

IDENTIFIKASI KETEBALAN SEDIMEN DI KOTA BENGKULU MENGUNAKAN METODE SPAC IDENTIFICATION OF SEDIMENT THICKNESS IN BENGKULU CITY USING THE SPAC METHOD

Aditya Setyo Rahman^{1,*}, Dadang Permana¹, Sigit Pramono¹, Fajri Syukur Rahmatullah¹, Oriza Sativa¹, Moehajirin¹, Edy Santoso¹, Nur Hidayati Oktavia¹, Ardian Yudhi Octantyo¹, Robby Wallansha¹, Audia Kaluku¹, Juwita Sari Pradita¹, Nur Fani Habibah¹, Yoga Dharma Persada¹, Dedi Sugianto¹, Ulfa Nur Silvia¹, Anton Sugiharto², Muzli¹, Dwikorita Karnawati¹, Suko Prayitno Adi¹

¹)Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, Jl. Angkasa 1 No.2, RT.1/RW.10, Gn. Sahari Sel., Kec. Kemayoran, Kota Jakarta Pusat, Daerah Khusus Ibukota Jakarta 10610

²) Sta. Geof. Klas III Kepahiang, Jl. Pembangunan No. 156, Pasar Ujung, Kepahiang, Kec. Kepahiang, Bengkulu, Indonesia

*Email: setyo.bmkg@gmail.com

ABSTRAK

Parameter kerentanan seismik menjadi bahan pertimbangan yang penting dalam pembangunan suatu wilayah yang berkaitan dengan estimasi guncangan tanah saat terjadi gempa bumi, termasuk Kota Bengkulu yang berada pada kawasan seismik aktif. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian skala detail atau mikrozonasi di Kota Bengkulu menggunakan metode Spatial Auto Correlation (SPAC). SPAC merupakan metode survei Mikrotremor Array (MA) yang didasarkan pada teori perambatan gelombang permukaan Rayleigh dimana gelombang tersebut dihasilkan dari interaksi gelombang geser dengan lapisan tanah permukaan. Dari hasil penelitian ini didapatkan ketebalan sedimen di Kota Bengkulu bervariasi antara 114 – 252 meter.

Kata kunci: SPAC, Mikrotremor Array, Gelombang Rayleigh

ABSTRACT

Seismic vulnerability parameter is an important consideration in the regional development planning related to ground shaking during an earthquake, including Bengkulu City which located at the active seismic zone. Therefore, it is necessary to conduct thorough scale or microzonation study in Bengkulu City using Spatial Auto Correlation (SPAC) method. SPAC is a Microtremor Array (MA) survey technique that is based on the principle of Rayleigh surface wave propagation. Shear waves interact with the top layer of soil to produce the waves, which are then used to create the waves themselves. According to the study's findings, the silt thickness in Bengkulu City ranged from 114 to 252 meters.

Keywords: SPAC, Microtremor Array, Rayleigh Wave

1. Pendahuluan

Getaran gempa bumi di permukaan tidak hanya dipengaruhi oleh magnitudo gempa dan jarak hiposenter, namun juga dipengaruhi

oleh karakteristik tanah setempat sebagai media perambatan gelombang gempa dari batuan dasar ke permukaan tanah. Variasi dan perubahan karakteristik tanah dari kedalaman batuan dasar hingga ke

permukaan dapat menimbulkan perbesaran (amplifikasi) getaran gempabumi sehingga turut mempengaruhi dampak yang mungkin ditimbulkannya di permukaan, termasuk dampak pada bangunan. Karakteristik tanah sangat bervariasi bahkan dalam jarak yang relatif dekat sehingga untuk pemetaan bahaya gempabumi di kota-kota dengan ancaman gempabumi perlu dilakukan kajian terhadap karakteristik tanah setempat tersebut dalam skala detail atau skala mikro.

Kota Bengkulu yang merupakan Ibu Kota Provinsi Bengkulu yang telah mengalami perkembangan yang cukup pesat, baik dari segi fisik maupun non fisik. Pembangunan konstruksi dan infrastruktur di kota Bengkulu, harus mempertimbangkan risiko yang disebabkan oleh aktivitas seismik. Penilaian risiko harus didukung oleh informasi karakteristik bawah permukaan. Parameter karakteristik bawah permukaan dikaitkan dengan estimasi guncangan tanah di lokasi selama terjadinya gempabumi. Oleh karena itu, perlu dilakukan pengukuran parameter kerentanan seismik (mikrozonasasi) di kota Bengkulu. SPAC merupakan salah satu metode yang digunakan untuk mengestimasi ketebalan sedimen di suatu lokasi pengukuran.

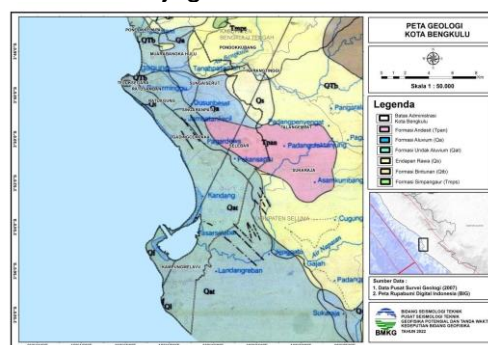
Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini dilakukan menggunakan metode SPAC untuk mengetahui ketebalan sedimen di wilayah Kota Bengkulu.

2. Tinjauan Pustaka

2.1. Geologi Regional Bengkulu

Kota Bengkulu berada di 6 formasi utama geologi [1]. Enam formasi geologi tersebut antara lain *Alluvium* (Qa), *Reef Limestone* (batu gamping terumbu) (Ql), *Swam Deposits* atau endapan rawa (Qs), *Alluvium*

Terraces atau undak aluvium (Qat), Andesit (Tpan) dan formasi bintunan (QTb) seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 1. Mayoritas masyarakat kota Bengkulu tinggal di wilayah Barat Kota Bengkulu yang didominasi oleh formasi undak aluvium dan aluvium. Secara umum formasi undak aluvium dan aluvium terdiri dari materi penyusun yang sama, yaitu kerikil, lanau, pasir dan lempung. Perbedaan terletak dimana undak aluvium relatif lebih halus sedangkan aluvium terdiri dari kerakal juga.



Gambar 1. Peta Geologi Regional Bengkulu [2].

Wilayah Utara hingga ke Tengah di bagian Timur Kota Bengkulu ditemukan formasi endapan rawa (Qs) dan didominasi oleh formasi Bintunan (QTb). Formasi Bintunan tersusun batuan konglomerat, batu gamping terumbu, batu lempung tufaan dan batu apung. Endapan rawa termasuk kedalam kategori tanah lunak dengan stratigrafi mirip aluvium dengan sisa tumbuhan.

Sedangkan di daerah Padangulaktanjung atau wilayah Tengah ditemukan formasi batu andesit. Batu andesit merupakan batuan beku vulkanik dengan tipe ekstrusif. Sementara untuk wilayah sekitar PLTU ditemukan juga formasi batu gamping terumbu dengan batuan penyusun dominan batu gamping.

2.2. Kegempaan Daerah Bengkulu dan Sekitarnya

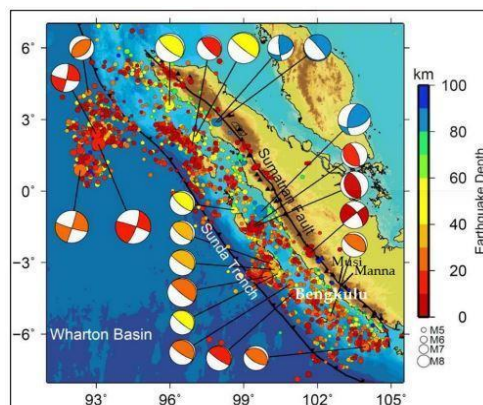
Aktifitas kegempaan di wilayah Bengkulu didominasi oleh gempa akibat pergerakan subduksi di pesisir Barat Bengkulu. Beberapa aktivitas gempa di Bengkulu yang cukup besar dirasakan pada zona subduksi tersebut. Terdapat dua gempabumi dengan intensitas tinggi yaitu pada tahun 2000 dan 2007. Gempabumi paling kuat dirasakan pada 12 September 2007 dengan M 7.9. Selain itu terdapat beberapa sejarah gempabumi merusak atau signifikan yang dapat dilihat pada Tabel 1[3].

Tabel 1. Gempabumi signifikan dan merusak di Kota Bengkulu.

Tanggal	Lat	Lon	D (km)	M
13/08/2017	-3.78	101.61	35	6.4
06/12/2017	-3.16	102.15	10	5.1
10/04/2016	-4.37	102.07	61	5.8
04/08/2011	-2.88	100.97	28	6
09/09/2008	-4.04	103.01	10	5.6
12/09/2007	-4.59	101.22	10	7.9
16/01/2001	-4.02	101.776	28	6.9
13/02/2001	-4.68	102.562	36	7.4
04/06/2000	-4.7	102	33	7.3
07/06/2000	-4.61	101.905	33	6.5
15/12/1979	-3.3	102.71	33	5.8

Pada peta seismisitas yang ditunjukkan oleh Gambar 2, maka dapat dilihat bahwa *cluster* gempabumi di wilayah Bengkulu didominasi oleh aktivitas subduksi. Namun beberapa plot episenter juga menunjukkan adanya beberapa gempa akibat aktivitas sesar besar Sumatra. Sesar geser yang berada di darat bersesuaian

antara jalur sesar dengan plot episenter gempa.



Gambar 2. Peta Seismisitas Sumatra dengan mekanisme fokalnya [4].

2.3. Spatial Autocorrelation (SPAC) Analysis

SPAC merupakan metode survei *Microtremor Array* (MA) yang didasarkan pada teori perambatan gelombang permukaan *Rayleigh* dimana gelombang tersebut dihasilkan dari interaksi gelombang geser dengan lapisan tanah permukaan. Dengan mengukur kecepatan rambat gelombang permukaan *Rayleigh* maka dapat diperkirakan profil Vs30. Gelombang permukaan *Rayleigh* memiliki sifat dispersif, dimana kecepatan fasa gelombangnya bergantung pada frekuensi gelombang. Gelombang dengan frekuensi tinggi memiliki panjang gelombang yang pendek sehingga akan merambat hingga kedalaman yang dangkal dengan kecepatan rendah. Sebaliknya, gelombang dengan frekuensi rendah memiliki panjang gelombang yang panjang sehingga akan merambat hingga kedalaman yang lebih dalam dengan kecepatan yang lebih tinggi.

Keuntungan dari sifat dispersif ini dimanfaatkan untuk mengidentifikasi ketebalan lapisan yang bersesuaian dengan kecepatan gelombang gesernya. Metode SPAC

menggunakan sensor yang memiliki rentang frekuensi yang lebar dan sumber yang digunakan adalah getaran pasif dengan frekuensi yang bervariasi sehingga penetrasi gelombang yang dapat dijangkau menjadi dalam dan dapat menduga kedalaman *engineering bedrock* yang umumnya berada di kedalaman lebih dari 30 meter.

3. Data dan Metode

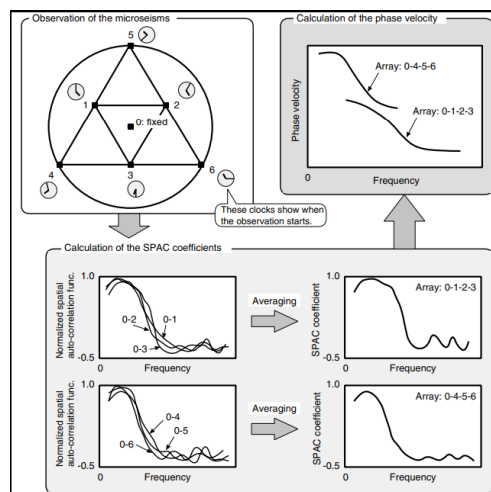
3.1. Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data primer yang diakuisisi menggunakan alat Mikrotremor Array.

3.2. Metode

SPAC merupakan metode survei *Microtremor Array* (MA) yang didasarkan pada teori perambatan gelombang permukaan Rayleigh dimana gelombang tersebut dihasilkan dari interaksi gelombang geser dengan lapisan tanah permukaan.

Analisis kurva dispersi dalam survei Mikrotremor Array dilakukan mengikuti metode *Spatial Auto Correlation* (SPAC). Dalam metode SPAC ini, rekaman getaran gelombang permukaan diperoleh dari konfigurasi (*array*) sensor untuk merekam gelombang mikrotremor. Konfigurasi dibuat secara isotropis, seperti contohnya bentuk segitiga, agar kecepatan fase gelombang dari segala arah untuk membentuk kurva dispersi dapat dihitung.



Gambar 3. Analisis SPAC dalam Metode Mikrotremor Array [5].

3.3. Lokasi Penelitian

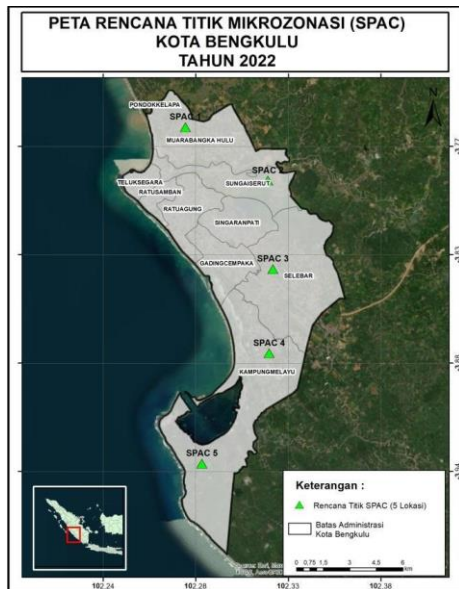
Kegiatan penelitian dilaksanakan di kota Bengkulu, Provinsi Bengkulu. Kota Bengkulu merupakan salah satu kota dengan risiko besar terhadap bencana gempa bumi karena kota Bengkulu merupakan daerah yang dekat dengan zona tumbukan antara dua lempeng tektonik yang aktif yaitu Lempeng Eurasia dan Lempeng Indo-Australia.

Dalam penelitian ini telah dilaksanakan survei pengukuran SPAC pada 5 titik pengukuran dengan rincian pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Koordinat lokasi pengukuran SPAC Kota Bengkulu.

Lokasi Pengukuran	Latitude	Longitude
Site 1	-3.762306	102.279067
Site 2	-3.789791	102.320832
Site 3	-3.834018	102.323192
Site 4	-3.878455	102.321437
Site 5	-3.935097	102.287417

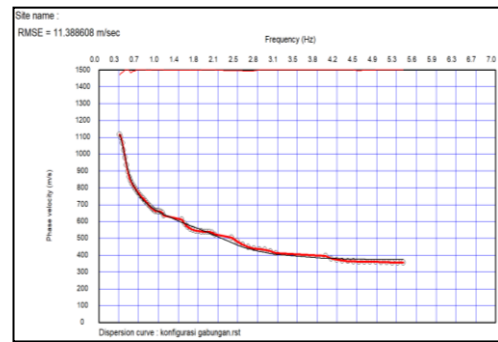
Lokasi kelima titik pengukuran yang tersebar di Kota Bengkulu dapat dilihat pada Gambar 4.



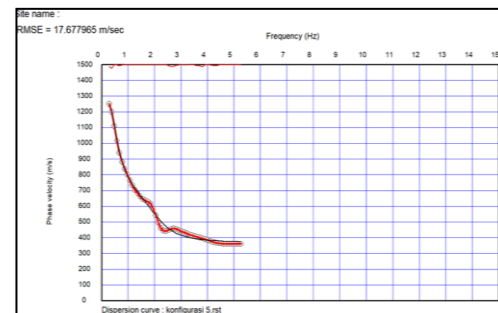
Gambar 4. Peta lokasi penelitian di Kota Bengkulu.

4. Hasil

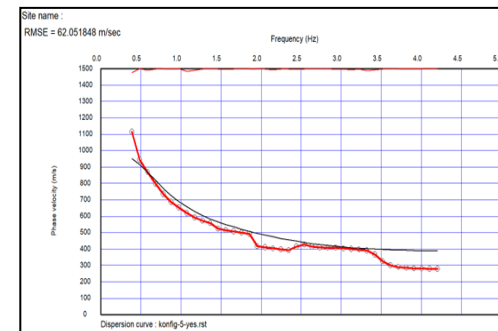
Dari pengukuran di lapangan dan pengolahan data, maka diperoleh hasil kurva dispersi dan profil kecepatan gelombang geser (V_s) terhadap kedalaman setiap titik. Kurva dispersi menunjukkan hubungan frekuensi terhadap fase kecepatan yang bervariasi yang diakibatkan perbedaan kondisi litologi. Dengan profil kecepatan hingga target kecepatan lebih besar dari 750 m/s yang dianggap sebagai kecepatan di *engineering bedrock*. Secara umum kurva dispersi lokasi 1 - 5 menunjukkan hubungan semakin besar frekuensi maka semakin kecil *phase velocity*. Dari kurva dispersi ini kemudian dilakukan inversi dengan meminimalkan nilai *misfit* dari *phase velocity* hasil pengukuran dan hasil perhitungan. Kurva dispersi pada lokasi 1 - 5 ini bisa dilihat pada gambar di bawah ini :



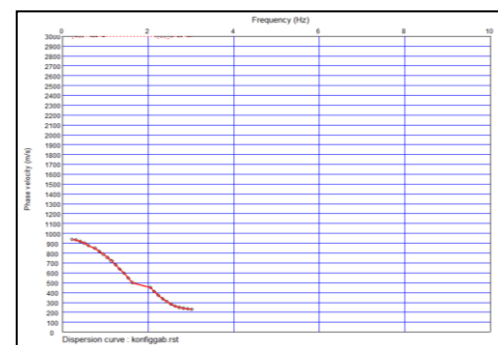
(a)



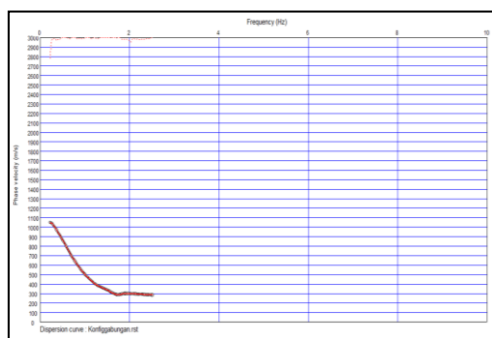
(b)



(c)



(d)



(e)

Gambar 5. grafik (a) - (e) menunjukkan kurva dispersi pada daerah penelitian lokasi 1 - lokasi 5

Phase velocity dan ketebalan lapisan merupakan parameter yang harus dihitung. Model awal kecepatan dan ketebalan digunakan sebagai parameter apriori yang kemudian dilakukan proses inversi untuk mendapatkan model yang paling cocok atau paling kecil *misfitnya*. Dari hasil pengolahan tersebut didapat parameter kecepatan gelombang geser dan ketebalan lapisan yang bisa dilihat pada tabel berikut ini:

Tabel 3. Nilai Vs yang menunjukkan ketebalan sedimen pada kedalaman tertentu.

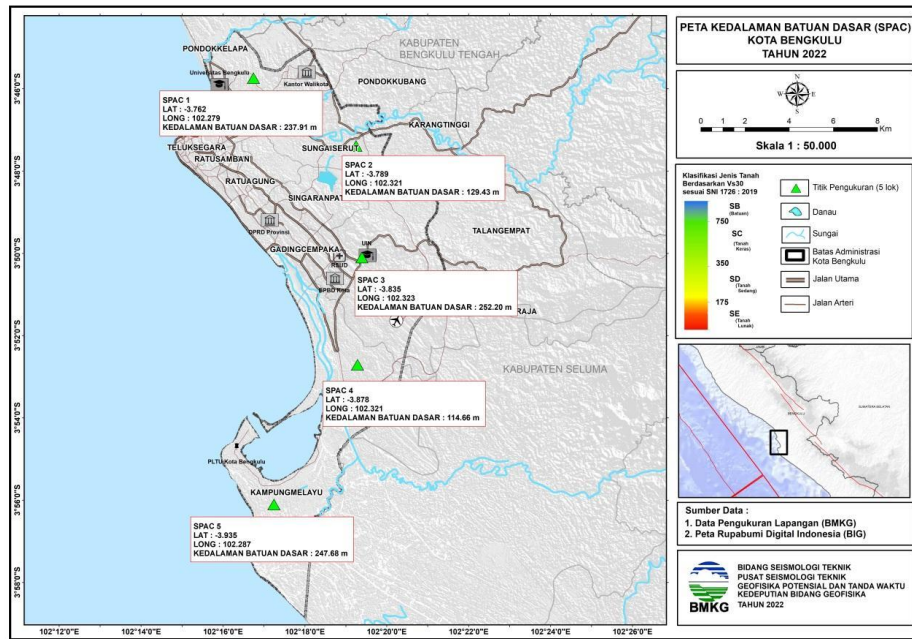
	Vs (m/s)	Depth (m)
Lokasi 1	624	71.4 - 166.7
	684	166.7 - 285.7
	811	285.7 - 428.6
Lokasi	389	0 - 71.4

2	637	71.4 - 166.7
	809	166.7 - 285.7
Lokasi 3	559	71.4 - 166.7
	663	166.7 - 285.7
	798	285.7 - 428.6
Lokasi 4	292	0 - 71.4
	607	71.4 - 166.7
	747	166.7 - 285.7
Lokasi 5	336	0 - 71.4
	495	71.4 - 166.7
	754	166.7 - 285.7

Untuk mendapatkan kedalaman pada kecepatan 750 m/s maka dilakukan interpolasi antara dua profil yaitu :

$$D_{Vs750} = D_1 + \frac{(D_2 - D_1)}{(V_2 - V_1)} \times (750 - V_1)$$

Dimana V_1 dan V_2 adalah kecepatan sebelum dan sesudah kecepatan pada *bedrock* (750 m/s). Sedangkan D_1 dan D_2 adalah kedalaman awal pada V_1 dan V_2 . Dari rumus interpolasi di atas didapatkan kedalaman batuan dasar (*bedrock*) sebagaimana ditunjukkan oleh Gambar 6.



Gambar 6. Peta kedalaman batuan dasar atau ketebalan sedimen Kota Bengkulu.

5. Kesimpulan

Hasil analisis Mikrotremor Array di kota Bengkulu menunjukkan bahwa kedalaman batuan dasar atau ketebalan lapisan sedimen berkisar antara 114-252 meter dari permukaan. Dengan ketebalan lapisan sedimen paling dangkal terletak di Kec. Kampung Melayu dan ketebalan lapisan sedimen paling dalam terletak di Kec. Selebar.

Ucapan Terima Kasih

Apresiasi setinggi-tingginya untuk rekan-rekan BMKG Pusat, dan Stasiun Geofisika Kelas III Kepahiang atas kerjasama dan dukungannya dalam melakukan survei dan akuisisi data guna terpenuhinya penelitian ini.

Daftar Pustaka

[1] Sugianto, N., Farid, M. dan Suhendra. (2017). Kondisi Geologi Lokal Kota Bengkulu Berdasarkan Ground Shear Strain (GSS). Spektra (Jurnal Fisika dan Aplikasinya), Vol.2, No.1, hal. 29–36.

[2] Permana, D., dkk. (2022). Laporan Kerentanan Seismik Kota Bengkulu Tahun 2022, Jakarta: BMKG.

[3] Katalog Gempabumi Merusak atau Signifikan BMKG. (2022). (<https://bmgk.go.id/gempabumi-dirasakan.html>), diakses 20 Oktober 2022

[4] Hadi, A.I., Farid, M., Harlianto, B., Hidayat, N. dan Krisbudianto, M. (2019). Pemetaan Potensi Kerentanan Gempabumi Pada Kota Bengkulu Menggunakan Data Mikrotremor dan Metode Analytical Hierarchy Process. *Jurnal Fisika Flux: Jurnal Ilmiah FMIPA Universitas Lambung Mangkurat*, Vol. 18 No. 2. Hal. 105-118.

[5] Morikawa, H. (2004). A Method to Estimate Phase Velocities of Rayleigh Waves Using Microseisms Simultaneously Observed at Two Sites. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 94(3), 961–976.