



Struktur Kecepatan Gelombang Geser dan *Ground Shear Strain* Daerah Rawan Abrasi Bengkulu Utara, Indonesia

Nanang Sugianto^{1*}, Refrizon¹, Irkhos², Muhammad Muhsin Al-hakim³

¹*Program Studi Geofisika, Universitas Bengkulu, Jl. W.R. Supratman, Kota Bengkulu*

²*Program Studi Fisika, Universitas Bengkulu, Jl. W.R. Supratman, Kota Bengkulu*

³*Mahasiswa di program Studi Fisika, Universitas Bengkulu, Jl. W.R. Supratman, Kota Bengkulu*

* *Corresponding author. E-mail: nanang.s@unib.ac.id (Nanang Sugianto),*

No. hp/WA: +62-853-81161825

ABSTRAK

Abrasi telah menjadi ancaman yang serius bagi masyarakat di pesisir Pantai Kabupaten Bengkulu Utara. Berbagai parameter yang menyebabkan laju abrasi signifikan, salah satunya adalah kondisi geologi batuan. Penelitian ini bertujuan untuk memetakan kondisi geologi di sepanjang daerah rawan abrasi Kabupaten Bengkulu Utara yang didasari oleh distribusi nilai kecepatan gelombang geser (V_s) dan *Ground Shear Strain* (*GSS*) yang diperoleh dari hasil inversi *HVSR* seratus delapan puluh data mikrotremor. Hasil analisis mendapatkan bahwa tidak ditemukan adanya indikasi batuan keras dari permukaan hingga kedalaman 30 meter. Material penyusun batuan diperkirakan adalah endapan pasir, lempung, kerikil, dan alluvium. Batuan cenderung berstruktur lunak, kaku hingga sedang yang berubah kepadatannya terhadap kedalaman dan memiliki gaya kohesi yang lemah. Dampaknya, sejalan dengan hasil analisis *GSS*, batuan ini sangat mudah mengalami deformasi seperti merekah, runtuh, amblas, dan jenis deformasi batuan lainnya. Perubahan garis pantai tidak hanya terjadi akibat pengikisan langsung dinding tanah oleh air laut tetapi juga akibat air laut mengangkut tanah atau batuan yang telah longsor dan runtuh ke bibir pantai sebelumnya.

Kata Kunci: abrasi, mikrotremor, Inversi *HVSR*, V_s , *GSS*



ABSTRACT

Abrasion has become a serious threat to the people on the coast of North Bengkulu Regency. Various parameters caused significant abrasion rates, one of which is the geological conditions. This study aims to map the geological conditions along the abrasion-prone area of North Bengkulu Regency based on the distribution of shear wave velocity (V_s) and Ground Shear Strain (GSS) values obtained from the HVSR inversion of one hundred and eighty microtremor data. The results of the analysis found that there was no indication of hard rock from the surface to a depth of 30 meters. The materials detected in the study area are sand, clay, gravel, and alluvium deposits. Rocks or soil tend to be soft, rigid to moderately dense structures that change in density with depth and have weak cohesive forces. As a result, in line with the results of the GSS analysis, these rocks are very easy to deform such as cracking, collapsing, settlement, and other types of rock deformation. Shoreline changes not only occur due to direct erosion of the soil wall by seawater but also due to seawater transporting soil or rock that has collapsed to the shoreline at a previous time.

Keywords: abrasion, microtremor, HVSR Inversion, V_s , GSS

1. Pendahuluan

Wilayah pesisir di bagian barat Provinsi Bengkulu adalah sumber daya alam yang banyak dimanfaatkan oleh masyarakat, mulai dari menjadikannya sebagai pelabuhan, medan transportasi, area agribisnis, lokasi industri, wisata alam laut hingga menjadi kawasan perumahan terutama bagi para nelayan. Namun saat ini, wilayah ini mengalami kerusakan yang disebabkan oleh erosi

pantai [1] seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1. Bengkulu Utara menjadi kabupaten di Provinsi Bengkulu yang paling rentan terhadap erosi pantai dan berada di peringkat ke-77 kabupaten yang rentan terhadap abrasi di Indonesia [2]. Laju abrasi beberapa lokasi hingga 2,5 meter/tahun[3] dan, perubahan garis pantai dari analisis data satelit Bengkulu Utara mencapai 25 m²/tahun [4].



Gambar 1. Kenampakan abrasi di salah satu lokasi kabupaten Bengkulu Utara.

Lubis dkk [5] menemukan bahwa perubahan iklim bukanlah penyebab utama abrasi di Bengkulu Utara. Laju perubahan permukaan laut cenderung lebih stabil (konstan) sementara signifikan terhadap perubahan laju abrasi (kenaikan). Perubahan garis pantai di Bengkulu Utara diduga disebabkan oleh deformasi batuan ketika gempa besar terjadi [4]. Faktor lain yang diduga menjadi penyebab abrasi adalah kondisi geologi setempat di sepanjang sempadan pantai.

Penelitian ini berfokus pada memetakan kondisi geologis batuan bawah permukaan yang berperan menjadi penyebab abrasi. Kondisi geologis batuan bawah permukaan diperoleh dari analisis hasil survei *microtremor*. Tujuan khusus

penelitian ini adalah untuk menentukan distribusi kecepatan gelombang geser di daerah studi, memperkirakan struktur bawah permukaan daerah potensial abrasi di Bengkulu Utara, dan memprediksi sifat dinamika batuan untuk pendugaan deformasi yang mungkin terjadi berdasarkan analisis regangan geser tanah (*ground shear strain*).

2. Teori

Fenomena abrasi pantai serupa fenomena longsor atau erosi tanah pada daerah perbukitan, yakni pergerakan sebagian dari massa tanah atau batuan ke tempat yang lebih rendah akibat gangguan keseimbangan dalam kekuatan utamanya [6; 7]. Kondisi tanah/batuan di daerah yang rentan terhadap pergerakan tanah umumnya memiliki struktur geologi yang lunak, lemah, tidak stabil, dan berkoheesi lema] [8; 9]. Kondisi geologis batuan di suatu tempat dapat diperkirakan berdasarkan survei mikrotremor dari rekaman *seismic ambient noise*. Kondisi geologi yang dimaksud adalah sifat dinamika tanah atau batuan yang digambarkan oleh besaran faktor amplifikasi gelombang (A_0) dan frekuensi alami getaran tanah (f_0) [10; 11]. Kedua

besaran tersebut diperoleh dari hasil numerisasi *HVSR* (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*) yang merupakan *tool* yang metodenya didasarkan pada rasio amplitudo spektral dari komponen horisontal ke komponen vertikal seismogram yang dihitung dengan Persamaan 1 [12; 13].

$$HVSR = \frac{\sqrt{(H_E^2) + (H_N^2)}}{V_Z} \quad (1)$$

dimana dengan H_E dan H_N adalah spektrum komponen horizontal Utara dan Selatan dan Timur dan Barat. Sedangkan V_Z adalah komponen vertikal.

Pada survei *microtremor*, sifat dan struktur batuan bawah permukaan dari rekaman *ambient noise* digambarkan oleh nilai *shear wave velocity* atau dikenal dengan kecepatan gelombang geser (V_s). Aplikasi yang populer digunakan untuk mendapatkan nilai V_s dari rekaman *microtremor* adalah HV_{Inv} yang dikenalkan Garcia-Jerez [14] pada tahun 2016. HV_{Inv} adalah aplikasi berbasis coding MATLAB yang dikembangkan dari Herak [15] dan Bignardi [16] untuk mengkalkulasi dan memodelkan profil kecepatan gelombang seismik fungsi kedalaman dari rekaman *microtremor*. Algoritma inversi *HVSR* menerapkan prinsip inversi Monte Carlo

untuk memperoleh parameter model terunik dengan memperkecilkan fungsi kesalahan (*misfit*) yang diberikan oleh:

$$m = \sum_i \{ [HVSR_{OBS}(f_i) - HVSR_{THE}(f_i)] W_i \}^2 \quad (2)$$

dengan $HVSR_{OBS} = HVSR$ pengamatan, $HVSR_{THE} = HVSR$ teori, and $m =$ fungsi *misfit*. V_s sangat erat kaitannya dengan kondisi geologi *subsurface* dan juga jenis bahan penyusun (Tabel 1 dan Tabel 2). Kedua table ini dapat menjadi referensi bagi banyak peneliti untuk melakukan Analisa terhadap kondisi geologi lapangan yang sedang diamati.

Table 1. Nilai kecepatan gelombang geser (*shear wave*) pada jenis-jenis bahan [17].

Bahan	Kecepatan gelombang seismik (<i>shear wave</i>) (m/s)
Lumpur lembut	<200
Pasir kering	300-600
Tanah liat	500-800
Pasir basah	700-900
tanah (Til)	1000-1200
batu pasir	1600-2600
Batuan serpih	2200-2400
Batu kapur	2500-3100
Granit	3200-3800

Tabel 2. Identifikasi dan gambaran umum batuan berdasarkan kecepatan gelombang geser rata-rata Vs30 [18].

Kelas Situs	Rata-rata Vs (m/s) pada 30m	Deskripsi umum
A	>1500	Batuan keras
B	760-1500	Batuan keras dengan rekahan dan pelapukan sedang
C	360-760	Tanah sangat padat, batuan lunak, batuan sangat retak dan telah lapuk
D	180-360	Tanah kaku atau rapuh
E	<180	Tanah dan profil apa pun dengan lebih dari 3m tanah liat lunak yang tercampur tanah
F		Perlu Investigasi geoteknik tanah spesifik

Sifat dinamika dan potensi fenomena deformasi batuan dari analisis rekaman *ambient noise* populer digambarkan oleh nilai *strain* geser tanah atau *Ground Shear Strain (GSS)*. *GSS* parameter fisika yang menggambarkan sifat dinamika batuan dan potensi terdeforasinya suatu batuan terhadap batuan yang ada disekitarnya [12; 13; 19]. Isihara [20] menyebutkan bahwa jika nilai *GSS* (γ) = 1.000×10^{-6} maka lapisan tanah permukaan akan bersifat plastis, sedangkan pada $\gamma > 10.000 \times 10^{-6}$ lapisan tanah berpotensi besar mengalami deformasi. Perhitungann nilai *Ground Shear Strain* diberikan oleh persamaan berikut.

$$\gamma = K_g \times \alpha_b \times 10^{-6}, \quad (3)$$

dengan,

$$= 0,41M - \log \log (R + 0,032 \times 10^{0,41M}) - 0,0034R + 1,30 \quad (4)$$

dan

$$K_g = \frac{A_0^2}{f_0} \quad (5)$$

dimana: γ = *Ground shear strain (GSS)*, K_g = indeks Kerentanan Seismik, A_0 = faktor amplifikasi gelombang seismik, f_0 = frekuensi resonansi (Hz), M = Magnitudo gempabumi, R = jarak episenter, α_b = percepatan getaran tanah maksimum pada *bedrock* [21] and 10^{-6} = determinasi untuk menentukan nilai regangan di lapisan tanah permukaan. Hubungan nilai *GSS* dan sifat dinamika tanah ditunjukkan pada Tabel 3 yang dirangkum dari Isihara [20].

Tabel 3. Sifat dinamik batuan di daerah rawan abrasi kabupaten Bengkulu Utara berdasarkan *ground shear strain* [13].

Nilai Strain	$10^{-6} \ 10^{-5}$	$10^{-4} \ 10^{-3}$	$10^{-2} \ 10^{-1}$
Fenomena	gelomban, getaran	rekahan, runtuh	Longsor, tanah terpadatkan, Likuifaksi
Sifat dinamika batuan	elastis	Elasto-Plasticity	Efek berulang, pemuatan efek kecepatan

3. Metode Penelitian

Data yang telah dikumpulkan dan diolah pada penelitian ini adalah rekaman *seismic ambient noise* yang diperoleh dari pengukuran mikroseismik di sepanjang

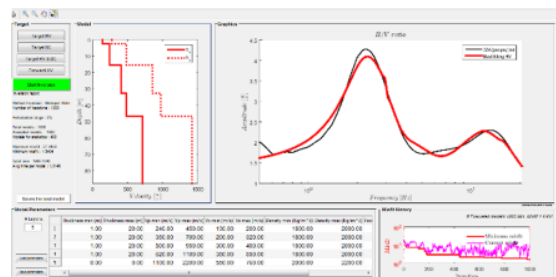
garis pantai, terdiri dari 60 lokasi pengukuran mikrotremor (jarak 1,5 km) dan setiap lokasi pengukuran dilakukan tiga kali pengukuran yang didistribusikan titik tegak lurus ke garis pantai dengan jarak masing-masing 50 meter (Gambar 2). Penelitian ini menggunakan data justifikasi CPT sebagai model awal untuk menghitung nilai V_s dari data mikrotremor.

Penelitian ini, pemrosesan data dilakukan dengan menggunakan HV_{Inv} seperti yang dijelaskan dalam Garcia-Jerez [14]. Tiga model kecepatan awal dari data CPT dari penelitian sebelumnya sebagai *input* pertama dan kurva $HVSR$ sebagai *input* kedua. Kurva $HVSR$ diperoleh dari analisis $HVSR$ menggunakan *Geopsy*. Interpretasi yang diperoleh dari inversi $HVSR$ adalah model 1D kecepatan gelombang geser fungsi kedalaman (Gambar 3).



Gambar 2. Survei desain pengumpulan data.

- (a). Sebaran stasiun perekaman data mikrotremor di daerah studi;
- (b). Ilustrasi teknik pemasangan seismometer di setiap lokasi pengukuran.



Gambar 3. inversi kurva $HVSR$ menggunakan model awal berupa justifikasi nilai V_s , V_p , Q , ρ dan σ ; menghasilkan Model 1D yang diterima.

Lebih lanjut, model 1D kecepatan gelombang geser dari setiap stasiun pengukuran diinterpretasikan ke dalam peta spasial, profil 2D dan profil 3D kecepatan gelombang geser di wilayah studi. Semua model ini menjadi dasar dalam menginterpretasikan distribusi sifat dan struktur geologi *subsurface* (Tabel 2) dan jenis material penyusun batuan (Tabel 1) di sepanjang daerah rawan abrasi kabupaten Bengkulu Utara.

Bagian terakhir, sifat dinamis dan potensi deformasi yang mungkin terjadi di

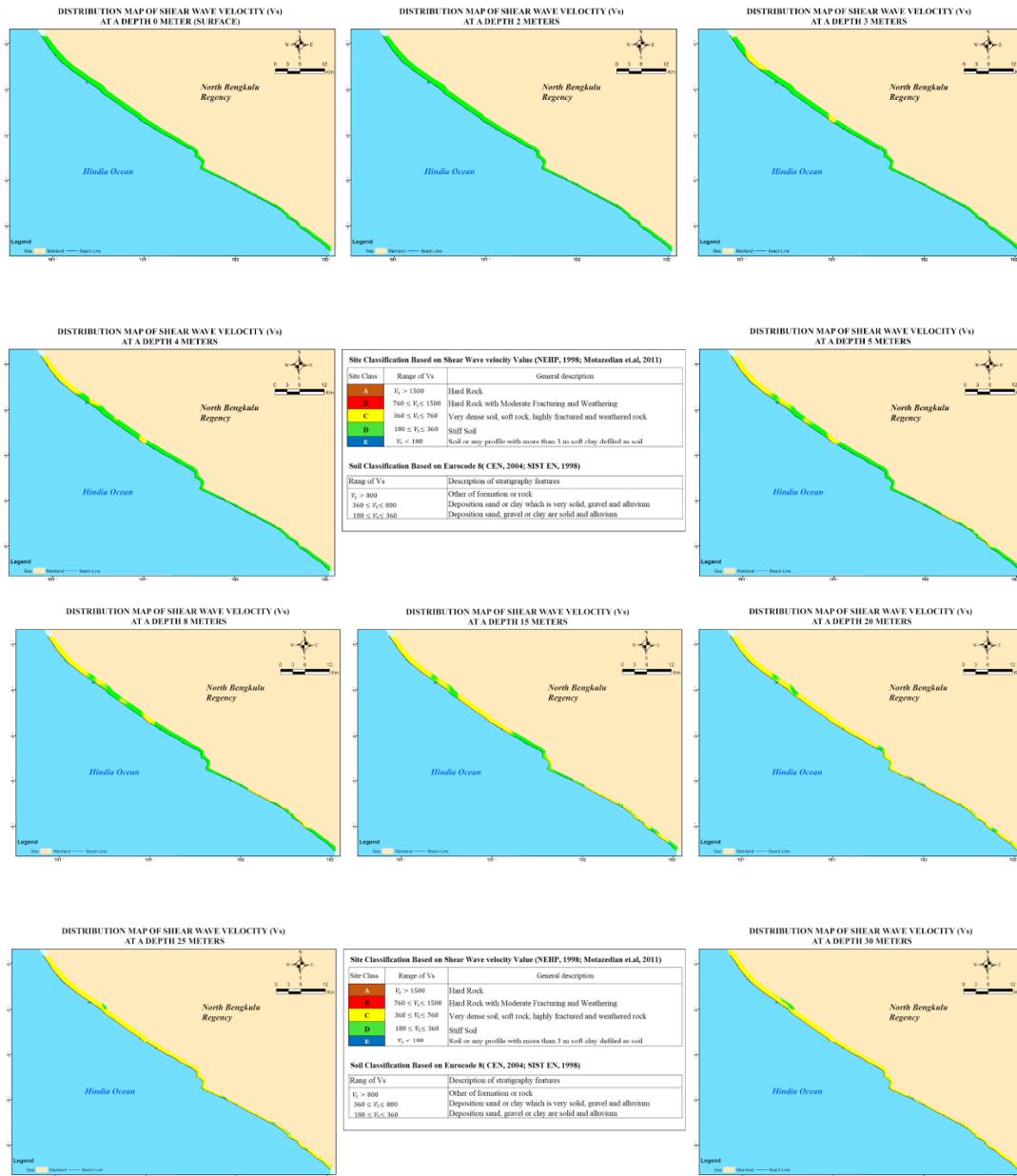
wilayah studi didasarkan analisis regangan geser tanah (*GSS*). Analisis sifat dinamika batuan dan fenomena deformasi batuan didasarkan pada Tabel 3, dimana nilai *GSS* dihitung menggunakan Persamaan 3, yang terdiri dari nilai K_g (Persamaan 5) dan α (Persamaan 4). Kedua parameter ini diperoleh dari hasil analisis *HVSR* yang nilainya terdapat pada kurva *HVSR*. Analisis *GSS* dilakukan untuk memperkirakan lokasi-lokasi rawan dan potensial tinggi terhadap bencana abrasi daerah di sepanjang pantai Kabupaten Bengkulu Utara. Hasil ini dapat menjadi bahan bagi masyarakat dan pemerintah untuk memprioritaskan dalam melakukan mitigasi bencana dalam pengurangan risiko bencana.

3. Hasil dan Pembahasan

Distribusi nilai v_s di sepanjang zona abrasi Kabupaten Bengkulu Utara diinterpretasikan dalam bentuk peta spasial dan profil 2D serta profil 3D distribusi nilai v_s fungsi kedalaman. Interpretasi pertama adalah peta spasial nilai v_s dengan beberapa kedalaman lapisan diantaranya 0 meter (permukaan), 2 meter, 3 meter, 4 meter, 5 meter, 15 meter, 20 meter, 25 meter, dan 30

meter. Pada kedalaman 0 sampai 2 meter (Gambar 4 a-b), nilai v_s didominasi oleh kontur hijau dengan nilai dari v_s 180 hingga 360 m/s. Hasil ini menunjukkan bahwa hingga kedalaman 2 meter, struktur batuan cenderung sama.

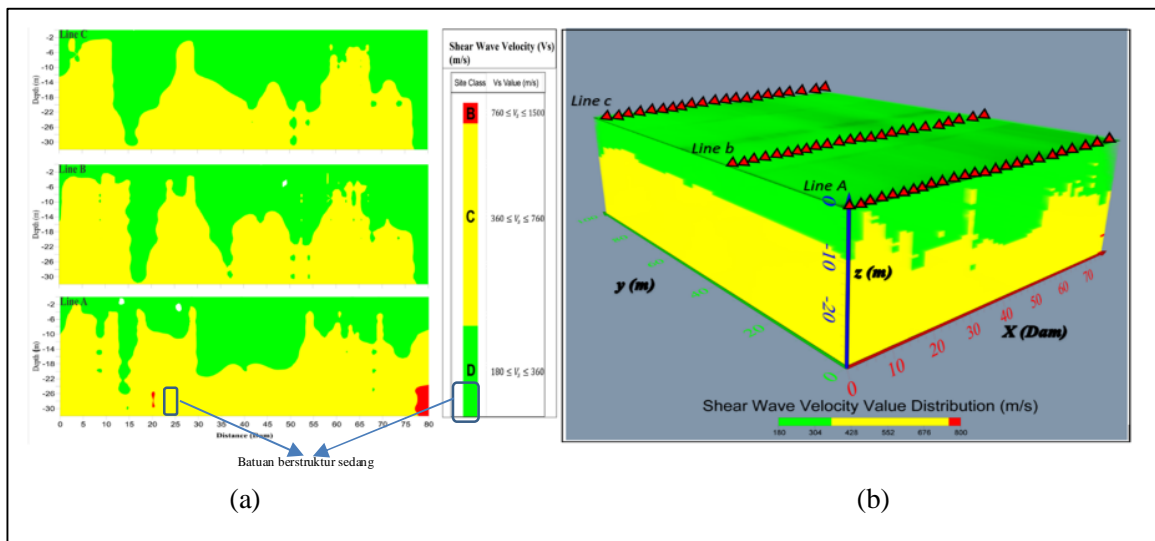
Variasi nilai v_s mulai terlihat pada kedalaman 3 meter, namun hingga kedalaman 8 meter umumnya masih didominasi warna hijau namun sudah muncul kontur warna kuning. Berdasarkan tabel klasifikasi v_s , kontur hijau diperkirakan merupakan daerah yang memiliki struktur batuan lunak (tanah kaku). Sedangkan pada daerah berkontur kuning ($360 < v_s < 760$ m/s), struktur batuan berupa tanah, batuan lunak, batuan sangat mudah merekah dan lapuk. Walaupun nilai v_s bervariasi untuk kedua kontur tersebut, pada prinsipnya batuan di daerah rawan abrasi Kabupaten Bengkulu Utara hingga kedalaman 8 meter memiliki struktur yang lunak dan mudah mengalami deformasi. Sebaran nilai v_s pada kedalaman 15 sampai 30 meter, nilai v_s masih berupa kontur hijau dan kuning namun mulai dari kedalaman 15 meter kontur didominasi warna kuning ($360 < v_s < 760$ m/s).



Gambar 4. Peta distribusi nilai kecepatan gelombang geser V_s daerah rawan abrasi Bengkulu Utara di berbagai kedalaman (satuan meter).

Tidak ditemukan indikasi keberadaan batuan keras dari permukaan sampai dengan kedalaman 30 meter. Nilai v_s tertinggi hanya teridentifikasi lokasi pengukuran 1 dan 2 (kotak biru pada Gambar 5a, yaitu kontur merah), yakni pada kedalaman 25 sampai 30 meter, dengan nilai $v_s = 800$ m/s. Nilai v_s ini tergolong batuan berstruktur sedang yaitu batuan keras dengan rekahan dan pelapukan. Jenis penyusun batuan di daerah rawan abrasi Kabupaten Bengkulu Utara relatif sama hingga kedalaman 30

meter, yaitu berupa endapan pasir, kerikil, lempung, dan alluvium. Meskipun jenis bahan penyusun batuan dari permukaan hingga kedalaman 30 meter sama, namun endapan ke-empat jenis material semakin padat dengan bertambahnya kedalaman dan cenderung berstruktur lunak dan rapuh pada kedalaman yang dangkal. Sebaran nilai v_s pada uraian ini (secara keseluruhan) ditunjukkan pada Gambar 5b yakni model 3D kecepatan gelombang geser.



Gambar 5. Profil 2D dan 3D nilai v_s di sepanjang sempadan pantai Kabupaten Bengkulu Utara. Jarak titik 1 hingga titik terakhir pengukuran sangat jauh, sehingga jarak pada gambar dalam satuan dekameter (Dam)

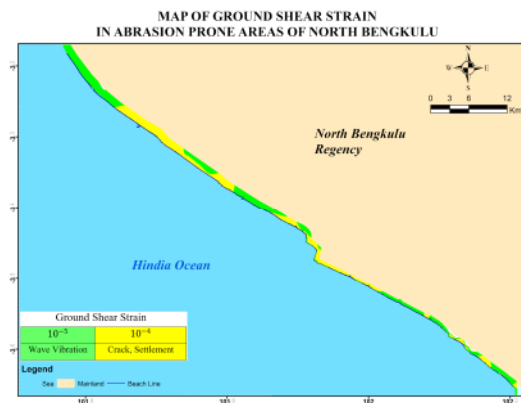
Gambar 5 memperjelas Gambar 4, dimana distribusi nilai v_s disepanjang daerah rawan abras Kabupaten Bengkulu

dapat diamati secara menyeluruh mengenai tidak ditemukannya batuan keras di semua titik pengamatan. Pada

beberapa lokasi juga ditemukan daerah rawa yang sangat dalam yang juga berpotensi besar mengalami erosi. Berdasarkan hasil ini, dapat disimpulkan bahwa struktur *subsurface* wilayah rawan abrasi Kabupaten Bengkulu Utara memiliki struktur yang lunak hingga sedang (padat) dan memiliki karakter yang mudah mengalami deformasi (merenggang, bergeser, runtuh, amblas dan perpindahan masa batuan jenis lainnya). Secara fisis, struktur batuan yang demikian memiliki kohesi yang lemah seperti yang ditemukan oleh peneliti sebelumnya [22].

Peta distribusi nilai v_s memiliki kesamaan interpretasi dengan hasil sebaran nilai GSS pada batuan (Gambar 6). Berdasarkan hasil analisis, ditemukan ada tiga kelompok nilai GSS yaitu 10^{-5} (kontur hijau), 10^{-4} (kontur kuning) dan 10^{-3} (Kontur oranye). Berdasarkan tabel Isihara (1982), karakteristik dinamika regional batuan yang memiliki nilai GSS 10^{-5} adalah elastisitas, yang berarti bahwa batuan memiliki sifat elastis yang dapat kembali ke bentuk dan posisi semula setelah mendapatkan tekanan atau *shear stress*. Sedangkan area yang memiliki nilai 10^{-4} ditandai dengan kontur kuning,

memiliki karakteristik dinamika batuan elasto-plastisitas yakni ada bagian dari suatu batuan tidak dapat Kembali ke bentuk dan posisi semula setelah menerima *shear stress*. Batuan yang bersifat elasto-plastisitas sangat potensial atau sangat mudah mengalami deformasi jenis *crack* dan *settlement*. Kedua deformasi ini serupa dengan fenomena abrasi yang selama ini terjadi di sepanjang Kabupaten Bengkulu Utara (berdasarkan observasi visual).



Gambar 6. Peta sebaran regangan geser tanah di sepanjang garis pantai Bengkulu Utara. Kontur kuning diperkirakan berpotensi tinggi terhadap deformasi batuan seperti retakan dan penurunan batuan (*Settlement*).



Peta distribusi nilai v_s dan GSS menunjukkan hasil yang linear. Berdasarkan nilai v_s dan GSS , sepanjang pantai Bengkulu Utara adalah daerah rawan terhadap bencana. Batuan yang berstruktur lebih keras dan padat memiliki laju abrasi yang lebih lambat dibandingkan dengan batuan yang memiliki berstruktur lebih lunak dan lapuk. Hal inilah yang menyebabkan distribusi dan bentuk perubahan garis pantai di Kabupaten Bengkulu Utara menjadi tidak seragam. Selain itu, ketidakseragaman ini juga dipengaruhi oleh elevasi pada bagian daratan (sempadan pantai). Di sepanjang Kabupaten Bengkulu Utara terdapat pantai yang berinding tanah, namun ada juga yang tidak seperti misalnya rawa. Dua kondisi ini tentu memiliki respon yang berbeda jika dikaitkan dengan perubahan garis pantai. Namun secara umum, daerah yang sangat rawan terhadap abrasi adalah daerah-daerah yang memiliki dinding pantai, kondisi struktur batuan yang lunak, rapuh dan memiliki gaya kohesi yang lemah serta daerah yang belum tersedianya pemecah ombak. Lokasi yang memiliki tingkat kerawanan tinggi perlu dilakukan

tindakan lanjutan untuk menghambat laju abrasi. Beberapa kegiatan yang bisa dilakukan adalah menanam mangrove, menumpukan batu pemecah ombak, dan kegiatan lainnya. Lokasi-lokasi ini perlu segera disikapi agar lahan masyarakat tidak hilang akibat abrasi.

4. Simpulan

Struktur batuan bawah permukaan telah dideskripsikan dengan baik berdasarkan inversi data mikrotremor. Struktur batuan bawah permukaan telah dideskripsikan pada kedalaman 30 meter. Nilai V_s diperoleh dalam tiga kelompok, yaitu $180 < V_s < 360$ m/s, $360 < V_s < 760$ m/s, dan $760 < V_s \leq 800$ m/s. Ketiga kelompok nilai V_s ini merupakan indikator batuan berstruktur *stiff* (kaku atau rapuh), *soft* (lunak) hingga sedang yang masih sangat mudah mengalami deformasi. Tidak ditemukan adanya indikasi keberadaan *hard rock* hingga 30 meter kedalaman. Jenis material penyusun batuan dari ketiga kelompok nilai v_s tersebut antara lain endapan pasir, lempung, kerikil dan *alluvium*. Keempat jenis material ini lebih padat pada kedalaman yang lebih dalam dan lebih lunak ke arah permukaan (0 meter). Hasil ini dikonfirmasi oleh nilai



regangan geser tanah, dimana ditemukan bahwa jenis deformasi yang terjadi umumnya adalah *crack* (retakan/rekahan) dan *settlement* (bergeser dengan penurunan muka tanah). Berdasarkan observasi visual, Kedua jenis deformasi telah terjadi di sepanjang pantai Kabupaten Bengkulu Utara.

Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini didanai oleh Universitas Bengkulu (BNBP) pada tahun 2018 dalam penelitian kompetitif Tingkat Universitas yang diselenggarakan oleh LPPM UNIB. Terima kasih kepada tim peneliti Geofisika Jurusan Fisika FMIPA Universitas Bengkulu.

5. Referensi

- [1] Fadilah, Suripin, Sasongko, D. P. (2013). Kabupaten Bengkulu Tengah Provinsi Bengkulu. *Prosiding Seminar Nasional Pengelolaan Sumberdaya Alam Dan Lingkungan 2013*, 337–341.
- [2] BNBP. 2013. Indeks Resiko Bencana Indonesia (IRBI) 2013. Badan Nasional Penanggulangan Bencana: Jakarta.
- [3] Suwarsono, Supiyati, dan Suwardi. (2011). Utara Sebagai Jalur Transportasi Vital. *MAKARA, TEKNOLOGI*, 15(1), 31–38.
- [4] Samdara, R., and Lubis, A.M. 2016. Shoreline changes at northern coast of Bengkulu using PALSAR and optic data during 2007-2011. to be summited to Journal international Engineering and Sciences.
- [5] Lubis., A.M., Samdara, R., dan Meki, M. 2016. Estimasi perubahan muka air laut di perairan utara pantai Bengkulu dengan pemodelan musiman data Altimetry 1992-2014, 2016, untuk dikirim ke Jurnal Kelautan, Undip, Semarang.
- [6] Singh, B dan Goel, KIR. 2011. *Engineering Rock Mass Classification Tunneling, Foundations, and Landslides* New York Elsevier Press
- [7] Oldrich Hungr., Serge Leroueil I., Luciano Picarelli. 2013. The Varnes classification of landslide types. *Journal Landslides* vol 11: 2013.
- [8] Farid, M, dan W. Suryanto. (2016). Microseismic Wave Measurements to Detect Landslides in Bengkulu Shore with Attenuation Coefficient and Shear Strain Indicator. *KnE*



- Engineering*, 1(2015), 1–7.
<https://doi.org/10.18502/keg.v1i1.477>
- [9] Suhendra, Zul Bahrum, C., & Sugianto, N. (2018). Geological condition at landslides potential area based on microtremor survey. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, 13(8), 3007–3013.
- [10] Nakamura, Y. (2000). Clear identification of fundamental idea of Nakamura's technique and its applications. Proceedings of the 12th World Conference on ..., Paper no. 2656.
http://www.sdr.co.jp/papers/n_tech_and_application.pdf
- [11] Zaharia, B., Radulian, M., Popa, M., Grecu, B., Bala, A., & Tataru, D. (2008). Estimation of the local response using the Nakamura method for the Bucharest area. *Romanian Reports in Physics*, 60(1), 131–144.
- [12] Nakamura, Y. (2008). On the H/V spectrum. *The 14th World Conference on Earthquake Engineering*, 1–10.
http://117.120.50.114/papers/14wcee/14wcee_hv.pdf
- [13] Nakamura, Y., Sato, T., & Nishinaga, M. (2000). Local Site Effect of Kobe Based on Microtremor Measurement. *Proc XII World Conf. Earthquake*, 1–21.
- [14] García-Jerez, A., Piña-Flores, J., Sánchez-Sesma, F. J., Luzón, F., & Pertou, M. (2016). A computer code for forward calculation and inversion of the H/V spectral ratio under the diffuse field assumption. *Computers and Geosciences*, 97, 67–78.
<https://doi.org/10.1016/j.cageo.2016.06.016>
- [15] Herak, M. (2008). ModelHVSRA Matlab?? tool to model horizontal-to-vertical spectral ratio of ambient noise. *Computers and Geosciences*, 34(11), 1514–1526.
<https://doi.org/10.1016/j.cageo.2007.07.009>
- [16] Bignardi, S., Mantovani, A., & Abu Zeid, N. (2016). OpenHVSRA: Imaging the subsurface 2D/3D elastic properties through multiple HVSRA modeling and inversion. *Computers and Geosciences*, 93, 103–113.
<https://doi.org/10.1016/j.cageo.2016.05.009>
- [17] Milsom, J & Eriksen, 2011. Field Geophysics Fourth Edition, PP.216,
-



- Cambridge, University Press,
London. <https://doi.org/10.21009/spektra.021.05>
- [18] Motazedian, D., Hunter, J.A., Pugin, A., Crow, H. 2010. Development of a Vs30(NEHRP) map for the city of Ottawa, Ontario, Canada, NRS Research Press, Canada.
- [19] Sugianto, N., Farid, M., & Suhendra, S. (2017). Kondisi Geologi Lokal Kota Bengkulu Berdasarkan Ground Shear Strain (Gss). *Spektra: Jurnal Fisika Dan Aplikasinya*, 2(1), 29–36.
- [20] Isihara, K., 1982, Evaluation of Soil Properties for Use in Earthquake Response Analysis. Proc. Int. Symp. On Numerical Model in Geomech, 237-259.
- [21] Fukushima, Y. (1913). Bulletin of the Seismological Society of America . . *The Journal of Geology*, 21(3), 288–288. <https://doi.org/10.1086/622062>