

PENENTUAN PROFIL KETEBALAN SEDIMEN LINTASAN KOTA MAKASSAR DENGAN MIKROTREMOR

Muhammad Hamzah Syahrudin, Sabrianto Aswad, Erni Fransisca Palullungan, Maria, Syamsuddin*

*Geophysics Department, Hasanuddin University
Jl. Perintis Kemerdekaan Km 10, Makassar 90245, Indonesia*

*Email: hamzah@fmipa.unhas.ac.id

Abstrak

Di kota metropolitan yang jauh dari fokus gempa besar misalnya Kota Makassar, getaran yang paling banyak mempengaruhi konstruksi bangunan adalah gempa mikro yang bersumber dari getaran mesin, angin, tumbuhan dan aktivitas manusia. Sumber getaran di permukaan bumi dapat menyebabkan tanah di sekitarnya beresonansi. Resonansi pada lapisan tanah yang terjadi secara periodik disebut gempa mikro atau mikrotremor. Hasil pengukuran mikrotremor dari arah Kabupaten Gowa ke Kota Makassar menjadi fokus analisis dalam penelitian ini. Studi mikrotremor ini bertujuan mengetahui berapa besar frekuensi resonansi, tingkat kerentanan seismik dan pendugaan ketebalan lapisan sedimen pada lintasan mikrotremor yang dibuat melewati daerah Gowa sampai kota Makassar. Frekuensi resonansi lintasan mikrotremor Gowa-Makassar sangat bervariasi mulai dari 0,647 – 11,698 Hz, dengan frekuensi resonansi rata-rata berada pada 6,29 Hz. Nilai indeks kerentanan seismik lintasan mikrotremor Gowa-Makassar berada pada interval nilai 0,15 – 30. Tingkat kerentanan seismik Gowa-Makassar cenderung semakin besar ke arah topografi yang lebih tinggi. Hasil perhitungan ketebalan sedimen lintasan mikrotremor Gowa-Makassar menggunakan teknik S/R adalah 6 – 66 m.

Kata kunci: frekuensi dominan, kerentanan seismic, ketebalan sedimen, mikrotremor

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan daerah terbanyak yang dilewati oleh titik-titik gempa. Karena kita sudah ketahui bersama bahwa Indonesia berada dibatas oleh 3 lempeng mayor di dunia yang berbeda yaitu lempeng eurasia, indo-australia dan lempeng pasifik dan beberapa lempeng kecil. Maka dari itu Indonesia memiliki titik gempa yang tersebar hampir merata diseluruh nusantara. Pola penyebaran fokus gempa mirip dengan pola penyebaran gunungapi yang terletak pada batas lempengnya. Oleh karena itu, Indonesia merupakan wilayah yang memiliki kerentanan gempabumi yang cukup tinggi, seperti yang biasa kita saksikan daerah yang dekat dengan fokus gempa besar, terjadi keruntuhan bangunan, longsor, retakan tanah, kerusakan jalanan, jatuhnya korban jiwa manusia, tsunami dan lain-lain. Sehingga kita membutuhkan

pemetaan dan zonasi yang detail untuk daerah yang rentan gempabumi.

Daerah yang jauh dari fokus gempa tektonik maupun vulkanik dampak getarannya tidak secara langsung kelihatan, karena amplitudo getarannya semakin jauh semakin kecil. Namun demikian, bukan berarti daerah yang jauh dari pusat gempa tidak mengalami kerusakan. Hanya saja, kerusakan yang terjadi seperti misalnya retakan-retakan halus pada bangunan tidak kelihatan secara kasat mata, yang menyebabkan kerentanan pada bangunan itu sendiri. Bisa saja getaran-getaran yang kecil menyebabkan kekuatan bangunan berkurang sehingga usia bangunan menjadi lebih pendek. Apalagi jika getaran itu terjadi intensif seperti mikrotremor atau gempa-gempa kecil yang banyak diakibatkan oleh aktivitas manusia di permukaan bumi.

Di kota-kota metropolitan yang jauh dari fokus gempa besar misalnya Kota Makassar, getaran yang paling banyak mempengaruhi

kontruksi bangunan adalah gempa mikro yang bersumber dari getaran mesin, angin, tumbuhan dan aktivitas manusia di permukaan bumi dan lain-lain. Sumber-sumber getaran yang ada di permukaan bumi dapat menyebabkan tanah di sekitarnya beresonansi. Resonansi yang terjadi pada lapisan tanah secara periodik atau konstan ini disebut gempa mikro atau mikrotremor. Mikrotremor ini menjadi fokus analisis dalam penelitian ini. Studi mikrotremor ini, bertujuan mengetahui berapa besar frekuensi resonansi, tingkat kerentanan seismik dan pendugaan ketebalan lapisan sedimen pada lintasan mikrotremor yang dibuat melewati daerah Gowa sampai kota Makassar.

Survei mikrotremor belum banyak diterapkan di Indonesia, tetapi beberapa negara seperti Jerman dan Jepang sudah banyak menggunakan survey mikrotremor ini. Survey mikrotremor ini, banyak memberikan sumbangsih pada mitigasi bencana, keperluan geoteknik, dan untuk perencanaan kota (*city planning*).

Getaran konstan dari permukaan bumi disebut mikrotremor (Okada 2004). Sumber dari mikrotremor adalah aktivitas manusia (gerak dari mesin-mesin pabrik dan kendaraan) dan fenomena alam (angin, hujan, variasi tekanan atmosfer dan gelombang laut). Getaran yang dimaksud bukan merupakan even dari durasi pendek seperti gempabumi dan ledakan (Seht & Wohlenberg 1999).

Spektra *ambient noise* yang diperoleh dari pengukuran mikrotremor dapat digunakan untuk menentukan respon lokasi khususnya frekuensi dari puncak utama atau frekuensi resonansi lapisan sedimen. Respon lokasi pada daerah sedimen sangat berhubungan dengan ketebalan sedimen dan kecepatan gelombang geser. Sehingga, respon lokasi yang diperoleh dari teknik perbandingan spektra dapat digunakan untuk menentukan ketebalan sedimen. Teknik telah banyak digunakan oleh peneliti seperti Nakamura (1989); Lermo and Chavez-Garcia (1993); Field *et al.* (1995); Ibs-Von Seht and Wohlenberg (1999); Delgado *et al.* (2000); Lombardo *et al.* (2001); Parolai *et al.* (2002); Garcia-Jerez *et al.* (2006). Hasil penelitian mereka menunjukkan bahwa penggunaan frekuensi resonansi dapat digunakan untuk menentukan ketebalan sedimen.

Teknik perbandingan spektra yang digunakan adalah teknik Nakamura, yaitu teknik perbandingan spektra noise komponen horisontal dan komponen vertikal pada daerah sedimen (spektra H/V), dan teknik klasik yang merupakan teknik perbandingan spektra komponen horisontal sedimen dan komponen horisontal batuan keras (*hard rock*) sebagai daerah referensi sebagai metoda spektra S/R.

Berdasarkan kondisi geologinya, kota Makassar sebagian besar dibangun di atas endapan aluvium dan batuan sedimen laut, sehingga merupakan daerah yang tepat untuk dijadikan sebagai lokasi penelitian dalam penentuan ketebalan sedimen. Basemen (*hard rock*) dari Makassar terdiri dari batuan gunungapi formasi Camba (breksi, lava, konglomerat dan tufa) terdapat di daerah sekitar Maros serta batuan gunungapi hasil erupsi, batuan gunungapi Lompobattang (konglomerat, lava, breksi, endapan, lahar dan tufa) dan batuan gunungapi terutama lava yang terdapat di daerah sekitar Gowa.

Ketebalan sedimen merupakan suatu bagian yang perlu diperhatikan dalam penentuan lokasi pembangunan, karena akan berpengaruh terhadap ketahanan dan keamanan bangunan nantinya. Makassar sendiri merupakan salah satu kota yang sedang berkembang pesat sehingga dibutuhkan data-data geofisika yang berhubungan dengan geoteknik dalam perencanaan infra struktur kota seperti jalan, jembatan, perumahan dll.

Untuk mengamati karakteristik dinamika tanah dapat ditinjau dari penjalaran gelombang seismic. Beberapa parameter fisis yang dapat dilihat dari penjalaran gelombang tersebut adalah kecepatan gelombang seismic, variasi amplitud, periode gelombang serta frekuensi. Karakteristik dari tanah bisa diketahui menggunakan gempa mikro atau mikrotremor.

Mikrotremor adalah getaran yang memiliki amplitudo rendah (0,1 – 1 mikron) yang diproduksi oleh gerakan bawah permukaan. Biasanya disebabkan oleh gangguan buatan seperti aktivitas lalu lintas, mesin pabrik, dan sebagainya. Periode pendek mikrotremor yaitu 0,1 – 1,6 detik. Dapat juga disebabkan oleh sumber alam seperti angin dan gelombang laut yang berperiode panjang. Periode panjang yang dimiliki oleh mikrotremor adalah (1,6 – 2 detik atau lebih). Gelombang alam dari mikrotremor berbedabeda, tergantung dari kondisi wilayahnya.

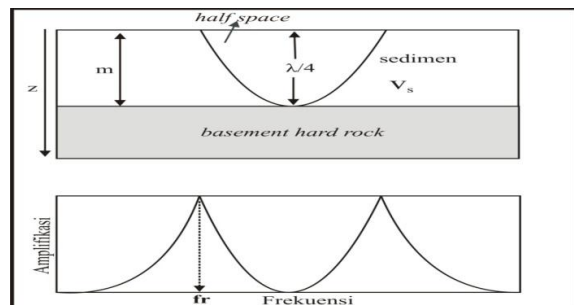
Prinsip dasar dari penerapan mikrotremor untuk studi efek bawah permukaan yaitu berdasarkan prinsip berikut: mikrotremor bergerak sebagai gelombang di bawah permukaan dan diamplikasikan pada periodanya yang dibuat sinkron dengan perioda alam di sub tanah. Seiringan dengan penyeleksian resonansi peningkatan komponen frekuensi. Pada saat perioda mikrotremor cenderung merefleksikan formasi bawah permukaan, perioda panjangnya selalu berhubungan dengan kedalaman formasinya (Parwatiningsy 2008).

Survei mikrotremor dapat dilakukan dengan dua cara (Mukhopadhyay & Bormann 2003 diacu dalam Winoto 2010). Pendekatan pertama adalah perekaman dilakukan secara simultan pada dua atau lebih lokasi. Salah satu tempat perekaman harus dilakukan di daerah batuan keras (*hard rock*) sehingga tidak menunjukkan adanya penguatan frekuensi akibat gerakan tanah. Rasio spektrum yang didapatkan pada tempat lain akan dibandingkan dengan yang terekam pada *hard rock* sehingga akan didapatkan respon *site* terhadap mikrotremor. Masalahnya dengan cara ini survei akan sulit dilakukan karena memerlukan daerah yang memiliki kawasan atau tempat dengan batuan keras sebagai pembanding.

Cara kedua diperkenalkan oleh Nakamura (1989) bersamaan dengan metode analisisnya. Nakamura menemukan bahwa rasio spektrum horizontal dan vertikal dari mikrotremor meningkat pada frekuensi resonansi dan akan menunjukkan puncak pada frekuensi tersebut. Nakamura mengasumsikan bahwa H/V merefleksikan tingkat amplifikasi dari gerakan tanah. Dengan metode ini pengukuran tidak perlu dilakukan dengan syarat adanya *hard rock*.

Secara umum perekaman mikrotremor tidak berbeda dengan perekaman gelombang seismik pada seismometer. Alat yang digunakan pun merupakan seismometer. Untuk metode nakamura diperlukan seismometer yang memiliki tiga komponen yang merekam komponen EW (*east-west*), NS (*north-south*), dan komponen vertikal (*up-down*). Pada perekaman mikrotremor tidak dibutuhkan adanya sumber buatan atau sumber berupa gempa bumi, namun pengukuran langsung dilakukan karena yang direkam merupakan gelombang yang timbul dari alam.

Prinsip dasar dari hubungan antara respon lokasi (frekuensi resonansi) dan ketebalan sedimen dapat dijelaskan melalui sebuah model dua-lapisan yang sederhana. Prinsipnya dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Prinsip dasar respon lokasi mikrotremor

Pada Gambar 1, terdapat sebuah *basement hardrock* yang ditutupi oleh sedimen dengan ketebalan m dan kecepatan gelombang geser V_s . Frekuensi resonansi dari sistem terdapat pada lapisan yang ketebalannya adalah $\lambda/4$ atau biasa disebut lapisan *half-space*. Hal tersebut disebabkan karena pada ketebalan $\lambda/4$ terjadi amplitudo maksimum.

Fungsi kecepatan kedalaman pada lapisan sedimen adalah:

$$v_s(z) = v_o(1 + Z)^x \quad (1)$$

dimana, v_o adalah kecepatan gelombang geser pada permukaan, $Z = z/z_o$ (dengan $z_o = 1m$), dan x adalah kedalaman bergantung pada kecepatan.

Fekkuensi resonansi dihitung dengan:

$$fr = \frac{1}{4T_o} \quad (2)$$

dimana, T_o adalah waktu tempuh gelombang geser antara dasar dan permukaan lapisan.

Dengan mendefinisikan, $v(z)=dz/dt$, maka T_o dapat dihitung dengan:

$$T_o = \int_0^m \frac{dz}{v_s(z)} = \int_0^m \frac{dz}{v_o(1+Z)^x}$$

$$T_o = \frac{1}{v_o} \frac{[(1+m)^{1-x}] - 1}{(1-x)} \quad (3)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan (2) ke persamaan (3), maka hubungan antara ketebalan dan frekuensi resonansi menjadi:

$$fr = \frac{v_o(1-x)}{4[(1+m)^{1-x}] - 1} \quad (4)$$

atau

$$m = \left[\frac{v_o(1-x)}{4fr} + 1 \right]^{\frac{1}{1-x}} - 1 \quad (5)$$

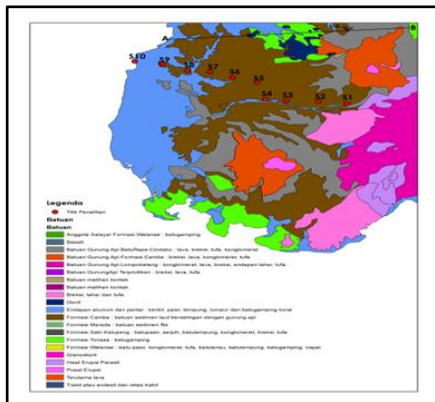
Pada penelitian ini kecepatan gelombang geser (v_s) diasumsikan tidak berubah terhadap

kedalaman (konstan), sehingga $x = 0$, maka ketebalan (m) pada persamaan (5) menjadi:

$$m = \frac{v_0}{4fr} \quad (6)$$

METODE

Sebagai dasar penelitian informasi awal diperoleh dari Peta Geologi lembar Ujung Pandang, Benteng dan Sinjai skala 1:250.000 yang diterbitkan oleh Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi tahun 1982. Dari peta geologi tersebut diketahui penyebaran jenis sedimen dan penyebaran jenis batuan di Kota Makassar dan Gowa. Keadaan geologi Kota Makassar dan Gowa, yang kemudian akan digunakan sebagai acuan untuk menentukan koordinat lokasi titik pengamatan dan pengukuran mikrotremor. Peta geologi lembar Ujung Pandang, Bantaeng dan Sinjai dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Peta geologi lembar Ujung Pandang, Bantaeng dan Sinjai

Sedangkan daerah penelitian mikrotremor yang meliputi Wilayah kota Makassar dan Kabupaten Gowa berada pada koordinat geodetik $5^{\circ}3'LS - 5^{\circ}26'LS$ dan $119^{\circ}20'BT - 119^{\circ}52'BT$. Daerah penelitian mikrotremor Gowa-Makassar dapat dilihat pada Gambar 3.



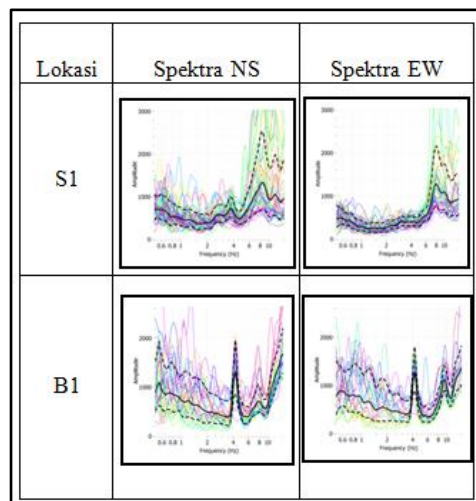
Gambar 3. Lokasi Penelitian Mikrotremor Gowa-Makassar

Data topografi diukur menggunakan GPS untuk mengetahui ketinggian permukaan tanah dan mikrotremor diukur menggunakan Alat TDL 303S di lintasan mikrotremor Gowa-Makassar. Data topografi menjadi dasar untuk melihat ketebalan sedimen dari permukaan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan rekaman *ambient noise* (mikrotremor) yang diperoleh dari sepuluh titik pengukuran yang tersebar di daerah Makassar, Gowa, diperoleh spektra hasil analisis dengan menggunakan dua teknik perbandingan spektra yaitu teknik H/V (teknik Nakamura) dan teknik S/R (klasik). Letak dari sepuluh titik pengukuran terdapat pada peta lembar ujung pandang, Bantaeng, Sinjai di Gambar 2.

Kurva spektral rasio dari teknik perbandingan H/V yang merupakan teknik Nakamura dilakukan untuk seluruh titik pengukuran pada daerah sedimen. Sedangkan teknik teknik klasik yang merupakan teknik perbandingan spektra antara spektra dari komponen horisontal rekaman pada daerah sedimen dan rata-rata spektra dari komponen horisontal rekaman pada daerah referensi. Berikut adalah contoh kurva spektra komponen horisontal daerah sedimen pada titik S1 di Malino dan kurva spektra komponen horisontal daerah referensi pada titik B1. Kurva spektra horisontal sedimen S1 dan kurva spektra horisontal referensi dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Kurva Spektra Horisontal Lintasan Titik S1 dan B1 di Malino

Tabel 1. Nilai Frekuensi Resonansi dari Teknik H/V dan S/R

Lokasi	Lintang	Bujur	elevasi (m)	fr (H/V)	fr (S/R)	A (H/V)
S1	-5,26	119,81	698	8,347	2,305	4,4
S2	-5,26	119,76	420	0,647	1,189	6
S3	-5,25	119,70	227	0,883	1,197	3,6
S4	-5,25	119,65	139	0,701	3,582	3,15
S5	-5,20	119,64	49	8,4	3,557	4
S6	-5,19	119,59	26	10,799	0,217	4
S7	-5,17	119,55	11	11,492	0,252	3,7
S8	-5,17	119,50	15	8,347	2,183	1,15
S9	-5,15	119,45	6	11,698	2,353	1,85
S10	-5,14	119,40	2	1,629	0,565	?

Keseluruhan kurva spektra komponen horisontal (NS dan EW) dari rekaman pada daerah sedimen dan kurva spektra komponen horisontal dari tujuh titik yang terletak di daerah referensi. Nilai dari masing-masing spektra ini kemudian digunakan untuk menghitung nilai frekuensi resonansi menggunakan persamaan (2).

Data yang diperoleh berupa hasil rekaman mikrotremor dalam fungsi waktu yang selanjutnya diolah menjadi data domain frekuensi menggunakan *Fast Fourier transform (FFT)* dari software Geopsy. Hasil transformasi FFT dianalisis dengan menggunakan metode Horizontal to Vertical Spektral Rasio (HVSR) yaitu membandingkan spektrum komponen horisontal dan spektrum komponen vertical.

Hasil analisis HVSR diperoleh nilai frekuensi resonansi yang dominan (f_r) dan nilai amplifikasi (A). Nilai amplifikasi (A) dapat diperoleh dari nilai f_r . Hasil frekuensi resonansi (f_r) dari teknik perbandingan spektra Nakamura (H/V) dan teknik perbandingan spektra klasik (S/R) dapat dilihat pada Tabel 1. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai frekuensi resonansi dominan (f_r) pada lintasan pengukuran mikrotremor Gowa-Makassar berkisar antara 0,647 – 11,698 Hz, dengan rata-rata berada di

bawah 6,29 Hz. Sedangkan nilai nilai amplifikasinya (A) berada pada interval nilai 1,15 – 6 pada tabel yang sama.

Untuk memperoleh nilai ketebalan sedimen, tidak hanya nilai frekuensi resonansi yang diperlukan, tetapi juga dibutuhkan nilai kecepatan gelombang geser, nilai kecepatan gelombang geser pada permukaan (V_0) yang digunakan pada penelitian ini diperoleh dari pengukuran pada masing-masing titik yang kemudian dirata-ratakan, nilainya adalah 57,534 m/s. Kemudian dengan menggunakan persamaan (6), maka dihasilkanlah nilai ketebalan sedimen di sepuluh titik rekaman data. Hasil ketebalan sedimen yang diperoleh dari teknik H/V dan S/R dapat dilihat pada Tabel 2 di bawah ini.

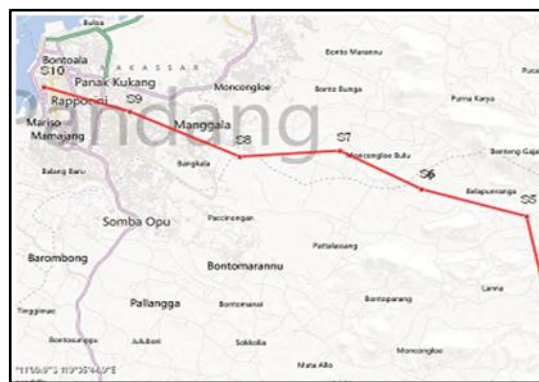
Untuk dapat melihat lebih jelas profil ketebalan sedimen dari lintasan (S10-S6) dan lintasan (S10-S1) maka digambarkan profil ketebalan sedimen berdasarkan letak lintasan titik pengukuran mikrotremor Gowa-Makassar seperti pada Gambar 4.3a. Profil ketebalan sedimen kedua lintasan tersebut digambarkan berdasarkan topografinya masing-masing. Profil ketebalan sedimen lintasan (S10-S6) dan lintasan (S10-S1) dapat dilihat pada Gambar 5, dan Gambar 6.

Tabel 2. Nilai Ketebalan Sedimen Dari Teknik H/V dan S/R

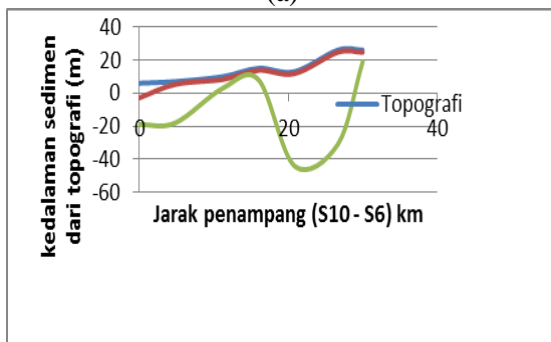
Lokasi	Lintang	Bujur	Elevasi (m)	Ketebalan (m) S/R	Ketebalan (m) H/V
S1	-5,26	119,81	698	6,241	1,723
S2	-5,26	119,76	420	12,098	22,231
S3	-5,25	119,70	227	12,011	16,289
S4	-5,25	119,65	139	4,015	20,518
S5	-5,20	119,64	49	4,044	1,712

S6	-5,19	119,59	26	66,199	1,332
S7	-5,17	119,55	11	57,074	1,252
S8	-5,17	119,50	15	6,587	1,723
S9	-5,15	119,45	6	6,114	1,230
S10	-5,14	119,40	2	25,461	8,830

Untuk dapat melihat lebih jelas profil ketebalan sedimen dari lintasan (S10-S6) dan lintasan (S10-S1) maka digambarkan profil ketebalan sedimen berdasarkan letak lintasan titik pengukuran mikrotremor Gowa-Makassar seperti pada Gambar 4.3a. Profil ketebalan sedimen kedua lintasan tersebut digambarkan berdasarkan topografinya masing-masing. Profil ketebalan sedimen lintasan (S10-S6) dan lintasan (S10-S1) dapat dilihat pada Gambar 5, dan Gambar 6.

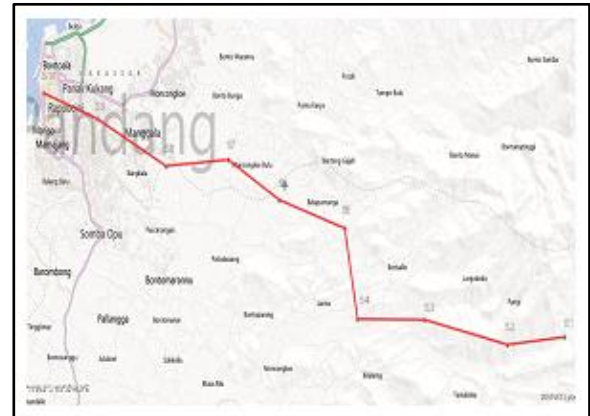


(a)

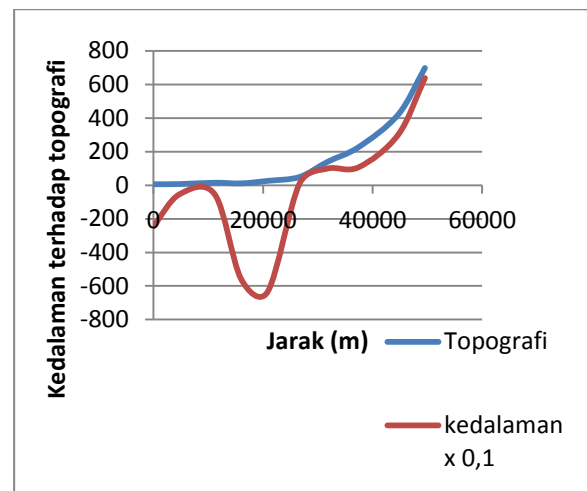


(b)

Gambar 5 (a) Titik pengukuran mikrotremor (S10-S6), dan (b) Ketebalan sedimen lintasan mikrotremor Gowa-Makassar menggunakan teknik Nakamura dan teknik Klasik pada titik pengukuran (S10-S6)



(a)



(b)

Gambar 6 (a) Titik pengukuran mikrotremor (S10-S1), dan (b) Ketebalan sedimen lintasan mikrotremor Gowa-Makassar menggunakan teknik klasik pada titik pengukuran (S10-S1)

Ada lima data ketebalan sedimen yang diperoleh dari data *boring log and S.P.T. Test Result* yang diperoleh dari CV konsultan Injenering Muliadi Makassar. Data tersebut merupakan profil dari data sounding untuk pembangunan gedung tinggi di Kota Makassar. Data-data bor yang digunakan adalah data bor yang letaknya cukup dekat dengan lokasi lintasan pengukuran mikrotremor dari beberapa titik penelitian.

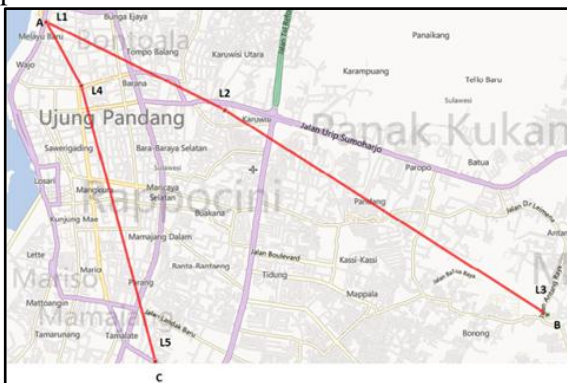
Data bor yang diperoleh dari Kota Makassar digunakan untuk memverifikasi hasil ketebalan sedimen yang diperoleh dari pengukuran mikrotremor. Lokasi dari data bor L1, dan kedua L4 terletak cukup dekat lintasan pengukuran mikrotremor pada titik S10 (daerah Karebosi). Data bor L2 terletak didaerah Pettarani yang letaknya cukup dekat dengan lintasan mikrotremor pada titik S9. Data bor L3 terletak agak dekat dengan lintasan mikrotremor pada titik S8 (daerah Antang).

Berikut adalah tabel titik koordinat data bor dan ketebalan sedimen dari lima titik data bor di Kota Makassar. Kelima koordinat geodetik dari data titik bor dan ketebalan sedimennya tersebut dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Koordinat Lokasi Data Bor dan Data Ketebalan sedimennya

No.	Lokasi	Lintang	Bujur	Ketebalan (m)
L1	Sangir	-5,1258	119,4138	25
L2	RS	-5,1305	119,4358	10
L3	Antang	-5,1649	119,4765	5
L4	Link Hotel	-5,1369	119,4101	25
L5	Landak Baru	-5,1651	119,4252	20

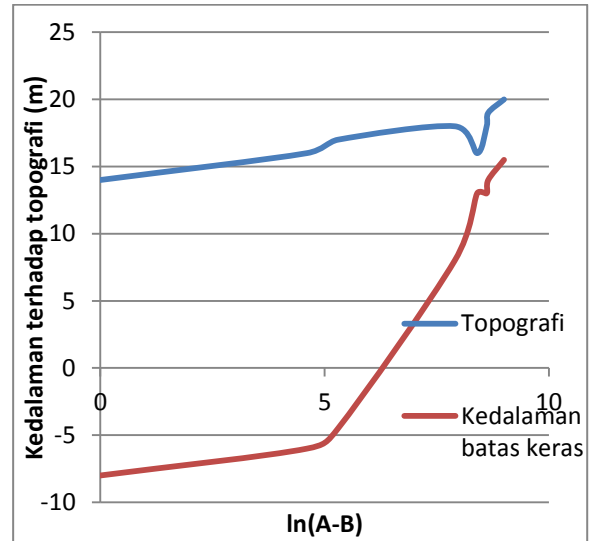
Letak dari titik lokasi bor ditunjukkan pada Gambar 7.



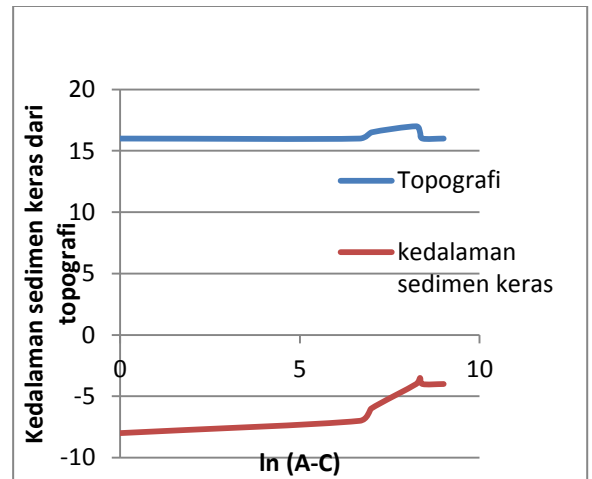
Gambar 7 Letak titik bor ketebalan sedimen Kota Makassar

Untuk dapat melihat lebih jelas profil ketebalan sedimen dari lintasan (A-B) dan lintasan (A-C) maka digambarkan profil ketebalan sedimen berdasarkan letak titik bor di Peta Kota Makassar seperti pada Gambar 4.5. Profil ketebalan sedimen kedua lintasan tersebut digambarkan berdasarkan topografinya masing-

masing. Profil ketebalan sedimen lintasan (A-B) dan lintasan (A-C) dapat dilihat pada Gambar 8 dan Gambar 9.

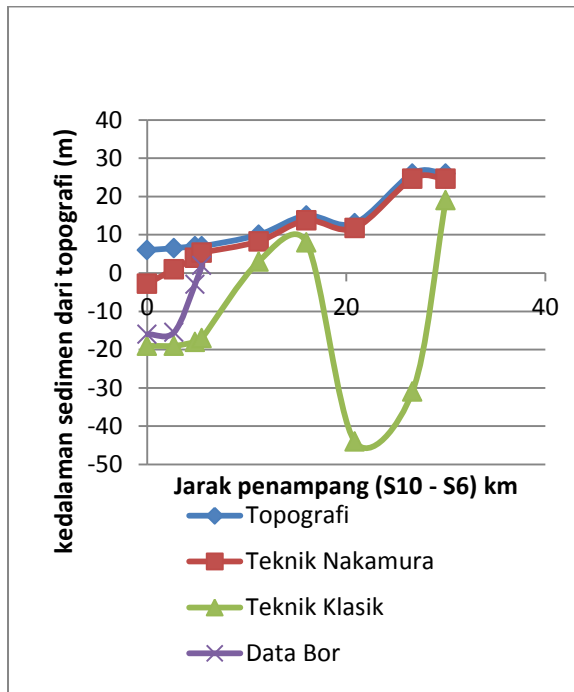


Gambar 8. Profil Ketebalan Sedimen dari Data Bor Makassar lintasan (A-B)



Gambar 9. Profil Ketebalan Sedimen dari Data Bor Makassar lintasan (A-C)

Profil ketebalan sedimen dari data bor dapat dibandingkan dengan ketebalan sedimen yang diperoleh dari teknik Nakamura dan teknik klasik. Perbandingan ketebalan sedimen dari data bor dengan ketebalan yang dihitung dari kedua teknik tersebut dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Perbandingan profil ketebalan sedimen dari teknik Nakamura, teknik kalsik, dan data bor

Karena ketebalan sedimen dari data bor masih sangat sedikit maka masih sulit untuk menentukan dari kedua teknik tersebut mana yang lebih akurat. Gambar 10 menunjukkan bahwa untuk daerah topografi rendah ketebalan sedimen dari teknik klasik lebih mendekati ketebalan sedimen dari data bor. Sebaliknya untuk topografi yang lebih tinggi, ketebalan sedimen dari teknik Nakamura lebih mendekati ketebalan sedimen dari data bor.

Perekaman mikrotremor dilakukan untuk mengetahui frekuensi resonansi, (f_r) lapisan permukaan tanah dan. Frekuensi resonansi lapisan permukaan untuk perkiraan ketebalan sedimen pada lintasan mikrotremor daerah Gowa-Makassar. Jumlah titik yang disurvei adalah sepuluh titik (S1-S10) seperti pada Gambar 3. Pengambilan data mikrotremor (*ambient noise*) pada titik tersebut dilakukan selama 35 menit menggunakan satu set seismograph periode pendek portable tipe TDL-303S (3 komponen). Jarak spasi antara titik pengukuran mikrotremor rata-rata 5 km. Data yang diperoleh berupa hasil rekaman mikrotremor dalam fungsi waktu, yang selanjutnya diolah menjadi data domain frekuensi menggunakan *Fast Fourier transform (FFT)* dari software Geopsy. Selanjutnya

dianalisis dengan menggunakan metode Horizontal to Vertical Spektral Rasio (HVSR) yaitu membandingkan spektrum komponen horizontal dan spektrum komponen vertical.

Hasil analisis HVSR diperoleh nilai frekuensi resonansi yang dominan (f_r) dan nilai amplifikasi (A). Nilai amplifikasi (A) dapat diperoleh dari nilai f_r . Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai frekuensi resonansi dominan (f_r) pada lintasan pengukuran mikrotremor Gowa-Makassar berkisar antara 0,647 – 11,698 Hz Tabel 1, dengan rata-rata berada di bawah 6,29 Hz. Sedangkan nilai nilai amplifikasinya (A) berada pada interval nilai 1,15 – 6, pada Tabel 2.

Ada dua jenis teknik perhitungan ketebalan sedimen yang digunakan dalam rekaman mikrotremor (*ambient noise*), yakni teknik Nakamura dan teknik klasik (teknik S/R). Perhitungan ketebalan sedimen menggunakan teknik Nakamura lebih sesuai pada topografi yang tinggi dan agak jauh menyimpang pada topografi yang rendah tetapi mempunyai pola yang mirip. Sedangkan perhitungan ketebalan sedimen menggunakan teknik klasik pada topografi rendah lebih mendekati ketebalan sedimen dari data bor tetapi jauh menyimpang pada topografi yang tinggi dan juga ada kemiripan polanya Gambar 10. Dari profil yang dihasilkan oleh metode klasik S/R terlihat bahwa lintasan mikrotremor pada titik S6 dan S7 ketebalan sedimen cukup besar dan berbentuk seperti cekungan.

SIMPULAN

Frekuensi resonansi lintasan mikrotremor Gowa-Makassar sangat bervariasi mulai dari 0,647 – 11,698 Hz, dengan frekuensi resonansi rata-rata berada pada 6,29 Hz. Sedangkan nilai nilai faktor amplifikasinya (A) berada pada interval nilai 1,15 – 6. Perhitungan ketebalan sedimen menggunakan teknik Nakamura lebih sesuai pada topografi yang tinggi dan agak jauh menyimpang pada topografi yang rendah tetapi mempunyai pola yang mirip. Sedangkan hasil perhitungan ketebalan sedimen menggunakan teknik klasik pada topografi yang rendah lebih mendekati ketebalan sedimen dari data bor, dan menyimpang pada arah topografi yang tinggi tetap juga ada kemiripan polanya. Profil ketebalan sedimen hasil perhitungan metode klasik menunjukkan adanya ketebalan sedimen cukup besar dan berbentuk seperti cekungan.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis menyampaikan ucapan terimakasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada Direktorat Pembinaan Penelitian dan Pengabdian Masyarakat, Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi Departemen Pendidikan Nasional melalui dana BOPTN UNHAS 2013 yang telah memberikan kepercayaan kepada penulis untuk melakukan penelitian ini. Ucapan terimakasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya juga disampaikan kepada Pimpinan UNHAS dan jajarannya, Ketua komisi penelitian UNHAS dan jajarannya, Ketua dan Staf Lembaga Penelitian UNHAS, pimpinan dan jajaran Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam UNHAS, Ketua jurusan dan ketua prodi geofisika, dan para anggota Tim Peneliti atas kerjasamanya dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Delgado, J.C., A.C. Lo'pez Casado, J. Giner Este'vez, A. Cuenca & S. Molina. 2000. Mapping soft Soil in the Segura River Valley (SE Spain); a case study of microtremor as an exploration tool. *J. Appl. Geophys* 45: 19-32.
- Field, E.H. 1995. Earthquake site response study in Giumri (formerly Leninakan), Armenia, Using Ambient Noise Observations. *Bulletin of the Seismological Society of America* 85: 349-353.
- Ibs-Von, S.M., & J. Wohlenberg. 1999. Microtremor Measurement Used to Map Thickness of Soft Sediments. *Bull. Seism. Soc. Am* 89: 250-259.
- Lermo, J., & J. Chfivez-Garcia. 1993. Site effect evaluation using spectral ratios with only one station. *Bull. Seism. Soc. Am.* 83: 1574-1594.
- Lermo, J & J. Chfivez-Garcia. 1994. Are microtremors useful in site response Evaluation?. *Bull Seism. Soc. Am.* 84: 1350-1364.
- Nakamura. 1998. A Method for Dynamic Characteristic Estimation of Subsurface Using Microtremor on the Ground Surface. *Q.R. of R.T.* 30(1): 25-33.
- Nakamura, Y. 2008. On The H/V Spectrum, The 14th World Conference on Earthquake Engineering. China: Beijing.
- Okada, H. 2004. The Microtremor Survey Method. *Society of Exploration Geophysicists United State of America*.
- Parolai, S., P. Bormann, & C. Milkereit. 2002. New relationships between Vs, thicness of sediments and resonance frequency calculated by H/V ratio of seismic noise for the Cologne Area (Germany). *Bull. Seism. Soc. Am.* 92(6): 2521-2527.
- Parwatingtyas, D. 2008. Perbandingan karakteristik lapisan bawah permukaan berdasarkan analisis gelombang Mikrotremor dan data bor. Jakarta: Universitas Indraprasta PGRI.
- Susilawati, I. 2009. *Sistem Pengolahan Isyarat*. Yogyakarta: Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer Universitas Mercu Buana.
- Winoto, P. 2010. Analisis mikrotremor kawasan universitas Brawijaya berdasarkan Metode Horizontal to vertikal spectral Ratio (Nakamura Method) (studi awal mikrozonasi seismik wilayah Malang). Malang: Universitas Brawijaya.