meningkat pada 6 Januari 2021 sebanyak 9 kali, berlanjut pada tanggal 7 – 10, 13 dan 16 Januari 2021. Lokasi gempa bumi *swarm* tersebar di area Tenggara Gunung Ratai yang bertepatan di area terduga Sesar Menanga (*inferred fault*). Dua diantaranya dirilis oleh BMKG bermagnitudo 3,4 dan 3,5 (BMKG, 2021).

Berdasarkan peta geologi Lembar Tanjung Karang (Mangga dkk., 1993), terduga Sesar Menanga merupakan kelurusan yang melintang dengan arah Tenggara-Barat Laut yang melintasi Gunung Ratai. Informasi berkenaan dengan jenis sesar, pergerakan, besar dip, dan keaktifannya masih sangat minim dikarenakan minimnya penelitian tentang terduga sesar tersebut. Adanya penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam memahami terduga Sesar Menanga.

Selama kejadian gempa bumi *swarm* ini dilaporkan bahwa guncangan terasa hingga Kecamatan Kemiling, yang berjarak kurang lebih 15 km dari pusat gempa bumi. Belum ada laporan mengenai kerusakan bangunan dari masyarakat terdampak namun pihak BMKG tetap memberikan himbauan kepada masyarakat sekitar untuk mewaspadaai adanya gempa bumi *swarm* lagi.

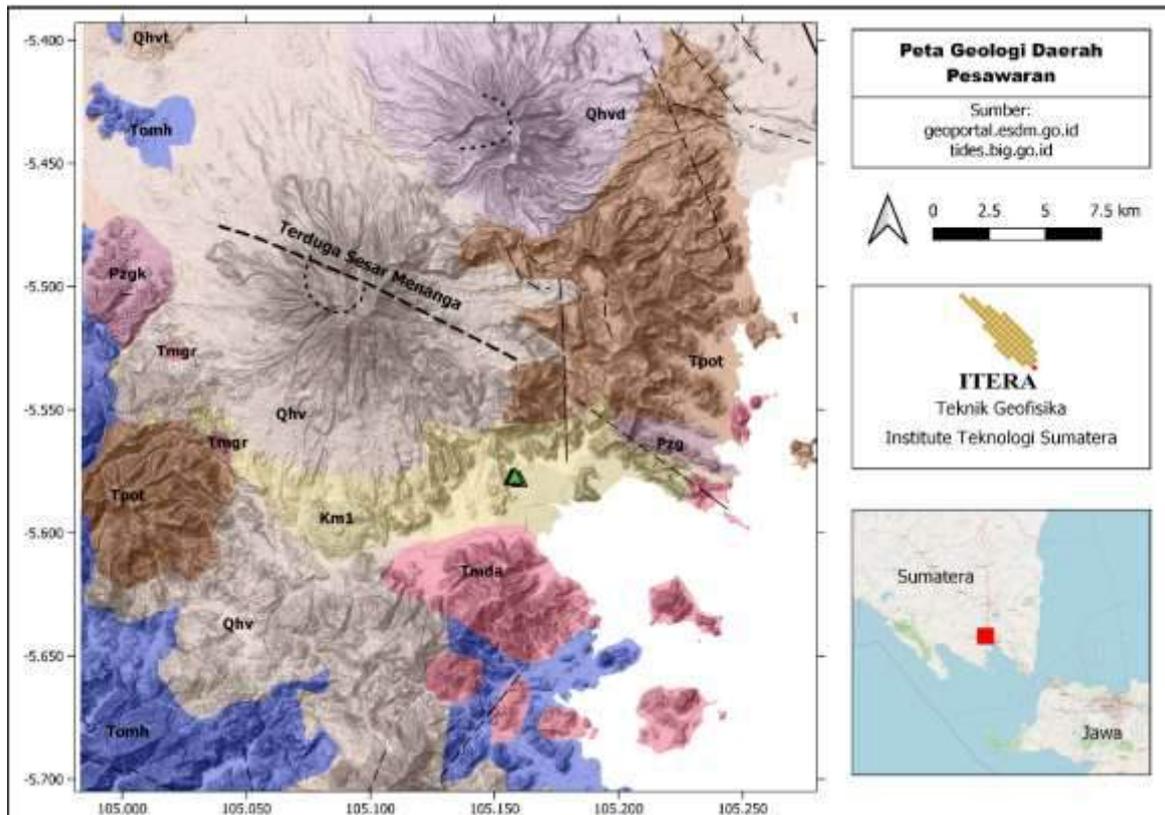
## 1.2 Geologi lokal Pesawaran

Secara umum, Lampung terletak pada zona konvergen dengan Lempeng India-Australia menunjam Lempeng Sunda (Eurasia) di sisi Barat Sumatera. Subduksi ini salah satunya menghasilkan deretan rangkaian gunung api di bagian tengah Pulau Sumatera dan adanya Sesar Besar Sumatera dengan pergerakan menganan sebagai akibat dari tipe subduksi yang bersifat *oblique* (McCaffrey, 1991).

Pesawaran merupakan salah satu kabupaten di Provinsi Lampung. Pada area penelitian

ini terdapat fitur – fitur geologi yang sangat menarik yaitu adanya dua gunungapi yang *dormant* (Gunung Ratai dan Gunung Betung); kelurusan yang diperkirakan sebagai Sesar Menanga; dan manifestasi geotermal berupa sumur panas dan silika sinter (Gambar 1) (Putri dkk., 2014). Semua fitur geologi tersebut dapat dimungkinkan menjadi sumber gempa

bumi *swarm* di Pesawaran ini. Secara litologi, batuan penyusun didominasi oleh Endapan Gunungapi Muda (Qhv) berupa lava (andesit-basalt), breksi, dan tuff dari erupsi G. Ratai, G. Betung, G. Pesawaran, dan G. Rajabasa yang menindih secara tidak selaras kompleks G. Kasih Tak Terpisahkan (Pzg) (Tabel 1) (Mangga dkk., 1993).



**Gambar 1.** Peta geologi daerah Pesawaran. Garis putus-putus merupakan struktur kelurusan, segitiga hijau lokasi manifestasi geotermal (modifikasi dari Mangga dkk., 1993)

**Tabel 1.** Kode dan formasi pada peta geologi daerah penelitian

Kode	Formasi
Qhv	Endapan Gunungapi Muda
Qhvd	Endapan Gunungapi Muda Betung
Qhvt	Endapan Gunung Muda Pulautangkit
Tomh	Formasi Hulusimpang
Tpot	Formasi Tarahan
Km1	Formasi Menanga
Pzg	Kompleks G.Kasih Tak Terpisahkan
Pzgz	Kuarsit Sidodadi
Tmda	Dasit Piabung
Tmgr	Batuan Granit Tak Terpisahkan

## Metode Penelitian

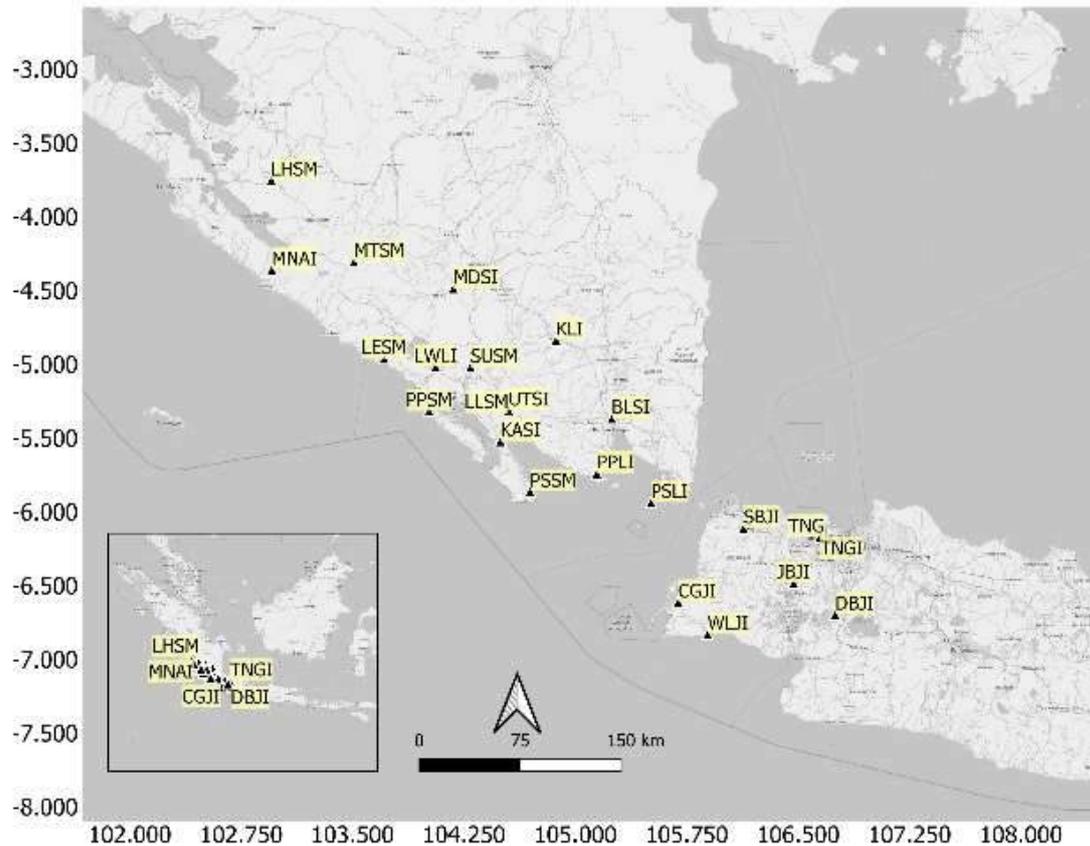
Daerah penelitian berada di Kabupaten Pesawaran, Lampung, khususnya di Way Ratai, dengan koordinat 105,00° – 105,30° BT dan 5,40° – 5,75° LS.

### 2.1 Susunan Stasiun BMKG

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah katalog waktu tiba gelombang P dan S dari 22 kejadian gempa bumi *swarm* yang terjadi pada tanggal 5 Januari 2021 - 16 Januari 2021. Rekaman data seismik ini direkam oleh jaringan stasiun BMKG sekitar Lampung, Sumatera Selatan,

Bengkulu, Banten, dan Jakarta. Data bersifat terbatas hanya untuk peneliti yang melakukan kolaborasi dengan BMKG Kotabumi, Lampung dan didapatkan secara resmi dari pihak BMKG terkait.

Stasiun yang digunakan berjumlah 25 dengan tipe seismometer yaitu *broadband* (Gambar 2). Selanjutnya, data yang diperoleh akan digunakan untuk relokasi hiposenter gempa bumi *swarm* menggunakan metode *double difference* melalui *software hypoDD*.



**Gambar 2.** Sebaran stasiun yang digunakan dalam penelitian. Segitiga hitam merupakan stasiun yang dioperasikan oleh BMKG.

## 2.2 Lokasi Relatif

Tingkat akurasi dari penentuan lokasi hiposenter dipengaruhi oleh beberapa faktor, diantaranya seperti susunan jaringan seismometer, fase gelombang P dan S, tingkat ketelitian pembacaan waktu tiba gelombang, dan pengetahuan tentang struktur kecepatan gelombang seismik pada kerak bumi (Gomberg et al., 1990). Koreksi pada struktur kecepatan gelombang seismik dapat diminimalisir secara efektif dengan menggunakan metode lokasi gempa relatif (Got et al., 1994). Pada penelitian ini, metode relokasi gempa bumi relatif dilakukan dengan menggunakan algoritma *double-difference* dari Waldhauser dan

Ellsworth (2000). Algoritma ini terimplementasikan di dalam paket *hypoDD* yang dapat diakses dengan bebas melalui [website https://www.ldeo.columbia.edu/~felixw/hypoDD.html](https://www.ldeo.columbia.edu/~felixw/hypoDD.html)

Algoritma *double-difference* ini memanfaatkan hiposenter dan juga jalur rambat gelombang dari dua gempa bumi yang berdekatan. Dua gempa bumi yang berdekatan akan menghasilkan kemiripan pada jalur rambat gelombang (Fréchet, 1985; Got et al., 1994). Perbedaan waktu rambat dari dua kejadian gempa bumi berdekatan yang terekam dalam satu

stasiun pengamatan bisa menjadi karakter yang merepresentasikan jarak spasial hiposenter dari dua gempa bumi tersebut. Perhitungan perbedaan waktu rambat, atau dikenal dengan istilah *double-difference* ( $dr_k^{ij}$ ) pada stasiun  $k$  terhadap dua kejadian gempa bumi  $i$  dan  $j$  adalah sebagai berikut (Waldhauser & Elsworth, 2000):

$$dr_k^{ij} = (t_k^i - t_k^j)^{obs} - (t_k^i - t_k^j)^{calc} \quad (1)$$

dengan  $t_k^i$  dan  $t_k^j$  merupakan waktu rambat observasi dan kalkulasi pada stasiun  $k$  untuk masing-masing kejadian gempa  $i$  dan  $j$ .

Terdapat tiga tahap dalam merelokasi posisi gempa menggunakan *hypoDD*, diantaranya adalah pembentukan pasangan *event* atau kejadian gempa yang saling berdekatan, pembentukan kluster, dan relokasi *double-difference*. Pada tahap pertama, yaitu pembentukan pasangan *event*, dilakukan dengan menggunakan program *ph2dt*. Program *ph2dt* berguna untuk mencari katalog data fase gelombang P dan S untuk kemudian dibentuk pasangan *event* serta memberikan informasi waktu rambat gelombang pada stasiun terkait. Program ini membangun jaringan dengan menghubungkan antar *event* hingga mencapai total pasangan *event* maksimum yang ditentukan (dikenal dengan parameter MAXNGH) dalam radius tertentu (dikenal dengan parameter MAXSEP). Adapun dalam penentuannya, program ini hanya mempertimbangkan kumpulan *event* yang berdekatan yang memiliki 8 pasangan fase yang sama atau lebih (dikenal dengan parameter MINLNK). Hasil dari program *ph2dt* adalah *dt.ct*, *event.sel*, *event.dat*, dan *ph2dt.log*.

Dokumen tipe *dt.ct* dibutuhkan untuk perhitungan perbedaan waktu rambat gelombang P dan S. Perhitungan perbedaan waktu rambat ini yang kemudian dijadikan parameter dalam penentuan jarak spasial antar *event*. Tahap berikutnya adalah

pembentukan kluster gempa. Pembentukan kluster gempa ditentukan berdasarkan beberapa parameter seperti jarak maksimum antar kluster *centroid* dan stasiun (DIST) serta data jaringan (OBSCT). Pada tahap terakhir, relokasi *double-difference* dilakukan secara iterasi. Banyaknya iterasi ditentukan dari ukuran data *set*, ukuran kluster, dan bobot dari gelombang P dan S.

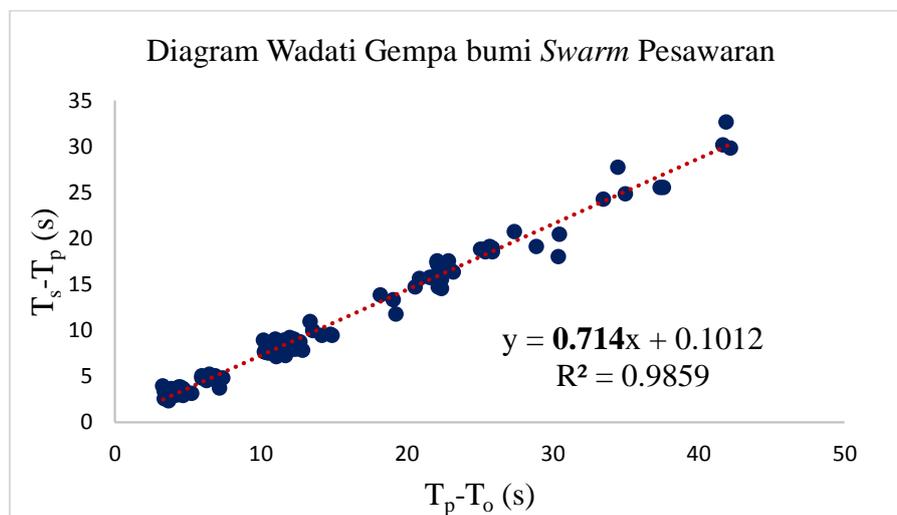
### 2.3 Relokasi hiposenter

Metode *double difference* baik digunakan untuk daerah yang memiliki seismisitas yang padat dan jarak antar *event* seismik jauh lebih kecil dibandingkan dengan jarak *event* ke stasiun pencatat gempa (beberapa km atau kurang dari 1 km). Data yang diperlukan dalam penelitian ini adalah hiposenter, waktu kejadian gempa bumi, koordinat stasiun seismik, waktu tiba gelombang seismik di setiap stasiun, dan model kecepatan gelombang seismik. Pada kasus kali ini, jarak antar episenter gempa bumi *swarm* sangat dekat yaitu 1 – 2 km dan sebaran stasiun berjarak antara 50 – 250 km. Sebanyak 335 fase dari 22 *event* gempa bumi *swarm* berhasil didapatkan.

Model kecepatan gelombang P berasal dari interpolasi model kecepatan *Crust 1.0* (Laske et al., 2013). Pemilihan model kecepatan ini dikarenakan informasi mengenai model kecepatan di daerah penelitian belum didapatkan. Model kecepatan gelombang S diperoleh menggunakan rasio dari Diagram Wadati (Tabel 2). Diagram Wadati menunjukkan hubungan antara waktu tiba gelombang P dikurangi *origin time* ( $T_p - T_o$ ) dengan waktu tiba gelombang S dikurangi waktu tiba gelombang P ( $T_s - T_p$ ). Diagram Wadati baik digunakan untuk memberikan estimasi nilai awal untuk rasio  $V_p/V_s$ . Nilai rasio  $V_p/V_s$  yang diperoleh dari Diagram Wadati adalah 1,74 (Gambar 3).

**Tabel 2.** Model kecepatan *Crust 1.0* (Laske et al., 2013)

Kedalaman (km)	Kecepatan $V_p$ (km/s)
0	1,750
1	1,876
2	2,269
3	2,662
4	3,055
5	3,449
10	5,415
20	6,251
30	6,841
40	6,915
50	6,932



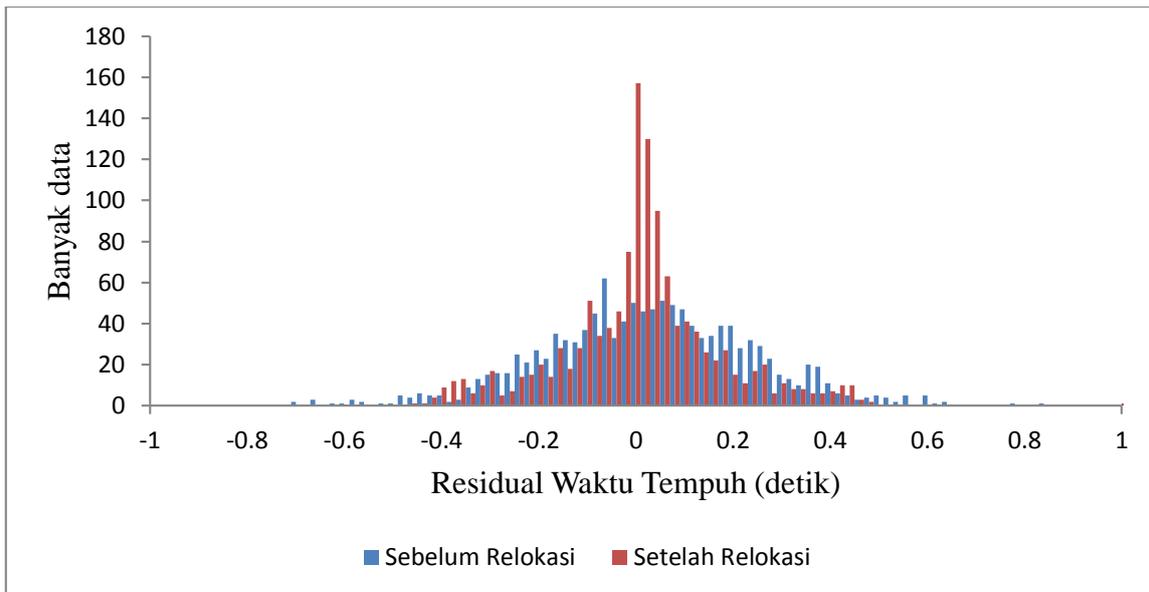
**Gambar 3.** Diagram Wadati gempa bumi Pesawaran.  $T_o$  adalah *origin time*,  $T_p$  dan  $T_s$  adalah waktu tiba gelombang P dan S berturut-turut.

### Hasil dan Pembahasan

Hasil relokasi dapat dikatakan baik apabila selisih waktu tempuh antara observasi dan kalkulasi mendekati nol. Histogram pada Gambar 4 memperlihatkan sebaran selisih waktu tempuh observasi dan kalkulasi untuk fase P dan S dari setiap pasang *event* yang berdekatan (*neighbors*). Terlihat bahwa setelah dilakukan relokasi jumlah data dengan selisih waktu tempuh mendekati nol semakin meningkat.

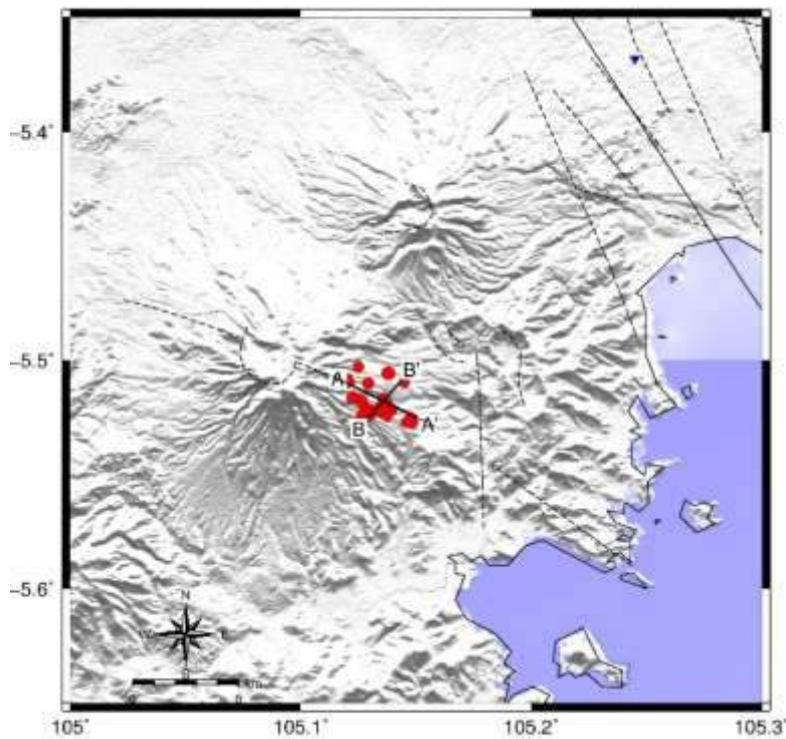
Berdasarkan plot episenter sebelum direlokasi (Gambar 5) terlihat bahwa sebaran gempa bumi cenderung menyebar di atas terduga Sesar Menanga dengan arah

sebaran Barat Laut – Tenggara. Setelah dilakukan pengolahan relokasi dengan *hypoDD* terlihat bahwa sebaran episenter semakin terpusat (Gambar 6) dan didapatkan hasil relokasi 19 dari 22 gempa atau sebesar 86,4%. Sebaran gempa bumi *swarm* hasil relokasi terlihat tetap memiliki kecenderungan ke arah Barat Laut – Tenggara dan tepat berada di atas jalur terduga Sesar Menanga. Sebaran episenter terdiri dari 2 kluster kecil yang saling berdekatan. Satu kluster terpusat dengan jumlah 11 gempa bumi dan tepat di sebelah Timur kluster tersebut terdapat kluster lain yang membentuk kecenderungan memanjang ke arah Barat Laut dengan jumlah 8 gempa bumi.



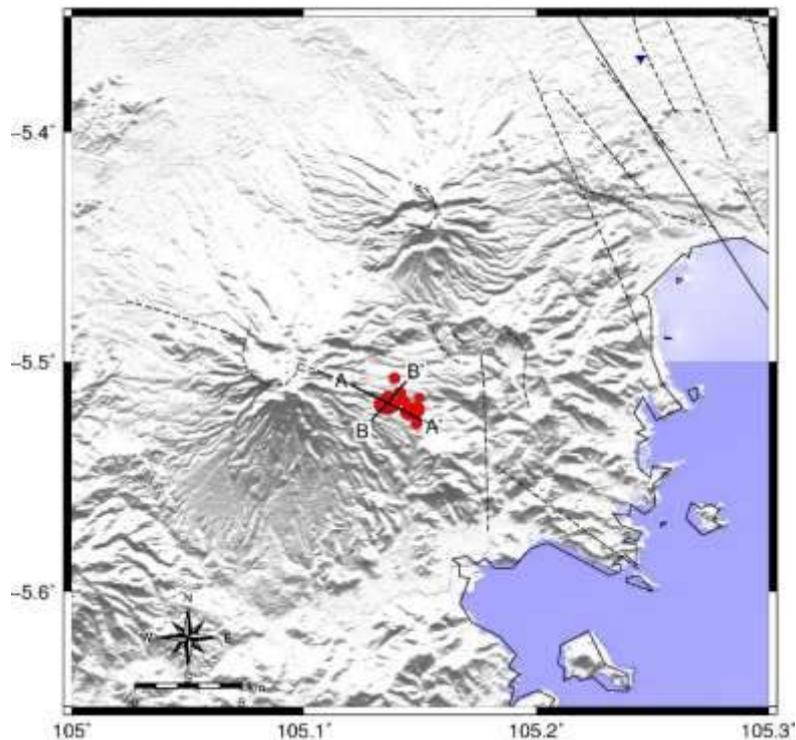
**Gambar 4.** Histogram selisih waktu tempuh antara observasi dan kalkulasi dari fase gelombang P dan S untuk setiap pasang *event* gempa bumi.

**PETA SEBELUM RELOKASI**



**Gambar 5.** Sebaran episenter gempa bumi *swarm* Pesawaran 5-16 Januari 2021. Titik merah merupakan letak episenter. Garis putus-putus yang melintasi episenter adalah terduga Sesar Menanga. Garis A-A' dan B-B' adalah garis yang digunakan untuk membuat sayatan terhadap kedalaman.

## PETA SESUDAH RELOKASI



**Gambar 6.** Seperti Gambar 5 setelah direlokasi.

Sayatan melintang A-A' dan B-B' dibuat pada kedua peta sebelum dan setelah relokasi untuk melihat sebaran hiposenter dengan lebih detail (Gambar 7a, 7b dan Gambar 8a, 8b). Sayatan dibuat secara sejajar dan tegak lurus terhadap arah persebaran episenter. Meskipun sebaran episenter sebelum relokasi sudah menunjukkan kecenderungan di atas terduga Sesar Menanga, namun apabila diamati dari sayatan kedalaman pada Gambar 7a dan Gambar 8a, kedalaman hiposenter sebelum relokasi terlihat mendatar pada kedalaman yang sama yaitu 1, 2, 3, dan 4 km. Hal ini menunjukkan bahwa hiposenter belum terdefinisi dengan baik.

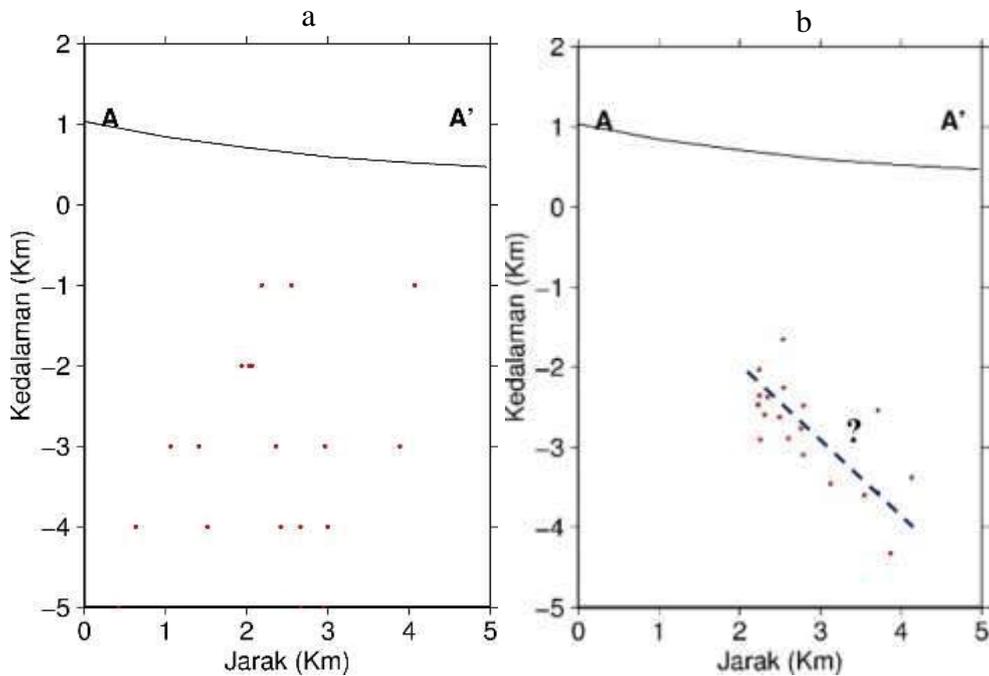
Setelah dilakukan relokasi, didapatkan sebaran kedalaman hiposenter (Gambar 7b dan Gambar 8b) yang beragam dari kedalaman 1,5 km – 4,5 km dengan distribusi kedalaman ke arah A' dan B' semakin dalam (Timur – Timur Laut). Arah vektor perpindahan lokasi hiposenter dapat diamati pada Gambar 9. Perubahan posisi cukup signifikan, terlihat bahwa terdapat 2

kluster, yang memusat di Selatan dan yang menyebar di Utara terduga Sesar Menanga.

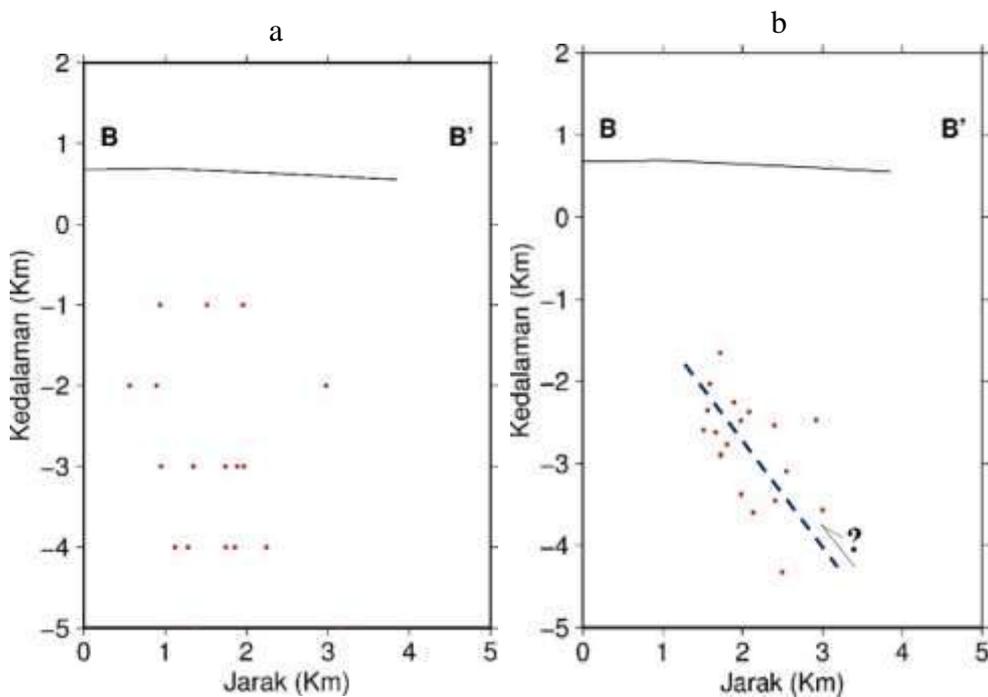
Berkaitan dengan letak hiposenter pada terduga Sesar Menanga, informasi mengenai jenis sesar ini masih sangat minim. Hasil sayatan hiposenter B-B' memperlihatkan adanya kecenderungan sebaran hiposenter yang miring ke arah Timur – Timur Laut yang diduga sebagai bidang sesar (garis biru putus-putus pada Gambar 9b). Besar kemiringan diperkirakan berkisar 38-45°. Diperkirakan gempa bumi *swarm* yang terjadi merupakan hasil dari pergerakan yang diduga bidang sesar tersebut. Pergerakan bidang sesar dapat melepaskan energi dan menjalar dalam bentuk gelombang seismik. Dengan mempertimbangkan magnitudo yang tidak terlalu besar, diperkirakan tidak terjadi skema *stick-slip* pada bidang sesar tersebut. Menelaah dari sebaran hiposenter, jika dibandingkan dengan sayatan A-A' yang sejajar dengan terduga Sesar Menanga, sayatan B-B' yang tegak lurus dengan sesar ini memiliki sebaran yang lebih sempit dan

cenderung terpusat di bawah garis sesar. Kecenderungan ini diduga merepresentasikan geometri bidang sesar yang memiliki jurus (*strike*) ke arah Barat Laut dengan kemiringan ke arah Timur –

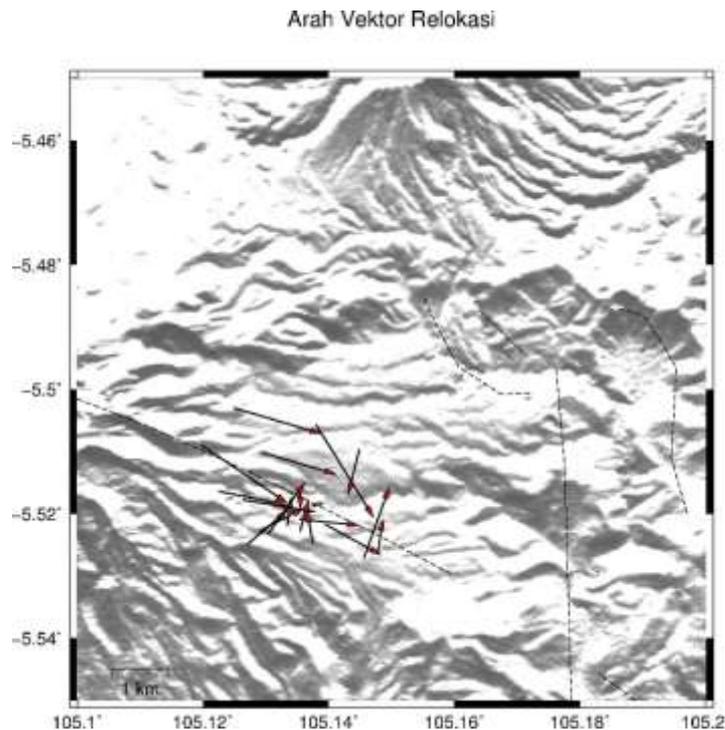
Timur Laut. Hal ini memperkuat dugaan bahwa kejadian gempa bumi *swarm* yang terjadi terbentuk dari aktifitas sesar dalam kasus ini terduga Sesar Menanga.



**Gambar 7.** Posisi kedalaman hiposenter (titik merah) gempa bumi *swarm* Pesawaran sebelum (a) dan setelah (b) relokasi hasil proyeksi dari semua titik terhadap sayatan A-A'.



**Gambar 8.** Seperti Gambar 5 untuk hiposenter hasil relokasi.



**Gambar 9.** Hasil perubahan vektor posisi episenter sebelum dan sesudah relokasi (anak panah).

### Kesimpulan

Berdasarkan analisis sebaran hiposenter dan sayatan melintangnya, dapat disimpulkan bahwa penyebab gempa *swarm* Pesawaran pada Januari 2021 adalah adanya aktivitas Sesar Menanga yang sebelumnya masih terduga sesar.

### Ucapan Terima Kasih

Kami mengucapkan terima kasih kepada pihak BMKG Kotabumi Kelas III, Lampung Utara yang telah memberikan data dan membantu melakukan pengolahan data. Kami juga mengucapkan terimakasih kepada ITERA yang telah memberikan dana hibah penelitian untuk melakukan penelitian ini. Terakhir, kami mengucapkan terima kasih kepada Mohammad Tri Fitrianto S.Si, M.Sc. yang telah menjadi editor artikel ini.

### Daftar Pustaka

Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG). 2018. @InfoBMKG. [Online]. [Accessed 21

February 2021]. Available from: <https://twitter.com/infoBMKG/status/1169528905591427072>

Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG). 2021. *Katalog Gempa bumi*. [Online]. [Accessed 21 February 2021]. Available from: [http://repogempa.bmkg.go.id/repo\\_new/](http://repogempa.bmkg.go.id/repo_new/)

Fréchet, J. 1985. *Sismogenèse et doublets sismiques*. Thèse d'Etat, Univ. Sci. et Méd. De Grenoble, Grenoble, France, pp. 206. [http://east.ustrasbg.fr/jv/geoarchive/Doublets/Frechet\\_These\\_1985ocr.pdf](http://east.ustrasbg.fr/jv/geoarchive/Doublets/Frechet_These_1985ocr.pdf)

Gomberg, J.S., Shedlock, K.M., and Roecker, S.W. 1990. *The effect of S-wave arrival times on the accuracy of hypocenter estimation*. Bull. Seismol. Soc. Am. 80(6A), pp. 1605-1628.

Got, J.L., Fréchet, J., and Klein, F.W. 1994. *Deep fault plane geometry inferred from multiplet relative relocation beneath the south flank of Kilauea*. J. Geophys. Res. 99(B8), pp. 15.375–15.386. <https://doi.org/10.1029/94JB00577>

Laske, G., Masters, G., Ma, Z. and

- Pasyanos, M. 2013. *Update on CRUST1.0 - A 1-degree Global Model of Earth's Crust*. Geophys. Res. Abstracts, 15, Abstract EGU 2013-2658.
- Mangga, S.A., Amirudin, Suwarti, T., Gafoer, S., dan Sidarto. 1993. *Peta Geologi Lembar Tanjung Karang, Sumatera (skala 1:250.000)*. Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- McCaffrey, R. 1991. *Slip Vectors and Stretching of the Sumatran Fore Arc*. Geology. 19(9), p. 881-884. [https://doi.org/10.1130/0091-7613\(1991\)019<0881:SVASOT>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(1991)019<0881:SVASOT>2.3.CO;2)
- Putri, M.K., Suharno, dan Hidayatika, A. 2014. *Introduction to Geothermal System of Way Ratai*. In Indonesia International Geothermal Convention & Exhibition 4-6 June 2014, Jakarta Convention Center, Indonesia.
- Passarelli, L., Heryandoko, N., Cesca, S., Rivalta, E., Rohadi, S., Dahm, T., and Milkereit, C. 2018. *Magmatic or not magmatic? The 2015-2016 seismic swarm at the long-dormant Jailolo Volcano, West Halmahera, Indonesia*. Front. Earth Sci. 6, p.79. <https://doi.org/10.3389/feart.2018.00079>
- Sianipar, D., Sipayung, R., and Ulfiana, E. 2020. *Excessive seismicity over a limited source: the August 2019 earthquake swarm near Mt. Salak in West Java (Indonesia)*. J. Seismol. 24, pp 1189-1204. <https://doi.org/10.1007/s10950-020-09957-w>
- Vavryčuk, V., and Hrubcová, P. 2017. *Seismological evidence of fault weakening due to erosion by fluids from observations of intraplate earthquake swarms*. J. Geophys. Res.: Solid Earth 122(5), pp. 3701-3718. <https://doi.org/10.1002/2017JB013958>
- Waldhauser, F., Ellsworth, W.L., 2000. *A double-difference earthquake location algorithm: Method and application to the northern Hayward Fault, California*. Bull. Seismol. Soc. Am. 90, pp. 1353–1368. <https://doi.org/10.1785/0120000006>.
- Zobin, V.M., and Ivanova, E.I. 1994. *Earthquake swarms in the Kamchatka-Commander Region*. Geophys. J. Int. 117(1), pp. 33-47. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.1994.tb03302.x>



### Indexing and Abstracting



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



ISSN 2579-5546



97700

