

## Perubahan Garis Pantai di Wilayah Rawan Gempabumi (Studi Kasus di kota Bengkulu)

Muhammad Farid<sup>1)</sup>, Wahyudi<sup>2)</sup>, Kirbani Sri Brotopusito<sup>2)</sup>, Sunarto<sup>3)</sup>, WiwitSuryanto<sup>2)</sup>

- 1) Departementof Physics, Mathematical and Science Faculty, Bengkulu University.
- 2) Laboratory of Geofisics, Mathematical and Science Faculty, GadjahMada University.
- 3) Departement of Physics Geographics and Enviromental, Geography Faculty, Gadjah Mada University  
[moh\\_farid50@yahoo.com](mailto:moh_farid50@yahoo.com)

### Abstract

Abrasi pantai yang terjadi di kota Bengkulu sejak tahun 1917 telah menyebabkan perubahan garis pantai yang cukup ekstrem. Perubahan yang cukup ekstrem ini diduga karena aktivitas Samudra Hindia dan gempabumi yang sering melanda kota Bengkulu. Gempabumi yang sering melanda kota Bengkulu menjadikan nilai *Ground Shear Strain* di beberapa wilayah pantai menjadi tinggi sehingga berdampak pada kerusakan lingkungan.

Penelitian ini bertujuan (1) mengetahui nilai *Ground Shear Strain* di beberapa zona pantai, (2) mengetahui kecepatan abrasi pantai di setiap zona.

Pada setiap zona dilakukan pengukuran getaran tanahnya menggunakan portable seismograph digital frekuensi rendah. Dengan menggunakan metode HVSR, data getaran tanah diolah sehingga diperoleh frekuensi dominan ( $f_0$ ) dan amplitudo puncak spektrum HVSR ( $A$ ). Dengan  $f_0$  dan  $A$  dapat dihitung nilai Indeks Kerentanan seismik ( $K_g$ ). Nilai *Ground Shear-Strain* (GSS) diperoleh dari perkalian antara  $K_g$  dan Peak Ground Acceleration ( $\alpha$ ), dimana  $\alpha$  dihitung secara empiris menggunakan persamaan atenuasi Kanai dengan memasukkan data gempabumi.

Dari hasil penelitian ini, diperoleh nilai GSS dan kecepatan abrasi untuk setiap zona pantai di kota Bengkulu. Terdapat delapan zona, dengan nilai GSS berkisar antara  $4,8 \times 10^{-4}$  –  $125,7 \times 10^{-4}$  dan kecepatan abrasi antara 3,1 sampai 5,4 meter per tahun.

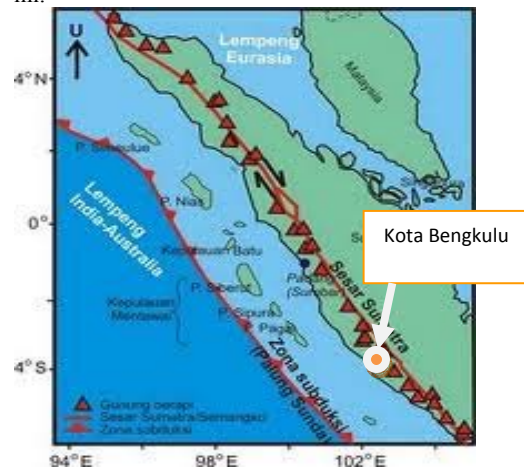
**KATA KUNCI :** *Ground Shear-Strain*, perubahan garis pantai, HVSR, kota Bengkulu.

### Introduction

Kota Bengkulu terletak pada koordinat 103,3 BT-104,1 BT dan -3,3 LS – -3,9 LS dan berbatasan langsung dengan samudra Hindia. Secara tektonik, Kota Bengkulu berada dalam zona subduksi (penyusupan) antara lempeng Hindia-Australia dan Eurasia (gambar 1). Konsekuensi dari posisi seperti itu kota Bengkulu berada dalam wilayah rawan gempabumi. Aktifitas gempabumi dengan kekuatan di atas 4 SR mencapai 13 sampai 15 kali per bulan (BMKG Bengkulu, 2011).

Menurut catatan terjadinya gempabumi tektonik dari tahun 1900 sampai dengan 2010, sekitar 95% sumber

gempabumi berada di bawah Samudra Hindia ( BMKG Bengkulu, 2010). Kenyataan ini mendorong pemikiran bahwa wilayah kota Bengkulu merupakan obyek yang sangat rawan terhadap ancaman bahaya gempabumi. Abrasi pantai di kota Bengkulu yang tergolong cepat diduga karena seringnya kota ini dilanda gempabumi. Besarnya nilai *Ground Shear Strain* di beberapa titik di pantai kota Bengkulu ini mengindikasikan betapa besar goncangan yang terjadi ketika terjadi gempabumi yang berdampak pada kerusakan bangunan dan korban jiwa, bahkan kerusakan wilayah pantai diduga karena goncangan tanah ini.



Gambar 1. Kota Bengkulu, Zona Subduksi Indo-Australia dan Eurasia

Tingginya laju abrasi di kota Bengkulu menyebabkan perubahan garis pantai yang cukup ekstrim. Perubahan garis pantai yang cukup ekstrim ini tidak hanya terjadi di kota Bengkulu akan tetapi hampir di seluruh garis pantai di Provinsi Bengkulu, akan tetapi dengan jumlah penduduk kota yang lebih padat dibandingkan dengan wilayah lain, maka tinjauan dinamika pantai di kota Bengkulu yang diakibatkan oleh faktor abrasi menjadi lebih penting mengingat dampak yang diakibatkan oleh laju abrasi antara lain adalah ancaman terhadap rusaknya pemukiman, tambak dan bangunan lain yang berlokasi di wilayah pesisir.

Menggunakan acuan peta yang dibuat tahun 1914 dan peta melalui *google earth* tahun 2004 terdapat perubahan garis pantai yang lebih cenderung menuju ke darat yang berarti terjadi abrasi. Abrasi yang terjadi menurut perubahan garis pantai di Provinsi Bengkulu berkisar antara 1,2 sampai dengan 5,5 meter per tahun. Kecepatan abrasi yang tergolong besar terjadi di wilayah Serangai kabupaten Bengkulu Utara dengan rata-rata abrasi sebesar 4,6 meter per tahun. Di wilayah air besi kabupaten Mukomuko rata-rata abrasi sebesar 3,8 meter per tahun. Di wilayah Mukomuko utara kabupaten Mukomuko sebesar 3,1 meter per tahun. **Di wilayah kota Bengkulu rata-rata abrasi sebesar 4,8 meter per tahun.** Di pantai kota Manna kabupaten Bengkulu Selatan rata-rata abrasi yang terjadi sebesar 3,6 meter per tahun.

Hubungan sebab-akibat antara perubahan garis pantai dengan wilayah rawan gempa bumi dapat ditelusuri dari nilai Indeks Kerentanan Seismik di wilayah yang terkena abrasi atau wilayah yang memiliki kecepatan abrasi relatif tinggi.

Nakamura (2008) melakukan pengukuran mikrotremor untuk mengkaji indeks kerentanan seismik di distrik Marina, San Francisco yang merupakan daerah kerusakan parah akibat gempa bumi Loma Prieta 1989. Nilai indeks kerentanan seismik di daerah pantai hingga kawasan perbukitan menunjukkan adanya perbedaan. Daerah pantai yang merupakan dataran aluvial dan reklamasi memiliki indeks kerentanan seismik tinggi, ternyata mengalami kerusakan yang parah. Indeks kerentanan seismik berubah mengecil begitu memasuki kawasan perbukitan yang tidak mengalami kerusakan saat gempa bumi.

Saita *et al.* (2004) melakukan kajian indeks kerentanan seismik di distrik Intramuros, Manila, Filipina, tepatnya pada kawasan yang pernah mengalami kerusakan akibat gempa bumi Luzon 1990. Hasil penelitian menunjukkan bahwa daerah yang mengalami kerusakan parah ternyata terletak pada daerah indeks kerentanan seismik tinggi berdasarkan mikrotremor.

Huang dan Tseng (2002) melakukan pengukuran mikrotremor pada 40 lokasi di daerah Yuan Lin, Taiwan setelah gempa bumi Chi Chi 1999. Hasil penelitian menunjukkan bahwa daerah Yuan Lin yang mengalami kerusakan parah dan terjadi likuefaksi ternyata terletak pada zona indeks kerentanan seismik tinggi berdasarkan mikrotremor.

Nakamura *et al.* (2000) melakukan pengukuran mikrotremor sebanyak 400 lokasi di daerah yang pernah mengalami kerusakan parah akibat gempa bumi Kobe 1995. Hasil penelitian ini menunjukkan adanya hubungan antara indeks kerentanan seismik berdasarkan mikrotremor dengan rasio kerusakan. Di daerah pesisir yang memiliki indeks kerentanan tinggi mengalami rasio kerusakan tinggi, sedangkan di perbukitan yang memiliki indeks kerentanan rendah mengalami rasio kerusakan rendah.

Gurler *et al.* (2000) melakukan pengukuran mikrotremor pada 200 lokasi di Mexico City yang berulang kali dilanda kerusakan akibat gempa bumi tahun 1957, 1979 dan 1985. Jalur pengukuran mikrotremor memotong perbukitan, daerah transisi, dan rawa yang sudah direklamasi. Hasil penelitian dapat mengidentifikasi "zona lemah" yang ditandai dengan indeks kerentanan seismik tinggi di zona bekas rawa. Indeks kerentanan seismik berubah semakin kecil setelah memasuki zona transisi dan zona perbukitan. Kawasan bekas rawa yang direklamasi ternyata merupakan zona indeks kerentanan tinggi dan selalu mengalami kerusakan parah setiap terjadi gempa bumi kuat.

Meskipun tidak secara langsung melakukan penelitian di wilayah pantai akan tetapi dari hasil penelitian mereka telah menggambarkan secara umum bahwa di wilayah yang nilai kerentanan seismiknya tinggi akan mengakibatkan kerusakan yang parah apabila dilanda gempa bumi. Kalau pemikiran ini dibalik, di wilayah yang memiliki kerusakan tinggi seperti abrasi pantai yang memiliki laju cukup tinggi, dan ternyata di wilayah ini memiliki nilai *Groun Shear Strain* tinggi maka diduga ada hubungan antara laju abrasi dengan *Groun Shear Strain*.

## **Teori**

### **Perubahan Garis Pantai**

Pada dasarnya proses perubahan garis pantai meliputi proses erosi dan akresi, erosi pada sekitar pantai dapat terjadi apabila angkutan sediment yang keluar ataupun yang pindah meninggalkan suatu daerah lebih besar dibandingkan dengan angkutan sediment yang masuk, apabila terjadi sebaliknya maka yang terjadi adalah sedimentasi (Triatmodjo, 1991).

Garis pantai pada umumnya mengalami perubahan dari waktu ke waktu sejalan dengan perubahan alam seperti adanya aktivitas gelombang, angin, pasang surut dan arus serta sedimentasi daerah delta sungai. Perubahan garis pantai juga terjadi akibat gangguan ekosistem pantai seperti pembuatan tanggul dan kanal serta bangunan-bangunan yang ada di sekitar pantai. Hutan bakau sebagai penyangga pantai banyak dirubah fungsinya untuk dijadikan sebagai daerah pertambakan, hunian, industri dan daerah reklamasi yang mengakibatkan terjadinya perubahan garis pantai.

### **Pengaruh Getaran Gempabumi**

Penjalaran gelombang gempa bumi sampai ke permukaan tanah akan berpengaruh pada kekuatan tanah dalam mempertahankan gaya tarik antar partikel-partikelnya. Sebagaimana dituangkan dalam Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung (SNI-1726-2002), bahwa " Dalam perencanaan struktur gedung serta berbagai bagian peralatannya secara umum, maka harus dilakukan standar dengan menghitung pengaruh gempa bumi pada rencana bangunan tersebut".

Dengan adanya Standar Nasional Indonesia (SNI) ini sangat beralasan bahwa penjalaran gelombang seismic akan berpengaruh pada kekuatan tanah dalam mempertahankan kekuatan (gaya ikat) antar partikelnya. Dalam SNI-1726-2002 diungkapkan juga bahwa getaran gempabumi dengan parameter percepatan getaran tanah maksimum (PGA) nilainya akan sangat bergantung pada jenis tanah yang dilalui getaran gempabumi tersebut. Ada 3 jenis tanah yang dimaksud mengacu pada kecepatan rata-rata gelombang pada kedalaman maksimum 30 meter dari permukaan tanah ( $V_{s30}$ ) yaitu jenis tanah lunak, jenis tanah sedang dan jenis tanah keras. Ketiga jenis tanah tersebut akan merespon kecepatan gelombang gempabumi dengan kecepatan yang berbeda seperti table 2 berikut :

Tabel 1. Nilai kecepatan gelombang S pada 3 jenis tanah :

Jenis tanah	Kecepatan $V_{s30}$ (m/s)
Lunak	$V_s < 175$
Sedang	$175 \leq V_s < 350$
Keras	$V_s \geq 350$

Sebagaimana diungkapkan oleh banyak peneliti bahwasanya penjalaran gelombang geser (*shear wave*) akan direspon oleh batuan dasar sampai ke permukaan tanah. Salah satu teori yang sering digunakan adalah teori perambatan gelombang geser harmonik satu dimensi oleh Kanai (1951) dan Lysmer dkk. (1972).

Perambatan gelombang yang terjadi selama berlangsungnya gempabumi sangat dipengaruhi oleh kondisi tanah setempat. Perambatan gelombang geser dari batuan dasar ke permukaan dilakukan untuk memperoleh percepatan maksimum, faktor amplifikasi dan spektrum respon di permukaan tanah. Analisis ini didasarkan pada anggapan bahwa lapisan tanah terdiri dari beberapa lapis dan respon tanah disebabkan oleh adanya perambatan gelombang geser (*shear wave*) secara vertikal dari batuan dasar ke permukaan.

#### Percepatan Getaran Tanah Maksimum (PGA)

Percepatan Getaran Tanah Maksimum (PGA) adalah ukuran percepatan getaran tanah yang merupakan parameter penting untuk mengetahui dampak guncangan gempabumi (Campbell, Bozorgnia, 2003). PGA dinyatakan dalam  $g$  ( percepatan gravitasi ) dengan satuan  $m/s^2$  atau Gal, di mana 1 Gal adalah sebesar  $0,01 m/s^2$  ( $1g = 981 gal$ ).

Guncangan gempa akan menimbulkan percepatan yang disebut dengan Percepatan Getaran Tanah maksimum yang pernah terjadi di suatu tempat yang diakibatkan oleh gempa bumi.

Besarnya PGA dapat dipilih dari hubungan atenuasi yang dirumuskan oleh beberapa pakar.

Salah satu hubungan atenuasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah atenuasi Kanai yang dirumuskan sebagai :

$$\alpha = \frac{5}{\sqrt{T_g}} 10^{0.61M - (1.66 + \frac{2.6}{R}) \log R + (0.67 - \frac{1.88}{R})} \quad (1)$$

- Dengan : -  $\alpha$  adalah nilai percepatan getaran tanah titik pengamatan (dalam  $cm/s^2$  )  
 -  $T_g$  adalah periode dominan tanah titik pengamatan  
 -  $M$  adalah magnitudo gempa (SR)  
 -  $R$  adalah jarak hiposenter

## DATA DAN METODE

### Akuisisi Data

Akuisisi dilakukan untuk data microtremor dan data perubahan garis pantai. Data microtremor diakuisisi dengan menggunakan portable seismometer frekuensi rendah di beberapa titik yang telah dipilih sebelumnya. Data perubahan garis pantai diakuisisi melalui metode overlay antara peta kota Bengkulu yang dibuat pada tahun 1980 dengan dengan peta kota Bengkulu yang dibuat pada tahun 2010.

### Analisis Data

Data mikrotremor diolah untuk memperoleh frekuensi dominan ( $f_0$ ) dan faktor amplifikasi ( $A$ ). Alat olah data digunakan Geopsy dengan metode HVSR (*Horizontal Vertical to Spectral Ratio*). Indeks Kerentanan Seismik ( $K_g$ ) diperoleh dengan menggunakan rumus :

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

*Ground Shear Strain* (GSS) diperoleh dengan rumus :

$$Y = K_g \times (10^{-6}) \times \alpha \quad (3)$$

Dimana  $Y$  adalah GSS,  $\alpha$  adalah *Peak Ground Acceleration* (PGA) yang diperoleh dari persamaan (1)

Dimana  $M$  adalah momen magnitudo dan  $R$  adalah jarak dari pusat gempabumi ke stasiun.

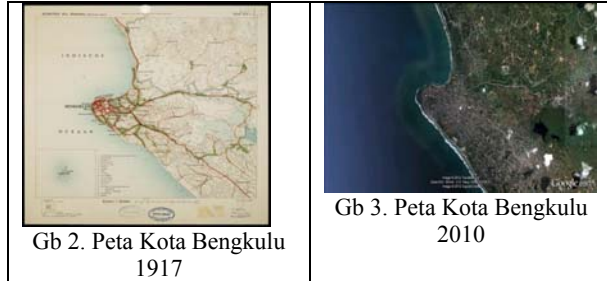
Data perubahan garis pantai diolah dengan menggunakan ArcGIS. Peta kota Bengkulu tahun 1917 dengan peta kota Bengkulu tahun 2010 di *overlay* menggunakan ArcGIS. Kecepatan abrasi di suatu lokasi dihitung dengan membagi antara jarak perubahan garis pantai ke arah dalam dengan waktu 93 tahun.

## Hasil dan Pembahasan

### Hasil perubahan garis pantai

Abrasi pantai di kota Bengkulu sejak tahun 1917 sampai tahun 2010 (selama 93 tahun) terjadi di sepanjang garis

pantai antara 3,1 sampai 5,4 meter per tahun seperti ditunjukkan dalam peta di bawah ini :



Gb 4. Garis pantai hasil overlay

**Index Kerentanan Seismik dan Ground Shear Strain**

Besarnya nilai Indeks Kerentanan Seismik ( $K_g$ ) dan Ground Shear Strain ( $\gamma$ ) dari enam jenis batuan yang menyusun pantai kota Bengkulu ditungkan dalam tabel 2 berikut ini :

Tabel 2. Nilai Indeks Kerentanan Seismik, PGA dan Ground Shear Strain

Kode Lokasi	$K_g$	$\alpha$ (PGA)	$\gamma$	Jenis batuan
MB	23,01	258,27	0.0059	Qa (lempung)
TS	3,61	875,11	0.0032	QTsv (Tufa pasiran batu)
RS	10,09	757,86	0,0076	QTsv (Batu lempung Tufaan)
GC	10,26	531,58	0,0055	Qa (Batu pasir)
PB	48,13	333,95	0,0161	Qa (gambut)
TS	2,24	1140,86	0,0026	Qa (Rawa)

**Kesimpulan**

Dari uraian pembahasan tersebut maka dapat ditarik kesimpulan bahwa kecepatan abrasi di suatu wilayah ikut dipengaruhi oleh kondisi wilayah tersebut dari kejadian gempa bumi. Pengaruh gempa bumi di wilayah pantai kota Bengkulu bersifat menyeluruh mengingat kondisi geologi wilayah tersebut yang masih tergolong batuan muda.

**Daftar Pustaka**

BMKG Bengkulu, 2009, *Bengkulu Earthquake History from 1800 to 2010*

Huang, H. and Tseng, Y. 2002. *Characteristics of soil liquefaction using H/V of microtremor in Yuan-Lin area, Taiwan. TAO, Vol. 13, No. 3, 325-338.*

ISHIHARA, K. 1982. *Introduction to Dynamic Soil Mechanism.* Japan.

KANAI, K. (1951). "Relation Between the Nature of Surface Layer and the Amplitude of Earthquake Motions," Bulletin Tokyo Earthquake Research Institute.

NAKAMURA, Y. 2000. *Clear Identification of Fundamental Idea of Nakamura's Technique and Its Application. World Conference of Earthquake Engineering.*

NAKAMURA, Y. 2007. *Development of vulnerability assessment for ground and structures using Microtremor. System and Data Research Co., Ltd.*

NAKAMURA, Y. 2008. *On The H/V Spectrum. The 14<sup>th</sup> World Conference on Earthquake Engineering, Beijing, China*

PETA KOTA BENGKULU, 1917; *Royal Institute, Amsterdam-Netherland.*

SAITA, J., BAUTISTA, M.L.P. AND NAKAMURA, Y. 2004. *On Relationship Between The Estimated Strong Motion Characteristic of Surface Layer and The Earthquake Damage: Case Study at Intramuros, Metro Manila. 13<sup>th</sup> World Conference on Earthquake Engineering, Paper No. 905, Vancouver, B.C., Canada.*

TRIATMODJO BAMBANG, (1999), "Teknik Pantai", Beta offset, Yogyakarta