

Konfigurasi Cekungan Kuarter Wilayah Kota Mataram, Nusa Tenggara Barat Berdasarkan Data Mikrotremor

Configuration of Quartenary Basin In Mataram City Area, West Nusa Tenggara Based On Microtremor Data

Marjiyono

Pusat Survei Geologi, Badan Geologi, Kementerian Energi dan Sumberdaya Mineral,
Jl. Diponegoro No. 57 Bandung 40122.
email : marjiyono@emailcorner.net.

Naskah diterima : 27 November 2015 Revisi terakhir :10 Februari 2016 Disetujui : 13 Februari 2016

Abstrak - Informasi geologi bawah permukaan memegang peranan yang penting dalam berbagai aspek kehidupan dasar manusia baik yang menyangkut sumber daya alam, daya dukung dan lingkungan serta kebencanaan. Penerapan kombinasi metode mikrotremor *single station* dan mikrotremor *array* telah dilakukan untuk memodelkan kondisi bawah permukaan dangkal di wilayah Kota Mataram. Pengukuran mikrotremor *single station* dimaksudkan untuk memperoleh nilai frekuensi resonan tanah, adapun mikrotremor *array* digunakan untuk *sounding* kecepatan gelombang geser secara 1D. Hasil pemodelan menunjukkan ada dua lapis litologi dengan lapisan permukaan adalah endapan aluvium, sedangkan lapisan dibawahnya kemungkinan merupakan batuan sedimen yang lebih tua. Konfigurasi cekungan menunjukkan adanya tinggian di bagian timur yang membentuk pola kelurusinan berarah barat daya - timur laut, sedangkan pada bagian barat menunjukkan pola cekungan-cekungan yang relatif dalam.

Kata kunci - mikrotremor *single station*, mikrotremor *array*, konfigurasi cekungan, frekuensi resonan, kecepatan gelombang geser.

Abstract - Understanding of subsurface geology is essential for basic human life either for natural resources, geotechnique and environment or geohazard. Combined single station and array microtremor method application was done for shallow subsurface geological modelling in Mataram city area. The single station microtremor measurement was intended to find ground resonant frequency, while the array microtremor was used to 1D shear wave velocity sounding. The modeling result shows there are two layers which are interpreted as alluvial layer in the surface over elder sediment layer. The basin configuration shows the presence of a high in the eastern part forming a lineament pattern directed in SW-NE, while in the western part depicts a relatively deep basinal pattern. Basin configuration showing high platform at the eastern part which during southwest-northeast lineaments pattern. Meanwhile the western part showing deeper basins pattern.

Keywords - *single station microtremor*, *array microtremor*, *basin configuration*, *resonant frequency*, *shear wave velocity*.

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi sumber pasif (*passive source technology*) dalam dua dasawarsa terakhir menunjukkan perkembangan yang sangat pesat, khususnya dalam bidang kajian seismik. *Ambient noise* atau disebut juga mikrotremor merupakan salah satu metode geofisika sumber pasif yang banyak digunakan dalam berbagai keperluan saat ini, diantaranya eksplorasi migas, geologi teknik, kebencanaan, rekayasa bangunan, lingkungan, tata ruang wilayah dan sebagainya. Penggunaan metode mikrotremor telah digunakan sejak tahun 50-an, namun demikian baru berkembang secara cepat mulai akhir tahun 80-an sejak dicetuskannya metode HVSR (*horizontal to vertical spectral ratio*) oleh Nakamura (1989). Penggunaan metode ini secara luas umumnya untuk karakterisasi geologi permukaan dalam rangka penilaian resiko terhadap penguatan gelombang gempa pada suatu wilayah (Sanchez-Sesma, drr., 2011). Penerapan metode ini untuk keperluan eksplorasi geologi bawah permukaan dangkal sudah banyak dilakukan, diantaranya pemetaan ketebalan sedimen permukaan (Özalaybey, drr., 2011; El-Eraki, drr., 2012).

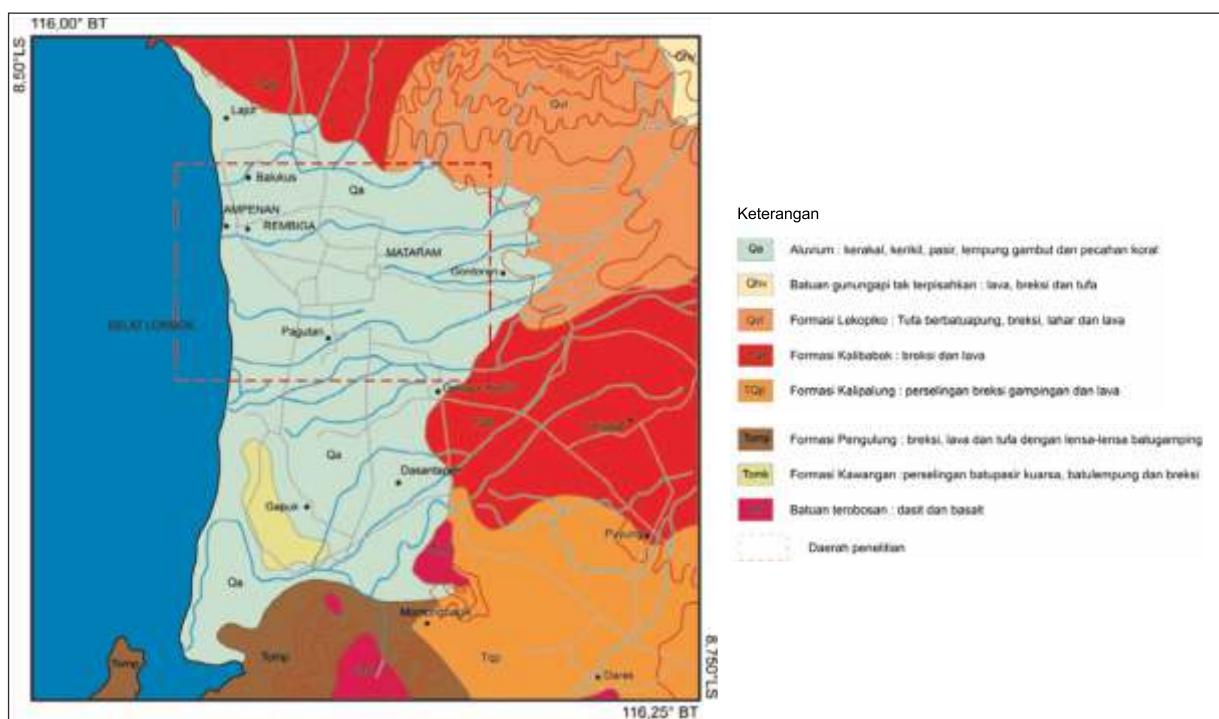
Dalam rangka memberikan gambaran kondisi geologi bawah permukaan dangkal daerah Kota Mataram, Nusa Tenggara Barat, telah dilakukan pengukuran mikrotremor di sejumlah titik ukur yang tersebar di wilayah Kota Mataram. Pemodelan ketebalan sedimen permukaan di setiap titik ukur memungkinkan

mengamati konfigurasi cekungan dekat permukaan yang umumnya pada lapisan batuan berumur Kuarter. Informasi kondisi bawah permukaan dangkal ini dapat dimanfaatkan untuk berbagai keperluan, diantaranya :

- Potensi cekungan air tanah (perlu penelitian lebih lanjut).
- Potensi bahan galian golongan C.
- Rekayasa bangunan
- Perhitungan respon spektra percepatan tanah
- Rencana tata ruang wilayah, dan sebagainya.

GEOLOGI DAERAH PENELITIAN

Bentang alam daerah Mataram dan sekitarnya berupa dataran rendah yang memanjang berarah utara-selatan sepanjang ± 20 km. Dataran rendah ini dikelilingi oleh perbukitan bergelombang rendah hingga tinggi yang ditempati oleh batuan berumur tua (Tersier) kecuali di sebelah timur laut ditempati oleh batuan tufa berbatuapung, breksi, lahar dan lava berumur Kuarter Formasi Lekopiko. Di sebelah selatan dibatasi oleh perbukitan yang ditempati oleh batuan Formasi Pengulung berupa breksi, lava dan tufa, sedangkan di sebelah timur dan utara umumnya berupa breksi dan lava dari Formasi Kalipalung dan Kalibabak. Dataran rendah Mataram sendiri ditempati oleh batuan termuda di daerah ini berupa endapan aluvium yang terdiri atas : kerakal, kerikil, pasir, lempung, gambut dan pecahan koral (Mangga, drr., 1994, Gambar 1).



Sumber : Mangga, drr., 1994

Gambar 1. Peta geologi daerah penelitian.

Berdasarkan lingkungan pengendapannya, satuan aluvium ini dapat dibedakan menjadi satuan endapan fluviatil dan satuan endapan pantai (Santoso, drr., 1994). Satuan endapan fluviatil terdiri atas endapan alur sungai berupa : kerakal, kerikil, pasir, lanau dan lempung, dan endapan cekungan banjir yang dicirikan oleh adanya lapisan batuapung yang penyebarannya cukup luas. Satuan endapan pantai menempati sepanjang pantai barat Mataram, terdiri atas endapan pasir lepas dengan sortasi baik yang mengandung batuapung dan mineral hitam. Pada beberapa tempat pasir berwarna putih yang berasal dari pecahan-pecahan fosil foram dan fragmen koral.

METODOLOGI

Metode mikrotremor dikenal sebagai metode geofisika yang efektif untuk memodelkan struktur bawah permukaan dangkal (Quispe, drr., 2014, Bouchelouh, drr., 2014, Paudyal, drr., 2012). Dalam penelitian ini digunakan metode mikrotremor *single station* HVSR untuk menentukan frekuensi resonan tanah di 498 titik ukur (Gambar 2). Inversi data mikrotremor *single station* HVSR dapat dikombinasikan dengan mikrotremor *array* (Asten, drr., 2014, Ikeda, drr., 2013). Dalam penelitian ini pengukuran mikrotremor *array* dilakukan di 18 titik ukur yang tersebar di wilayah Kota Mataram. Peralatan yang digunakan untuk pengukuran mikrotremor *single station* terdiri atas seismometer tiga komponen Mark L4C-3D dengan natural frekuensi 1

Hz, seismometer Lennartz LE-0.2-3D dengan natural frekuensi 0.2 Hz, data logger Hakusan LS-3000 XT dan SARA SL-06 dengan sampling rate masing-masing 100 Hz. Pengukuran mikrotremor *single station* dilakukan sekitar 15-30 menit untuk setiap titik ukur.

Pengolahan data mikrotremor *single station* pada dasarnya adalah penentuan frekuensi resonan dari spektrum rasio komponen horisontal terhadap komponen *vertical* (HVSR), yang secara matematis dinyatakan sebagai berikut (Nakamura, 1989) :

$$S_M(f) = \frac{(H_{SN}(f)^2 + H_{SE}(f)^2)^{1/2}}{V_s(f)} \quad \dots\dots\dots(1)$$

dimana

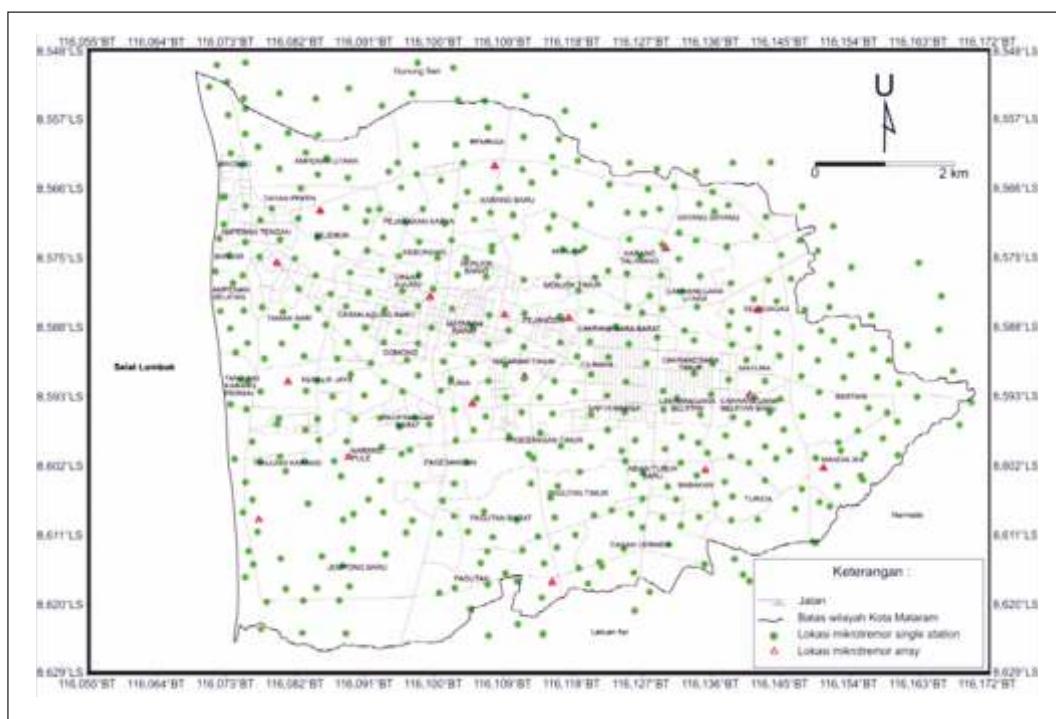
$SM(f)$: spektrum H/V

$HSN(f)$: spektrum komponen horisontal arah utara-selatan

$HSE(f)$: spektrum komponen horisontal arah barat-timur

$VS(f)$: spektrum komponen vertikal

Adapun nilai frekuensi resonan (f_0) adalah frekuensi yang bersesuaian dengan puncak spektrum H/V. Nilai frekuensi resonan (f_0) tersebut berbanding terbalik dengan besarnya ketebalan sedimen permukaan (Roux,drr., 2012, Özalaybey drr., 2011, Tuan drr., 2011 dan Sukumaran drr., 2011). Perhitungan spektrum H/V dilakukan dengan perangkat lunak *Geopsy* 2.5.



Sumber : olahan penulis

Gambar 2. Lokasi pengukuran mikrotremor *single station* dan mikrotremorarraywilayah Kota Mataram.

Bila litologi bawah permukaan dimodelkan dengan dua lapis batuan dengan lapisan permukaan merupakan lapisan sedimen yang relatif lunak dengan kecepatan gelombang geser V_s , dan ketebalan sebesar h , maka hubungan antara nilai frekuensi resonan f_0 oleh lapisan sedimen tersebut adalah :

$$f_0 = \frac{V_s}{4h} \quad \dots \dots \dots \quad (2)$$

atau

$$h = V_s/4f_0 \quad \dots \dots \dots \quad (3)$$

Bila nilai kecepatan gelombang geser lapisan sedimen permukaan diketahui, maka nilai ketebalan sedimen permukaan untuk setiap titik ukur dapat dihitung.

Pengukuran data mikrotremor array dilakukan dengan menggunakan 4 unit *accelerometer* OYO McSeis-1134 dengan konfigurasi *triangle nested*. Pemodelan struktur bawah permukaan 1D dilakukan dengan metode *spatial autocorelation* (SPAC) berdasarkan pada formula Aki (1957) dalam Kataoka (2011). Nilai koefisien korelasi antara dua stasiun pengamatan mikrotremor yang merekam secara simultan yang dipisahkan sejauh r adalah :

$$\rho(r, \omega) = J_0\left(\frac{\omega}{c(\omega)}r\right) \quad \dots \dots \dots \quad (4)$$

dengan :

ω : frekuensi anguler

J_0 : fungsi Bessel jenis pertama orde nol

$c(\omega)$: kecepatan gelombang permukaan.

Kecepatan gelombang permukaan $c(\omega)$ bersifat dispersif (fungsi frekuensi). Dari persamaan (4) di atas, bila fungsi $\rho(r, \omega)$ diketahui maka besarnya kecepatan c dapat diinversi dari kurva dispersinya. Hasil dari inversi berupa struktur kecepatan gelombang geser satu dimensi (1D). Adapun parameter model bawah permukaan ini berupa ketebalan sedimen permukaan serta nilai kecepatan gelombang geser lapisan batuan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Bila ditinjau morfologi P. Lombok secara keseluruhan, wilayah Mataram merupakan daerah paling rendah di pulau ini sehingga hasil proses fluviatil dari daerah yang lebih tinggi di sekitarnya terendapkan di wilayah ini yang membentuk dataran Mataram. Paleomorfologi daerah Mataram pra pengendapan aluvium diperkirakan merupakan bagian dari perbukitan sekitarnya sehingga batuan yang mengalami endapan aluvium di wilayah ini adalah batuan tua (Tersier) yang

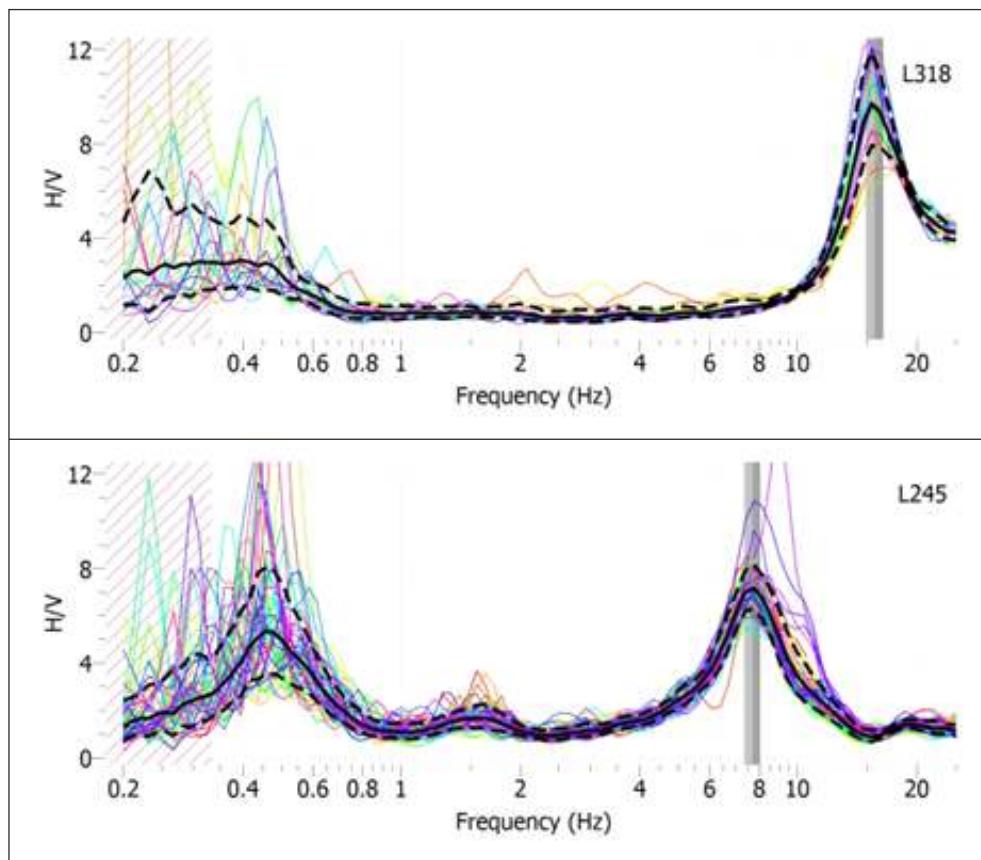
menempati perbukitan di sekelilingnya. Endapan aluvium pada umumnya bersifat lepas dan lunak sehingga mempunyai kontras impedansi yang besar bila dibandingkan dengan batuan tua yang umumnya masif. Hal ini menguntungkan karena dapat mengurangi *ambiguity* dalam pemodelan.

Data mikrotremor *single station* secara umum mempunyai kualitas yang baik ditunjukkan dari deviasi yang kecil dan puncak spektrum yang jelas. Contoh spektrum HVSR ditunjukkan pada Gambar 3. Adanya puncak spektrum menunjukkan adanya kontras impedansi antara lapisan batuan yang satu terhadap yang lain, sedangkan besarnya amplitudo dari spektrum menunjukkan besarnya kontras impedansi dari lapisan batuan tersebut.

Hasil analisis data mikrotremor *single station* menunjukkan pada umumnya spektrum terdapat satu hingga dua puncak pada spektrum HVSR. Adanya satu puncak pada spektrum berarti ada dua lapis batuan di bawah permukaan sedangkan dua puncak spektrum menunjukkan model tiga lapis batuan. Dalam hal adanya dua puncak spektrum HVSR, data mikrotremor *array* dapat digunakan untuk memvalidasi frekuensi resonan yang mana yang bersesuaian dengan model bawah permukaan yang tepat. Adapun frekuensi resonan tanah hasil *peaking* spektrum HVSR daerah penelitian berkisar antara 0,8 Hz hingga 25 Hz.

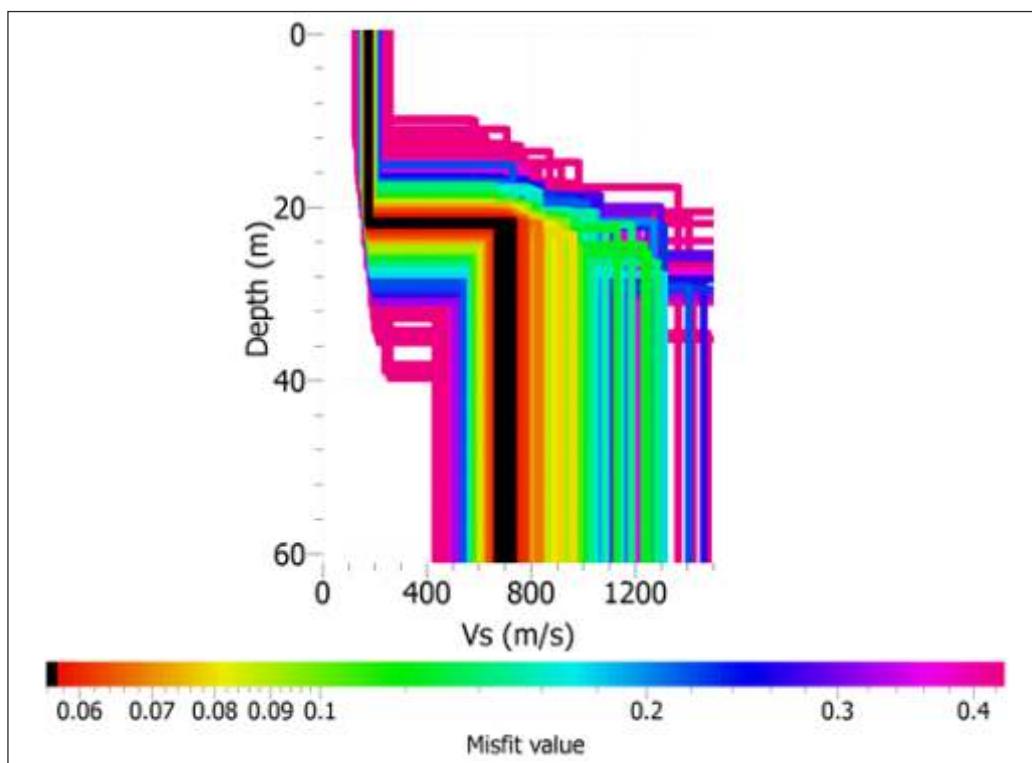
Hasil pemodelan data mikrotremor *array* menunjukkan secara umum daerah dataran Mataram terdiri atas dua lapis batuan. Adapun parameter model yang digunakan dalam analisis ini adalah kecepatan gelombang geser (*shear wave velocity*) lapisan batuan. Gambar 4 menunjukkan salah satu profil model bawah permukaan dari data mikrotremor *array* di titik A001. Perubahan sifat fisis batuan secara vertikal menunjukkan adanya perubahan litologi. Lokasi titik ukur mikrotremor *array* A001 berada di pusat Kota Mataram. Hasil pemodelan menunjukkan lapisan permukaan mempunyai ketebalan 22 m dengan kecepatan gelombang geser 174 m/detik, sedangkan lapisan di bawahnya mempunyai kecepatan gelombang geser 702 m/detik. Bila ditinjau besarnya nilai kecepatan gelombang geser lapisan permukaan, nilai kecepatan tersebut adalah kecepatan material lunak, sedangkan lapis kedua merupakan batuan yang agak keras (batuan keras > 750 m/detik). Selanjutnya lapisan permukaan ini diinterpretasi sebagai lapisan endapan aluvium.

Berdasarkan pengamatan geologi permukaan di lapangan endapan aluvium di dataran Mataram didominasi oleh material pasiran.



Sumber : olahan penulis

Gambar 3. Contoh spektrum HVSR titik ukur L245 dan L318 dengan satu dan dua puncak spektrum.



Sumber : olahan penulis

Gambar 4. Profil kecepatan gelombang geser hasil pemodelan titik A001.

Hasil pemboran di pusat Kota Mataram menunjukkan ketebalan endapan aluvium ini mencapai 23,5 m (Gambar 5). Secara umum hingga kedalaman tersebut berupa pasir lepas dan pada kedalaman tertentu terdapat perselingan lapisan lanau pasiran. Batuan yang mengalasi endapan aluvium ini berupa batupasir kuarsa masif dengan matriks lempung. Lokasi pemboran ini berjarak 192 m dari titik ukur A001, sehingga data pemboran ini cukup dapat memvalidasi data mikrotremor *array* tersebut.

Hasil analisis data mikrotremor *array* di 18 lokasi menunjukkan nilai kecepatan gelombang geser lapisan aluvium ini berkisar antara 135,6 m/detik sampai 200,6 m/detik. Ekstrapolasi nilai kecepatan gelombang geser lapisan endapan aluvium wilayah Kota Mataram dari 18 lokasi pengukuran mikrotremor *array* ditampilkan pada Gambar 6. Variasi lateral nilai kecepatan gelombang geser lapisan endapan aluvium kemungkinan disebabkan oleh variasi kepadatan dan ukuran butir material aluvium. Daerah proksimal (dekat dengan sumber bahan rombakan) pada bagian timur cenderung mempunyai kecepatan gelombang geser yang tinggi karena mempunyai ukuran butir yang lebih besar. Secara gradual ke arah distal kecepatan gelombang geser menurun karena ukuran butir kumungkinan semakin kecil. Daerah sekitar pantai memiliki nilai kecepatan gelombang geser paling rendah karena daerah ini ditempati oleh pasir lepas produk marin.

Hasil pemodelan untuk lapisan batuan yang mengalasi endapan aluvium (lapisan II) diperoleh kecepatan gelombang geser berkisar antara 600 m/detik hingga 841,5 m/detik. Gambar 7 menunjukkan sebaran kecepatan gelombang geser batuan lapisan II. Dari sebaran nilai kecepatan gelombang geser tersebut dapat diamati adanya daerah berkecepatan rendah yang memanjang dari bagian barat daya daerah penelitian ke arah timur laut dan sedikit di bagian barat laut. Variasi secara lateral kecepatan gelombang geser ini kemungkinan menunjukkan perbedaan litologi, kepadatan atau kemungkinan umur batuan.

Dari data sebaran kecepatan gelombang geser endapan aluvium di daerah penelitian dan nilai frekuensi resonansi dari mikrotremor *single station*, dengan menggunakan persamaan (3) dapat dihitung ketebalan lapisan endapan aluvium di seluruh daerah penelitian. Peta ketebalan aluvium daerah Kota Mataram ditunjukkan pada Gambar 8. Ketebalan endapan aluvium daerah penelitian berkisar antara 2,2 m hingga 43 m. Secara umum pola ketebalan endapan aluvium menebal ke arah barat. Dari gambar tersebut dapat diamati adanya ketidak menerusan pola ketebalan endapan sedimen, yakni tipis di bagian timur dan langsung menebal di bagian barat.

Gambaran visual 3 dimensi pola cekungan daerah penelitian ditunjukkan pada Gambar 9. Dari gambar tersebut dapat diamati secara lebih jelas pola dasar cekungan yang mengalami endapan aluvium. Pada bagian timur, dasar cekungan berupa tinggian yang membentuk pola kelurusinan berarah hampir barat laut-tenggara, sedangkan bagian barat umumnya berupa cekungan-cekungan yang relatif dalam terutama di bagian utara dan selatannya. Pada bagian ini, dasar cekungan membentuk pola punggungan yang memanjang berarah barat daya - timur laut. Bila ditinjau dari arah lajur punggungan tersebut menunjukkan adanya kemenerusan dengan batuan yang relatif muda (Kuarter) di bagian timur laut daerah penelitian yakni batuan Formasi Lekopiko.

Punggungan dasar cekungan ini kemungkinan merupakan batuan Formasi Lekopiko yang didukung juga oleh arah aliran yang berarah barat daya-timur laut serta pola sebaran nilai kecepatan batuan dasar cekungan.

KESIMPULAN

Kombinasi penerapan metode mikrotremor *single station* dan mikrotremor *array* terbukti cukup efektif, murah dan cepat dalam menggali kondisi bawah permukaan. Hasil pemodelan kondisi bawah permukaan wilayah Kota Mataram, diperoleh nilai variasi ketebalan endapan aluvium yang terendapkan pada cekungan Kuarter berkisar antara 2,2 m sampai 43 m. Endapan aluvium ini diindikasikan dari nilai kecepatan gelombang geser berkisar antara 135,6 m/detik hingga 200,6 m/detik. Pola cekungan Kuarter yang merupakan dasar endapan aluvium menunjukkan berupa tinggian di bagian timur yang membentuk pola kelurusinan berarah hampir barat laut - tenggara, sedangkan pada bagian barat membentuk pola cekungan-cekungan yang relatif dalam. Informasi bawah permukaan di daerah Kota Mataram ini dapat digunakan untuk berbagai keperluan seperti potensi air tanah, rekayasa bangunan dan sebagainya.

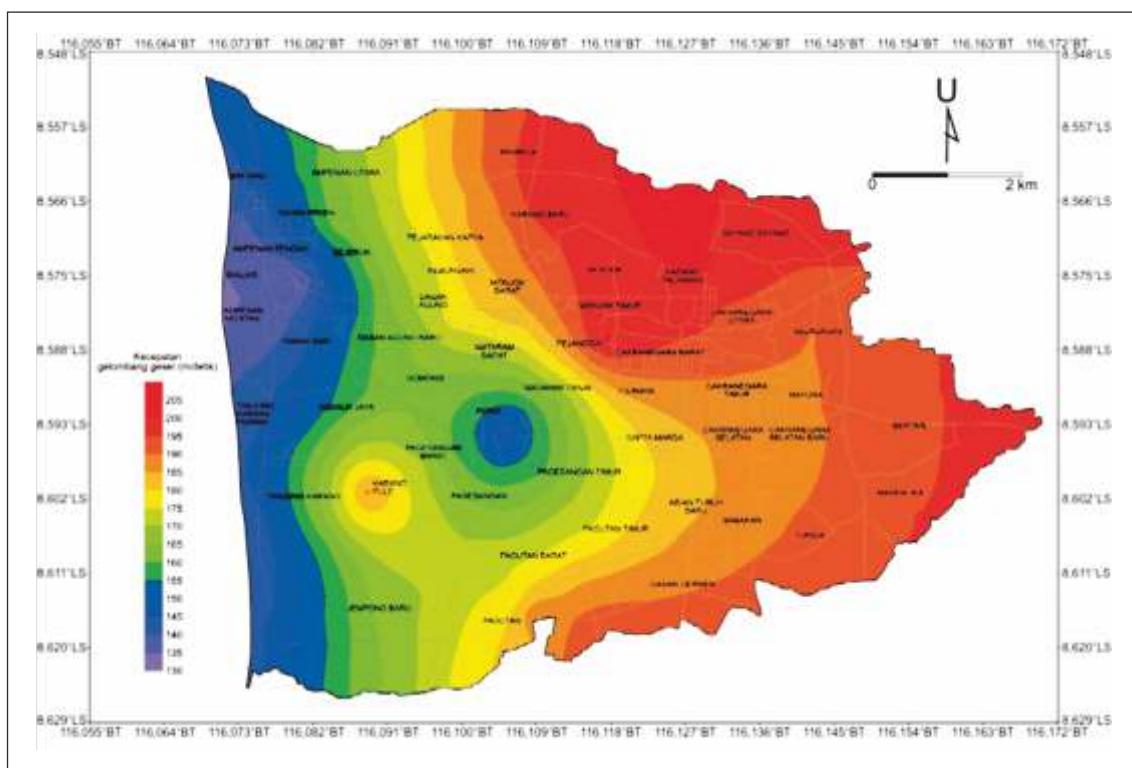
UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kami sampaikan kepada *Georisk Project* yang telah membiayai penelitian ini, serta kawan-kawan yang tergabung dalam Tim Mikrozonasi (Robby Setianegara, SSi, Ir. Kamawan, Drs. Januar Setiawan, Ir. Asdani Soehaimi dan Yayan Sopyan, ST.) dari Pusat Survei Geologi yang telah banyak membantu penulis dalam pengumpulan data geologi dan mikrotremor *single station*. Terima kasih juga kami sampaikan kepada Syamsuddin Ssi. MT dari F-MIPA Universitas Mataram atas perkenannya menggunakan data pemboran Kota Mataram.

Log Pemboran		
Lokasi : Kota Mataram (Islamic Center)	Koordinat : 8°34'48.56" LS 116°06'05.04"BT	Tanggal pemboran : 4-9 Feb 2010
Muka air : 4 m		Driller : MSH
h (m)	Litologi	Deskripsi
1		Lanau pasiran, kecoklatan, plastisitas rendah, sementasi rendah, lunak. Pasir lanauan, coklat keputihan, plastisitas rendah, sementasi rendah, urai, ada butiran batuapung. Lanau pasiran, kecoklatan, plastisitas rendah, sementasi rendah, agak padat.
2		Pasir lanauan, kecoklatan, plastisitas rendah, sementasi rendah, urai, gradasi baik, terdapat kerikil butiran batuapung diameter 7,5-10 mm, bundar-lonjong.
3		Lanau pasiran, kecoklatan, plastisitas rendah, sementasi rendah, agak padat
4		Pasir lanauan, kecoklatan, plastisitas rendah, sementasi rendah, gradasi buruk, ukuran pasir sedang
5		Pasir berkerikil, kecoklatan, plastisitas rendah, sementasi rendah, agak padat, gradasi baik, ukuran pasir kasar, terdapat kerikil butiran batuapung, diameter 4,5 - 20 mm, bundar-lonjong.
6		Pasir, kecoklatan, plastisitas rendah, sementasi rendah, agak padat, gradasi buruk, ukuran pasir kasar, terdapat kerikil butiran batuapung, diameter 4,5 - 20 mm, bundar-lonjong.
7		Pasir, kecoklatan, plastisitas rendah, sementasi rendah, agak padat, gradasi buruk, ukuran pasir kasar, terdapat kerikil butiran batuapung, diameter 2-4,5 mm, bundar-lonjong.
8		Pasir, kecoklatan, plastisitas rendah, sementasi rendah, agak padat, gradasi buruk, ukuran pasir kasar, terdapat kerikil butiran batuapung, diameter 0,1-2 mm, bundar-lonjong.
9		
10		Pasir, kecoklatan, plastisitas rendah, sementasi rendah, agak padat, gradasi buruk, ukuran pasir halus-sedang, terdapat butiran batuapung, diameter 0,1-2 mm, bundar-lonjong.
11		
12		
13		Pasir, coklat keabuan, plastisitas rendah, sementasi rendah, urai, gradasi buruk, ukuran pasir sedang, terdapat butiran batuapung, diameter 2-4,75 mm, bundar-lonjong.
14		
15		
16		Lanau lempungan, coklat tua, plastisitas rendah-sedang, sementasi sedang.
17		
18		
19		Pasir lanauan, coklat keabuan, sementasi rendah, urai, gradasi baik, ukuran pasir halus-sedang.
20		Lempung lanauan, coklat kehitaman, plastisitas sedang-tinggi, sementasi sedang.
21		
22		Pasir lanauan, coklat kehitaman, sementasi rendah, urai, gradasi baik, ukuran pasir sedang.
23		Lanau lempungan, coklat kehitaman, plastisitas sedang-tinggi, sementasi sedang.
24		Batupasir kuarsa, tersemen lempung, coklat, homogen, masif.
25		
26		
27		
28		Batulanau, tersemen lempung, coklat terang, homogen, masif.
29		

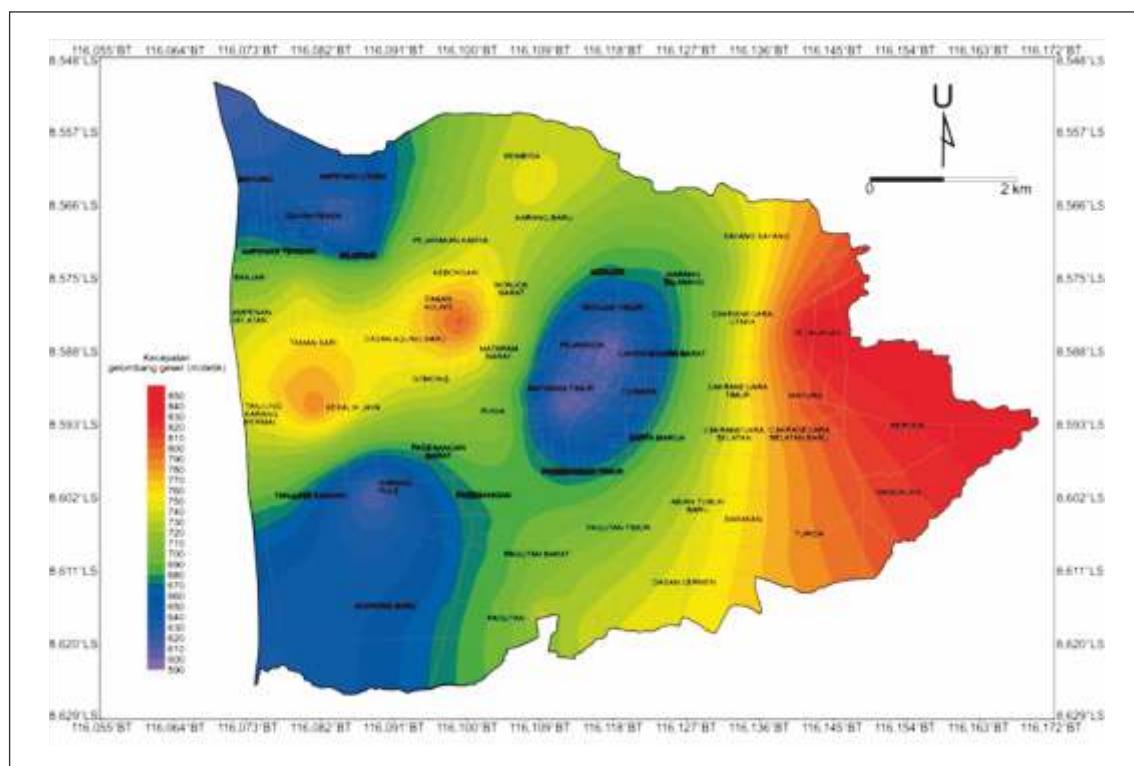
Sumber : Syamsuddin

Gambar 5. Log pemboran di pusat Kota Mataram, ketebalan endapan aluvium mencapai 23,5m.



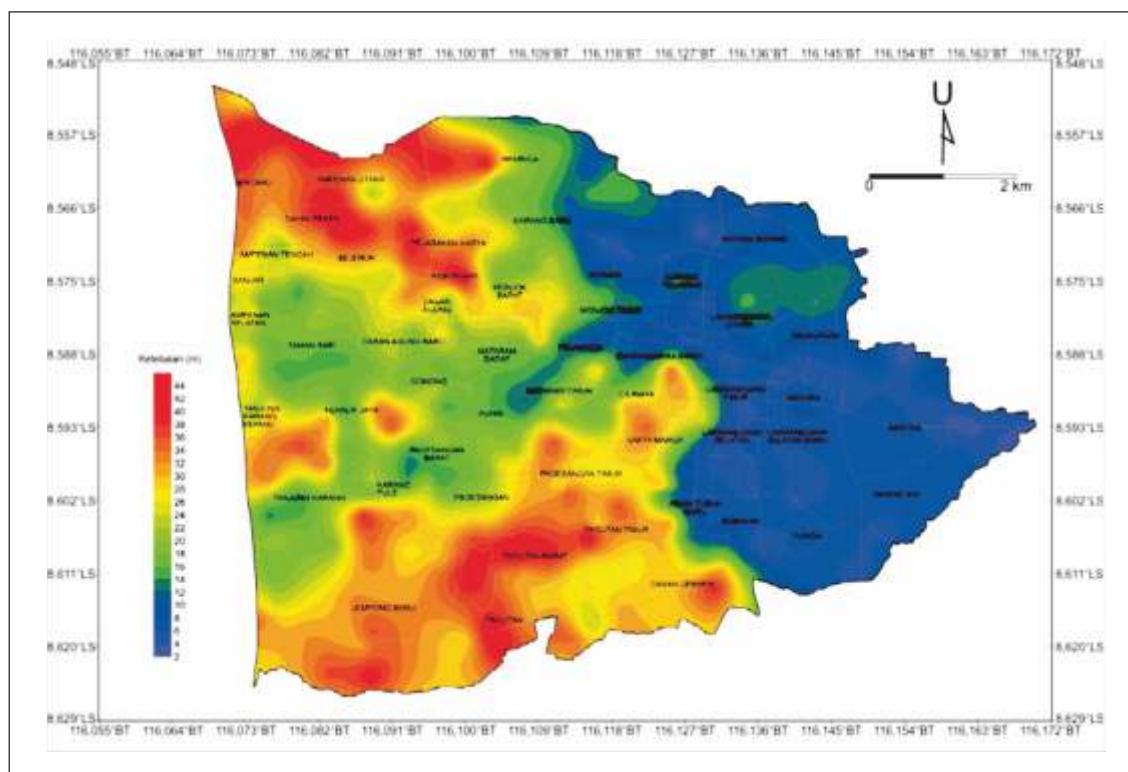
Sumber : olahan penulis

Gambar 6. Sebaran nilai kecepatan gelombang geser lapisan endapan aluvium wilayah Kota Mataram.



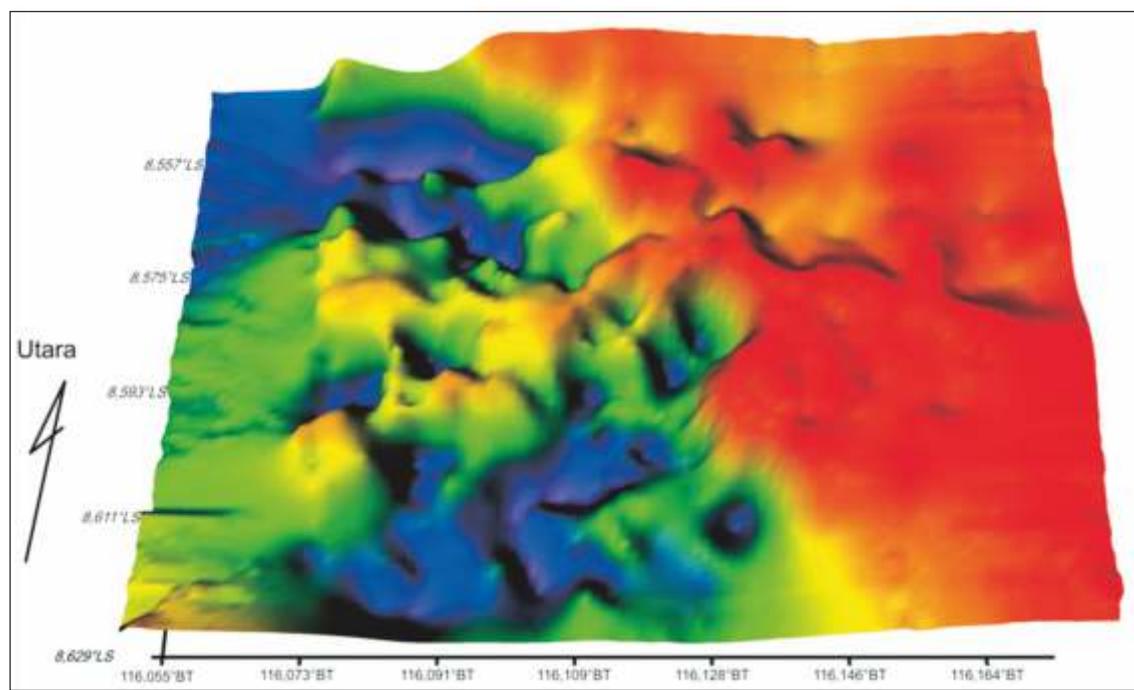
Sumber : olahan penulis

Gambar 7. Sebaran nilai kecepatan gelombang geser lapisan batuan yang mengalasi endapan aluvium wilayah Kota Mataram.



Sumber : olahan penulis

Gambar 8. Sebaran ketebalan endapan aluvium wilayah Kota Mataram.



Sumber : olahan penulis

Gambar 9. Konfigurasi cekungan yang mengalami endapan aluvium di wilayah Kota Mataram.

ACUAN

- Asten, M.W., Askan, A., Ekincioglu, E.E., Sisman, F.N. &Ugurhan, B., 2014, Site Characterization in Northwestern Turkey Based on SPAC and HVSR Analysis of Microtremor Noise,*Explor Geophys*, Vol 45, p74–85.
- Bouchelouh, A., Zaourar N., Farsi, M., and Guillier, B., 2014, Seismic Microzonation and The Site Effects of Blida City (North of Algeria),*Proceeding of 2nd European on Earth Engineering and Seismology*, Istanbul Aug, 25-29, 2014.
- El-Eraki, A., Mohamed, A.A., El-Kenawy, A.A., Tonib, M.S., & Shimaa, I.M. 2012, Engineering Seismological Studies in and Around Zagazig City, Sharkia, Egypt, NRIAG *Journal of Astronomy and Geophysics*, Vol 1, p141–151.
- Ikeda, T. Asten, M.W. & Matsuoka, T., 2013, Joint inversion of spatial autocorrelation curves with HVSR for site characterization in Newcastle, Australia, *Proceeding of the 23rd ASEG International Geophysical Conference and Exhibition*, Melbourne, Australia, Extended Abstracts, p1-4.
- Kataoka, S., 2011, Effects of Surface Geology on Seismic Motion, *Proceeding of the 4th IASPEI / IAEE International Symposium*, California, Aug. 23-26 2011.
- Mangga, S.A., Atmawinata, S., Hermanto, B., Setyonugroho, B. dan Amin, T.C., 1994, *Peta Geologi Lembar Lombok, Nusa Tenggara Barat, skala 1:250.000*, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- Nakamura, Y., 1989, A Method for *Dynamic Characteristics Estimation of Subsurface Using Microtremor on the Ground Surface*. Quarterly Report of Railway Technical Research Institute (RTRI), Vol. 30, No.1 ,p25-33.
- Özalaybey, S., Zor, E., Ergintav, S. and Tapirdamaz, M.C., 2011, Investigation of 3-D Basin Structures in the Izmit Bay Area (Turkey) by Single-station Microtremor and Gravimetric Methods, *Geophysical Journal International*, Vol. 186, p883–894.
- Paudyal, Y.R., Yatabe, R., Bhandary, N.P. & Dahal, R.K., 2012, A study of Local Amplification Effect of Soil Layers on Ground Motion in the Kathmandu Valley Using Microtremor Analysis, *Earthq. Eng. and Eng. Vib. J.*, Vol 11, p 257-268
- Quispe S., Chimoto K., Yamanaka H., Tavera H., Lazares F. and Aguilar Z., 2014, Estimation of S-Wave Velocity Profiles at Lima City, Peru Using Microtremor Arrays, *Journal of Disaster Research*, Vol. 9 No. 6, p931-939.
- Roux, O., Cornou, C., Jongmans, D. and Schwartz, S., 2012, 1-D and 2-D Resonances in an Alpine Valley Identified from Ambient Noise Measurements and 3-D modelling, *Geophysical Journal International*, Volume 191, p579–590.
- Sánchez-Sesma, F.J., Rodríguez, M., Iturrarán-Viveros, U., Luzón, F., Campillo, M., Margerin, L., García-Jerez, A., Suárez, M., Santoyo, M.A. and Rodríguez-Castellanos, A., 2011, A Theory for Microtremor H/V Spectral Ratio: Application for a Layered Medium, *Geophysical Journal International*, Vol. 186, p221–225.
- Santoso, Murtolo dan Suharsono, 1994, *Peta Geomorfologi Lembar Mataram, Nusatenggara Barat skala 1:100.000*, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- Sukumaran, P., Parvez, I.A., Sant, D.A., Rangarajan, G. & Krishnan, K., 2011, Profiling of Late Tertiary–Early Quaternary Surface in the Lower Reaches of Narmada Valley Using Microtremors, *Journal of Asian Earth Sciences*, Vol. 4, p325–334.
- Tuan, T.T., Scherbaum, F. and Malischewsky, P.G., 2011, On the Relationship of Peaks and Troughs of the Ellipticity (H/V) of Rayleigh Waves and the Transmission Response of Single Layer over Halfspace Models, *Geophysical Journal International*, Vol. 184, p793–800.