

STUDI AWAL RESPON DINAMIS BERDASARKAN PENGUKURAN MIKROTREMOR DI BENDUNGAN KARANGKATES MALANG

Philips Bramantia Mudamakin^{1*)}, Ariska Rudiyanto¹, Supriyanto Rohadi¹ dan Rizki Amalia²

¹Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, Bintaro, Tangerang Selatan 15221

²Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika Karangates, Karangates, Malang 65165

*) Email: brammbkg@gmail.com

Abstrak

Berdasarkan data gempa bumi 29 tahun terakhir telah terjadi 191 kejadian gempa bumi dirasakan di wilayah Karangates-Malang. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui trend respon dinamis frekuensi untuk bendungan Karangates-Malang. Penelitian ini menggunakan data primer survey secara langsung di bendungan Karangates-Malang. Alat yang digunakan ialah Portable Digital Seismograph type Taide TDL-303S dan Digital Seismograph type Taide TDV 23S. Analisis data mikrotremor dengan menggunakan metode Horizontal to Vertikal Spektrum Ratio (HVSr) dan pembandingan spektrum tiap komponen, dengan membandingkan trend respon dinamis frekuensi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa rata-rata trend frekuensi tiap komponen berubah signifikan mengikuti aktivitas air di bendungan Karangates-Malang. Nilai rata-rata tertinggi spektrum amplitudo masing-masing komponen ialah komponen vertikal (z)=2841.39 pada frekuensi 4.2076 Hz, komponen East-West (EW)=3656.82 pada frekuensi 5.3515 Hz dan Komponen North-South (NS)=2223.97 pada frekuensi 5.1708 Hz.

Abstract

Based on earthquake data over the past 29 years, there were 191 events were felt in the region of Karangates, Malang. The aim of this study is to determine the trend of dynamic response of the frequency for Karangates Dam, Malang. This study uses primary data, perform data retrieval directly at the Karangates Dam, Malang. The instruments named Portable Digital Seismograph type Taide TDL-303S and Digital Seismograph type Taide TDV-23S was used for the microtremor measurements. Microtremors data were analyzed using Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSr) and comparison of the spectrum of each component by comparing the trend of dynamic response of the frequency. The results showed that the average trend of the frequency each component changed significantly following the activity of water in the Karangates Dam, Malang. The highest average value for the amplitude spectrum of each component is the vertical component (Z) = 2841.39 at frequency 4.2076 Hz, the East-West component (EW) = 3656.82 at frequency 5.3515 Hz, and the North-South component (NS) = 2223.97 at frequency 5.1708 Hz respectively.

Keywords: trend of dynamic response, microtremor, spectrum, frequency.

1. Pendahuluan

Bendungan merupakan salah satu infrastruktur yang berhubungan dengan sumber daya air. Beberapa fungsi dari struktur ini diantaranya sebagai waduk untuk sistem irigasi, pembangkit listrik, pengelolaan air dan juga sebagai tempat pariwisata. Bendungan Karangates terletak di desa Karangates, Kabupaten Malang. Lokasi ini berdekatan dengan Stasiun Geofisika Karangates yang merupakan bagian dari jaringan pengamatan gempa bumi di Asia Tenggara atas kerjasama pemerintah Indonesia dengan UNESCO (*United Nation Education Scientific and Cultural Organization*) dan UNDP (*United Nations Development Program*). Tujuan utama diadakannya pengamatan gempa bumi di Karangates adalah

untuk mengetahui seismisitas di wilayah Jawa Timur serta menunjang keselamatan bendungan dan memantau karakter dinamis pada lokasi vital tersebut. Data gempa bumi yang tercatat pada Stasiun Geofisika Karangates menunjukkan bahwa daerah Karangates cukup sering diguncang gempa bumi, terbukti selama 29 tahun terakhir telah terjadi 191 kejadian gempa bumi dirasakan pada wilayah ini. Karena tingkat keaktifan seismik yang tinggi ini, diperlukan pemantauan karakteristik respon seismik tanah dan struktur bendungan Karangates sebagai langkah awal pemeliharaan dan studi awal mitigasi bencana di wilayah bendungan Karangates, mengingat fungsinya yang sangat penting yaitu sebagai pembangkit listrik Jawa-Bali.

2. Teori Mikrotremor dan HVSR

2.1 Mikrotremor

Mikrotremor adalah getaran dengan amplitudo rendah yang ada di permukaan tanah yang diakibatkan oleh berbagai penyebab alami seperti angin, gelombang laut, kebisingan kendaraan dan lainnya. Mikrotremor merupakan getaran yang memiliki amplitudo sekitar 0,1-1 mikron dan amplitudo kecepatan 0.0001-0.01 cm/detik yang dapat dideteksi dengan menggunakan seismograph tertentu (Mirzaouglu dan Dýkmen, 2003).

Penelitian mikrotremor awalnya dilakukan oleh Omori tahun 1908, kemudian Kanai dan Tanaka pada tahun 1961 mengusulkan rekayasa aplikasi mikrotremor, pada tahun 1970 teknik menggunakan rasio spektral *Horizontal to Vertical* dari mikrotremor diperkenalkan oleh Nagoshi dan Igarashi, pada tahun 1989 Nakamura mulai mengembangkan dan mempopulerkan teknik *Horizontal to Vertikal Spektrum Ratio* (HVSR).

Mikrotremor yang juga dikenal sebagai getaran alam (ambient vibration) berasal dari dua sumber utama yaitu alam dan manusia. Pada frekuensi rendah yaitu dibawah 1Hz, sumber mikrotremor adalah alam. Gelombang laut menimbulkan ambient vibration dengan frekuensi sekitar 0.2 Hz sedangkan frekuensi sekitar 0.5 Hz dihasilkan oleh interaksi antara gelombang laut dan pantai. Untuk frekuensi dibawah 0.1 Hz, mikrotremor diasosiasikan dengan aktifitas di atmosfer. Frekuensi tinggi, lebih dari 1 Hz bisa ditimbulkan oleh angin dan aliran air. Pada frekuensi tinggi yaitu lebih dari 1 Hz, sumber utamanya adalah aktifitas manusia seperti lalu lintas kendaraan, mesin dll. Lokasi sumber biasanya berada di permukaan tanah dan bervariasi dengan adanya siang dan malam (*SESAME European project, 2005*).

Gallipoli. M.R. dkk., 2003, melakukan penelitian terhadap berbagai struktur dan dianalisa dengan menggunakan teknik rasio spektral H/V. Gallipoli mendapatkan karakteristik dinamis dari sebuah struktur dimana terjadi perubahan frekuensi resonansi pada titik yang sama dalam rentang waktu tertentu dan kondisi tertentu. Perubahan ini dapat terjadi karena adanya kerusakan struktur maupun kondisi-kondisi tertentu yang menyebabkan terjadinya ketidakstabilan suatu struktur.

2.2 Horizontal to Vertikal Spektrum Ratio (HVSR) atau Metode Nakamura

Teknik pengolahan gelombang mikrotremor ini dipopulerkan oleh Nakamura (1989). Teknik HVSR merupakan teknik sederhana yang dapat menggambarkan karakteristik dinamis tanah maupun struktur. Rasio spektral dari H/V merupakan estimasi rasio antara spektrum amplitudo komponen horizontal dan vertikal dari suatu getaran. Spektrum H/V akan menunjukkan frekuensi resonansi/frekuensi dasar (f_0) dan nilai puncak HVSR (A).

. Perhitungan HVSR didefinisikan sebagai:

$$H/V = \left(\sqrt{NS^2 + EW^2} \right) / V \quad (1)$$

Keterangan:

H = Komponen Horizontal
V = Komponen Vertikal
NS = Komponen *North-South*
EW = Komponen *East-West*

3. Metode Penelitian

3.1 Wilayah Penelitian

Survey pengambilan data dilakukan di badan bendungan Karangates di desa Karangates, Kecamatan Sumber Pucung, Kabupaten Malang-Jawa Timur, pada tanggal 7 Maret 2015.

3.2 Alat Pengambilan Data

Pada pengambilan data, alat yang digunakan adalah *Portable Digital Seismograph type Taide TDL-303S* (TDS) dan *Digital Seismograph type Taide TDV 23S* (TDV) serta tambahan laptop akusisi.



Gambar 1. *Portable Digital Seismograph type Taide TDL-303S*



Gambar 2. Digital Seismograph type Taide TDV 23S

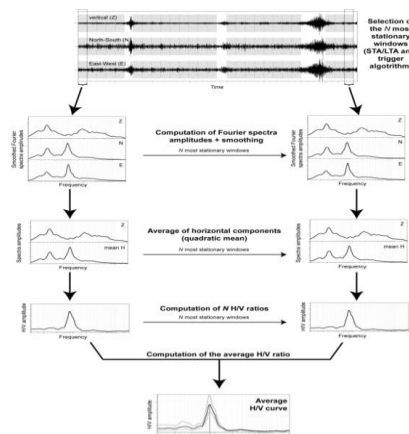
3.3. Akuisisi Data

Pengambilan data dilakukan 3 kali pengukuran yaitu pagi, siang dan malam. Pengambilan data diambil secara simultan dibagian atas badan bendungan dengan menggunakan alat *Portable Digital Seismograph type Taide TDL-303S* dan bagian bawah badan bendungan dengan menggunakan alat *Seismograph type Taide TDV 23S*.

3.4. Pengolahan Data

Data hasil pengukuran lapangan merupakan *raw data* getaran tanah dalam fungsi waktu yang diolah ke dalam domain frekuensi dengan menggunakan metode *Fast Fourier Transform (FFT)*. Data tersusun atas tiga komponen, yaitu komponen vertikal (*up and down*), horizontal (*North-East*), dan horizontal (*East-West*).

Pengolahan data menggunakan program *Mono ST 5.0*, *Netrec 5.0*, *Data Pro 5.0*, *Geophysical Signal Database For Noise Array Processing 2.6.3* dan *Excel 2007*.



Gambar 3. Langkah-langkah penentuan spektrum H/V (SESAME European project, 2005)

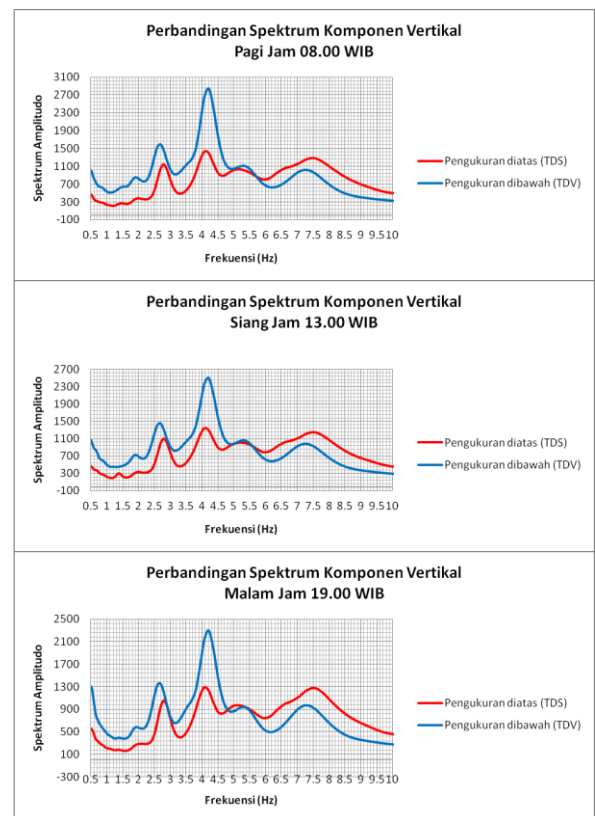
3.5. Interpretasi Data

Hasil pengolahan data diinterpretasikan dalam bentuk rasio H/V dan *trend* nilai spektrum tiap komponen yaitu komponen vertikal (*up and down*), horizontal (*North-East*), dan horizontal (*East-West*), kemudian rasio H/V dan *trend* grafik spektrum tiap komponen dibandingkan pengukuran dibagian atas dan bagian bawah titik pengukuran badan bendungan.

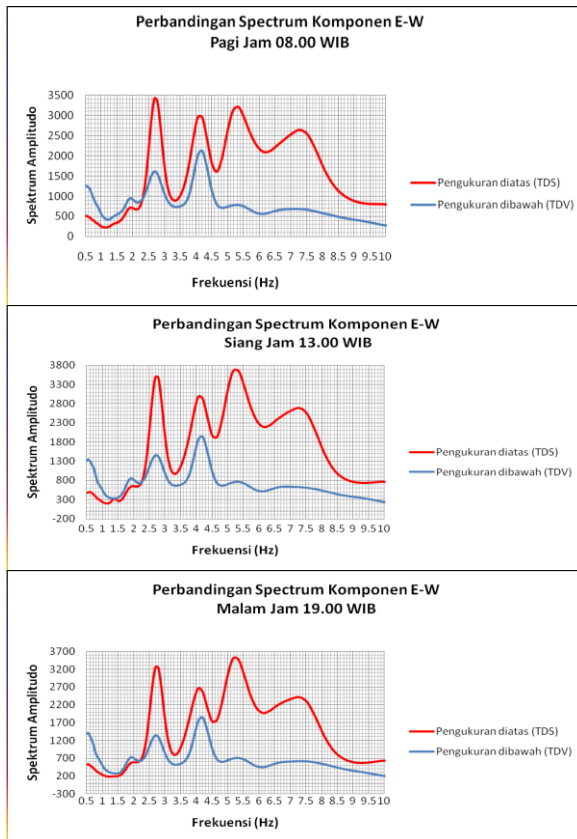
4. Hasil dan Pembahasan

4.1. Spektrum Mikrotremor

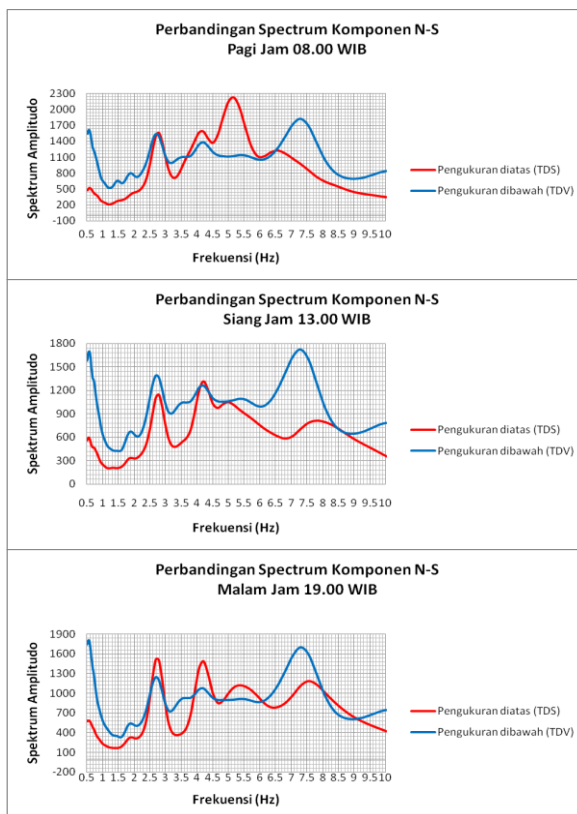
Berdasarkan hasil pengolahan spektrum tiap komponen yaitu komponen vertikal (*up and down*), horizontal (*North-East*), dan horizontal (*East-West*) maka perbandingan nilai rata-rata tertinggi respon dinamis spektrum tiap komponen ialah komponen vertikal (z)=2841.39 pada frekuensi 4.2076 Hz, komponen *East-West* (EW)=3656.82 pada frekuensi 5.3515 Hz dan komponen *North-South* (NS)=2223.97 pada frekuensi 5.1708 Hz. Grafik perbandingan respon dinamis spektrum tiap komponen adalah sebagai berikut :



Gambar 4. Grafik spektrum komponen vertikal



Gambar 5. Grafik spektrum komponen E-W



Gambar 6. Grafik spektrum komponen N-S

4.1.1. Frekuensi Rendah

Pada frekuensi rendah ($f < 1\text{Hz}$), sumber berasal dari faktor alam. Pada frekuensi rendah lebih dominan hasil pengukuran dengan menggunakan alat TDV dibandingkan pengukuran diatas dengan menggunakan alat TDS. Besarnya nilai spektrum amplitudo pada frekuensi rendah dibagian bawah struktur bendungan diindikasikan karena faktor gelombang air yang menyebabkan tekanan dan gaya yang bekerja pada struktur bagian bawah bendungan lebih dominan besar. Pada frekuensi rendah nilai rata-rata tertinggi spektrum amplitudo masing-masing komponen ialah komponen vertikal (z)=1304.70 pada frekuensi 0.50 Hz, komponen *East-West* (EW)=1385.41 pada frekuensi 0.55 Hz dan Komponen *North-South* (NS)=1799.41 pada frekuensi 0.53 Hz.

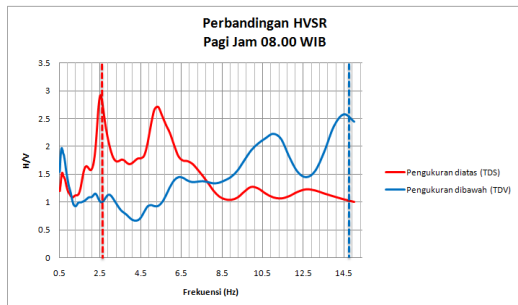
4.1.2. Frekuensi Tinggi

Pada frekuensi tinggi ($f > 1\text{Hz}$), sumber yang paling dominan berasal dari aktivitas manusia (lalu lintas, mesin). Daerah sumber kebanyakan berasal dari permukaan bumi, dan sering berubah-ubah kekuatannya pada pagi/siang/malam dan kondisi lainnya yang dipengaruhi oleh aktivitas manusia. Besarnya nilai spektrum amplitudo pada frekuensi tinggi dibagian atas struktur bendungan diindikasikan karena faktor aktivitas mesin turbin pembangkit listrik tenaga air dan aktivitas lalulintas yang menyebabkan *noise* pada struktur bagian atas bendungan lebih dominan besar. Pada frekuensi tinggi nilai rata-rata tertinggi spektrum amplitudo masing-masing komponen ialah komponen vertikal (z)=1286.23 pada frekuensi 7.54 Hz, komponen *East-West* (EW)=3656.82 pada frekuensi 5.35 Hz dan Komponen *North-South* (NS)=2223.97 pada frekuensi 5.17 Hz.

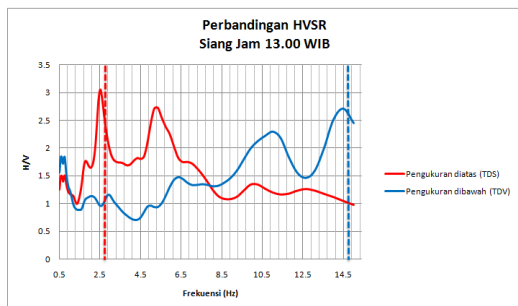
4.2. Analisis Spektrum HVSR.

Spektrum HVSR yang dihasilkan melalui *Geophysical Signal Database For Noise Array Processing* 2.6.3 dapat langsung dianalisa dan diketahui besar nilai A dan f_0 untuk masing masing titik pengukuran. Gambar 7, 8 dan 9 menunjukkan spektrum HVSR hasil pengolahan menggunakan *Geophysical Signal Database For Noise Array Processing* 2.6.3. Garis berwarna biru merupakan nilai rata-rata yang dihasilkan oleh analisis FFT dari seluruh nilai rasio H/V pada titik pengukuran bagian bawah dan garis berwarna merah merupakan nilai rata-rata yang dihasilkan oleh analisis FFT dari seluruh nilai rasio H/V pada titik pengukuran bagian atas. Sedangkan garis putus-putus vertikal berwarna biru merupakan batas nilai rata-rata yang dihasilkan oleh analisis FFT dari seluruh nilai rasio H/V pada titik pengukuran bagian bawah dan garis putus-putus vertikal berwarna merah merupakan batas nilai rata-rata

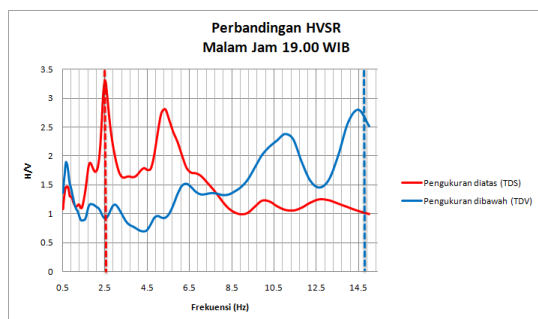
yang dihasilkan oleh analisis FFT dari seluruh nilai rasio H/V pada titik pengukuran bagian atas. Dari analisis yang dilakukan, secara umum nilai frekuensi dominan (f_0) untuk daerah penelitian berkisar antara 2,50 sampai 14,49 Hz. Sedangkan nilai puncak HVSr (A) adalah antara 2,53 hingga 3,27.



Gambar 7. Perbandingan HVSr pagi



Gambar 8. Perbandingan HVSr siang



Gambar 9. Perbandingan HVSr malam

5. Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan bahwa :

1. Perbandingan nilai rata-rata tertinggi respon dinamis spektrum tiap komponen ialah komponen vertikal (z)=2841.39 pada frekuensi 4.20 Hz, komponen *East-West* (EW)=3656.82 pada frekuensi 5.35 Hz dan komponen *North-South* (NS)=2223.97 pada frekuensi 5.17 Hz.
2. Perbandingan respon dinamis spektrum tiap komponen di frekuensi rendah ($f < 1$ Hz) menunjukkan nilai rata-rata tertinggi spektrum

amplitudo masing-masing komponen ialah komponen vertikal (z)=1304.70 pada frekuensi 0.50 Hz, komponen *East-West* (EW)=1385.41 pada frekuensi 0.55 Hz dan Komponen *North-South* (NS)=1799.41 pada frekuensi 0.53 Hz.

3. Perbandingan respon dinamis spektrum tiap komponen di frekuensi tinggi ($f > 1$ Hz) menunjukkan nilai rata-rata tertinggi spektrum amplitudo masing-masing komponen ialah komponen vertikal (z)=1286.23 pada frekuensi 7.54 Hz, komponen *East-West* (EW)=3656.82 pada frekuensi 5.35 Hz dan Komponen *North-South* (NS)=2223.97 pada frekuensi 5.17 Hz.
4. Nilai frekuensi dominan (f_0) untuk daerah penelitian berkisar antara 2,50 sampai 14,49 Hz. Sedangkan nilai puncak HVSr (A) adalah antara 2,53 hingga 3,27.

Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Dr. P.J. Prih Harjadi atas teori-teori dalam analisis penulisan ini. Khusus kepada Kepala dan Staf Stasiun Geofisika Karangates atas bantuannya dalam akusisi data.

Daftar Acuan

- [1] Mirzaoglu, M., Dýkmen, Ü., 2003, Application of Microtremors to Seismic Microzoning Procedural, Journal of the Balkan Geophysical Society, Vol. 6, No. 3, August, 2003, p. 143 – 156. Greece.
- [2] Bormann, Peter. 2002. New Manual of Seismology Observatory Practice. IASPEI Geoforschungszentrum Potsdam (GFZ). Germany.
- [3] SESAME European project, 2005. Implementation of the H/V spectral Ratio Technique on Ambient Vibrations-measurements, Processing and Interpretations. Deliverable D23.12.
- [4] Gallipoli, M., Mucciarelli, M., Castro, R., Monachesi, G., Contri, P, 2003, Structure, Soil –Structure Response And Effects of Damage Based on Observations of Horizontal-To-Vertical Spectral Ratios of Microtremors, Soil Dynamics and Earthquake Engineering 24 (2004) 487–495.
- [5] T. Toriyama, Y. Tanimoto, S. Sugiyama, Single crystalline silicon nano wire piezoresistors for mechanical sensors, Transducers '01 Eurosensors XV Digest of technical papers, Munich (2001), p. 1002-1005.
- [6] Nakamura, Y., 2008, On The H/V Spektrum, World Conference on Earthquake

- Engineering, October 12-17, 2008, Beijing, China.
- [7] Nakamura, Y., 2000, Clear Identification of Fundamental Idea of Nakamura's Technique and Its Applications, 12th World Conference on Earthquake Engineering, 30 January-February 2000, Auckland, New Zeland.
- [8] Nakamura, Y., Gurler, E., Saita, J., Rovelli, A., Donati, S., 2000, Clear Vulnerability Investigation Of Roman Collisseum Using Microtremor, 12th World Conference on Earthquake Engineering, 30 January-February 2000, Auckland, New Zeland.
- [9] Nakamura, Y., 1989, A Method for Dynamic Characteristics Estimation of Subsurface using Microtremor on the Ground Surface, Railway Technical Research Institute, Vol. 30 No. 1. 033-9008. Japanese National Railways, Tokyo, Japan.