

**PEMETAAN ZONASI INDEKS KERENTANAN SEISMIC PADA DAERAH  
PASCA TAMBANG DI PT.BUKIT ASAM (PERSERO) TBK. UNIT  
PENAMBANGAN OMBILIN, SAWAHLUNTO**



**DOLI ALI FITRI**

**PROGRAM STUDI S1 TEKNIK PERTAMBANGAN**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS NEGERI PADANG**

**Februari 2018**

## **PERSETUJUAN PEMBIMBING**

### **PEMETAAN ZONASI INDEKS KERENTANAN SEISMIK PADA DAERAH PASCA TAMBANG DI PT.BUKIT ASAM (PERSERO) TBK. UNIT PENAMBANGAN OMBILIN, SAWAHLUNTO**

**DOLI ALI FITRI**

Artikel ini disusun berdasarkan tugas akhir Doli Ali Fitri untuk persyaratan Wisuda periode Maret 2018 dan telah direvisi dan disetujui oleh kedua pembimbing.

Padang, Februari 2018

**Pembimbing I**

**Pembimbing II**

**Adree Octova, S.Si, M.T**  
**NIP. 19861028 201212 1 003**

**Yoszi M. Anaperta, S.T, M.T**  
**NIP. 19790304 200801 2 010**

# PEMETAAN ZONASI INDEKS KERENTANAN SEISMIK PADA DAERAH PASCA TAMBANG DI PT.BUKIT ASAM (PERSERO) TBK. UNIT PENAMBANGAN OMBILIN, SAWAHLUNTO

Doli Ali Fitri<sup>1</sup>, Adree Octova<sup>2</sup>, Yoszi Mingsi Anaperta<sup>3</sup>  
Teknik Pertambangan  
FT Universitas Negeri Padang  
Email : *doli\_fitry@gmail.com*

*The microtremor survey and research was conducted on December 10, 2017 in Tanah Hitam and Kandi, Sawahlunto. The aim of this study was to determine the value of seismic vulnerability index and its microzonation at ex-mining land PT.BA UPO. The area of this study was in Tanah Hitam and Kandi by taking the microtremor data of 15 locations. The microtremor data were then processed using Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSR) method to get H/V curve which generates dominant frequency ( $f_0$ ) value and amplification factor ( $A$ ) at every observation point, which will be used in the seismic vulnerability index calculation ( $K_g$ ). Seismic vulnerability index microzonation was generated using Surfer11 software. The results showed that the value of seismic vulnerability index in the ex-mining land area is between  $-5 \times 10^{-6} \text{ s}^2/\text{cm} - 75 \times 10^{-6} \text{ s}^2/\text{cm}$  which is categorized as low to high. The low results of seismic vulnerability index ( $K_g$ ) microzonation located in the Kandi part of ex-mining land area was indicated by values between PND 4 is between  $0 \times 10^{-6} \text{ s}^2/\text{cm} - 5 \times 10^{-6} \text{ s}^2/\text{cm}$ . The medium results of seismic vulnerability index ( $K_g$ ) microzonation value indicated by the value of  $4 \times 10^{-6} \text{ s}^2/\text{cm}$  sampai  $10 \times 10^{-6} \text{ s}^2/\text{cm}$  was indicated by values between  $2 \times 10^{-6} \text{ s}^2/\text{cm} - 10 \times 10^{-6} \text{ s}^2/\text{cm}$  spread over PND 1 point, PND 10, PND 11, PND 12 and PND 15. For microzonation results high seismic susceptibility index is damaged at point PND 3, PND 5, PND 6, PND 7, PND 8, PND 9, PND 13 and PND 14 with values ranging from  $10 \times 10^{-6} \text{ s}^2/\text{cm}$  to  $34 \times 10^{-6} \text{ s}^2/\text{cm}$ . And the result of microzonation index of high seismic susceptibility with value of  $40 \times 10^{-6} \text{ s}^2/\text{cm}$  to  $48 \times 10^{-6} \text{ s}^2/\text{cm}$  at point PND 2 and PND 8. Based on the value of the shear wave velocity ( $V_{s30}$ ) the area has a very dense soil and soft rock with a very dense sand or clay end, gravel, at a thickness of several tens of meters. Material composers of alluvial rock formed from delta sedimentation, top soil, mud, etc.*

**Keywords:** *Ex-Mining of PT.BA UPO, Horizontal to Vertical Spectral Ratio, Microtremor, Seismic Vulnerability Index*

---

## **Pendahuluan**

Lahan pasca tambang merupakan daerah atau tanah yang tercipta karena proses penambangan yang sudah berhenti. Tanah pada daerah pasca tambang umumnya mengalami kerusakan yang parah. Ini disebabkan karena bahan tambang berada jauh dibawah permukaan bumi dan untuk

mendapatkan bahan tambang tersebut tanah yang ada di atasnya harus disingkirkan. Kegiatan ini mengakibatkan berbagai perubahan sehingga unsur hara pada lahan tersebut terganggu. Salah satu contoh dari lahan pasca tambang terdapat di PT Bukit Asam (Persero) Tbk Unit Penambangan

Ombilin (PT.BA UPO) yang berada di Sawahlunto, Sumatera Barat.

Kota Sawahlunto merupakan salah satu daerah yang rawan terhadap longsor. Berdasarkan data kejadian longsor dari Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD) Kota Sawahlunto tahun 2014, terdapat dua lokasi kejadian tanah longsor di kota Sawahlunto, salah satunya berada di kawasan PT.BA UPO (Dewinta, G. dkk.2014). Ini dibuktikan dengan keretakan jalan dan kondisi tanah di PT.BA UPO yang terus mengalami penurunan. Salah satu penyebabnya yaitu proses penimbunan tanah bekas tambang yang tidak merata maupun pergeseran tanah saat terjadi perambatan gelombang seismik.

Gelombang seismik merupakan gelombang yang merambat melalui bumi. Perambatan gelombang seismik tergantung pada sifat elastisitas batuan. Perambatan gelombang yang terjadi didalam lapisan batuan yang ditimbulkan dari getaran atau

goncangan dapat mengakibatkan terganggunya keseimbangan batuan sehingga terjadi pergeseran dan menyebabkan deformasi (perubahan bentuk) pada batuan.

Salah satu cara untuk mengetahui suatu daerah rawan mengalami kerusakan akibat perambatan gelombang seismik yaitu melakukan pemetaan indeks kerentanan seismik disekitar wilayah PT.BA UPO. Indeks kerentanan seismik merupakan indeks yang menggambarkan tingkat kerentanan permukaan tanah saat terjadinya gempa bumi. Wilayah yang memiliki nilai indeks kerentanan seismik yang tinggi menggambarkan suatu area yang menunjukkan daerah yang rentan mengalami kerusakan dan pergeseran tanah.

Indeks kerentanan seismik dapat ditentukan dengan menggunakan metode HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) dari data mikrotremor. Dimana metode HVSR ini digunakan untuk mendapatkan nilai frekuensi dominan dan amplifikasi dari

data mikrotermor. Pengukuran mikrotremor adalah salah satu teknik yang digunakan untuk mendeteksi struktur lapisan batuan dibawah permukaan. Oleh sebab itu, mikrotremor sangat tepat digunakan untuk mendeteksi lapisan lapisan bawah permukaan yang rawan mengalami kelongsoran.

Penelitian mikrotremor dapat mengetahui karakteristik lapisan tanah berdasarkan parameter periode dominannya dan faktor penguatan gelombangnya (amplifikasi). Gelombang mikrotremor ada dua teori yang menerangkan terjadinya gelombang mikroseismik menurut Febriani, Y. dkk., 2013 yaitu sebagai berikut:

- a. Teori pantai yang menyatakan bahwa gelombang mikroseismik berasal dari aktivitas ombak yang memecah pantai yang curam.
- b. Teori siklon yang menyatakan bahwa gelombang ini berasal dari aktifitas angin siklon di atas laut dalam.

Dalam kajian teknik kegempaan, litologi yang lebih lunak mempunyai resiko yang lebih tinggi bila digoncang gelombang gempabumi, karena akan mengalami penguatan (amplifikasi) gelombang yang lebih besar dibandingkan dengan batuan yang lebih kompak. (Arifin, S. 2013). Adapun parameter pengukuran mikrotremor yaitu sebagai berikut :

a. Amplifikasi (A)

Amplifikasi merupakan perbesaran gelombang seismik yang terjadi akibat adanya perbedaan yang signifikan antar lapisan, Klasifikasi faktor amplifikasi dapat dibagi ke dalam 4 zona yaitu rendah, sedang, tinggi dan sangat tinggi.

Tabel 2. Klasifikasi nilai faktor Amplifikasi

Zona	Klasifikasi	Nilai Amplifikasi
1	Rendah	$A < 3$
2	Sedang	$3 \leq A < 6$
3	Tinggi	$6 \leq A < 9$
4	Sangat tinggi	$A \geq 9$

b. Frekuensi dominan ( $f$ )

Menurut Arifin, S. 2013 dalam Jurnal Geofisika Eksplorasi vol.2 no.1 Frekuensi dominan adalah nilai frekuensi yang kerap muncul sehingga diakui sebagai nilai frekuensi dari lapisan batuan di wilayah tersebut sehingga nilai frekuensi dapat menunjukkan jenis dan karakteristik batuan tersebut.

c. Indeks Kerentanan Seismik ( $Kg$ )

Indeks kerentanan seismik ( $kg$ ) adalah indeks yang menggambarkan tingkatan kerentanan lapisan tanah permukaan terhadap devormasi saat terjadinya gempa bumi (Febriani, Y. dkk., 2013). Menurut Nakamura (2000) indeks kerentanan seismik diperoleh dengan mengkuadratkan nilai puncak spektrum mikrotremor dibagi frekuensi resonansi yang dirumuskan sebagai berikut:

$$Kg = A^2 / f$$

Dimana  $Kg$  = indeks kerentanan seismik

$A$  = amplifikasi

$f$  = frekuensi dominan

Beberapa hasil penelitian sebelumnya, menunjukkan adanya korelasi positif antara distribusi nilai  $Kg$  dengan kerusakan akibat gempa bumi. Dimana  $Kg$  yang tinggi berarti daerah tersebut rawan akan kerusakan yang berarti batuan disana tersusun dari batuan yang lunak. Sebaliknya  $Kg$  yang rendah berarti daerah tersebut aman akan kerusakan (Labertta, S., dkk.2013)

d. Metode HVSR (Horizontal – Vertical Spectral Ratio)

Metode *HVSR* merupakan metode yang digunakan sebagai indikator struktur bawah permukaan tanah yang memperlihatkan hubungan antara perbandingan - perbandingan rasio spektrum fourier dari sinyal mikrotremor komponen horizontal

terhadap komponen vertikalnya (Nakamura, 1989). Metode *HVSR* merupakan metode membandingkan spektrum komponen horizontal terhadap komponen vertikal dari gelombang mikrotremor.

Konsep dasar metode HVSR adalah adanya kesamaan antara rasio spektra horizontal ke vertikal dengan tranfer gelombang dari batuan dasar ke permukaan. Nakamura menyampaikan bahwa periode dominan dan nilai puncak dari spektra rasio (H/V) mempunyai kesamaan dengan periode natural dan faktor amplifikasi dari tanah.

**e Kecepatan Geser Kedalaman 30 m (Vs30)**

Adapun klasifikasi nilai *Vs30* (kecepatan gelombang geser pada kedalaman maksimum 30 m) berdasarkan *Uniform Building Code* (UBC) ditunjukkan pada Tabel 5

Tabel 5. Klasifikasi Jenis Batuan berdasarkan *Uniform Building Code* (UBC) (Nurrahmi, dkk., 2015)

Tipe Batuan	Profil jenis batuan	<i>Vs30</i>
A	<i>Hard Rock</i> (batuan keras)	>15000 m/s
B	<i>Rock</i> (batuan sedang)	760-1500 m/s
C	<i>Very dense soil and soft rock</i> (tanah sangat padat dan batuan lunak )	360-760 m/s
D	<i>Stiff Soil</i> (tanah sedang)	180-360 m/s
E	<i>Soft Soil</i> (tanah lunak)	<180m/s

Pada PT.BA UPO belum adanya analisis tentang indeks kerentanan seismik. Analisis indeks kerentanan seismik ini menghasilkan pemetaan zonasi daerah pasca tambang. Dari hasil penelitian ini dapat memberikan keputusan kondisi di daerah pasca tambang dan menjadi salah satu tinjauan pemerintah daerah dalam mengatur tata ruang serta pembangunan yang akan dilakukan untuk kedepannya.

## Metode penelitian

Berdasarkan jenis data yang diperoleh, teknis analisis data menggunakan data kuantitatif, yaitu dengan mengolah dan kemudian disajikan dalam bentuk tabel dan grafik. Untuk mempresentasikan hasil pengolahan data tersebut kemudian dianalisis menggunakan metode statistik dan presentasi. Penelitian dilakukan dengan menggunakan alat *microseismic* yaitu *Recorder SL06 Seismograph* dan *Lennartz SL-3D/5S*. Penelitian ini dilakukan dalam beberapa tahap, yaitu :

### 1. Tahap Pendahuluan

#### 1). Observasi Lapangan

Kegiatan ini dilakukan selama satu minggu untuk melihat permasalahan aktual yang ada di lapangan.

#### 2). Perumusan Masalah

Rumusan masalah disusun berdasarkan observasi lapangan dan data peta geologi untuk menjawab permasalahan dan menentukan solusi terhadap kerentanan tanah dalam

mengurai bencana dan pembangunan tata ruang di sekitar wilayah penelitian

### 2. Tahap Pengambilan Data

#### 1). Survei

Persiapan penting yang dilakukan sebelum pengambilan data adalah melakukan survei ke titik lokasi pengambilan data. Hal ini bertujuan untuk mempermudah dan mempersingkat waktu kegiatan saat pengambilan data. Untuk mencari titik-titik yang telah ditentukan pada peta rancangan tersebut dipergunakan GPS .



Gambar 11. Titik lokasi penelitian setelah dilakukan survei

## 2). Pengambilan Data

### 1) Data kordinat $x$ , $y$

Data koordinat  $x$  dan  $y$  didapatkan dari GPS ataupun dari pemetaan di *Google Earth*. Sebelum melakukan penelitian kelokasi, terlebih dahulu lokasi dipetakan menggunakan *Google Earth* dan ditentukan titik-titiknya yaitu sebanyak 15 titik. Dari *Google Earth* akan diketahui juga nilai  $x$  dan  $y$ . GPS fungsinya untuk menyesuaikan titik yang telah kita tentukan di peta tadi.

### 2) Data amplifikasi dan frekuensi

Data ini didapatkan dengan cara meletakkan alat *seismometer* dititik lokasi penelitian. Kemudian didapatkan data mikrotremor dan diolah menggunakan software *geopsy* sehingga mendapatkan nilai amplifikasi dan frekuensi. Pengambilan data dilakukan dengan

pengukuran sinyal mikrotremor di 15 titik sampel selama 30 menit sampai 1 jam pertitik. Saat proses pengambilan data diusahakan para peneliti untuk mengurangi gerakan yang mengakibatkan adanya getaran sehingga mempengaruhi hasil analisis HVSR. Data mikrotremor akan tersimpan secara otomatis didalam *Recorder SL06* yang terhubung oleh laptop.

### 3) Kecepatan gelombang geser ( $V_s$ )

Kecepatan gelombang geser yang digunakan dalam menentukan nilai ketebalan lapisan sedimen yaitu Kecepatan gelombang geser pada kedalaman 30m ( $V_{s30}$ ). Untuk mencari nilai  $V_{s30}$  melalui *webside* resmi USGS.

### 4). Pengambilan Data sekunder

- a Kolom stratigrafi daerah sekitar
- b Peta geologi daerah sekitar

### 3. Tahapan pengolahan data

Dari hasil akuisisi data mikrotremor diolah menggunakan *software geopsy*. Pengolahan data menggunakan metode HVSR untuk mengetahui nilai amplifikasi dan frekuensi dominan sehingga dapat dihitung nilai kerentanan seismik dilokasi penelitian. Dari nilai indeks kerentanan seismik akan didapatkan keputusan apakah daerah tersebut rawan atau tidaknya mengalami kerusakan. Selanjutnya untuk kecepatan gelombang geser yang di analisis yaitu pada kedalaman 30 m. Dimana nilai Vs30 didapatkan dari *webside* resmi USGS. Setelah itu dilakukan pemetaan indeks kerentanan seismik dilokasi penelitian menggunakan *software Surfer 11*.

### 4. Tahapan analisis data

Data yang diperoleh diolah dengan menggunakan *software geopsy*. Proses pengolahan data tersebut dilakukan dengan memilih data mikrotremor berupa sinyal yang tidak mengandung *noise* dengan

panjang data 25 detik tiap *window*. Setiap 1 detik mempunyai 100 data dan dilakukan pemilihan data dengan jumlah minimum *window* sebanyak 10 pada setiap titik penelitian. Masing-masing *window* dari 3 komponen yaitu vertikal (*Up and Down*), horizontal (*North-South*), dan horizontal (*East-West*) yang tersimpan dalam format *Excel Workbook*.

Data data tersebut dianalisis dengan metode HVSR yang didapatkan dari akar kuadrat amplitudo spektrum horinzontal dibagi spektrum vertikal menghasilkan nilai H/V untuk masing-masing *window*. Dari analisis HVSR diperoleh kurva HVSR yang menunjukkan nilai frekuensi dominan dan amplifikasi. Dari nilai ini akan didapatkan nilai indeks kerentanan seismik (kg

Selanjutnya untuk kecepatan gelombang geser yang di analisis yaitu pada kedalaman 30 m (Vs30). Dimana nilai Vs30 didapatkan dari *website* resmi USGS. Frekuensi dominan, amplifikasi dan indeks

kerentanan seismik dari hasil pengolahan data mikrotremor, dimana semua parameter akan dianalisis menggunakan program *Surfer*. Sehingga dapat digunakan untuk pemetaan zonasi indeks kerentanan seismik di daerah penelitian. Dari hasil indeks kerentanan seismik akan didapatkan keputusan bahwasanya daerah tersebut rentan atau tidaknya mengalami kerusakan. Untuk menentukan jenis batuan serta karakteristik tanah di sekitar lokasi penelitian dapat dilihat melalui Tabel 5 pada dasar teori. Peta geologi setempat digunakan untuk mencocokkan hasil yang didapatkan dari data mikrotremor dengan keadaan geologinya.

### **Hasil dan pembahasan**

Hasil yang diperoleh dari penelitian ini adalah nilai dan peta indeks kerentanan seismik di kawasan pasca tambang PT.BA UPO tepatnya di Tanah Hitam dan Kandi, Sawahlunto, Sumatera Barat. Dalam penelitian ini pengolahan data mikrotremor menggunakan metode HVSR yang

menghasilkan kurva H/V. Konno dan Ohmachi (1998) berpendapat bahwa kurva H/V dibentuk dari gelombang sekunder, namun efek gelombang Rayleigh yang besar dapat mempengaruhi bentuk dari kurva H/V sehingga merupakan *noise* yang harus dihilangkan. Kurva H/V menghasilkan nilai frekuensi dominan ( $f_0$ ) dan faktor amplifikasi ( $A$ ) yang digunakan dalam perhitungan indeks kerentanan seismik ( $K_g$ ). Nilai frekuensi dominan ( $f_0$ ), faktor amplifikasi ( $A$ ) diolah sehingga menghasilkan nilai indeks kerentanan seismik dan dipetakan di *Surfer 11*. Hal ini dilakukan untuk mengetahui sebaran tingkat kerentanan suatu daerah saat adanya getaran alami dari bumi.

#### *A. Frekuensi dominan*

Frekuensi dominan ( $f_0$ ) di kawasan pasca tambang PT.BA UPO diperoleh dari sumbu horizontal pada puncak kurva H/V. Secara teoritis nilai frekuensi dominan tanah merupakan cerminan kondisi fisik tanah tersebut. Tanah atau batuan lunak akan

mempunyai periode getaran yang panjang dan begitu juga sebaliknya. Hal ini dikarenakan batuan lunak memiliki nilai frekuensi dominan yang relatif rendah. Sedangkan penguatan gelombang pada saat terjadinya getaran atau guncangan sangat dipengaruhi oleh ketebalan lapisan sedimen dan litologi daerah tersebut. Lapisan sedimen merupakan lapisan yang tersusun oleh pengendapan batuan sedimen di atas satu sama lain. Semakin tebal lapisan sedimen akan menghasilkan nilai frekuensi dominan yang kecil. Rendahnya nilai frekuensi dominan disebabkan oleh tebalnya material sedimen halus di dataran aluvial. Sedangkan tingginya frekuensi dominan disebabkan oleh tipisnya sedimen pada singkapan batuan dasar.

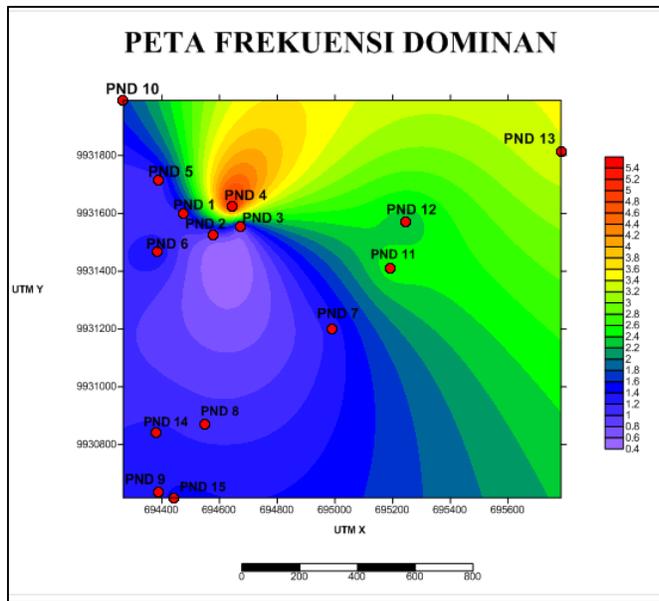
Dari hasil pengukuran dilapangan dan setelah dilakukan analisis data maka didapatkan nilai frekuensi dominan di masing-masing titik pengukuran. Adapun

hasil yang didapatkan dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Nilai Frekuensi Dominan dimasing masing titik pengukuran

TITIK (PND)	utm x	utm y	Frekuensi dominan
1	694477	9931598	1,174
2	694576	9931523	0,781
3	694672	9931552	0,783
4	694644	9931623	5,426
5	694390	9931715	1,098
6	694386	9931466	1,421
7	694989	9931199	1,27
8	694549	9930871	1,101
9	694387	9930634	1,316
10	694267	9931991	1,735
11	695192	9931408	2,382
12	695247	9931572	2,246
13	695783	9931815	3,382
14	694379	9930840	1,26
15	694443	9930616	1,469

Dari nilai frekuensi dominan disetiap titik penelitian dapat dibuat peta mikrozonasi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 14.



Gambar 14. Peta Mikrozonasi Frekuensi Dominan ( $f_0$ ) dikawasan pasca tambang PT.BA UPO, Tanah Hitam dan Kandi.

Berdasarkan hasil mikrozonasi pada Gambar 14 diketahui nilai frekuensi dominan terendah terdapat pada titik PND 2 yaitu berkisaran 0,6 – 0,8 Hz yang berada pada warna ungu muda di skala warna gambar 14. Mengacu pada Tabel 3 terdapat klasifikasi tanah yang menyebabkan nilai frekuensi dominan ( $f_0$ ) dibawah 2,5 Hz tersusun dari batuan aluvial yang terbentuk dari sedimen delta, *top soil*, lumpur dan lain-lainnya, serta ketebalan sedimen pada permukaannya sangat

tebal yaitu dengan ketebalan 30m atau lebih. Dimana ini tergolong pada klasifikasi tanah Tipe II dan Tipe I. Diketahui bahwa daerah penelitian berada di taman Bung Hatta yang baru saja dibuat dan belum selesai dalam proses pengerjaannya.

Diketahui juga nilai frekuensi dominan paling besar terdapat pada titik PND 4 dengan nilai 5,2 Hz – 5,4 Hz lebih. Titik PND 4 memiliki warna oranye terang. Dengan klasifikasi tanah berada pada Tipe IV Jenis 1 yang tersusun dari batuan aluvial dengan ketebalan sedimen 5 m yang terdiri dari batuan *sandy gravel*, *sandy Hard*, *loam*, dll. Dengan ketebalan sedimen permukaan masuk dalam kategori menengah sekitar 5 sampai 10 meter..

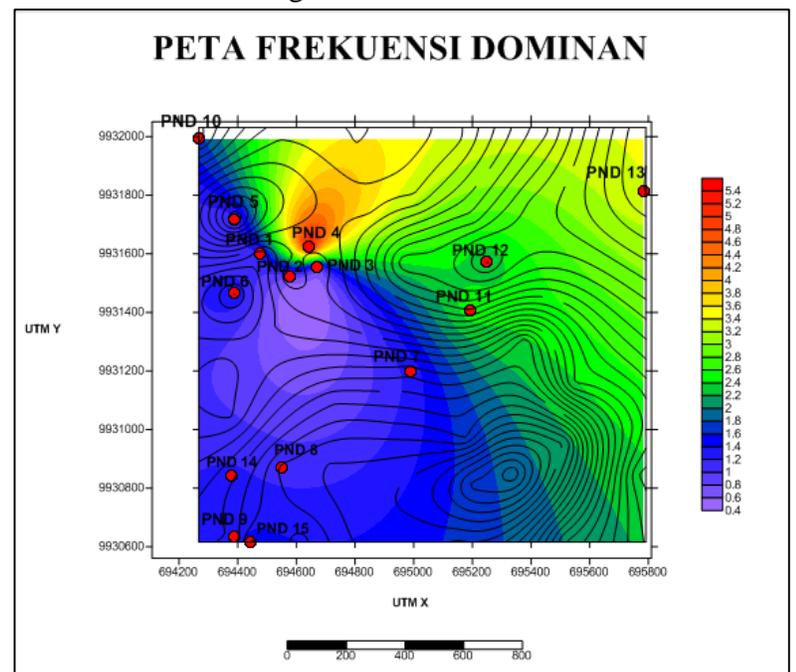
Selanjutnya titik PND 3, PND 8, PND 15, PND 9, PND 7, PND 14, PND 6, PND 1, PND 5, PND 10, PND 12, dan PND 11 memiliki nilai frekuensi

dominan berkisar 0.6 Hz – 2,4 Hz. Sama halnya dengan titik PND 2 nilai frekuensi dominan ( $f_0$ ) dibawah 2,5 Hz tersusun dari batuan aluvial yang terbentuk dari sedimen delta, *top soil*, lumpur dan lain-lainnya, serta ketebalan sedimen pada permukaannya sangat tebal yaitu dengan ketebalan 30m atau lebih.

Dan yang terakhir titik PND 13 memiliki nilai 3,2 Hz – 3,4 Hz. Dimana nilai frekuensi dominan 2,5 Hz – 4 Hz berada pada tipe III tersusun dari batuan aluvial dengan ketebalan > 5 m, terdiri dari *sandy gravel*, *sandy hard clay*, *loam*, dll dengan ketebalan sedimen permukaan termasuk dalam kategori tebal sekitar 10 sampai 30 m. Titik PND 13 memiliki warna kuning terang pada skala warna di gambar 14.

Dapat disimpulkan, daerah dengan frekuensi dominan rendah terdapat sedikit endapan alluvium yang

sebagian besar berupa tanah lunak, yang cenderung mengalami penguatan guncangan yang tinggi sehingga mudah mengalami kerusakan. Untuk daerah dengan frekuensi dominan tinggi berada tergolong tanah keras, dimana daerah tersebut dapat mengalami penguatan guncangan yang kecil sehingga beresiko rendah mengalami kerusakan.



Gambar 15. Peta Frekuensi Dominan ( $f_0$ ) dioverlay dengan peta topografi Tanah Hitam dan Kandi dikawasan Pasca Tambang PT.BA UPO.

Berdasarkan *overlay* data dengan peta topografi tanah hitam dan kandi

yang ditunjukkan pada Gambar 15, daerah yang memiliki nilai Frekuensi dominan tertinggi yaitu titik PND 4 berada dikawasan datar dengan ketinggian sedang yaitu berkisaran 265 m sampai 270 m, dimana ini dapat dilihat pada Lampiran I. Dan nilai frekuensi dominan paling rendah yaitu PND 2 berada dikawasan datar dengan ketinggian sedang yaitu berkisaran 265 m sampai 270 m. Selanjutnya titik PND 5, PND 12 dan PND 13 berada dikawasan rendah dengan ketinggian 200 m sampai 250 m. Dan titik lainnya yaitu PND 10, PND 1, PND 3, PND 6, PND 11, PND 7, PND 8, PND 14, PND 9 dan PND 15 berada dikawasan sedang ataupun datar dengan ketinggian berkisar 260 m sampai 320 m.

Berdasarkan peta geologi daerah Sawahlunto daerah penelitian berada di Kecamatan Barangin dengan formasi brani. Dilihat pada kolom stratigrafi di

Lampiran II, dimana formasi brani litologinya yaitu sedimen kipas aluvial, batu pasir dan konglomerat. Ini berarti sesuai dengan hasil pengamatan yang dilakukan menggunakan pengukuran mikrotremor.

### ***B. Faktor Amplifikasi***

Faktor amplifikasi (A) di kawasan pasca tambang PT.BA UPO tepatnya di Kandi dan Tanah Hitam diperoleh dari sumbu vertikal puncak kurva H/V.

Faktor amplifikasi merupakan respon lapisan permukaan terhadap gelombang. Dalam kajian teknik kegempaan, litologi yang lebih lunak mempunyai resiko lebih tinggi mengalami kerusakan bila terjadinya getaran, karena akan mengalami penguatan (amplifikasi) gelombang yang lebih besar dibandingkan dengan batuan yang lebih kompak. Sehingga dapat diartikan jika nilai faktor amplifikasi (A) suatu daerah tinggi, maka saat terjadi

getaran berpotensi mengalami guncangan yang kuat dikarenakan daerah tersebut tersusun dari material yang lunak. Sebaliknya, daerah yang tersusun dari material lebih keras berpotensi mengalami kerusakan yang ringan saat terjadinya getaran, karena nilai amplifikasi di daerah tersebut rendah. Selain itu nilai faktor amplifikasi dipengaruhi oleh nilai kecepatan gelombang geser pada tubuh tanah dari permukaan sampai kedalaman 30 meter ( $V_{s30}$ ). Nilai  $V_{s30}$  inilah yang memiliki kaitan erat dengan densitas batuan (tanah lunak atau keras) dan berkaitan pula dengan nilai amplifikasi tanah (Nurrahmi, dkk., 2015).

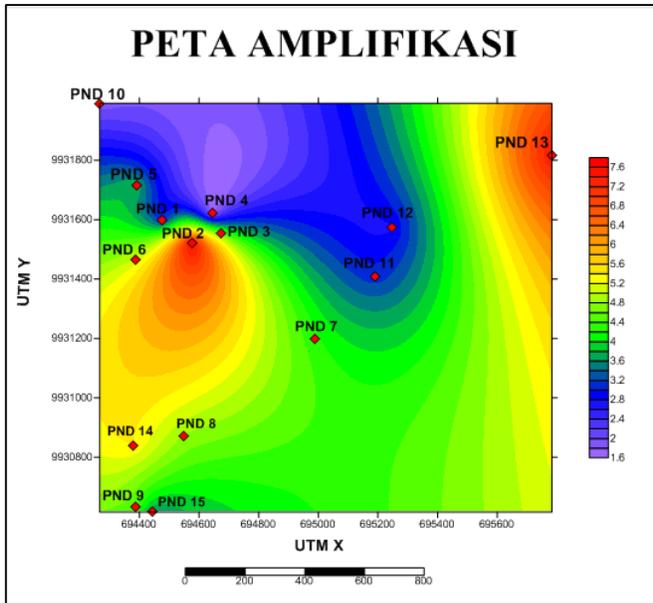
Dari hasil pengukuran dilapangan dan setelah dilakukan analisis data maka didapatkan nilai amplifikasi di kawasan pasca tambang PT.BA UPO di masing-masing titik

pengukuran. Adapun hasil yang didapatkan dapat dilihat pada Tabel 9.

Tabel 9. Nilai Amplifikasi dimasing masing titik pengukuran

TITIK (PND)	utm x	utm y	Amplif
1	694477	9931598	3,021
2	694576	9931523	7,644
3	694672	9931552	4,697
4	694644	9931623	1,75
5	694390	9931715	3,782
6	694386	9931466	5,048
7	694989	9931199	4,257
8	694549	9930871	4,773
9	694387	9930634	4,473
10	694267	9931991	1,881
11	695192	9931408	3,085
12	695247	9931572	2,78
13	695783	9931815	7,434
14	694379	9930840	5,401
15	694443	9930616	3,564

Dari hasil tersebut kemudian di buat peta mikrozonasi amplifikasi di kawasan pasca tambang PT.BA UPO Kandi dan Tanah Hitam yang ditunjukkan pada Gambar 16.



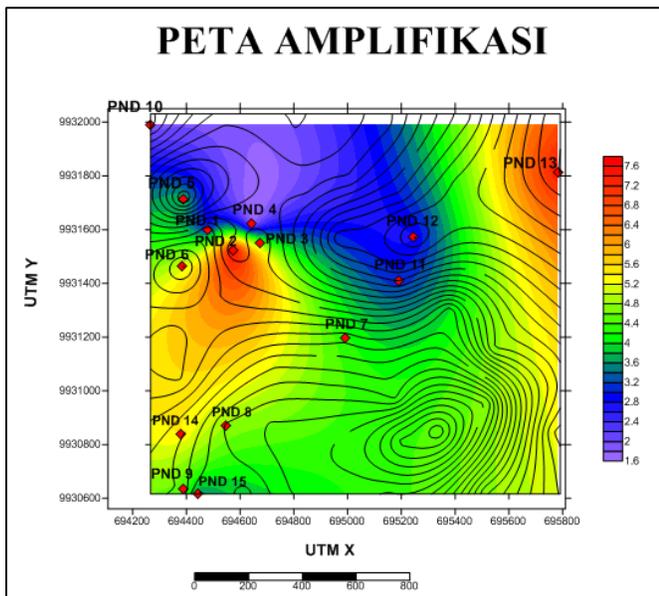
Gambar 16. Peta Mikrozonasi Amplifikasi (A) dikawasan pasca tambang PT.BA UPO, Tanah Hitam dan Kandi.

Nilai faktor amplifikasi dibagi menjadi 4 zona seperti pada Tabel 2. PND 4 merupakan daerah yang memiliki nilai amplifikasi paling rendah berkisaran 1,6 sampai 2. Dimana daerah yang memiliki nilai amplifikasi paling rendah berarti daerah tersebut tingkat

kerusakannya rendah. Dan selanjutnya Daerah penelitian dengan nilai 1,6 sampai 2,8 juga merupakan daerah dengan nilai amplifikasi rendah meliputi titik PND 1, PND 10, PND 11, dan PND 12 berarti daerah tersebut memiliki resiko rendah mengalami kerusakan. Untuk daerah dengan nilai amplifikasi berkisar 3,6 sampai 6 meliputi PND 3, PND 5, PND 6, PND 7, PND 8, PND 14, PND 9, dan PND 15 yang tergolong memiliki resiko sedang mengalami kerusakan. Sedangkan daerah bernilai 6 sampai 7,6 lebih memiliki nilai amplifikasi yang tinggi yang terdapat pada titik PND 2 dan PND 13. Pada daerah tersebut harus diwaspadai karena memiliki resiko tinggi mengalami kerusakan.

Nilai amplifikasi bisa bertambah jika batuan telah mengalami deformasi (pelapukan) yang mengubah sifat fisik batuan. Dengan kata lain, pada batuan yang sama nilai amplifikasinya akan

berbeda beda sesuai dengan tingkat deformasi batuan tersebut. Hal ini yang menjadi acuan penulis bahwa daerah yang memiliki nilai amplifikasi yang tinggi memiliki resiko yang tinggi mengalami kerusakan.



Gambar 17. Peta Amplifikasi (A) dioverlay dengan peta topografi Tanah Hitam dan Kandi dikawasan Pasca Tambang PT.BA UPO.

Berdasarkan *overlay* data dengan peta topografi tanah hitam dan kandi yang ditunjukkan pada Gambar 17, daerah yang memiliki nilai Amplifikasi tertinggi yaitu titik PND 2 berada di kawasan dengan ketinggian datar sampai sedang dengan ketinggian berkisaran 260

m sampai 300 m. Sedangkan titik PND 13 yang juga memiliki nilai amplifikasi tinggi berada di dataran rendah dengan ketinggian berkisaran 200 m sampai 210 m. Titik PND 5, PND 11 dan PND 12 yang memiliki nilai amplifikasi rendah berada dikawasan rendah dengan ketinggian berkisaran 230 m sampai 250 m. Sedangkan titik lainnya dengan nilai amplifikasi sedang yaitu titik PND 1, PND 4, PND 3, PND 2, PND 6, PND 9, PND 14 dan PND 15 berada dikawasan sedang atau datar dengan ketinggian berkisaran 270 m sampai 320 m. Untuk daerah dengan nilai amplifikasi terendah yaitu titik PND 10 berada dikawasan dengan ketinggian sedang atau datar yaitu berkisaran 290 m sampai 300 m.

Berdasarkan peta geologi daerah Sawahlunto daerah penelitian berada di Kecamatan Barangin dengan formasi brani. Dilihat pada kolom statigrafi di Lampiran II, dimana formasi brani

litologinya yaitu sedimen kipas aluvial, batu pasir dan konglomerat. Ini berarti sesuai dengan hasil pengamatan yang dilakukan menggunakan pengukuran mikrotemor.

### C. *Indeks Kerentanan Seismik ( $K_g$ )*

Indeks kerentanan seismik ( $K_g$ ) merupakan indeks yang menunjukkan kerentanan lapisan tanah yang terdeformasi. Oleh karena itu, nilai indeks kerentanan seismik ( $K_g$ ) berguna untuk mendeteksi zona lemah (*unconsolidated sediment*) atau kawasan yang berpotensi akan terjadi kerusakan, dan rekahan tanah saat terjadinya perambatan gelombang. Semakin tinggi nilai indeks kerentanan seismik ( $K_g$ ) di daerah tersebut, maka tingkat jumlah kerusakan semakin tinggi. Hal ini dapat terjadi karena semakin tinggi nilai indeks kerentanan seismik ( $K_g$ ) suatu daerah maka tingkat kestabilan struktur tanah pada daerah tersebut semakin rendah,

maka saat terjadi guncangan kemungkinan kerusakan yang ditimbulkan akan semakin tinggi. Dimana satuan dari  $K_g$  adalah ( $\times 10^{-6} \text{ s}^2/\text{cm}$ ). Dalam penelitian Nakamura (2000), menunjukkan bahwa daerah yang sering terkena kerusakan memiliki nilai indeks kerentanan seismik ( $K_g$ ) besar dari  $10 \times 10^{-6} \text{ s}^2/\text{cm}$ , sedangkan untuk daerah yang minim kerusakan memiliki nilai indeks kerentanan seismik ( $K_g$ ) kurang dari  $10 \times 10^{-6} \text{ s}^2/\text{cm}$ .

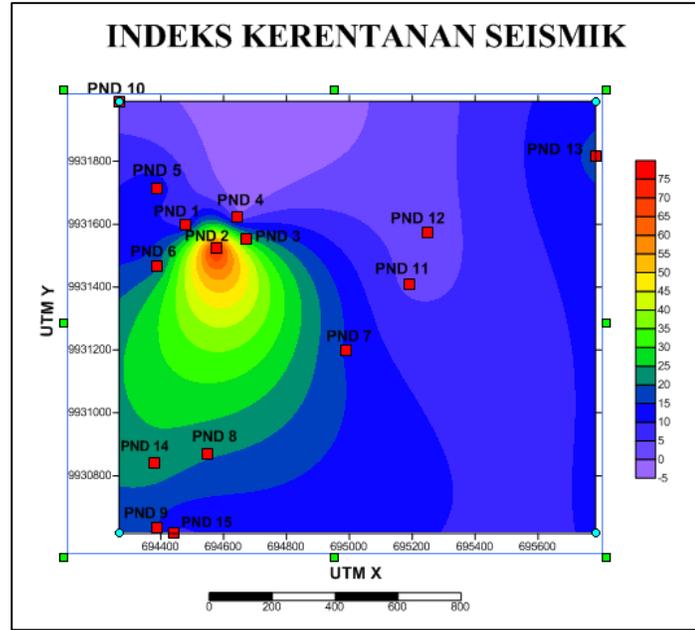
Nilai indeks kerentanan seismik ( $K_g$ ) di kawasan pasca tambang PT.BA UPO tepatnya di Kandi dan Tanah Hitam berkisar 2 sampai 48 yang tersebar di 15 titik pengukuran. Dari hasil pengukuran dilapangan dan setelah dilakukan analisis data maka didapatkan nilai indeks kerentanan seismik di kawasan pasca tambang PT.BA UPO di masing-masing titik pengukuran. Adapun hasil

yang didapatkan dapat dilihat pada Tabel 10.

Tabel 10. Nilai indek kerentanan seismik dimasing masing titik pengukuran.

TITIK (PND)	utm x	utm y	Indeks Kerentanan Seismik (kg)
1	694477	9931598	7,774
2	694576	9931523	74,815
3	694672	9931552	28,176
4	694644	9931623	0,564
5	694390	9931715	13,027
6	694386	9931466	17,933
7	694989	9931199	14,269
8	694549	9930871	20,692
9	694387	9930634	15,203
10	694267	9931991	2,039
11	695192	9931408	3,995
12	695247	9931572	3,441
13	695783	9931815	16,341
14	694379	9930840	23,151
15	694443	9930616	8,647

Dari hasil tersebut kemudian di buat peta mikrozonasi indeks kerentanan seismik di kawasan pasca tambang PT.BA UPO Kandi dan Tanah Hitam yang ditunjukkan pada Gambar 18.



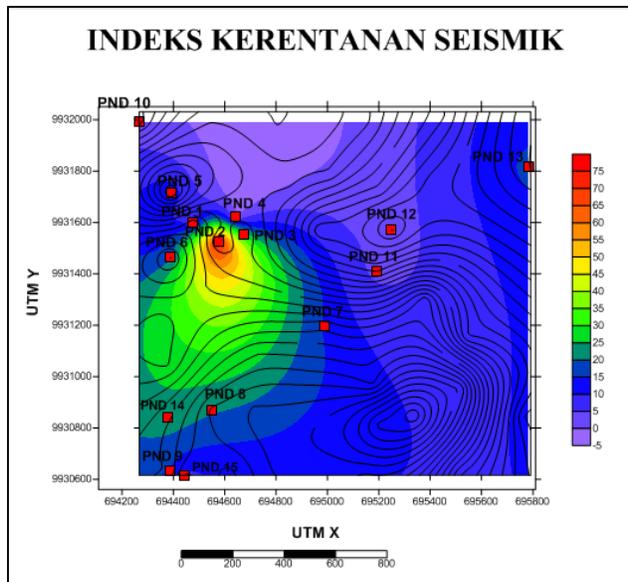
Gambar 18. Peta Mikrozonasi Indeks Kerentanan Seismik ( $K_g$ ) dikawasan pasca tambang PT.BA UPO, Tanah Hitam dan Kandi.

Berdasarkan Gambar 18 nilai indeks kerentanan seismik ( $K_g$ ) tertinggi terdapat pada titik PND 2 yang berada pada kawasan taman Bung Hatta Kandi dengan nilai  $70 \times 10^{-6} \text{ s}^2/\text{cm}$  sampai  $75 \times 10^{-6} \text{ s}^2/\text{cm}$ . Sedangkan nilai indeks kerentanan seismik terendah berada titik PND 4 dengan nilai berkisar  $0 \times 10^{-6} \text{ s}^2/\text{cm}$  sampai  $5 \times 10^{-6} \text{ s}^2/\text{cm}$ . Titik PND 3, PND 8 dan PND 14 juga tergolong rentan mengalami kerusakan karena indeks kerentanan seismiknya tergolong

tinggi berkisaran  $20 \times 10^{-6} \text{ s}^2/\text{cm}$  sampai  $30 \times 10^{-6} \text{ s}^2/\text{cm}$ . Daerah dengan titik PND 1, PND 10, PND 11, PND 12 dan PND 15 memiliki nilai indeks kerentanan seismik berkisar  $2 \times 10^{-6} \text{ s}^2/\text{cm}$  sampai  $10 \times 10^{-6} \text{ s}^2/\text{cm}$  ini tergolong kedalam daerah yang agak rentan mengalami kerusakan. Daerah dengan titik PND 5, PND 6, PND 7, PND 9, PND 13 memiliki nilai indeks kerentanan seismik berkisar  $10 \times 10^{-6} \text{ s}^2/\text{cm}$  sampai  $20 \times 10^{-6} \text{ s}^2/\text{cm}$  yang berarti potensi mengalami kerusakan cukup besar.

Nilai indeks kerentanan seismik ( $K_g$ ) juga terkait dengan kondisi geologi daerah tersebut. Berdasarkan Gambar 16, daerah dengan nilai indeks kerentanan seismik ( $K_g$ ) rendah berada pada sedikit alluvium dan endapan Merapi muda, yang sebagian besar merupakan batuan kompak sehingga getaran yang melewati daerah tersebut tidak teramplifikasi, maka daerah tersebut cenderung aman

dari kerusakan. Nilai indeks kerentanan seismik ( $K_g$ ) sedang dan tinggi ini berada di daerah dengan kondisi geologi yang tersusun dari batuan kurang kompak, dimana gelombang yang melewati daerah tersebut mengalami amplifikasi atau penguatan sehingga daerah tersebut memiliki kecenderungan tingkat kerusakan yang cukup tinggi. Dan juga nilai frekuensi dominan yang kecil yang menunjukkan bahwa daerah tersebut tersusun dari material lunak dengan endapan sedimen yang tebal, serta memiliki nilai amplifikasi yang tinggi yang mengakibatkan daerah pada titik PND 2 berpotensi mengalami kerusakan yang hebat saat terjadinya perambatan gelombang yang kuat.



Gambar 19. Peta Indeks Kerentanan Seismik ( $K_g$ ) dioverlay dengan peta topografi Tanah Hitam dan Kandi dikawasan Pasca Tambang PT.BA UPO.

Berdasarkan *overlay* data dengan peta topografi tanah hitam dan kandi yang ditunjukkan pada Gambar 19, daerah yang memiliki nilai Indeks kerentanan seismik tertinggi yaitu titik PND 2 berada di kawasan dengan ketinggian datar sampai sedang dengan ketinggian berkisaran 260 m sampai 280 m. Untuk daerah dengan nilai indeks kerentanan seismik terendah yaitu di titik PND 4 berada dikawasan datar yaitu dengan ketinggian berkisaran 260 m

sampai 280 m. Titik PND 5, PND 12 dan PND 13 berada dikawasan rendah dengan ketinggian 200 m sampai 240 m. Titik PND 11 yang memiliki nilai indeks kerentanan seismik rendah berada didaerah dengan kawasan dengan ketinggian berkisaran 240 m sampai 250m. Titik PND 10 dengan nilai indeks kerentanan seismik rendah berada didaerah dengan ketinggian datar sampai sedang berkisaran 290 m sampai 300 m. Titik PND 6 berada di ketinggian yang sama dengan titik PND 10. Titik PND 3 dan PND 14 dengan nilai indeks kerentanan seismik sedang berada di ketinggian 270 m sampai 280 m. Sedangkan titik lainnya PND 1, PND 7, PND 9, dan PND 15 dengan indeks kerentanan seismik sedang berada dikawasan dengan ketinggian datar sampai sedang yaitu 270 m - 320 m.

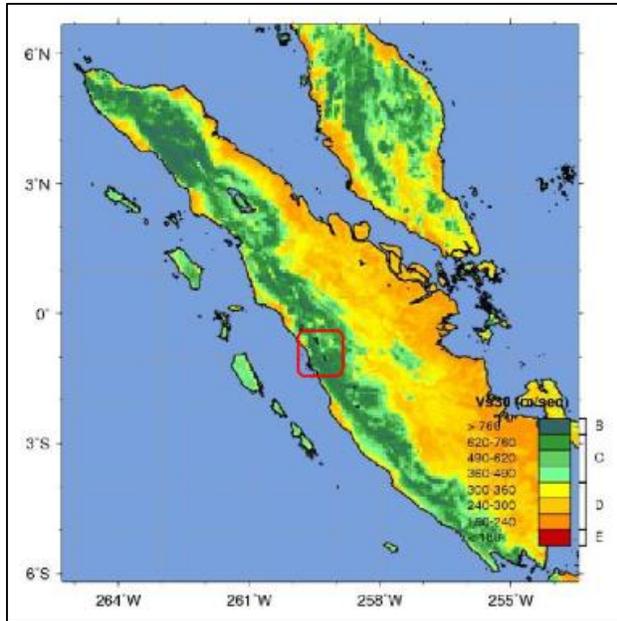
Berdasarkan peta geologi daerah Sawahlunto daerah penelitian berada di

Kecamatan Barangin dengan formasi brani. Dilihat pada kolom stratigrafi di Lampiran II, dimana formasi brani litologinya yaitu sedimen kipas aluvial, batu pasir dan konglomerat. Ini berarti sesuai dengan hasil pengamatan yang dilakukan menggunakan pengukuran seismik pasif.

Dari hasil yang telah didapatkan maka diketahui zona lemah dikawasan pasca tambang PT.BA UPO yaitu di titik PND 2 yang memiliki nilai indeks kerentanan seismik tinggi, amplifikasi tinggi dan nilai frekuensi rendah merupakan daerah yang rentan mengalami kerusakan. Dimana daerah tersebut tersusun dari batuan aluvial yang terbentuk dari sedimen delta, *top soil*, lumpur dan lain-lainnya, serta ketebalan sedimen pada permukaannya sangat tebal yaitu dengan ketebalan 30m atau lebih.

#### ***D. Nilai Kecepatan Geser Kedalam 30 m (Vs30)***

Kondisi geologi daerah penelitian dikomparasi dengan data kecepatan gelombang geser pada kedalaman maksimal 30 m ( $V_{s30}$ ) yang diperoleh dari *website* resmi USGS.  $V_{s30}$  merupakan parameter teknik geologi yang sangat berguna untuk analisa gelombang seismik. Sifat batuan dan kuat geser tanah dapat diketahui dengan mengukur kecepatan gelombang geser hingga kedalaman 30 m. Dalam Nurrahmi (2015) nilai  $V_{s30}$  dapat digunakan untuk menentukan klasifikasi batuan berdasarkan kekuatan getaran akibat efek lokal. Hanya lapisan-lapisan batuan hingga kedalaman 30 m saja yang menentukan pembesaran gelombang getaran. Analisis nilai kecepatan gelombang geser pada kedalaman 30 m ( $V_{s30}$ ) dapat dilihat dalam Gambar 20.



Gambar 20. Nilai kecepatan gelombang geser 30 m ( $V_{s30}$ ) di pulau Sumatera.

Dari hasil tersebut didapatkan bahwa daerah pasca tambang PT.BA UPO yang berada di provinsi Sumatera Barat, memiliki nilai  $V_{s30}$  berkisaran 620 m/s sampai 720 m/s. Nilai kecepatan gelombang geser juga dapat menentukan tingkat kerentanan suatu daerah mengalami kerusakan. Struktur lapisan geologi dapat diperkirakan berdasarkan kecepatan gelombang yang melewati lapisan sedimen ( $V_{s30}$ ) seperti yang dijelaskan pada Tabel 5. Sehingga berdasarkan nilai dari kecepatan

gelombang geser ( $V_{s30}$ ) kawasan tersebut memiliki tanah yang sangat padat dan batuan lunak dengan endapan *sand* atau *clay* yang sangat padat, *gravel*. Material penyusun berupa batuan aluvial yang terbentuk dari sedimentasi delta, *top soil*, lumpur, dll.

### Kesimpulan

Hasil nilai percepatan tanah ( $V_{s30}$ ) menunjukkan bahwa daerah disekitar sawahlunto memiliki tanah yang sangat padat dan batuan lunak dengan endapan *sand* (pasir) atau *clay* (tanah liat) yang sangat padat, *gravel*. Material penyusun berupa batuan aluvial yang terbentuk dari sedimentasi delta, *top soil*, lumpur, dll. Dengan nilai  $V_{s30}$  berkisaran 620 m/s sampai 720 m/s.

Didapatkan zona zona lemah dari hasil indeks kerentanan seismik. Dimana nilai indeks kerentanan seismik (kg) tertinggi terdapat pada titik PND 2 yang berada pada kawasan taman Bung Hatta Kandi dengan

nilai  $70 \times 10^{-6} \text{ s}^2/\text{cm}$  sampai  $75 \times 10^{-6} \text{ s}^2/\text{cm}$ . Sedangkan nilai indeks kerentanan seismik terendah berada titik PND 4 dengan nilai berkisar  $0 \times 10^{-6} \text{ s}^2/\text{cm}$  sampai  $5 \times 10^{-6} \text{ s}^2/\text{cm}$ . Titik PND 3, PND 8 dan PND 14 juga tergolong rentan mengalami kerusakan karena indeks kerentanan seismiknya tergolong tinggi berkisaran  $20 \times 10^{-6} \text{ s}^2/\text{cm}$  sampai  $30 \times 10^{-6} \text{ s}^2/\text{cm}$ . Daerah dengan titik PND 1, PND 10, PND 11, PND 12 dan PND 15 memiliki nilai indeks kerentanan seismik berkisar  $2 \times 10^{-6} \text{ s}^2/\text{cm}$  sampai  $10 \times 10^{-6} \text{ s}^2/\text{cm}$  ini tergolong kedalam daerah yang agak rentan mengalami kerusakan. Daerah dengan titik PND 5, PND 6, PND 7, PND 9, PND 13 memiliki nilai indeks kerentanan seismik berkisar  $10 \times 10^{-6} \text{ s}^2/\text{cm}$  sampai  $20 \times 10^{-6} \text{ s}^2/\text{cm}$  yang berarti potensi mengalami kerusakan cukup besar

### **Ucapan Terima Kasih**

Ucapan terima kasih penulis persembahkan buat kedua orang tua penulis yang selalu memberikan motivasi dan dukungan kepada

penulis. Terima kasih kepada Bapak Adree Octova, S.Si, M.T, dan Ibu Yoszi Mingsi Anaperta S.T, M.T atas saran dan masukan dalam menyelesaikan penelitian ini. Terima kasih kepada rekan-rekan dan tim yang telah membantu selama proses pembuatan jurnal ini.

### **Daftar pustaka**

- [1].Arifin, Satria.S., 2015. *Penentuan Rawan Guncangan Bencana Gempa Bumi Berdasarkan Analisa Nilai Amplifikasi HVSR Mikrotremor dan Analisa Periode Dominan Daerah Liwa dan Sekitarnya*. Jurnal Geofisika Eksplorasi Vol.2 No.1
- [2].Dewinta, Geby. Dkk., 2014. *Karakteristik Tanah Longsor di Kota Sawahlunto Provinsi Sumatera Barat*. Departemen Geofisika FMIPA. Universitas Indonesia. Depok
- [3].Febriani, Yeza, dkk., 2013. *Analisis Nilai Peak Grount Acceleration dan Indeks Kerentanan Seismik Berdasarkan Data Mikroiseismik pada Daerah Rawan Gempa Bumi di Kota Bengkulu*. Jurnal Ilmiah Edu Research Vol.2 No.2
- [4].Konno, K & Ohmachi, T. 1998. *Ground-Motion Characteristic Estimated from Spectral Ratio between Horizontal and Vertical Components of Microtremor*. Jurnal: Bulletin of the Seismological Society of America Vol 88.
- [5].Labertta, S., dkk. 2013. *Mikrozonasi Indeks Kerentanan Seismik Berdasarkan*

- Analisis Mikrotremor di Kecamatan Jetis, Kabupaten Bantul Daerah Istimewa Yogyakarta*. Prosiding Seminar Nasional Penelitian, Pendidikan dan Penerapan MIPA, Universitas Negeri Yogyakarta. Yogyakarta
- [6]. Mufida, A., dkk. 2013. *Profiling Kecepatan Gelombang Geser (Vs) Surabaya Berdasarkan Pengolahan Data Mikrotremor*. Jurnal Sains dan Seni Pomits Vol. 2 No. 2 Hal B76-B81
- [7]. Nakamura, Y. 1989. *A Methode For Dynamic Characteristics Estimation Of Subsurface Using Microtremor On The Ground Surface*. Jurnal, Railway Technical Research Institute
- [8]. Nurrahmi, dkk. 2015. *Analisis Kecepatan Gelombang Geser Vs30 Menggunakan Metode Refraksi Mikrotremor (Remi) di Kelurahan Talise*. Jurnal Gravitasi Vol.14 No.1
- [9]. Putri, R. Alfahmi. 2017. *Pemetaan Mikrozonasi Gempabumi Daerah Solok Sumatera Barat Berdasarkan Pengukuran Mikrotremor Dengan Metode Hvsr (Horizontal To Vertical Spectral Ratio)*. Lampung. Universitas Lampung.
- [10]. Putri, Yustiana. 2016. *Mikrozonasi Indeks Kerentanan Seismik di Kawasan Jalur Sesar Opak Berdasarkan Pengukuran Mikrotremor*. Yogyakarta. Universitas Negeri Yogyakarta
- [11]. R. Anindya.P ., dkk. 2017. *Identifikasi Percepatan Tanah Maksimum (PGA) dan Kerentanan Tanah Menggunakan Metode Mikrotremor I Jalur Sesar Kendeng*. Jurnal Geosaintek. Institut Teknologi Sepuluh November
- [12]. SESAME. (2004). *Guidelines For The Implementation Of The H/V Spectral Ratio Technique on Ambient Vibrations*. Europe: SESAME European research project
- [13]. Sungkono dan Santosa, B. J. 2011. *Karakteristik Kurva Horizontal To Vertical Spectral ratio: Kajian Literatur dan Permodelan*. Jurnal Neutrino Vol. 4 No. 1
- [14]. Syahrudin, M.H., Aswad, S., Palullungan, E.F., Maria, dan Syamsuddin. 2014. *Penentuan Profil Ketebalan Sedimen Lintasan Kota Makassar Dengan Mikrotremor*. Jurnal Fisika Vol. 4 No. 1. Makassar: Universitas Hasanuddin